

❁ 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.

Pod. N. Mat.-Fiz.

WÓCH TOMACH

figurami w tekście.

TOM I-szy.

, w oprawie Rs. 1 kop. 35.

WARSZAWA

WYDAWCA HIPOLITA WAWELBERGA.

1897.

19926.
B. P. im. Ł.

Skatka Główny w Warszawie
M. A. WIZBEKA

Warszawa, Długa 5

1000072378



ZASADY
MAGNETYZMU i ELEKTRYCZNOŚCI

604



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

184686

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 I.



WARSZAWA
NAKŁADEM HIPOLITA WAWELBERGA.

1897

Skład Główny w Księgarni
M. A. WIZBEKA

Warszawa, Szpitalna. 5.



324072/1

537/538 : 621.3

ДОЗВОЛЕНО ЦЕНЗУРОЮ

Варшава, Сентября 12 дня 1897 года.

Przedmowa tłumacza.

Brak podręcznika polskiego, traktującego o magnetyzmie i elektryczności, od niejakiego czasu dawał się mocno odczuwać. Od pojawienia się wybornego dzieła Silv. Thompson'a p. t. „Elektryczność i Magnetyzm” w przekładzie polskim kand. n. przyr. J. J. Boguskiego (1885), nie przybyła nam ani jedna książka z tego ważnego działu fizyki, gdyż „Zasady elektrotechniki” wydane w r. 1889 przez prof. Merczynga, należą już do dziedziny wiedzy stosowanej.

Z obowiązku sprawozdawczego nadmienić winienem, iż w r. 1886, w formie odbitki z „Przeglądu Technicznego” wyszła praca inż. d-ra fil. A. Hołowińskiego p. t. „Z zakresu elektrotechniki” (wraz z dodatkiem str. 83 i tab. 5), gdzie autor szczegółowo, u nas po raz pierwszy, rozważył budowę i zasadę dynamomaszyny. Następnie r. 1892 staraniem redakcyi „Przeglądu Technicznego” wyszła część pierwsza „Wstępu do elektrotechniki” (str. 95, tab. 3) p. J. J. Boguskiego, gdzie autor na podstawie wy-

kładów prof. Eryka Gerard'a wyłożył teorię jednostek, potencyału, oraz niektóre pojęcia z magnetyzmu; na tem jednak poprzestać musiał.

Naglącej potrzebie uczynić zadość postanowiła „Biblioteka Przemysłowa,” wydając książkę niniejszą, której spolszczenia podjął się niżej podpisany. Jestto właściwie praca dwóch ludzi. Naczelny autor prof. Jamieson miał na celu napisanie krótkiego podręcznika doświadczalnego dla uczniów pierwszego kursu szkoły elektrotechnicznej i celu swojego dopiął w zupełności. Stopniowo i konsekwentnie z zajmujących doświadczeń, przerabianych wobec i razem z uczniami, profesor wyprowadza główne prawa i zasady magnetyzmu, nauki o prądzie elektrycznym i elektrostatyki. Oprócz tego uczy on sztuki mierzenia elementarnego, obchodzenia się z przyrządami najprostszymi, a nadto wskazuje, jak się te przyrządy sporządzają. Każdy rozdział wieńczę pytania, umiejętnie i systematycznie dobrane podług treści rozdziału i w znacznej części pochodzące z ćwiczeń, zadawanych uczniom na egzaminach przejściowych w Anglii. Wszędzie profesor zaznacza związek swojego przedmiotu z dziedziną stosowaną t. j. z elektrotechniką. Z tej strony biorąc, przyswajamy językowi polskiemu rzecz metodycznie nową, dotychczasowe bowiem dzieła, istniejące po polsku, miały zakrój wyłącznie prawie teoretyczny lub ogólny. Na rzecz tego podręcznika przemawia również okoliczność, iż w ciągu pięciu lat, t. j. od r. 1889 do 1894, doczekał się trzech wydań.

Część teoretyczną książki, niezbędną do gruntownego poznania przedmiotu, zawdzięczamy przedewszystkiem przekładowi niemieckiemu dzieła Jamiesona, dokonanemu

przez prof. Kollert'a. Autor ten dodał dziewięć rozdziałów 9, 18, 23 do 27, 35 do 37, w których możliwie elementarnie wyklada czytelnikowi absolutny, magnetyczny i elektryczny układ miar oraz teorię pomiarów i przyrządów mierniczych. Rzeczy trudniejsze, lub nadające się do opuszczenia bez ujmę dla ucznia, odnotowane zostały drobnym drukiem. Przez dodatki te rzecz została w dwójnasób powiększona a ilość figur o 85.

Obie te części dzieła dopełniają się bardzo szczęśliwie. Pomimo to tłumacz polski, licząc się z naszymi potrzebami, z wymienioną dłuższą przerwą w piśmiennictwie, oraz z postępami, dokonanemi w nauce od chwili pojawienia się przekładu niemieckiego (1891) i ostatniego wydania angielskiego (1894), a zarazem korzystając z obfitej literatury lat ostatnich, pozwolił sobie dodać wiele nowych szczegółów, dotyczących jednostek przyjętych, przyrządów, ogniów, akumulatorów, rodzajów prądu elektrycznego i maszyn w sposób możliwie przystępny i elementarny. W tym również celu pomnożona została ilość dopisków, figur, tablic, odsyłaczy do rozmaitych dzieł i podręczników, dawniejsze zaś zostały poprawione, o ile wyszły nowe wydania lub dzieła. Wogóle dążeniem tłumacza było doprowadzić podręcznik do poziomu wiedzy współczesnej, nie zmieniając, z małemi wyjątkami (odznaczonemi w tekście) treści pierwotnej i wyróżniając części dodane zapomocą uwagi lub drobnego druku.

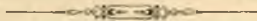
Skutkiem tych dodatków, a poniekąd formatu małej szesnastki, obranego dla dzieła, wynikła konieczność podziału na dwa tomy, z których pierwszy kończy się mniej więcej w połowie części 2-ej „Nauki o prądzie elektrycz-

nym” tam, gdzie rozpoczyna się mowa o wytwarzaniu prądu na drodze chemicznej.

Duży nacisk położony został na język i styl. Pismo wnię naukową i terminologię zachowałem wszędzie jednolitą i w znacznej części wzorowaną na istniejących dziełach fizycznych polskich; w wypadkach szczególnych, gdy wypadło użyć nowych nazw i oznaczeń, uczyniłem to po naradzeniu się z gronem naszych fizyków, którym tutaj publiczną podziękę składam.

St. Stetkiewicz.

Warszawa, wrzesień 1897 r.



P. S. Czytelnik proszony jest, przed przystąpieniem do czytania, o poprawienie wszystkich błędów, wyliczonych w „Erratach” na ostatniej stronie tomu.

CZEŚĆ I.

M a g n e t y z m.

WYKŁAD I.

Treść. Magnesy naturalne. — Magnesy sztuczne. — Jak się poznaje magnes. — Określenie magnezu. — Bieguny magnesu. — Przygotowywanie magnesów sztucznych. — Próbné zapytanie i odpowiedź. — Pytania.

Magnesy naturalne. Nie jest dobrze wiadomem, kto pierwszy wynalazł magnes. Przypuszczamy tylko, że wyraz „magnes” powstał od nazwy „Magnezyja,” okręgu dawnej Lidyi, położonej w Azji Mniejszej; tamto po raz pierwszy miało zauważyć, że odłamki pewnego minerału szarawego, zwanego dzisiaj rudą magnetyczną Fe_3O_4 , posiadają szczególną własność przyciągania małych kawałków żelaza lub stali. Chińczycy sobie przypisują odkrycie faktu, że odłamek takiego kamienia magnetycznego, zawieszony swobodnie na nici, samoistnie przyjmuje położenie określone zawsze kierunkiem mniej więcej od południa na północ; oni też pierwsi około r. 1122 po Chrystusie mieli posilkować się tym przyrządem do kierowania statku. Owóż magnesy naturalne otrzymały również nazwę kamieni kierowniczych; znajdują zaś je w rozmaitych

krajach — w Szwecyi, Hiszpanii, Stanach Zjednoczonych i t. p.; z tego też kruszcu otrzymuje się doskonale żelazo.

Magnesy sztuczne. Skoro weźmiemy odłamek kamienia magnetycznego i potrzemy nim hartowaną sztabę stalową, natenczas spostrzeżemy, iż stal przejęła własności magnesu naturalnego, chociaż kamień wyraźnie nie ze swoich własności nie stracił. Lecz siła magnetyczna tego kamienia magnetycznego nie jest wielką, i wobec tego że on nie może oddać stali lub magnesowi sztucznemu więcej magnetyzmu niż sam posiada, będziemy musieli wkrótce podać sposoby wygodniejsze i skuteczniejsze otrzymywania magnesów, z których będziemy korzystali w dalszym ciągu naszych wykładów.



Fig. 1. Magnes naturalny wraz z opiłkami żelaznymi.

Doświadczenia I. Jak się poznaje magnes. Przypuśćmy, że mamy dwie sztabki ze stali jednakowej, napozór ze wszech miar podobne do siebie, z których jedna jest magnesem, druga nim nie jest; jak się dowiemy która z nich jest namagnesowana?

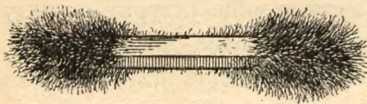


Fig. 2. Sztaba namagnesowana z opiłkami żelaznymi.



Fig. 3. Sztaba nienamagnesowana.

Najpierw włóżmy jedną i drugą sztabę w opiłki żelazne i po chwili wyjmijmy. Wtedy zauważymy zaraz, iż

część opilek przylgnęła do jednej ze sztab, zwłaszcza w jej końcach, gdy do drugiej opilki nie przylgnęły. Z tego prostego doświadczenia wnosimy, iż sztaba, która przyciągnęła opilki jest magnesem, druga zaś nim nie jest. Lecz siła magnetyczna mogłaby być tak nieznaczna, że opilki (zwłaszcza grubsze), w małym tylko stopniu mogą przylegać do magnesu; wtedy wypada uciec się do innej próby, czulszej.

Powtóre: Wieszamy teraz każdą sztabkę na cienkiej nici nieskręconej, przytwierdzonej do podwójnego haka

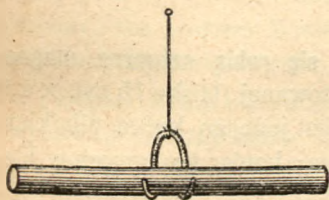


Fig. 4. Zawieszona sztaba ze stali hartowanej.

miedzianego (patrz fig. 4), dając pomiędzy sztabkami odległość przynajmniej kilku stóp tak, aby magnetyzm jednej nie mógł oddziaływać na drugą. Widzimy, że jedna z nich zwraca się stale długością swoją ku południowi-północy, a wyprowadzona z

z tego położenia, na nowo doń wraca, druga sztaba w każdym położeniu zachowuje się jednakowo. Oczywiście pierwsza jest magnesem, druga nim nie jest. Na jednym z późniejszych wykładów pokażemy, w jaki sposób magnetyzm naturalny ziemi oddziaływa na sztabę magnesową i skręca ją dopóty, aż ostatecznie obierze ona kierunek mniej więcej południowo-północny.

Definicja magnesu. *Magnes jest odłamkiem stali lub innego ciała magnesowanego, które posiada własność przyciągania innych kawałków żelaza, stali lub innych*

ciut magnesujących się, zawieszony zaś swobodnie w płaszczyźnie poziomej zwraca się ku biegunom ziemi.

Bieguny magnesu. Końce magnesu zowią się biegunami. Koniec, albo biegun magnesu zwracający się ku północy i tem wskazujący północ będziemy nazywali *biegunem północnym* (w skróceniu Pn.) albo **N**, (po ang. North-północ) czasami końcem naznaczonym, lub czerwonym, gdy tymczasem drugi *biegunem południowym* (w skróceniu Pd.) albo **S**, (od ang. South-południe), czasami zaś nienaznaczonym albo niebieskim końcem magnesu. *)

Doświadczenia II. Jak się robią sztuczne magnesy.)** Weź kawałek stali hartowanej (blisko 15 cm. \times 1,5 cm. \times 0,8 cm.) i zrób w pobliżu jednego końca pilnikiem trójkątnym kształtu \sphericalangle nacięcie; koniec ten uczynimy biegunem północnym.

1. **Magnesowanie przez proste potarcie.** Połóż kawałek tej stali płasko na stole, weź mocno namagnesowaną sztabę stalową prawą ręką i koniec jej nienaznaczony albo **S** przyłóż do nienaznaczonego końca sztaby, którą chcemy namagnesować. Następnie, pocieraj magnesem sztabę stalową, aż do przeciwległego jej końca, odejmując go dopiero przy końcu naznaczonym i wodząc

*) Fabrykanci magnesów zazwyczaj wyrabiają na końcu wskazującym północ literę N, albo robią kreskę w poprzek, albo malują go na czerwono — co odróżnia go od bieguna południowego, nienaznaczonego, albo pomalowanego na niebiesko.

***) Bliższe szczegóły o tem znajdziesz w dodatku do działu „Magnetyzm.“

nanowo do końca nienaznaczonego w kierunku wskazanym na fig. 5 przez strzałkę i linię kropkowaną. Czynność tę powtórz ze dwanaście razy.

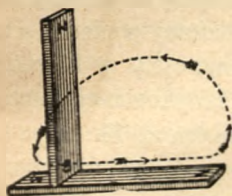


Fig. 5. Zwyczajne pocieranie.

Wtedy przewracasz sztabę stalową na stronę najbliższą i powtarzasz pocieranie aż wszystkie cztery strony sztaby zostaną w jednakowy sposób opracowane. Wtedy sztaba jest już magnetyczną i od strony naznaczonej albo N' posiada biegun

północny, ten bowiem koniec za każdym razem stykał się z końcem południowym S magnesu na ostatku.

Lepszy wynik otrzymujemy skoro jednym biegunem magnesu pocieramy sztabę stalową od środka do jednego końca, drugim zaś od środka do drugiego końca w kierunkach wskazanych przez strzałki i linie na figurach 6 i 7.

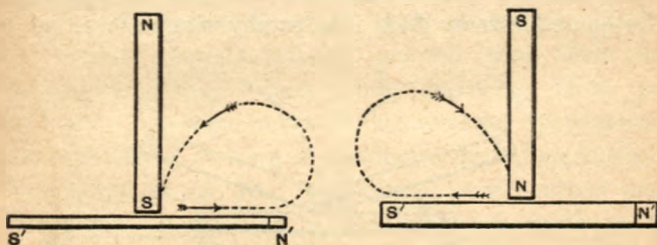


Fig. 6 i 7. Magnesowanie każdej połowy przez pojedyncze pocieranie.

Odwracamy tedy sztabę i nanowo pocieramy aż wszystkie cztery jej strony zostaną w ten sposób potraktowane.

Magnes w kształcie podkowy może być użyty do zamagnesowania sztaby stalowej takiego samego kształtu jeżeli przed końcami tej ostatniej położymy w poprzek kawałek miękkiego żelaza, a potem będziemy pocierali szta-

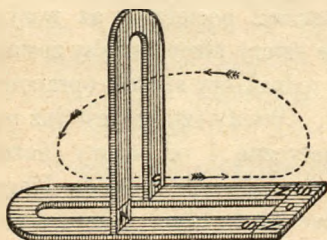


Fig. 8. Sztaba magnesująca w kształcie podkowy.

bę magnesem w kierunku linii kropkowanej i strzałek na fig. 8. Skoro po takim postępowaniu odwrócimy sztabę kształtu \cap musimy również pamiętać i o odwróceniu magnesu \cap tak, aby odmienne bieguny N i S zawsze do siebie przylegały.

2. Magnesowanie przez rozbieżne pocieranie.

Opiera się sztabę N' S', którą mamy namagnesować, na końcach dwu sztab magnesowych jak na figurze 9. Następnie bierzemy dwie inne sztaby magnesowe, po je-

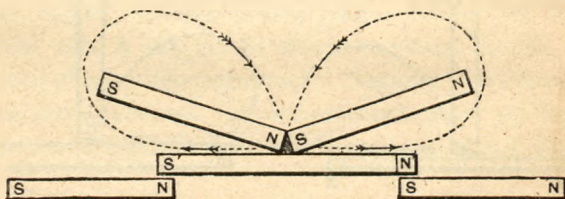


Fig. 9. Magnesowanie przez rozbieżne pocieranie.

dnej do każdej ręki (biegunami wskazanymi na figurze) i pocieramy nimi jednocześnie w położeniu nachylo-

nem sztabę N' S' od środka do końców w kierunku linii kropkowanych i strzałek. Odwraca się potem sztabę N' S' i powtarza się tę czynność ze 12 razy, lub więcej z każdej strony, aż wreszcie sztaba zostanie namagnesowana jak najmoeniej w danych warunkach. Można się o tem przekonać, oznaczając liczbę gwoździ, unoszonych przez sztabę.

3. Magnesowanie przez podwójne pocieranie. Cała różnica pomiędzy tą a poprzednią metodą polega na tem, że obie sztaby magnesujące poruszane są tu pospół z kawałkiem drzewa umieszczonego pomiędzy nimi a to w taki sposób, że bieguny odmiennie leżą obok siebie. Owóż jedną parą końców tego podwójnego magnesu pociera się daną sztabę stalową od środka do jednego końca, tudzież z powrotem, przerywając czynność pośrodku. Następnie pociera się od środka do drugiego końca tyleż razy co poprzednio. W zupełnie podobny sposób postępuje się z pozostałemi stronami, dopóki ostatnia nie zostanie możliwie silnie namagnesowaną.

4. Magnesowanie przez prąd elektryczny. Żaden ze sposobów powyższych nie pozwoli nam silnie namagnesować grubej i dużej sztaby stalowej. Skoro potrzebujemy mocnego magnesu sztabowego, powinniśmy umieścić sztabę stalową w spiralnej z drutu miedzianego obwiniętego (pt. fig. 10) i przepuszczać po niej mocny prąd elektryczny, pochodzący z jakiegokolwiek źródła prądu np. z baterji lub dynamomaszyny, uderzając po końcach sztaby młotkiem podczas przebiegu prądu.

Cheąc otrzymać magnes w kształcie podkowy, wpuśćmy najpierw jedno jej ramię w spiralną i uderzajmy je podczas przebiegu prądu. Wtedy wyjmujemy ramię ze

spiralnej wprowadamy drugie ramię z drugiej strony spiralnej zamykając ponownie prąd i wciąż uderzając sztabę; następnie przerywamy prąd i wyjmujemy sztabę. W re-

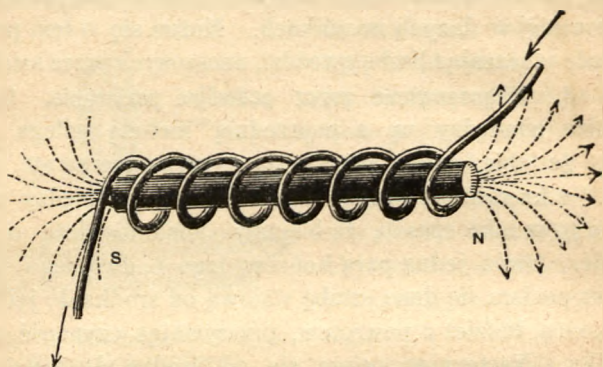


Fig. 10. Magnesowanie przez prąd elektryczny.

zultacie otrzymujemy magnes o sile proporcjonalnej do natężenia prądu użytego i do liczby zwojów spiralnej, dopóki stal nie zostanie magnetycznie nasyconą.

5. **Magnesowanie za pomocą elektromagnesu.** Inny, wielce skuteczny sposób magnesowania sztaby stalowej za pomocą elektromagnesu uzmysławia załączona figura (patrz fig. 11).

Objaśnienie części.

- EM — cewa elektromagnetyczna albo solenoid,
- NS — bieguny północny i południowy jądra żelaznego,
- Y — część łącząca miękkie jądra żelazne,
- WB — podstawa drewniana, do której przytwierdzona jest część Y,

- T +, T — końcówki dodatnia i ujemna,
 B — bateria lub generator prądu elektrycznego,
 → — strzałki wskazujące kierunek prądu,
 N' — biegun północny sztaby, którą się magnesuje.

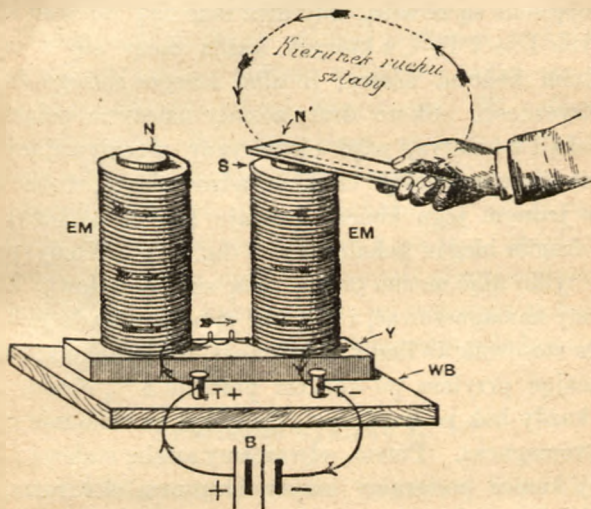
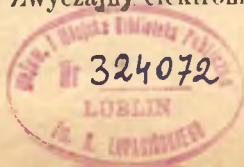


Fig. 11. Magnesowanie za pomocą elektromagnesu.

Budowa i działanie elektromagnesu, zostaną szczegółowo opisane w jednym z późniejszych wykładów; tymczasem z uwagi na pożytek tego przyrządu, powinniśmy uczniowi, na początku jego zajęć z magnetyzmem, objaśnić wygląd zewnętrzny elektromagnesu, i sposób użycia przy otrzymywaniu magnesów sztucznych; wyniki tą drogą otrzymane, będą o wiele lepsze, niż sposobami dawniej podanymi. Zwyczajny elektromagnes używany na wykla-



dach i w warsztatach, składa się z kawałka bardzo miękkiego żelaza kutego w kształcie **U** albo podkowy, zwanego jądrem, na którego obu ramionach osadzone są cewy, albo spiralne z drutu miedzianego owiniętego. Całość mieści się na podstawie drewnianej **WB**; dwa końce zwojów drutu połączone są ze sobą, gdy dwa inne idą do śrub krańcowych **T +** i **T —**, z których każda łączy się z odpowiednim końcem baterji **B** albo innego jakiego źródła elektryczności. Skoro druty zostały należycie połączone ze sobą i z baterją, prąd elektryczny przepływający po drucie silnie magnesuje miękkie jądro żelazne, wobec czego w jednym jego końcu powstaje biegun północny **N**, a w drugim biegun południowy **S** (fig. 11). Wtedy pozostaje tylko ująć mocno prawą ręką sztabę stalową, którą chcemy namagnesować, i pocierać ją od środka do jednego końca stosownie do linii kropkowanej, w kierunku strzałek, obracając przytem po każdym potarciu o $\frac{1}{4}$ obrotu tak, aby każdy bok po kolei wystawiony był na działanie jądra elektromagnesu. Potem, odwracamy sztabę stalową i drugi jej koniec pocieramy innym biegunem elektromagnesu, dopóki sztaba nie zacznie przyciągać kutego żelaza w ilości dwa lub trzy razy przewyższającej własny ciężar sztaby.

Wzór pytania i odpowiedzi.

Pytanie. Żąda się namagnesowania iglicy w taki sposób, żeby ucho jej zostało biegunem południowym. Do tego celu dany jest magnes sztabowy, którego tylko ko-

niec południowy jest do użycia. Jak to trzeba wykonać i jak dowieść, że czynność została prawidłowo wykonaną.

Odpowiedź. Pociera się iglicę kilkakrotnie od ucha ku ostrzu biegunem południowym sztaby, bacząc, ażeby igła za każdym razem wracała tym samym końcem podług linii krzywej i strzałek na załączonej figurze.

(Tutaj uczeń powinien od ręki wykonać w kajecie dwa zupełnie poprawne szkice, z których jeden ma objaśniać doświadczenie, drugi dowodzenie. W ogólności zawsze od ucznia odpowiadającego, skoro to jest tylko możliwe, należy wymagać szkicu odręcznego).

Dowód. Zawieś igłę w pobliżu jej środkowego punktu na cienkiej nici nieskręconej; po tem, że igła (po wyprowadzeniu jej ze stanu równowagi) niezmiennie wraca do położenia, w którym ucho jej wskazuje południe poznajemy, iż koniec ten musi być biegunem południowym.

Pytania do wykładu I.

1. Powiedz, co ci wiadomo o magnesach naturalnych; gdzie bywają znajdowane? Jaką nazwę nadano im, i dlaczego?

2. Jaka zachodzi różnica pomiędzy magnesem naturalnym a sztucznym? Czy magnesy sztuczne dają się otrzymać za pomocą magnesów naturalnych? Jeśli tak, to w jaki sposób?

3. Co rozumiesz przez magnes? Jak się zowią jego końce i dlaczego?

4. Jak się można przekonać, czy dany kawałek stali jest namagnesowany lub nie?

5. Masz tutaj magnes sztabowy oraz iglicę stalową, której jeden koniec naznaczony został strzałką, lub pomalo-

wany atramentem. Opowiedz dokładnie (rysując przytem od ręki), jakie czynności trzeba wykonać, by igłę namagnesować tak, iżby koniec naznaczony stał się biegunem północnym, nienaznaczony — południowym. W jaki sposób udowodnisz, że obrałeś drogę właściwą?

6. Za pomocą szkieł i dokładnego objaśnienia, wskaż różnice pomiędzy następnymi metodami: 1) prostego pocierania; 2) podwójnego pocierania; 3) rozbieżnego pocierania.

7. Dano ci spiralną z drutu izolowanego, baterję do wytwarzania prądów elektrycznych, i zahartowaną sztabę stalową w kształcie podkowy. Jak będziesz magnesował sztabę? Objaśnij odpowiedź rysunkiem od ręki.

8. Masz elektromagnes, baterję i hartowaną sztabę stalową. Wytłomacz i pokaż za pomocą szkicu jak będziesz magnesował sztabę? Jak potrafisz znaleźć biegun północny sztaby, po namagnesowaniu? W jaki sposób przekonasz się, czy została mocno namagnesowana, czy nie?

WYKŁAD II.

Treść: Magnesy trwałe. — Zwykle formy magnesów trwałych oraz ich zastosowania (prosta i złożona sztaba, prosta i złożona podkowa, magnes Jamina, igła pozioma, igła pionowa). — Przyciąganie i odpychanie. — Prawo pierwsze. — Biegunowość. — Próbne pytanie i odpowiedź. — Pytania.

Magnesy trwałe. *) W wykładzie poprzednim podaliśmy kilka dobrze znanych sposobów magnesowania stali. Magnesy stalowe zachowują na długo swój magne-

*) Dokładne wskazówki, dotyczące wyboru najlepszych gatunków stali i obchodzenia się z niemi celem otrzymania dobrych magnesów trwałych i igieł magnesowych, znajdziesz w dodatku do części pierwszej o Magnetyzmie.

tyżm skoro zrobione zostały z odpowiednich gatunków stali, dobrze zahartowanej i namagnesowanej, dodajmy przy umiejętnem obchodzeniu się i unikaniu wpływów odmagnesowujących; takie magnesy otrzymały miano magnesów trwałych. Bądź co bądź, każda stal nie nadaje się do wyrobu dobrych magnesów trwałych. W rzeczy samej, stal, zawierająca pewien procent manganu, w ogólności nie daje się magnesować, tymczasem inne rodzaje stali, np. ta, której się używa na sprężyny lub stalówki, stal lana, albo miękka blacha stalowa, wprawdzie magnesują się z łatwością, prędko jednak tracą swój magnetyzm. Wobec tego, koniecznem jest umieć rozpoznawać rozmaite gatunki stali handlowej, a potem wywieńczyć się we wszelkich sposobach hartowania i magnesowania, dopóki eksperymentator lub uczeń nie nabędą wprawy w otrzymywaniu istotnie dobrych i mocnych magnesów trwałych. Drobne nawet trwale magnesy pochodzące z najlepszych fabryk odmagnesowują się w wysokiej temperaturze, i tracą znaczną część magnetyzmu, jeżeli zostaną niebacznie umieszczone w pobliżu jednakowych biegunów innych mocnych magnesów, albo jeżeli narażone są na szorstkie obchodzenie, wstrząśnienia, lub nagłe odrywanie kotwic z miękkiego żelaza.

Zwykłe formy magnesów trwałych, oraz ich zastosowania.

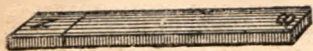



Fig. 12. Magnes sztabowy o przekroju .

Proste magnesy sztabowe. Z ostatniego wykładu wypływa wniosek, że trwały magnes sztabowy jest płaską sztabą

stalową o przekroju prostokątnym albo okrągłym fig. 13, dobrze zahartowaną i namagnesowaną. Do celów wykładowych i prostych doświadczeń i ćwiczeń w pracowni



Fig. 13. Magnes sztabowy o przekroju O.

nieodzownem jest mieć zawsze pod ręką parę mocnych magnesów sztabowych, długich od 25 do 30 cm. Magnesy, gdy nie są w użyciu, powinny być starannie przechowywane w pudle drewnianem i zwrócone do siebie biegunami odmiennymi **N** i **S**, końce zaś ich powinny być połączone wielkimi kotwicami z żelaza kutego **K**, jak to wskazuje załączona fig. 14.

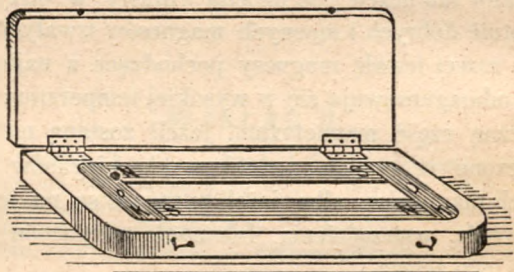


Fig. 14. Dwa magnesy sztabowe, kotwice i pudło.

Nad działalnością kotwic później zastanowimy się nieco lepiej; tymczasem uczeń musi poprzestać na krótkim wyjaśnieniu, że kotwice chronią magnesy od utraty magnetyzmu.

Doświadczenie III. Złożone sztaby magnesowe.

Jeśli mocną sztabę magnesową otrzymaną z kawałka stali, 0,6 cm. lub więcej grubej zanurzymy na przykład w kąpeli kwasu saletrzanego, wtedy, skoro warstwa wierzchnia zostanie zgryziona, przekonamy się, że sztaba straciła swój magnetyzm; dowodzi to, że tylko powierzchnia stali była silnie namagnesowana. Odkrycie faktu, że natężenie magnesu nie rośnie w prostym stosunku do jego wielkości, tudzież, że magnesy cienkie w stosunku do powierzchni swojego przekroju, mogą unosić ciężary większe, niż magnesy grube, doprowadziło drogą naturalną do t. zw. magnesów „złożonych.” Magnesy złożone (niekiedy zwane „magazynami magnetyzmu”) składają się z pewnej liczby bardzo cienkich i płaskich pasków stali hartowanej oddzielnie namagnesowanych i spojonych równo-

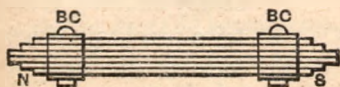


Fig. 15. Sztaba magnesowa złożona.

legle ze sobą (bieguny jednakowe przylegają do siebie i zwrócone są w jedną stronę) mosiężnymi klamrami **BC**, jak wskazuje fig. 15. Kosz-

towniejszy kształt posiada sztaba złożona z 9 cienkich sztabek (p. fig. 16, str. 20), ułożonych w trzy warstwy, po trzy sztabki w każdej, obok siebie. Końce tych sztabk wpuszczone są na moc w nasadę biegunów albo zbroję **IP** z miękkiego żelaza i spojone mosiężnymi bolcami i klamrami **BC** celem skupienia i skierowania magnetyzmu sztab pojedynczych, na każdej ze wspólnych nasad biegunów **N** i **S**. Gdyby magnesy należące do jednej z powyższych form złożonych z jakiegokolwiek powodu utraciły swój magnetyzm,

wtedy można je z łatwością rozebrać i pojedyncze sztaby nanowo namagnesować i złożyć.

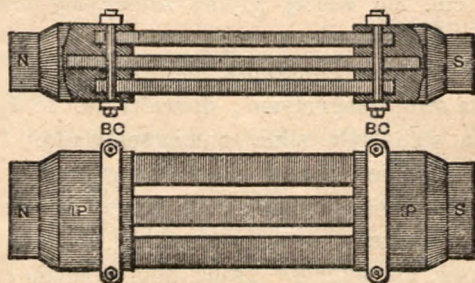


Fig. 16. Magnes sztabowy złożony z nasadami biegunowymi z kutego żelaza.

Proste magnesy w kształcie podkowy. Prosta podkowa magnesowa trwała składa się z płaskiej





Fig. 17. Magnes w kształcie podkowy o przekroju  z kotwicą.



Fig. 18. Magnes w kształcie podkowy o przekroju  bez kotwicy.

sztaby stalowej jednolitej o przekroju czworokątnym albo okrągłym, zgiętej naksztalt podkowy, zahartowanej i namagnesowanej.

Magnesy w kształcie podkowy, nadają się do wielu celów praktycznych a zarazem przekonują dowodnie, że taka forma magnesu

więcej może podnosić żelaza lub stali, niż magnes sztabowy o tym samym przekroju, ciężarze i natężeniu magnetycznym. Wnosimy ztąd, że absolutne „natężenie” ma-

gnesu naukowo nie da się zmierzyć ciężarem żelaza lub stali, które magnes może unieść, lecz ilością wolnego magnetyzmu na każdym biegunie. Jak się mierzy i oblicza ową ilość wolnego magnetyzmu pokazemy dopiero wtedy, gdy uczeń opanuje początki przedmiotu. Tymczasem z łatwością pojąć można, że przy danym natężeniu albo sile przyciągającej każdego bieguna magnesu, gdy oba bieguny mogą swobodnie i jednocześnie działać na ciało przyciągane, ciężar podniesiony może być większy niż wtedy, gdy każdy biegun działa z osobna w tym samym czasie. Za porównanie niechaj nam posłuży taki przykład: jeżeli człowiek jedną ręką podnosi określony ciężar, tedy podnieść ciężar przeszło dwa razy większy, jeśli obie jego ręce jednocześnie i skutecznie będą mogły zostać użyte do podnoszenia. Ciężar przeto, który magnes unieść zdoła, zależy nietylko od natężenia jego biegunów, lecz i od kształtu magnesu, czyli od swobody, z jaką natężenie magnetyczne jednego lub obu biegunów daje się zastosować do podnoszenia ciężaru. Bardzo dobra podkowa magnesowa może podnieść ilość miękkiego kutego żelaza blisko dwadzieścia razy przewyższającą ciężar jej własny; jestto przeszło cztery razy więcej od tego, co może unieść prosta sztaba magnesowa zrobiona z tego samego materiału i o tych samych wymiarach liniowych.

Złożone podkowy magnesowe. Dla tych samych przyczyn, które wyluszczyliśmy w rozdziale o złożonych sztabach magnesowych, kiedy potrzebujemy bardzo mocnej i trwałej podkowy magnesowej, uciekamy się do urządzenia, w którym składamy razem znaczną liczbę cienkich blaszek stalowych namagnesowanych. Na-

leży jednak o tem pamiętać (o przyczynach powiemy później, gdy będzie mowa o indukcyi magnetycznej), że ciężar żelaza przyciąganego i podnoszonego przez magnes złożony, mniejszym jest od sumy ciężarów podnoszonych przez każdą ze sztabek pojedynczych, z których się magnes składa. Chcąc się o tem przekonać doświadczalnie, należy zważać na to, by kotwica **K** szczelnie przylegała do końców **N** i **S** wszystkich płytek stanowiących magnes złożony, nie zaś do jednej tylko płytki

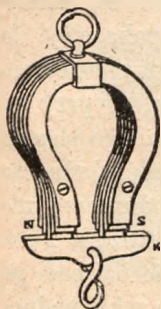


Fig. 19. Złożony magnes w kształcie podkowy z kotwicą.

Magnes Jamina. Składa się ze znacznej liczby cienkich warstw stali używanej na sprężyny do zegarków, które to warstwy w kierunku podłużnym zostały mocno namagnesowane i ułożone tak, że bieguny jednako-

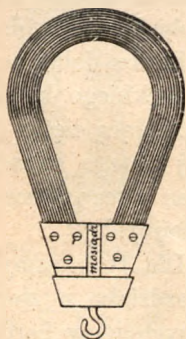


Fig. 20. Magnes Jamina.

we leżą na sobie; tak powstały magnes sztabowy zgina się w podkową żądaną, końce zaś łączą się za pomocą dobrze przylegającej nasady z miękkiego żelaza. Taki magnes zowie się liściastym, gdy poprzedni (fig. 19) możnaby nazwać blaszkowym.

Doświadczenie IV. A teraz wykonamy ciekawe i doniosłe doświadczenie. Zawieśmy na haczyku kotwicy jakieś naczynie lub talerz od wagi

i obciążamy je stopniowo ziarenkami zwykłego śrutu № 6. Ostatecznie magnes będzie podnosił ciężar znacznie ~~wyższy~~ niż na początku; lecz niech tylko kotwica odpadnie od magnesu, a wnet siła przyciągająca spadnie do wartości pierwotnej albo nieco poniżej. Tak szczególne zachowanie, nie znalazło dotąd w nauce wystarczającego objaśnienia.

Trwałe podkowy magnesowe ze stali wielce się przydają, gdy żądamy potężnego magnetyzmu skupionego, bez uciekania się do elektromagnesów. W t. zw. zapisywacz syfonowym (Siphon recorder) *), który to przyrząd wprowadzony został przez sir Williama Thomsona do odbierania depesz przesyłanych przez liny podmorskie, w maszynach de Méritens'a wytwarzających prąd zmienny do oświetlania latarni morskich na przyładku Fore (w. Wight) lub na wyspie Majowej (w pobliżu Edynburga) tudzież w niektórych innych rodzajach przenośników i odbieraczy telegraficznych i telefonicznych znajdujemy ten sam rodzaj magnesów.

Pozioma igła magnesowa. Pożyteczny ten przyrząd utworzony z cienkiej sztabki stalowej namagnesowanej zazwyczaj ma postać romba wydłużonego, w którego środku zrobiony został otwór niewielki; w otworze tym mieści się kołpaczek agatowy, szklany lub brązowy stosownie do żądanego stopnia czułości. Kołpaczkiem tym osadzamy igłę na cienkiem ostrzu stalowem hartowanem umocowanem na nóżce drewnianej lub mosiężnej; w ten sposób igła może się obracać w płaszczyźnie poziomej z możliwie małym oporem (patrz fig. 21 na str. 24).

*) Opis tego przyrządu ciekawy czytelnik znajdzie w końcu tej książki. (Przyp. tłum.).

Taka forma magnesu w wysokim stopniu nadaje się do przyrządów służących do wykrywania i mierzenia prądów elektrycznych. Umieszczona na róży wiatrów sta-

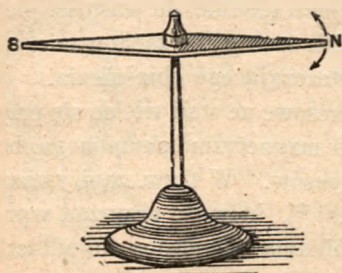


Fig. 21. Pozioma igła magnesowa.

nowi ona dobrze znany kompas okrętowy, używany do kierowania statkiem; bez tej małej i prostej igielki magnesowej żeglarz z pewnością miałby drogę o wiele trudniejszą i niebezpieczniejszą.

W tej formie środek igły magnesowej tak jest osadzony i podparty, że igła obracać się może swobodnie tylko w pł-

Igła pionowa albo igła

nachyleń. W tej formie

środek igły magnesowej tak jest osadzony i podparty, że igła obracać się może swobodnie tylko w pł-

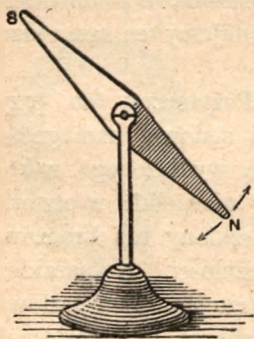


Fig. 22. Igła nachyleń na nóżce.

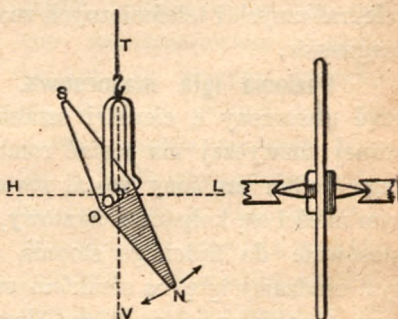


Fig. 23. Igła nachyleń z zawieszeniem, boczne z łożyskiem.

szezyńnie pionowej. Igła ta w ogólności posiada ten sam kształt i budowę co igła pozioma, różnica polega głównie

na umocowaniu środka, przez który w tym razie przeciągnięto cienką oś sterzącą z obu stron magnesu (fig. 22); albo też końce osi mogą być zaostrome i opierać się w rodzaju łożyska kształtu \sphericalangle z agatu, brązu lub szkła (jak fig. 23 i 24).

Prosty telegraf igielkowy, jaki zwykle bywa używany na wielu stacjach kolejowych i sygnałowych, jest praktycznym zastosowaniem tej formy igły; później skoro przejdziemy do opisu ziemi jako magnesu, poznamy zajmujący przyrząd naukowy zwany „inklinatorium,” który również posiada taką igłę.

Doświadczenie V. Przyciąganie i odpychanie.

1). Zawieśmy prostą sztabę magnesową sposobem wskazanym na wykładzie poprzednim i poszukajmy jej biegunów **N** i **S**; poczem naznaczymy je.

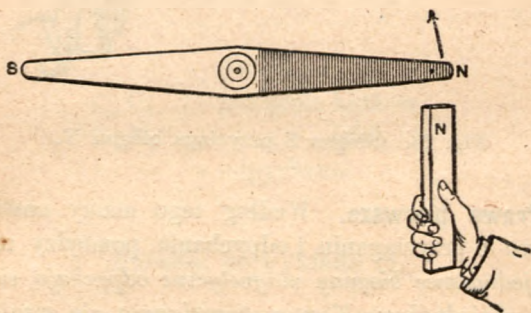


Fig. 25. Biegun północny odpycha biegun północny.

2). Bierzemy igłę magnesową poziomą lub pionową. Znajdźmy w ten sam sposób jej bieguny **N** i **S**, i naznaczymy je.

3). Przybliżamy teraz biegun **N** sztabki magnesowej do bieguna **N** igły i uważamy, że się ten ostatni odwraca od tamtego.

4). Przybliżmy biegun **S** sztabki magnesowej do bieguna **S** i znowu postrzegamy odpychanie igły (patrz fig. 25 na str. 23).

5). Przybliżamy teraz biegun **S** sztabki magnesowej do bieguna **N** igły, i postrzegamy, że igła teraz pochyła się ku sztabce dowodząc tem przyciągania.



Fig. 26. Biegun S przyciąga biegun N.

Prawo pierwsze. Według tego mamy następujące prawo o przyciąganiu i odpychaniu pomiędzy magnesami: *jednakowe bieguny magnetyczne odpychają się wzajemnie, niejednakowe bieguny przyciągają się wzajemnie.*

Biegunowość. Wyrażenie biegunowość (polarność) stosujemy wtenczas, gdy chcemy dać pojęcie o dwoistości albo dualizmie biegunów magnesu, lub odróżnić zjawiska na nich zachodzące.

Wzór pytania i odpowiedź.

Pytanie. Dwie igły do szycia zostały w ten sposób namagnesowane, że ucho każdej jest biegunem N. Igły wetknięte zostały ostrzami w korki tak, że po wrzuceniu do wody, pływają uchem na dół. Jak się zachowają względem siebie obie igły, skoro korki znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie?

Odpowiedź. Załączony szkic objaśnia układ zobopólny korków i igieł:

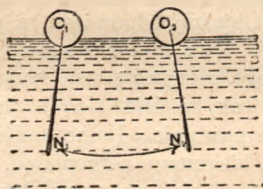


Fig. 27.

C₁ C₂ — położenie korków,
 N₁ N₂ — „ igieł,
 ← → — odpychanie.

Pytania do wykładu II.

1. Co to są magnesy trwałe? Z czego się robią i w jaki sposób?

2. Naszkicuj i opisz urządzenie prostej i złożonej sztaby magnesowej. W jaki sposób dowiódłbyś doświadczalnie, że tylko powierzchnia sztaby stalowej jest mocno namagnesowana? Wyprowadź z twojego doświadczenia, że korzyst-

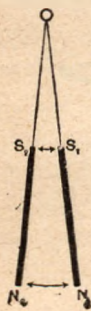
nem jest wykonywać mocne magnesy z cienkich pasków lub drutów stalowych.

3. Naskicuj i opisz urządzenie prostej i złożonej podkowy magnesowej. Wymień trzy praktyczne zastosowania podków magnesowych.

4. Naskicuj i opisz igłę poziomą i pionową, oraz i wymień dwa odrębne i praktyczne zastosowania każdej.

5. Jak będziesz postępował, chcąc stwierdzić prawo, że jednakowe bieguny odpychają się, niejednakowe zaś przyciągają? Wykonaj szkice objaśniające.

6. Stalowa igła do szycia jest przyciągana uchem do północnego bieguna magnesu. Jaki stan nabywa przez to igła? Zbliżając teraz ostrze jej do bieguna północnego igły magnesowej, powiedz, co teraz nastąpi? Objaśnij odpowiedź za pomocą rysunku.



7. Dwa długie magnesy z cienkiego drutu stalowego górnymi swymi końcami zawieszzone na niciach tak, że dolne ich końce znajdują się na jednym poziomie. Dolne końce, dajmy na to, są dwoma biegunami północnymi. Jak w takim razie będą oddziaływały na siebie magnesy? Odwróć teraz jeden z nich, i naskicuj działanie wzajemne w wypadku obecnym?

Fig. 28 do pytania 7.

8. Co rozumiesz ~~pod~~ biegunowością magnesu?

WYKŁAD III.

magnetycznych,

Treść: Krzywe magnetyczne albo linie sił. — Pola magnetyczne zewnętrzne i wewnętrzne. — Prawo drugie. — Graficzne przedstawienie pól magnetycznych. — Różne przypadki krzywych magnetycznych. — Oś magnetyczna i równik magnetyczny sztaby namagnesowanej. — Próbné pytanie i odpowiedź. — Pytania.

W wykładzie pierwszym opisaliśmy, jak się robią magnesy, w drugim przedstawiliśmy zwykle formy magnesów. Teraz damy wskazówki dokładniejsze, jak prostymi doświadczeniami dadzą się wykryć kierunki siły, wysyłanej przez magnes i otaczającej go zewsząd.

Doświadczenie VI. **Krzywe magnetyczne, albo linie siły magnetycznej.** Po pierwsze: bierze się długą sztabę magesową i krótką igłę pionową albo igłę nachyleń formy opisanej i narysowanej w ostatnim wykładzie; sztabę kładzie się płasko na stole poziomym i postument igły umieszcza się pośrodku sztaby magesowej.

Widzimy, że igła leży poziomo i biegunem północnym zwraca się w kierunku bieguna południowego sztaby magesowej. Przesuńmy teraz igłę wzdłuż sztaby w położenia wskazane na fig. 29. *) (patrz fig. 29 na str. 30).

Igła stopniowo w miarę zbliżania się do końców poczyna się obniżać i wreszcie w chwili, gdy staje wprost nad jednym z końców obiera kierunek zupełnie pionowy.

*) Niechaj uczeń pamięta o tem, że kiedy chodzi o wyobrażenie małej igły magesowej, tedy ostrze strzały zawsze oznacza biegun Pn.

Wyprowadźmy igłę po za ów koniec a zauważymy, iż wciąż pochylać się będzie ku pewnemu punktowi położonemu w sąsiedztwie najbliższego końca sztaby. Dowód

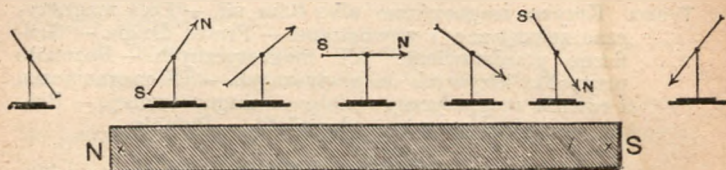


Fig. 29. Badanie siły magnetycznej ponad sztabą magnesową.

to oczywisty, że pomiędzy sztabą a igłą działają siły niewidzialne; położenie zaś igły wskazuje kierunek średni albo wypadkowy owych sił.

Powtóre: Nastręcza się przecież pytanie, czy te same zjawiska, które występują w górnej części sztaby magnesowej, zachodzą i w części dolnej?

Odpowiedź na to wypada najzupełniej twierdząco. Aby tego dowieść, zawieśmy sztabę magnesową $\frac{1}{2}$ lub $\frac{3}{4}$ metra długą nad stołem również poziomym. Weźmy teraz igłę (dla rozmaitości można wziąć formę pionową, o której była mowa na wykładzie ostatnim, albo też zawieśmy za środek na nici cienkiej krótką igłę do szycia namagnesowaną) i umieścmy ją, jak wskazuje załączona fig. 30, w rozmaitych położeniach u góry i u dołu sztaby. Znajdujemy wtedy, że igła nad sztabą i pod sztabą pochyla się ku biegunom w miarę zbliżania ku końcom i pozostaje poziomą w środku sztaby.

Potrzenie: Możliwe odrzec, iż dowodzi to tylko działania pewnej siły kierowniczej na igłę, skoro ta osta-

tnia znajduje się u góry i u dołu płaskiej sztaby magnesowej. Czy siła ta obecna jest ze wszystkich stron, oraz na końcach? Nie inaczej, istnieje ona w każdej płaszczyźnie. Pozostaje bowiem obrócić magnes kantem wysokim do góry, aby otrzymać wyniki podobne do poprzednio zauważonych. Możemy jednak uzyskać dowód jeszcze bardziej przekonujący, kładąc sztabkę magnesową napłask na kartce białego papieru położonego na stole,

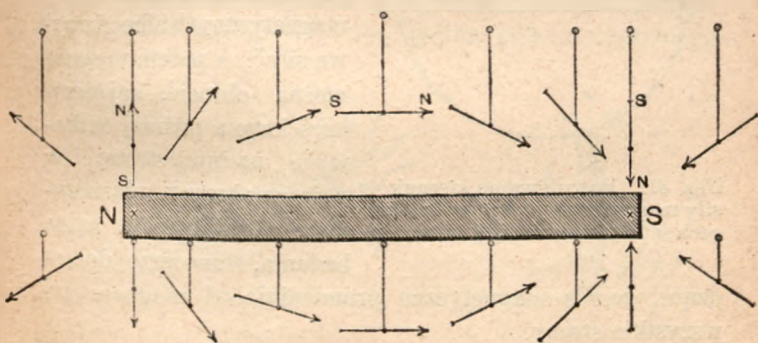


Fig. 30. Poszukiwanie kierunków siły magnetycznej pod i nad sztabą magnesową.

biorąc dalej do lewej ręki koniec nici, na której wisi krótka igła magnesowa i trzymając ją tak, aby igła prawie dotykała papieru. Teraz prowadzimy igłę na nici tak, aby zajęła rozmaite położenia wskazane na załączonym planie fig. 31, i ołówkiem trzymanym w prawej ręce, znaczymy małymi krzyżykami + miejsca, w których bieguny N i S igły uspakajają się. Usuwamy teraz igłę i łączymy krzyżyki krótkimi liniami; wtedy z obu stron sztaby ma-

gnesowej powstaną dwie krzywe fig. 31, będące graficznym obrazem kierunków wypadkowych sił magnetycznych, działających wzdłuż obu tych dróg. Można by pójść

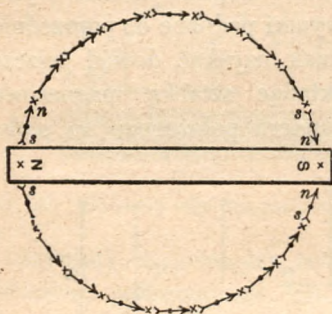


Fig. 31. Poszukiwanie kierunków siły magnetycznej z boków i w końcach sztaby magnesowej (w planie).

dalej, nadając igle dowolne początkowe położenia, i w ten sposób w tej samej płaszczyźnie naokoło magnesu wytknąć dla każdego położenia kierunki linii magnetycznych albo „krzywe siły”; a potem magnes można obrócić, najpierw częściowo a później całkowicie, na inną stronę i w

najrozmaitszych płaszczyznach wykonać te same badania, stanowczo dowo-

dzące, że siła magnetyczna promieniuje od magnesu na wszystkie strony.

Pole magnetyczne zewnętrzne i wewnętrzne. Siła magnetyczna, która, jak widzieliśmy, powstaje z każdej strony sztaby magnesowej, zdaniem fizyków i elektryków wychodzi z bieguna północnego, przebywa środowisko otaczające, wchodzi nanowo przez biegun południowy do magnesu, i przezeń odbywa swoją drogę do bieguna północnego, tworząc linię krzywą zwartą.

Prawo drugie. *Niemasz linii magnetycznej albo krzywej siły magnetycznej, któraby mogła istnieć, nie tworząc zupełnie zawartego obwodu, linie zaś magnetyczne lub krzywe nie mogą się ani przecinać, ani krzyżować ani*

też przenikać wzajemnie. A zatem nie można nigdy znaleźć lub utworzyć magnesu o jednym tylko biegunie. Pewna część obwodu magnetycznego (ta mianowicie, którą możemy sobie wyobrazić na zasadzie doświadczeń poprzednich i następnych) leży na zewnątrz magnesu, pozostała zaś część obwodu leży wewnątrz magnesu. Przestrzeń na zewnątrz magnesu, przez którą działa jego magnetyzm (wskazana graficznie przez linije albo krzywe siły w doświadczeniach poprzedzających i następnych) nosi miano pola zewnętrznego

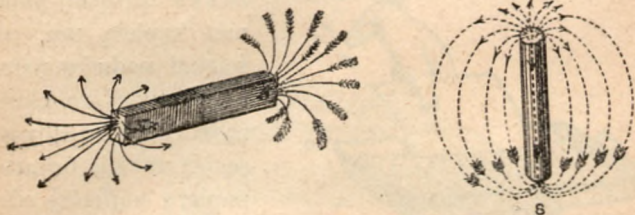


Fig. 32 i i 33. Magnetyczne linije sił wychodzące i wchodzące ze wszystkich stron do magnesu.

albo poprostu pola, gdy część wewnętrzną zowie się polem wewnętrznem. Ponieważ przekrój pola wewnętrznego albo innemi słowy przekrój magnesu w istocie jest mniejszy od pola zewnętrznego albo powietrza, przyrodzona zaś zdolność przyjmowania i przewodzenia linij sił jest większa, przeto z konieczności w okolicy, gdzie linije sił opuszczają biegun północny N lub wchodzą do bieguna południowego S, następuje gromadzenie się i zagęszczanie tych linij. Z tego powodu przekonano się, że magnetyzm na biegu-

nach jest o wiele mocniejszy niż w innych częściach pola zewnętrznego. Zjawisko to zupełnie dobrze uzmysławiają załączone figury 32 i 33 na str. 33, na których magnes jest jakby kołczanem ze strzałami wchodzącymi przez biegun południowy i wychodzącymi z bieguna północnego.

Doświadczenie VII. Obraz graficzny pól magnetycznych. Chcąc graficznie przedstawić pole magnetyczne wytworzone przez magnesy proste i złożone, weź ćwiartkę papieru białego dobrze sprasowanego (nie satynowanego) i zanurz ją na chwilę w kąpielu białej parafiny roztopionej. Następnie zlekka otrząśnij papier nad kąpielą tak, aby ściekał nadmiar parafiny, i zawieś na chwilę za jeden koniec, aby wyszeł; takich ćwiartek papieru najlepiej odrazu przygotować większą liczbę.

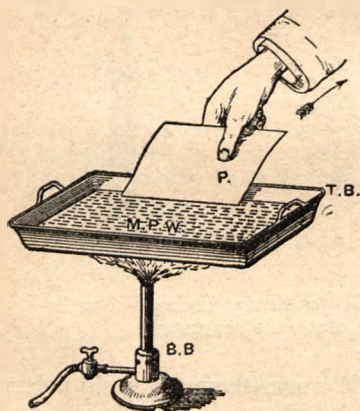


Fig. 34. Pokrywanie papieru parafiną.
P — oznacza papier, T B — blachę,
M P W — stopioną parafinę, B B —
palnik Bunsena.

Polóż teraz na stole jeden lub więcej magnesów i obok nich po obu stronach kawałki drzewa tej samej wielkości co magnesy; na to kładzie się ów papier. Teraz przez siteczko lub woreczek muslinowy, należy z wysokości półmetra wysiać na papier opilki żelazne, uderzając jednocześnie zlekka po stole.

Postrzegamy odrazu, że opilki układają się pomiędzy biegunami magnesów w postaci krzywych, podobnych do tych, jakie mieliśmy w doświadczeniu VI. Istotnie, każda odrobina żelaza pod wpływem magnetycznego pola zewnętrznego wytworzonego przez jeden lub więcej magnesów, skutkiem indukcji*) staje się małym magnesem i pod wpływem tego działania (patrz fig. 36 na str. 36) lub siły z konieczności obiera położenie zupełnie określone

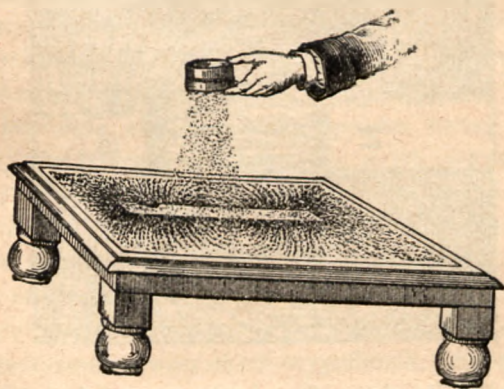


Fig. 35. Rozpraszanie opilek na papierze spreparowanym.

na podobieństwo igły magnesowej. Skoro na papierze rozsiano dostateczną ilość opilek tak, że zarisy linijne całego pola magnetycznego w tej płaszczyźnie dobrze się uwydatniły, przeprowadź w pobliżu magnesu (ale nie dotykając go) rozgrzaną kolbkę szklaną lub płomień

*) Takie działanie indukcyjne magnesów na żelazo zostanie objaśnione w jednym z wykładów późniejszych.

palnika Bunsenowskiego. Skutkiem tego parafina topi się i opilki utrwalają się w właściwych miejscach zachowując dla każdego punktu trwałą i piękną obraz kierunku wypadkowego, tudzież obraz względnego natężenia magnetycznych linii siły w płaszczyźnie papieru.

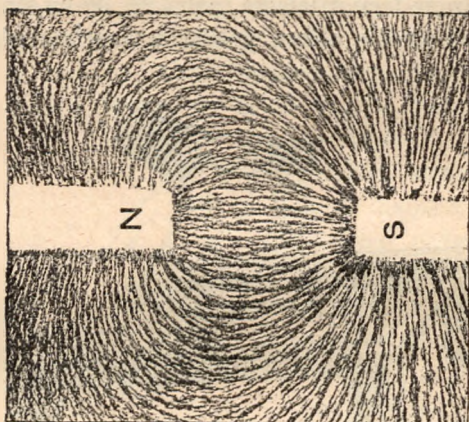


Fig. 36. Odbitka fotograficzna pola magnetycznego otrzymanego według wskazówek powyższych przez jednego z uczniów prof. Jamiesona.

A teraz przytoczymy jeszcze kilka sposobów, które pozwalają nam osiągnąć ten sam wynik. Miast papieru, można wziąć tafelkę szklaną pociągniętą cienką warstwą gumy arabskiej dobrze wysuszonej; skoro opilki zostały rozsiane po jej powierzchni (przy ciągłym uderzaniu) należy przepuścić nad nią słaby strumień pary, który rozmięknie gumę i tym sposobem utrwała opilki. Lub też za-

miast papieru parafinowanego można wziąć dobrze znany papier niebieski zabarwiony błękitem pruskim, używany przez rysowników do światłodruków. Skoro opilki zostały na nim rozsiane, całość wystawia się na krótki przeciąg czasu na światło słoneczne lub łukowe elektryczne. Następnie opilki otrząsają się i papier zmywa się roztworem utrwalającym, wobec czego krzywe występują jako białe linie na tle niebieskiem.

Rozmaite wypadki krzywych magnetycznych. Następne figury 37—43 mają wyobrażać kilka prostszych i popolitszych wypadków pól magnetycznych. Odtwarzanie ich i pokazanie znacznej liczbie uczniów daje się skutecznie z łatwością, albo za pomocą sposobu wyżej przytoczonego, albo latarni czarnoksięzkiej; w tak ciekawy i pouczający sposób można okazać słuchaczom stopniowe powstawanie linii pola. Każdy z rysunków następujących uczniów powinien starannie przerysować albo odważyć się na samodzielne otrzymanie na drodze doświadczalnej, aby przekonać się naocznie o znaczeniu pierwszego i drugiego prawa magnetyzmu we wszystkich wypadkach. Skoro uczeń należycie zbadał prawa indukcji magnetycznej i pól magnetycznych, wytworzonych przez prądy elektryczne, nauczyciel powinien żądać od niego by naprzód oznaczył kierunek i względne natężenie pól magnetycznych, które wyniknąć muszą z działania rozmaitych kombinacji trwałych magnesów i elektromagnesów stalowych lub żelaznych najrozmaiciej położonych względem pola magnetycznego.

Rys. 37—43.

Oś magnetyczna i równik sztaby magnesowej. Linia prosta łącząca oba bieguny magnesu nazywa się osią ma-

gnetyczną; linia wytworzona na powierzchni magnesu przez płaszczyznę przecinającą go prostopadłe w środku tej osi

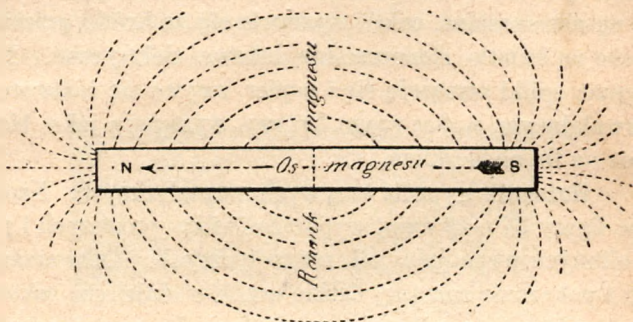


Fig. 37 Prosta sztaba magnesowa.

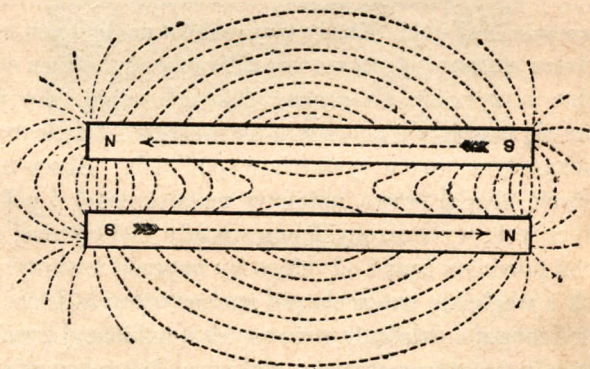


Fig. 38 Dwie sztaby magnesowe z przyległymi biegunami niejednakowemi.

a zatem w miejscu gdzie nie widać magnetyzmu wolnego lub zewnętrznego, gdzie zatem niema przyciągania opilek,

zowie się równikiem magnetycznym magnesu. Położenie obu tych linii urojonych, wyobraża rys. 37.

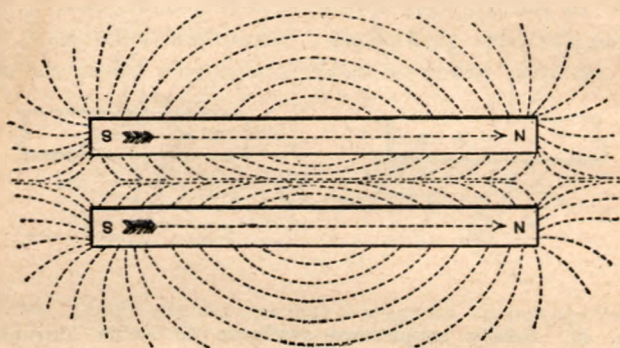


Fig. 39 Dwie sztaby magnesowe z przyległymi biegunami jednakowymi

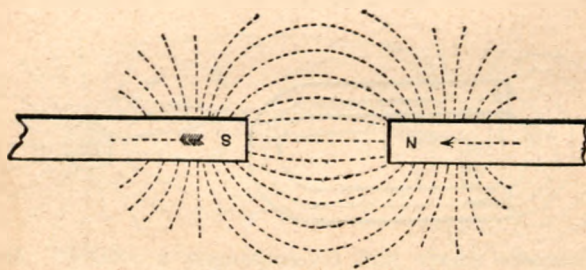


Fig. 40 Sztaby magnesowe zwrócone do siebie biegunami odmiennymi.

Wzór pytania i odpowiedzi. Igła pozioma kompasu umieszcza się na stole. Od północy zwracamy do niej bie-

gun północny sztaby magnesowej. Co się wtedy stanie, i dlaczego?

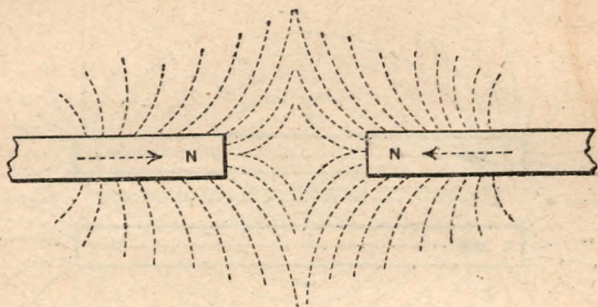


Fig. 41 Sztaby magnesowe zwrócone do siebie biegunami jednakowemi.

Uwaga. Na figurach 40 i 41, w celu zaoszczędzenia miejsca, opuszczono część pól pomiędzy biegunami N i S każdego magnesu.

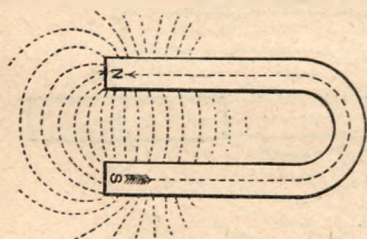


Fig. 42 Magnes w kształcie podkowy.

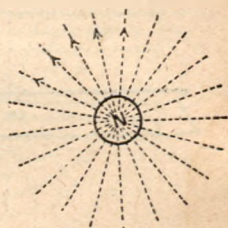


Fig. 43 Koniec okrągłej sztaby magnesowej.

Odpowiedź. Iгла obraca się dopóki nie zajmie położenia, w którym jej biegun południowy zatrzyma się

wprost bieguna północnego sztaby, a to z przyczyn następujących:

1). Igła kompasu z natury rzeczy zwraca się biegunem północnym na północ; skutkiem tego jej linie sił biegną w kierunku odwrotnym i napotykają linie magnetyczne siły sztaby magnezowej, która się zbliża, patrz fig. 44

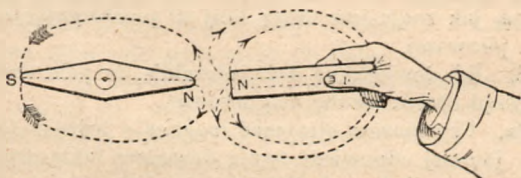


Fig. 44. Linie magnetyczne igły i magnesu sztabowego tworzą obwody zwarte niezależnie od siebie.

2) Sztaba magnezowa nie może się obracać, gdyż trzyma ją mocno ręka, zato igła swobodnie zawieszona, posłuszna siłom, albo parze sił działającej na nią, obraca

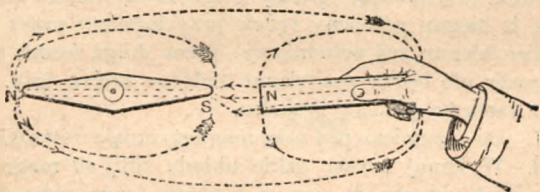


Fig. 45. Niektóre z magnetycznych linii sztaby magnezowej zamykają się przez igłę.

się aż do położenia, które z natury rzeczy pozwala największej liczbie linii sił wychodzących z magnesu, przejść przez nią, dopełniając tym sposobem zamknięcia naturalnego.

Pytania do wykładu III.

1. Objaśnij co rozumiesz ^{przez} pod polem magnetyczną. Wskaż dla wypadku sztaby magnesowej różnicę pomiędzy polem zewnętrznym a wewnętrznym.

2. Daną jest sztaba magnesowa i igła swobodnie zawieszona; jak znajdziesz drogę linii sił przebiegających na wewnątrz pierwszej.

3. Jak dowiedziesz doświadczalnie, że pole magnetyczne zewsząd otacza sztabę magnesową?

4a. Czy możesz otrzymać magnes o jednym tylko biegunie? Poprzej odpowiedź swoją dowodem faktycznym.

4b. Opowiedz w krótkości, jaka jest różnica w zachowaniu się linii sił na dwóch figurach 37 i 38.

5. Opisz słowem i rysunkiem zupełne urządzenie, które ci pozwoli za pomocą opilek żelaznych rozproszonych na płaszczyźnie odrysować pole sił otaczające sztabę namagnesowaną i przez to da trwały jego obraz.

6. Długa wstążka stalowa hartowana, została namagnesowana; przesuwając igielkę magnesową wzdłuż wstążki, ujrzysz, iż biegun północny będzie przyciągnięty przez jeden jej koniec, biegun zaś południowy—przez drugi, środek wstążki na pozór nie będzie przyciągał żadnego końca igły. Wytlómacz rzecz za pomocą rysunku.

7. Co rozumiesz pod osi~~ą~~ magnetyczną i równik~~iem~~?

8. Wykonaj czysty szkic układu linii sił magnetycznych w tych razach gdy mamy: 1) sztabę magnesową; 2) dwie równoległe sztaby magnesowe, których bieguny odienne położone są obok siebie; 3) dwie równoległe sztaby magnesowe, których bieguny jednoimienne leżą obok siebie.

9. Wykonaj czysty szkic układu linii sił magnetycznych w wypadkach: 1) podkowy magnesowej 2) dwóch sztab magnesowych, położonych na linii prostej tak, że bieguny niejednakowe znajdują się obok siebie; 3) dwu sztab magne-

sowych, których bieguny jednakowe położone są obok siebie; 4) gdy koniec sztaby magnesowej ma przekrój okrągły.

10. Przypuśćmy, że biegun południowy sztaby magnesowej A zbliżony został do bieguna północnego sztaby magnesowej B; jaka wtedy nastąpi zmiana w kierunkach linii sił naokoło A i B i z jakiego powodu? Objaśnij to za pomocą szkicu, który ma okazać: 1) stan naturalny pól skoro A i B będą zdala od siebie; 2) skoro będą się znajdowały w pobliżu siebie na jednej linii prostej; 3) skoro A i B znajdą się w pobliżu siebie, ale prostopadle do siebie.

11. Trzy zupełnie jednakowe sztaby magnesowe postawione zostały na stole poziomym. Na górnych końcach, z których dwa są biegunami północnymi, trzeci jest biegunem południowym, położono płytę szklaną i na nią nasypało opilek żelaznych. Wskaż na rysunku przebieg linii sił, za pomocą opilek żelaznych.

WYKŁAD IV.

Treść: Teorya molekularna magnesowania. — Nasylenie magnetyczne. — Zdolność zatrzymywania i opór. — Wpływ wstrząśnienia na magnesowanie. — Wpływ temperatury na magnesowanie. — Pytania.

Doświadczenia VIII. Teorya molekularna magnesowania. Aby ułatwić zrozumienie tego co nastąpi, jeżeli będziemy magnesowali kawałek żelaza lub stali, weźmy rurkę szklaną (25 do 30 cm. długą i 1,5 cm. szeroką) i napełnijmy ją luźno opilkami ze stali lub hartowanego żelaza. Końce zatkajmy korkami i wstrząśnijmy opilki. *Przypuśćmy, że każda opilka jest magnesem.*

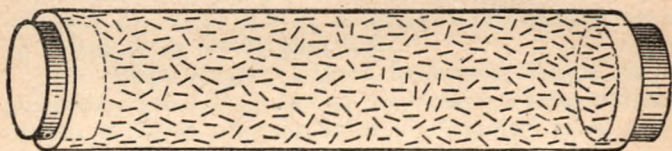


Fig. 46. Rurka szklana z opilkami żelaznymi nieuszykowanymi.

Wtedy opilki przedstawiają widok załączony — innymi słowy nie układają się w pewnym szyku określonym lecz pomieszczone są zupełnie przypadkowo. Przedewszystkiem zbliżmy tę rurkę z opilkami do igły kompasu a znajdziemy, że każdy jej koniec przyciąga i w równym stopniu doznaje przyciągania od obu końców igły swobodnie zawieszonej. Lub też zawieśmy igłę na nici i kółku (zupełnie jak to uczyniliśmy ze sztabą stalową w pierwszym wykla-

dzie) a znajdziemy, że zachowanie się jej jest nieokreślone w każdym położeniu. Wskazuje to, że z opilek nie wychodzi wcale wolny magnetyzm albo, wyrażając się pospolicie, że rurka z opilkami jest niemagnetyczna.

Powtóre: wprowadźmy teraz rurkę do wnętrza spiralnej z drutu miedzianego izolowanego, po którym przebiega mocny prąd elektryczny i namagnesujmy opilki w całości sposobem wskazanym w pierwszym wykładzie, poczem zbliżmy rurkę do igły kompasu. Teraz znajdujemy, że jeden jej koniec energicznie odpycha biegun północny igły i mocno przyciąga biegun południowy, gdy tymczasem drugi koniec rurki odpycha biegun południowy i przyciąga biegun Pn. wszystkie te działania są podobne do działań trwałego magnesu sztabowego *) (patrz fig. 48).

Albo zawieśmy rurkę na nici i kółku jak poprzednio: wtedy zawsze ona obierze taki stan równowagi, że jednym końcem wskazywać będzie północ, drugim południe, zupełnie jak to czyni swobodnie zawieszony trwały magnes sztabowy.

Potrzenie: naznaczmy jeden koniec rurki, dajmy ten, który wskazuje północ, kredą lub atramentem. Potrząśnijmy silnie rurkę tak, aby żelazne opilki doskonale się przemieszały, poczem koniec naznaczony zbliżajmy po kolei do każdego końca igły. Znajdziemy, że on w równym stopniu przyciąga oba końce (to samo zjawisko występuje dla końca nienaznaczonego) zupełnie jak w do-

*) Chcąc się przekonać w zupełności czy ciało jest magnesowane lub nie, t. j. czy posiada wolny magnetyzm albo biegunowość magnetyczną, należy baczyć na odpychanie biegunów igły. Nigdy nie można polegać wyłącznie na przyciąganiu.

świadczeniu pierwszym. Albo też zawieśmy rurkę jak poprzednio i wtedy zachowanie się jej będzie obojętne w każdym położeniu, co pozwala wnosić, że cały wolny magnetyzm lub cała biegunowość dająca się przedtem widzieć znikły z opilek. Całość nie jest więc magnezem w zwykłym tego słowa znaczeniu, gdyż opilki w całości nie stały się magnetycznymi. To co nastąpiło daje się objaśnić w sposób następujący. W pierwszym i trzecim wypadku opilki żelazne ułożyły się w taki sposób, dodajmy — zupełnie bezładnie, że linie sił wychodzące z każdej odrobiny żelaza obrały sobie wygodniejszą i krótszą drogę przez swych sąsiadów najbliższych. Ich linie magnetyczne zwarły się przytem ze sobą zupełnie jakby to były grupy z trzech lub czterech magnesów.

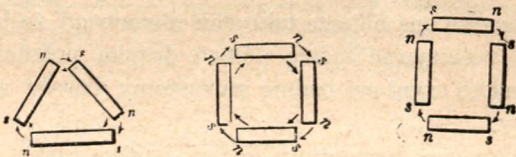


Fig. 47. Krótkie obwody magnetyczne w małych magnesach, przedstawiające stan obojętny cząsteczek w ciele magnetycznym.

Naturalnym przeto warunkom tworzenia się magnetycznego układu linii sił stało się tu zadość przez krótkie zamknięcie linii sił pomiędzy wszystkimi sąsiednimi grupami małych magnesów lub opilek, które przestały już dążyć do wysyłania swoich linii w przestrzeń zewnętrzną. Innemi słowy całe pole było zupełnie wewnętrzne bez wolnego magnetyzmu.

W wypadku drugim opilki obróciły się albo ułożyły symetrycznie (każda z nich znalazła się albo na jednej linii z sąsiednią albo równoległe do niej) i skutkiem tego linie magnetyczne, wybiegające z szeregu biegunów północnych w środku rurki, najwygodniejszą drogę znajdują przez poprzedzających sąsiadów i tak ciągle aż do północnego końca rurki. Wobec tego linie sił szybko skupiają się liczebnie, każda bowiem opilka lub magnes nie tylko wysyła własną wiązkę linii ale przewodzi dalej linie sił wychodzące z opilek położonych tuż za nią.

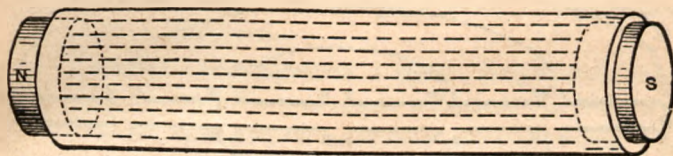


Fig. 48. Rurka szklana z opilkami żelaznymi uszykowanymi przez magnesowanie.

Bezpośrednim następstwem odpychania jakie wywierają na siebie bieguny jednoimienne albo biegnące w tym samym kierunku linie sił, jest wychodzenie niektórych linii nazewnątrz, zanim osiągną końca rurki. Te zaś, które w rzeczywistości dosięgły końca, nie mają innego ujścia nad powietrze, wobec czego drogi ich zamykają się na końcach przeciwnych, czyli na wolnych biegunach południowych. Takie zachowanie się w wypadku drugim, przedstawia w zakresie powiększonym fig. 49, na której wskazane są dwa szeregi opilek spolaryzowanych lub małych magnesów, linie zaś kropkowane zewnętrzne przed-

stawiają pole zewnętrzne. Świetne potwierdzenie znajdują wnioski powyższe w rysunkach krzywych magnetycznych podanych na końcu wykładu ostatniego. W innym wielce zajmującym doświadczeniu, podjętem w celu okazania owego obrotu cząsteczek żelaza naokoło własnej osi w czasie magnesowania, drobne cząsteczki magnetycznego tlenku żelaza mieszają się z wodą i razem nalewają do rurki szklanej opatrzonej w przezroczyste korki szklane. Sko-

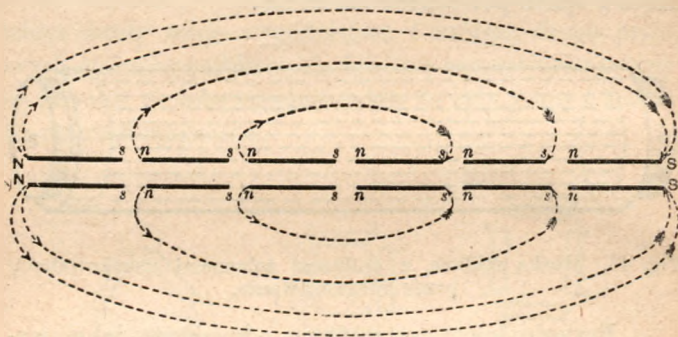


Fig. 49. Obraz układu opilek namagnesowanych w rurce szklanej lub też cząsteczek ciała magnetycznego (w powiększeniu).

ro rurka została wstrząśnięta, światła nie widać na jej końcu przednim, wprowadźmy atoli rurkę do spiralnej i prześlijmy prąd elektryczny przez drut, tak żeby cząsteczki żelaza stały się magnetycznymi, a wnet postrzeżem światło gdyż cząsteczki ułożyły się, jak to wskazują dwie ostatnie figury, w długie szeregi i w ten sposób okazują opór mniejszy dla promieni światła.

Nasylenie magnetyczne. W razie jednolitej sztaby stalowej cząsteczek, z których się ona składa, znajdują się w podobnym stanie nieprawidłowej mieszaniny ^{położone do} ~~czą~~ stecek hartowanego żelaza lub stali w rurce szklanej, lecz zetknięcie ich jest o wiele szczelniejsze i trwalsze. Przy pierwszym pocieraniu sztaby magnesem trwałym niektóre z cząsteczek obróciły się nieco, i w stanie tym pozostały; przy drugim pocieraniu obróciły się jeszcze więcej; te zaś które już się obróciły, obracają się w dalszym ciągu o kąt jeszcze większy i t. d., aż wszystkie cząsteczki obróciły się jak na ostatnich rysunkach; wtedy sztaba nazywa się nasyconą, albo całkowicie namagnesowaną i magnetyzmu już więcej nie przyjmuje.

Zdolność zatrzymywania i opór. Sztywność, jaką cząsteczki posiadają w tym stanie wymuszonym (stan wysiłu), daje wyobrażenie o zdolności zatrzymywania magnetyzmu przez dany materiał.

W ogólności zdolność zatrzymywania ciała magneso- wanego jest tem większa, im większy jest jego opór wobec magnesowania. Tak np. im stal jest hartowniejsza, tem trudniej daje się magnesować, ale jej zdolność zachowa- nia magnetyzmu odpowiednio do tego rośnie. Tłumaczy- my to sobie tem, że cząsteczki stali zahartowanej są bar- dzo skupione, a tem samem trudniej się dają wyprowa- dzić ze swojego stanu naturalnego; skoro to jednak raz nastąpiło, wtedy tarcie wewnętrzne międzycząsteczkowe staje na przeszkodzie powrotowi cząsteczek do stanu nor- malnego albo obojętnego.

Doświadczenia IX. Namagnesuj po kolei najpierw sztabę stalową zahartowaną, a potem sztabę z miękkiego

żelaza kutego, używając do tego spiralnej z drutu i prądu o natężeniu tem samym co w odczycie pierwszym. Skoro obie sztaby wystawiono na magnesujący wpływ prądu elektrycznego, zważmy teraz jaki ciężar każda z nich przyciąga i podnosi. Znajdujemy, że sztaba kutożelazna podnosi ciężar o wiele większy niż sztaba ze stali, co stanowi dowód oczywisty, iż żelazo magnesuje się o wiele łatwiej i silniej od stali. Dlatego stal opiera się magnesowaniu o wiele energiczniej niż żelazo i ztąd utrzymują, że jej naturalny opór magnetyczny większy jest od oporu żelaza*)

Działanie wstrząśnień na magnesowanie. Namagnesujmy teraz na nowo każdą ze sztab po kolei, wyjmijmy ze spiralnej i rzućmy kilka razy silnie *na ziemię*; za-

*) Do niedawna większość pisarzy używała jednej nazwy „siła koercyi“ (coercive force, Coercitivkraft) na oznaczenie obu własności ciał a m. opierania się magnesowaniu i zachowywania magnetyzmu; jednakże wyrażenia opór magnetyczny (magnetic resistance) i zdolność zatrzymywania (retentivity) które obecnie wchodzą coraz bardziej w użycie, są bezwątpienia właściwsze. Pojęcie oporu magnetycznego ma znaczenie bardzo doniosłe i daje się zastosować do wszelkich ciał, przez które przechodzą magnetyczne linie siły. Dla oporów magnetycznych niektórych ciał (albo dla ich wielkości odwrotnej, która się zowie przenikalnością) na zasadzie starannych i dokładnych doświadczeń wyprowadzono tablice podawane w nowszych wyższych podręcznikach magnetyzmu. Patrz o „przenikalności“ w dziele Ewinga „Magnetische Induktion im Eisen u. verwandten Metallen,“ str. 14, u Uppenborna w kalendarzu dla elektrotechników r. 1896 str. 55 i 62 część dodatkowa. Nie jestto jednak główną przyczyną, dla której jądro maszyn dynamoelektrycznych tak się buduje; ma to raczej zapobiegać tworzeniu się szkodliwych prądów indukcyjnych w masywnych jądrach żelaznych. (Patrz w 2-jej części niniejszej książki „prądy Foucault’a“).

miast tego można uderzać sztabę młotkiem, ażeby ją wprawić w drganie.

Badając wtedy jej magnetyzm opilkami lub igłą magnesową, znajdujemy, że miękkie żelazo kute straciło swój wolny magnetyzm, a hartowana stal pozostała jeszcze silnie magnetyczną. Cząsteczki sztaby żelaznej spoczywają luźno na sobie i dlatego łatwo obracają się, łatwiej więc wracają do stanu normalnego, niż cząsteczki sztaby stalowej. Zachowaniem swoim przypominają niezmiernie rurkę z opilkami żelaznemi. Najmniejsze bowiem uderzenie lub wstrząśnienie wystarcza tu do odmagnesowania miękkiego żelaza kutego. Z własności tej łatwego magnesowania się i odmagnesowywania szeroko korzystają w tych rzeczach gdy chodzi o praktyczne zastosowania elektryczności i magnetyzmu. Naprzykład w dobrze znanych aparatach telegraficznych Morse'a oraz w kolatkach elektrycznych, jądra elektromagnesów składają się z krótkich kawałków miękkiego żelaza, które magnesują się szybko słabemi prądami elektrycznemi i naodwrot szybko tracą swój magnetyzm, skoro prąd przestał przebiegać. Im krótszą jest sztaba, tem prędzej się magnesuje i odmagnesowuje. Podobnież jądra zbroi w maszynach dynamoelektrycznych prądu stałego zbudowane są z cienkich listewek miękkiego żelaza kutego po to, ażeby po kilkaset razy na minutę dawały się magnesować, odmagnesowywać i na nowo magnesować.

Działanie temperatury na magnesowanie. Widzieliśmy dopieroco, że skoro cząsteczki namagnesowanego żelaza lub stali mogą się swobodnie poruszać i ulegają drganiom, tedy ciała te tracą magnetyzm. Jeśli się ciało roz-

grzewa, cząsteczki jego poczynają drgać i w miarę wzrastania temperatury, drgania te stają się coraz częstsze; jednocześnie ciało się rozszerza i tym sposobem pozwala cząsteczkom swoim na większą swobodę ruchów*)

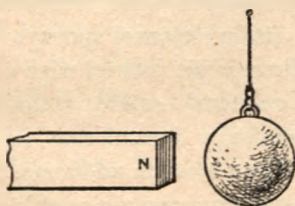


Fig. 50. Magnes i kula żelazna rozpalona do czerwoności.

Doświadczenia X. Skoro rozgrzejemy magnes stalowy do 100° C., znajdziemy, że on coś stracił ze swojego magnetyzmu. Podniemy temperaturę do 700° C. albo do jasnej czerwoności, a wtedy straci on całkowicie swój magnetyzm. Przeciwnie obniżając

temperaturę magnesu do punktu zamarzania albo do 0° C., wzmacniamy jego magnetyzm; atoli prof. S. P. Thompson podaje, że magnetyzm znika, skoro temperatura spada do 100° C. poniżej zera.

Rozgrzejmy dalej kulę z miękkiego żelaza do czerwoności, zawieśmy ją na łańcuszku lub drucie i zbliżmy do silnego magnesu (fig. 50); widzimy, że magnes nie przyciąga kuli, lecz skoro ta ostatnia oziębi się, wnet będzie przezeń mocno przyciąganą.

UWAGA. Przypuszczenie, że przez rozgrzanie siła zatrzymująca słabnie w skutek zwiększenia wahań cząsteczek, jeszcze nie tłómaczy nam szczególnego faktu, dowiedzio-

*) Ściśle biorąc, rozszerzanie jest wynikiem zwiększenia wahań cząsteczek pod wpływem wyższej temperatury nie zaś czemś od nich niezależnem jak możnaby sądzić z powyższego rozumowania.

nego przez doświadczenie powyższe, że właśnie żelazo po za określoną temperaturą „krytyczną“ około 800° C. wogóle już nie jest magnetycznem. Zjawisko to, które występuje zarówno dla stali jak dla innych ciał magnetycznych do tej pory nie znalazło wystarczającego objaśnienia.

Pytania do wykładu IV.

1) Rurkę szklaną z końcami naznaczonemi A i B, prawie wypełnioną stalowemi opiłkami pocierają kilkakrotnie biegunem północnym mocnego magnesu od A do B. Następnie zbliżają rurkę końcem B do bieguna południowego igły kompasowej. Jakie teraz działanie wywiera rurka na igłę? Rurkę teraz wstrząsają tak, aby się opiłki zmieszały i ponownie zbliżają do igły. Jakie teraz działanie wywiera ona na igłę? Dla czągo działanie na igłę w obu wypadkach jest rozmaite?

2) Rurka szklana, której końce zostały zaopatrzone w cienkie tafelki szklane, przezroczyste i równe, napełniona jest wodą i drobno podzielonym tlenkiem żalaza. Rurkę wstrząsają, i wtedy płomyk świecy zapalony w jednym jej końcu, staje się niewidzialny w drugim; skoro jednak rurkę ustawimy w mocnem polu magnetycznem, równoległe do linii sił, światło staje się zupełnie widocznem. Objaśnij to.

3) Jak potrafiłbyś narysować i opisać naturalny stan magnetyczny i wzajemny układ cząsteczek sztaby stalowej lub żelaznej nienamagnesowanej.

4) Jak sobie wystawisz zmianę, jaka zachodzi w sztabie stalowej niemagnetycznej, skoro się ją potrzebiegunem magnesu? Co rozumiesz ~~pod~~ ^{pod}biegunem magnesu? Zrób od ręki rysunek.

5) Objaśnij jak należy pojmować nasycenie magnetyczne sztaby żelaznej lub stalowej?

6) O hartowanej sztabie stalowej powiadają, że posiada w wyższym stopniu zdolności zatrzymywania magnetyzmu

czyli wyższą zachowalność niż jednakowej wielkości sztaba z miękkiego żelaza. Jak to objaśniesz?

7) Powiadają, że hartowana sztaba stalowa przedstawia opór większy, niż sztaba żelazna tejże wielkości i kształtu. Jak to objaśniesz?

8) Masz dwa pręty—jeden z miękkiego żelaza, drugi ze stali hartowanej, tudzież igłę kompasową i magnes sztabowy. Wskaż jakie doświadczenia należy wykonać środkami wiadomymi ci z poprzedniego, aby się przekonać, że jeden z prętów jest stalowy, drugi żelazny?

9) Sztaba stalowa hartowana i żelazna miękka kuta zostały namagnesowane aż do stopnia nasycenia. Następnie każdą z nich po wielekroć uderzaj mocno młotkiem. Co z tego wyniknie i dlaczego?

10) Czy kula żelazna rozżarzona do czerwoności będzie przyciągana przez mocny magnes. Co się stanie, jeśli rozżarzysz mocny magnes do czerwoności? Uzasadnij swoją odpowiedź w sposób zupełnie treściwy i zrozumiały.

11) Dwie sztaby magesowe położono na stole pod kątem prostym do siebie tak, że oś jednej przchodzi przez punkt środkowy drugiej; jednakże stykać się nie powinny. Na nich kładziemy kartkę papieru, na której rozproszyliśmy opiłki i wstrząsamy. Wykonaj obraz wskazujący jak teraz opiłki wyglądają.

WYKŁAD V.

Treść: Rozmieszczenie wolnego magnetyzmu w sztabie magnesowej. — Inne dowodzenie teoryi molekularnej magnesowania; rozłamywanie magnesu. — Zasłony (ekrany) magnetyczne, ciała magnetyczne i niemagnetyczne. — Nasaady biegunów. — Zbroje i kotwice. — Pytanie wzorowe i odpowiedź. — Pytania.

Rozmieszczenie wolnego magnetyzmu wzdłuż sztaby magnesowej. Patrząc na krzywe magnetyczne przedstawione w wykładzie III i pomnąc objaśnienie dane w ciągu wykładu IV co do przebiegu linii sił pomiędzy cząsteczkami tworzącymi namagnesowaną sztabę stalową, uczeń niewątpliwie pomyślał sobie, że stosunkowe natężenie lub rozmieszczenie wolnego magnetyzmu wzdłuż sztaby magnesowej rośnie od 0 pośrodku magnesu albo od linii obojętnej zwanej równikiem aż do pewnego maximum'u na biegunach i ztąd słabnie stopniowo ku końcom magnesu. Spróbujmy teraz fakta te jeszcze lepiej wyrozumieć sobie za pomocą dwu prostych doświadczeń.

Doświadczenie XI. Weź długą i mocną sztabę magnesową i pewną liczbę gwoździków z miękkiego żelaza.*) Potem zawieś lub oprzyj magnes i zacznij przyczepiać do jego dolnej części gwoździe naksztalt łańcucha jak wskazuje fig. 51. Znajdziesz, iż wzdłuż linii obojętnej albo równika magnesu gwoździe wcale nie są przyciągane, że

*) Najlepszemi po temu są małe sztyfty szewckie.

jednak liczba gwoździ przylegających do sztaby i do siebie wciąż rośnie w miarę posuwania się ku biegunom, w samym zaś końcu sztaby znowu mniej gwoździ przylega niż w pewnej krótkiej odległości od końca, co dowodzi, że ilość wolnego magnetyzmu stopniowo wzrasta od 0 na równiku aż do biegunów i wtedy cokolwiek spada. Pro-

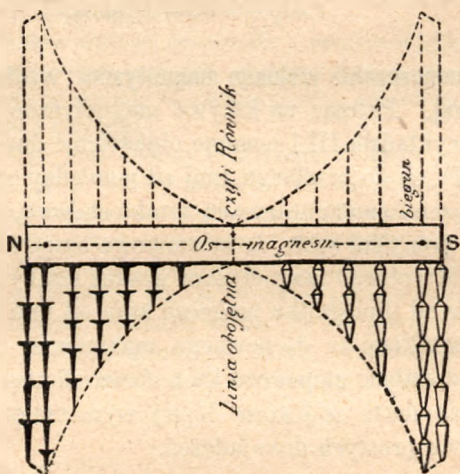


Fig. 51. Grube badanie stosunkowego rozmieszczenia wolnego magnetyzmu wzdłuż sztaby magnesowej.

stopadle do górnej strony sztaby magnesowej poprowadzone zostały linie kropkowane, których końce górne połączone linią krzywą również kropkowaną w celu graficznego przedstawienia stosunkowych ilości wolnego magnetyzmu istniejącego z tej strony, bo linie sił, jak ~~to~~ dowiedliśmy

w wykładzie III rozchodzą się od sztaby magnesowej na wszystkie strony.

Doświadczenie XII. Weź długą sztabę magnesową i ustaw ją pionowo (patrz fig. 52), biegunem południowym na dół.

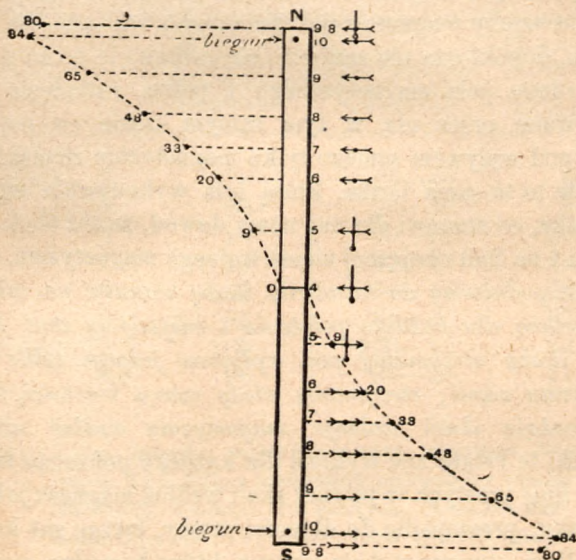


Fig. 52. Sprawdzenie rozmieszczenia wolnego magnetyzmu za pomocą wahnięć igły.

NB. Wszystkie strzałki na tej figurze powinny być odwrotnie skierowane.

Umieść dalej krótki magnes swobodnie obracający się (na ostrzu lub na zawieszeniu w punkcie równowagi) w płaszczyźnie poziomej i w rozmaitych położeniach naoko-

ło magnesu, zawsze jednak w pewnej stałej odległości od niego, — co wskazuje prawa strona figury.

Odchyl teraz igłę i, przytrzymując jej środek w każdym położeniu, policz pełne wahnięcia (tam i napowrót) wykonywane przez nią w ciągu danego czasu; albo innemi słowy, znajdź szybkość wahanja w każdym położeniu wzdłuż sztaby magnesowej. Teraz odsuwaj igłę od magnesu, dopóki ona nie znajdzie się całkowicie po za wpływem jego pola magnetycznego i policz wahnięcia wykonywane przez nią w tym samym czasie co poprzednio pod wpływem samego tylko magnetyzmu ziemskiego. Będzie to ta sama liczba, którą igła wykonywała wprost równika, co stanowi dla nas nowy dowód, że tuż obok magnesu i na linii obojętnej niema wolnego magnetyzmu. *Nareszcie podnieśmy do kwadratu liczbę wahań na minutę znaną dla każdego położenia i odejmijmy ztąd kwadrat liczby otrzymanej pod wpływem jednego tylko magnetyzmu ziemi; otrzymamy wtedy szereg wartości, które wyobrażają ilości wolnego magnetyzmu wzdłuż sztaby.* Wyniki te ostateczne wykreśl dla każdego położenia w postaci linii prostych w pewnej skali wzdłuż magnesu jak na rysunku, prostopadle do długości sztaby, łącząc zaś końce tych linii, otrzymasz dwie krzywe, których rzędne graficznie wyobrażają stosunkowe rozmieszczenie wolnego magnetyzmu wzdłuż jednej strony sztaby namagnesowanej albo względne liczby linii sił wychodzących z magnesu w punktach rozmaitych. *Naprzykład wystawmy sobie, że igła magnesowa daje 4 pełne wahnięcia (tam i napowrót) na minutę pod wpływem samego tylko magnetyzmu ziemskie-*

go, ale wprost bieguna sztaby magnezowej daje 10 wahnięć; na tenczas

$$(10^2 - 4^2) = 100 - 16 = 84.$$

Liczbę 84 wyobraża linia prosta przeprowadzona pod kątem prostym do biegunów magnesu. Podobnie postępuje się i dla innych położań. Ztąd:

Wahnięcia	Wahnięcia podniesione do kwadratu	Wahnięcia w kwadracie mniej wahnięcia ziemskie w kwadracie	Względne ilości magnetyzmu wolnego
Pośrodku 4	16	16—16	0
5	25	25—16	9
6	36	36—16	20
7	49	49—16	33
8	64	64—16	48
9	81	81—16	65
Na biegunie 10	100	100—16	84
9,8	96	96—16	81

UWAGA. Uczeń, któryby chciał powtórzyć powyższe doświadczenia XI i XII, z trudnością otrzymałby wyniki choć cokolwiek zbliżone do tamtych. Zamiast tego D-r. Kollert poleca dwa następujące sposoby sprawdzone przez siebie:

1-o. Zamiast gwoździ w doświadczeniu XI możemy wziąć kawałki miękkiego drutu żelaznego, krótkie i proste, blisko 2 cm. długie i 0,4 cm. grube (blisko 1,8 g. ciężkie), których końce obcinają się pilnikiem równo i prostopadłe do długości sztaby. W ten sposób ze sztabą magnezową 40 cm. | 4 cm. | 1 cm. p. Kollert otrzymał wyniki następujące: (patrz fig. 53).

2-o. Zwykła igła pozioma źle się waha na ostrzu skutkiem tarcia; krótka sztabka magnesowa zawieszona na nici bardzo blisko od magnesu bywa przezeń przyciągana całkowicie. Ale nawet po za temi dużemi wadami, wahania zwykłej igły magnesowej w sąsiedztwie mocniejszego magnesu są tak prędkie, że już nie dają się policzyć. By dopiąć celu należy wziąć dobrze namagnesowaną sztabę stalową blisko 0,1 cm. grubą i 2 cm. długą, oraz wprowadzić ją do wnętrza

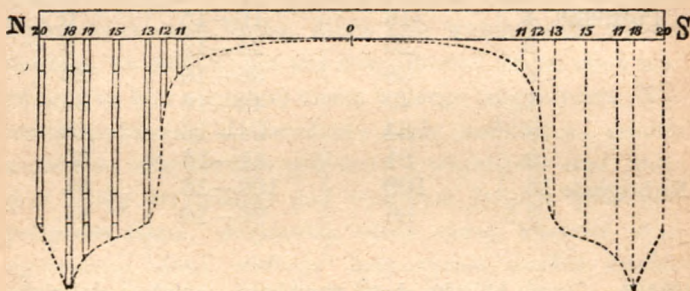


Fig. 53. Sprawdzenie względnego natężenia wolnego magnetyzmu zawieszonemi sztabkami żelaznemi.

trza rurki szklanej grubościenniej o świetle 0,1 cm., średnicy zewnętrznej 0,6 cm. i 3 cm. długiej, albo do końców jej przymocować małe kulki ołowiane (najlepiej sarni śrut przedziurawiony). Środek się obwiązuje prostą nicią kokonową 10 cm: długą i na niej zawieszają się przyrząd w jakikolwiek sposób. Podczas doświadczenia pilnować trzeba, ażeby równowaga igły w sąsiedztwie sztabki magnesowej była taka sama jak pod wyłącznym wpływem magne-

tyzmu ziemskiego. Z tego powodu punkt środkowy igły względem punktów północnej połowy sztaby powinien leżeć w południku magnetycznym

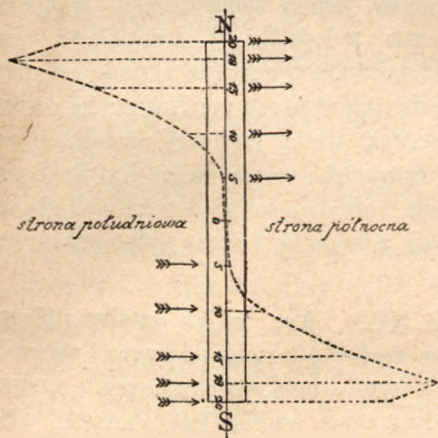


Fig. 54. Oznaczenie wolnego magnetyzmu za pomocą liczby wahnięć igły magnesowej.

ku północy i względem połowy południowej ku południowi od sztaby. Załączona fig. 54 wyobraża położenia igły w czasie każdego postrzeżenia pojedynczego. Krzywe wskazują nam w postaci graficznej wyniki otrzymane, które zestawione zostały w następującej tablicy. Korzystano przytem z tej samej sztaby co w razie 1^o, punkt zaś

środkowy sztabki wahnięć znajdował się zawsze w odległości 4 cm. od wężkiej strony sztabki magnesowej.

Wahnięcia	Wahnięcia podniesione do kwadratu	Wahnięcia do kwadratu mniej wahnięcia ziemskie do kwadratu	Względne ilości magnetyzmu wolnego
Pośrodku i w znacznej odległości od sztaby 4	16	16—16	0
5 „ „ 8,1	66	66—16	50
10 „ „ 33,3	1109	1109—16	1093
15 „ „ 60	3600	3600—16	3584
18 „ „ 77	5929	5929—16	5913
koniec „ 66,7	4449	4449—16	4433

Zresztą dokładnych wartości, jak się to pokaże później, nie daje nawet obserwacja liczby wahnięć.

Inne potwierdzenie teorii molekularnej magnetyzmu. Niejeden z was zadowolni się w zupełności tem, co przytoczyliśmy na ostatnim wykładzie o podobieństwie stanu opilek żelaznych hartowanych umieszczonych w rurce szklanej do cząsteczek sztaby stalowej namagnesowanej, że więc każda cząsteczka tej ostatniej jest doskonałym małym magnesem; pomimo to na dowód dodatkowo pozwolimy sobie tutaj zamieścić jeszcze jedno proste doświadczenie.

Doświadczenie XIII. Weź cienką sztabę stalową namagnesowaną albo szydelko namagnesowane i sprawdź bieguny zbliżając igłę kompasową, potem naznacz biegun północny. Złam tedy magnes wzdłuż linii obojętnej albo równika na dwie części i każdą połowę sprawdź ponownie igłą. Znajdziesz, że każda połowa jest zupełnym magnesem z biegunami N i S prawie tej samej mocy co całkowity magnes pierwotny. Biegun, który z początku był północnym, jest dotąd północnym, ten zaś, który z początku był południowym, pozostaje wciąż południowym, atoli w miejscu rozłamu otrzymaliśmy nowy biegun południowy i nowy biegun północny. Skoro rozłamiemy każdą z tych połów i sprawdzimy jak przedtem, otrzymamy cztery całkowite magnesy przedstawione na fig. 55. W ten sposób można postępować w dalszym ciągu i każdy kawałek łamać nanowo, aż dojdziemy do kawałków tak drobnych, iż nie dadzą się już podzielić. Bądź co bądź dochodzimy do przekonania, że każdy z tych najmniejszych kawałków

jest magnesem całkowitym. Z tego nie tylko wypada, że magnes żelazny lub stalowy składa się z nagromadzenia małych magnesów (cząsteczkowych), z których każdy jest

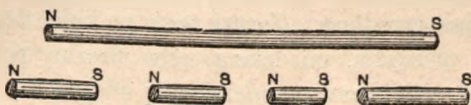


Fig. 55. Rozłamywanie magnesu na poparcie teorii magneso-
wania opartej na biegunowości cząsteczek.

magnesem całkowitym, lecz i to, że niemożliwym wogóle jest otrzymać magnes o jednym tylko biegunie.

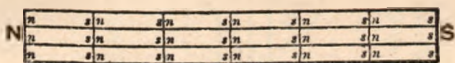


Fig. 56. Powiększony obraz układu cząsteczek biegunowych
w magnesie.

Rysunek ten powinien przyczynić się do zrozumienia uwag poprzednich i wykazać, że gdziekolwiek rozłamiemy magnes, z jednej strony rozłamu otrzymamy szereg biegunów północnych, z drugiej — szereg południowych.

Doświadczenie XIV. Zasłony magnetyczne; ciała magnetyczne i niemagnetyczne.

Umieść zwyczajną igłę kompasową na stole. Pod wpływem magnetyzmu ziemskiego wskazuje ona południe i północ, skoro tylko żadna odrobina żelaza miękkiego lub magnes nie zakłócają tego wpływu w sąsiedztwie. Następnie przybliż do środkowego punktu igły i na jednym z nią

poziomie od wschodu na zachód długą sztabę magesową, aż igła wychyli się ze swojego dawnego położenia naturalnego albo zera o 45 do 50°. Wprowadź teraz pomiędzy igłę a magnes deskę drewnianą: igła pozostaje wciąż odchylona jak przedtem. Zastąp teraz po kolei deskę tekturą, płytą mosiężną, miedzianą, albo flaszką pozbawioną powietrza — igła zawsze odchyła się w sposób jednaki.

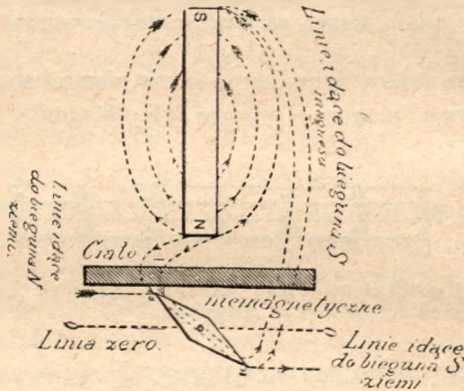


Fig 57. Magnes odchyła igłę kompasową nawet gdy pomiędzy niemi znajduje się ciało niemagnetyczne.

Zastąp teraz te ciała cieką tarczą z miękkiego żelaza, a odchylenie natychmiast się zmniejszy. Wprowadź bardzo grubą i dużą płytę miękkiego żelaza a wahania igły teraz schodzą prawie do 0, chociaż igła wciąż jeszcze pochyla się nieco do płyty żelaznej. Gruba płyta miękkiego żelaza, jest jakby zasłoną magnetyczną chroniącą igłę od działania linii sił magnetycznych wychodzących ze sztaby magesowej.

Widzimy, co do pierwszego wypadku, że deski i płyty drewniane, tekturowe, mosiężne, miedziane, ebonitowe i szklane nie hamują ani nawet w pewnym stopniu chronią od magnetycznych linii sił, które przechodzą pomiędzy magneselem a igłą lub naodwrot, zupełnie jakby pomiędzy nimi znajdowało się powietrze lub próżnia. Ztąd ciała te i wiele innych nazwano ciałami *niemagne-*

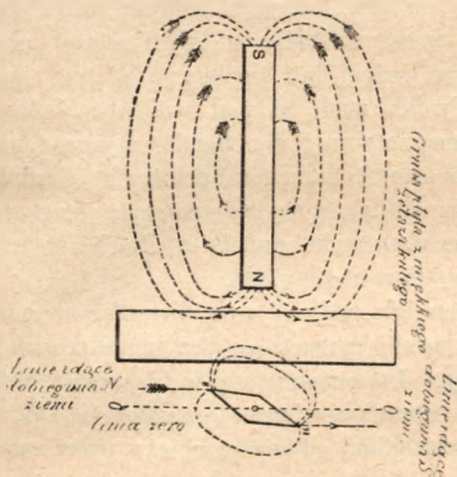


Fig. 58. Od magnetyzmu sztaby magnesowej zasłania igłę kompasową gruba płyta z miękkiego żelaza kutego.

tycznemi w przeciwieństwie do żelaza, stali, niklu, kobaltu, chromu, ceru i manganu, które są *magnetycznemi*, albo *magnesowalnemi*. Zjawisko to wielce przypomina nam działanie i oddziaływanie zawsze występujące pomiędzy igłą kompasową a magneselem, które obszernie zostało wyłożone w odpowiedzi na pytanie próbne w końcu wy-

kładu III. Zanim się magnes znajdzie w pobliżu igły, linije magnetyczne idące od niej (do biegunów ziemi i ztąd do biegunów igły) obracają igłę dopóty, aż linije powyższe zleją się z linijami magnetycznymi ziemi i przyjmą ten sam co one kierunek. Przypuśćmy dalej na chwilę, że magnetyzm ziemski wcale nie istnieje w chwili gdy sztaba magesowa (w sposób wyżej opisany) zbliżyła się do igły; wtenczas ostatnia wahać się będzie o całe 90° aż osiowe linije sił igły i sztaby magesowej znajdą się na jednej linii i pobiegną w tym samym kierunku. Wynika ztąd, że pod wpływem jednoczesnego działania magnetycznej siły ziemi i magesu na magnetyzm igły, ta ostatnia zająć musi położenie pośrednie, w którym jej linije sił dzielić się będą pomiędzy biegunami ziemi a magesem w stosunku do odpowiednich natężeń obu pól magnetycznych w okolicy igły.

Słowem igła pod wpływem dwu sił, a mianowicie siły ziemi i siły sztaby magesowej przyjmuje pewien kierunek wypadkowy. Im potężniejszą jest sztaba i bliższą igły, tem więcej ostatnia wychyla się z położenia O i, odpowiednio, tem więcej linij sił igły przebiega przez mages oraz ~~z~~ odwrotnie.

W drugim wypadku wszystkie linije sił, (które w pierwszym wypadku biegly od magesu do igły i przez nią) szukają drogi o oporze mniejszym przez stronę bliższą ~~do~~ grubej płyty miękkiego żelaza i dlatego nie dosięgają igły lub nie wywierają na nią wpływu żadnego. Siła ich służy do magesowania jednej części płyty. Podczas tej naturalnej czynności przechodzą one przez spolaryzowane cząsteczki żelaza, mając teraz krótszą drogę do dalsze-

go bieguna sztaby magesowej, niż przedtem przez igłę, jak to wskazuje figura poprzednia.

Ponieważ igła również jest magnesem i znajduje się tuż po drugiej stronie grubej płyty żelaznej, przeto wywiera działanie podobne, mając atoli swobodę ruchów wychyla się nieco z położenia obojętnego dopóki jej linije sił nie podzielią się odpowiednio do magnetyzmu ziemskiego i do magnetyzmu wzbudzonego w płycie (patrz wykład następny). Wychylenie to, rzecz prosta, jest male w porównaniu z wychyleniem w pierwszym wypadku, gdyż liczba linij sił wzbudzonych w płycie jest niewielka w porównaniu z liczbą linij, które dosięgły igły od strony sztaby magesowej.

Pojmujemy teraz, iż magnes, umieszczony we wnętrzu pustej, grubej kuli z miękkiego żelaza, całkowicie jest zasłonięty od działania magnesów zewnętrznych. Z faktu tego skorzystał Sir Wiliam Thomson do ochrony swojego galwanometru morskiego od magnesującego wpływu pancierza stalowego okrętu i ziemi; w tym celu umieszczał on go wraz z cewą drucianą w grubym cylindrze z miękkiego żelaza kutego. Z doświadczeń tych wypływają dwa ważne wnioski, które powinny być troskliwie zanotowane celem stosowania nadal we wszystkich wypadkach podobnych.

1. *Linie sił obierają sobie zawsze drogę najmniejszego oporu.*

2. *Jeśli ciało magnetyczne, mające swobodę ruchów w każdym kierunku, zostanie wprowadzone w pole magnetyczne, wtenczas zawsze obraca się tak, że przez nie*

przechodzi jaknajwiększa ilość linii sił pola, w tym samym kierunku co jego linie wewnętrzne.

Nasady biegunów, zbroje i kotwice. Z poprzednich doświadczeń i uwag, student przeświadczył się, że niektóre linie magnetyczne sił, które opuszczają magnes lub doń wchodzi, rozchodzą się od biegunów na wszystkie strony na odległości bardzo znaczne, stale przytem dążąc do spolaryzowania wszystkich ciał magnesowalnych w swoim obwodzie. W celu skupienia lub zwrócenia jak największej liczby tych linii już od biegunów w pewnym kierunku określonym i pożądanym, często bieguny bywają zaopatrywane w nasady z żelaza kutego, lanego lub stali, kształtu, który do danego i zamierzonego celu wydaje się naj-

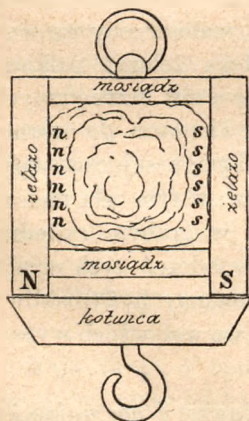


Fig 59. Kamień magnetyczny uzbrojony.

odpowiedniejszym. Na przykład urządzenie nasady biegunów w sztabie magnesowej złożonej, opisanej w wykładzie drugim dąży do zwrócenia linii sił wychodzących z każdej płytki pojedynczej, z których się magnes składa, w jeden kanał wspólny. Podobnie w nasadę z miękkiego żelaza zaopatrywać należy kamienie magnetyczne, których biegunowość, po największej części o niewielkiem natężeniu, rozproszona jest na znacznej powierzchni, jak to wskazuje załączona fig. 59, jeżeli od siły ich wymagamy większego działania (np. przyciągania kotwicy); dodatkowe te kawałki żelaza (podobnie jak w magnesach)

nazywają się *zbroją* kamienia (lub magnesu złożonego), ów zaś zwie się *uzbrojonym*. Następna figura 60 przedstawia nasadę biegunów, którą przerwano pomiędzy dwoma przeciwległymi bokami



Fig. 60. Nasada biegunów PP i zbroja A w maszynie magnetoelektrycznej.

W przyrządzie telegraficznym Morse'a zbroja składa się z rury cylindrycznej kutożelaznej (por. fig. 61), którą swobodnie przyciągają bieguny elektromagnesu wbrew naciskowi sprężynki spiralnej, skoro bieguny zostały wzbudzone, rura ta jednak wraca

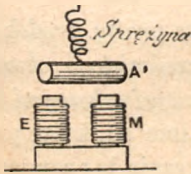


Fig. 61. Zbroja (A) i elektromagnes (EM) w przyrządzie telegraficznym Morse'a.

nianowo do położenia normalnego pod naciskiem sprężynki, jeżeli bieguny się odmagnesowały. W przenośnikach telegraficznych tudzież innych przyrządach elektrycznych zbroja składa się z kawałka żelaza namagnesowanego lub stali, osadzonego w taki sposób, że jeden koniec porusza się pomiędzy biegunami magnesu, z których jeden go przyciąga, drugi odpycha w miarę tego jak one stają się biegunami N lub S.

W tym wypadku zbroja nazywa się *spolaryzowaną*, albo stale namagnesowaną.

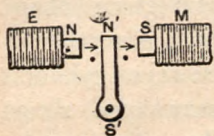


Fig. 62. Zbroja spolaryzowana N' S' elektromagnesu EM w przenośniku telegraficznym.

W ogóle powiadamy, że *zbroja jest ciałem magnetycznym, wprowadzonym pomiędzy bieguny magnesu lub w ich sąsiedztwo, wszakże bez zetknięcia bezpośredniego, i posiadającym swobodę wirowania lub poruszania się od nich lub ku nim pod wpływem lub wbrew skoncentrowanej sile magnetycznej biegunów.*

Kotwica różni się od zbroi tem, że jest kawałkiem miękkiego żelaza kutego umieszczonego poprzecznie do niejednakowych biegunów podkowy magnesowej (albo wpoprzek paru prostych lub zakrzywionych magnesów), który łączy je bezpośrednio w celu możliwego skoncentrowania linii sił w żelazie.

Ztądto *kotwicę uważać można jako prosty środek do wykonania krótkiego zamknięcia albo zamkniętego obwodu magnetycznego dla linii sił pomiędzy niejednakowymi biegunami jednego lub kilku magnesów.* Linie sił, które przechodzą od magnesu przez kotwicę, polaryzują ją i zamieniają w magnes z biegunami różnoimiennymi jak to wskazuje fig. 63 (str. 71). Tak wzbudzony w kotwicy magnetyzm oddziaływa znowu na magnes i w dalszym ciągu wzbudza w nim magnetyzm tak, że kotwica przyczynia się nie tylko do utrzymania lecz i do wzmocnienia samego magnesu. Pozbawiony kotwicy magnes powoli traci swój magnetyzm, bo linie sił rozproszone (te więc, które mają

długi obwód pomiędzy biegunami) łatwo niweczone są i giną skutkiem wstrząśnień; odpowiada to dobrze faktowi, że łatwiej jest odmagnesować stal, niżli namagnesować. Wypada bowiem przynajmniej ze dwanaście razy pocierać sztabę stalową mocnym magnesem, by ją potężnie namagnesować, tymczasem jedno lub dwa potarcia biegunem odmiennym mogą bardzo poważnie nadweryżyć magnetyzm sztaby, lub nawet całkowicie ją odmagnesować.

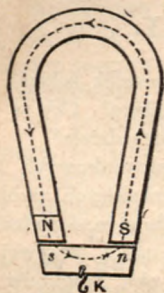


Fig. 63. Podkowa magnetyczna i kotwica jej ze wskazaniem biegunowości ich, tudzież zamkniętego obwodu magnetycznego.

Pytanie próbne i odpowiedź.

Pytanie. Nad jednym biegunem magnesu w kształcie podkowy utrzymuje się kula żelazna. Czy zmieni się przyciąganie wywierane na kulę, jeżeli bieguny magnesu zostaną połączone miękką kotwicą żelazną, i gdy się zmieni, to w jaki sposób i dlaczego?

Odpowiedź. Zmieni się, skoro bieguny magnesu zostaną połączone miękkim żelazem, wtedy wszystkie linie sił pomiędzy biegunami skupią się na nim i zamkną na krótko; skutkiem tego niema tu magnetyzmu wolnego, któryby mógł oddziaływać wzbudzająco na kulę żelazną.

UWAGA. Niechaj uczeń wykona dwa szkice objaśniające odpowiedź: pierwszy okaże kierunek linii sił gdy kula utrzymywana jest nad biegunem podkowy magnetycznej bez kotwicy, polaryzację kuli oraz kierunek w jakim

bywa przyciągana; drugi okaże drogę linii sił przez kotwicę, tudzież to, że kula nie polaryzuje się i nie przyciąga.

Pytania do wykładu V.

1. Jak środek magnesu działa na kawałek żelaza? Jak końce magnesu oddziałują na to samo żelazo? Czy w żelazie zachodzi jaka zmiana jeżeli na nie magnes działa?

2. Jak się można upewnić co do stosunkowych ilości wolnego magnetyzmu, który istnieje w rozmaitych punktach wzdłuż sztaby magnesowej? Znalazłszy dane te doświadczalnie, jak sobią wystawisz je graficznie za pomocą krzywej ciągłej, wskazującej zmiany od równika do obu biegunów magnesu?

3. Długa wstążka stalowa hartowana została namagnesowana; jeśli teraz będziemy wzdłuż niej przesuwali niewielką igłę, wtedy jej biegun północny przyciągany będzie przez jeden, południowy zaś przez drugi koniec wstążki, podczas gdy środek napozór nie dozna przyciągania od żadnego z biegunów. Skoro wstążkę złamiemy pośrodku jakie będzie działanie obu połów na igłę magnesową? Co się stanie i dlaczego, jeśli każdą połowę nanowo złamiemy?

4. Zbliżyliśmy biegun magnesu o jakie półtrzecia *cm.* do kuli stalowej hartowanej. Widocznie on przyciąga stal, lecz nie jest w stanie przyciągnąć jej aż do zetknięcia; zastąpmy kulę ze stali inną, tak samo ciężką z miękkiego żelaza, a przekonamy się, że magnes jest w stanie tę nową kulę całkowicie przyciągnąć. Objasnij tę różnicę w działaniu zgodnie z teorią cząsteczkową.

5. Opisz doświadczenie, za pomocą którego mając małą igłę kompasową możesz porównać: 1) ilość wolnego magnetyzmu w rozmaitych częściach sztaby magnesowej, 2) natężenie biegunów dwóch sztab magnesowych.

Daj przykład liczebny dla każdego z tych wypadków.

5. Wytlumacz dokładnie z pomocą rysunku różnicę pomiędzy nasadą biegunów, zbroją i kotwicą.

7. Co to są kotwice magnetyczne? Wskaż teorię ich stosowania.

8. Magnes umieszczony został w pobliżu igły kompasowej, tak że ją nieco odchyła. Co się stanie i dlaczego, skoro pomiędzy magnes a igłę wprowadzimy wielką i grubą płytę żelaza miękkiego?

9. Podkowę magnesową położono tak blisko igły kompasowej, że ją nieco odchyła. Skoro wpoprzek biegunów podkowy położymy kawałek miękkiego żelaza, igła wraca do swego naturalnego położenia. Objaśnij ten fakt.

10. Kawałek miękkiego żelaza, skoro został jednocześnie zetknięty z dwoma biegunami podkowy magnesowej utrzymywany jest siłą przeszło dwa razy większą, niż gdyby został zetknięty z jednym tylko biegunem magnesu. Czemu tak się dzieje?

11. Masz trzy jednakowe sztaby magnesowe bez kotwic. Jak powinieneś je ułożyć aby nie straciły swojego magnetyzmu wtedy, gdy się ich nie używa? Objaśnij to rysunkiem.

WYKŁAD VI.

Treść: Indukcja magnetyczna. — Określenie indukcji. — Indukcja wtórna. — W razie indukcji zawsze pomiędzy dwoma magnesami występuje przyciąganie. — Działanie i przeciwdziałanie są równe i przeciwne. — Działania indukcyjne biegunów jednakowych i niejednakowych. — Odwrotność polaryzacji albo wytwarzanie biegunów następujących przez indukcję. — Hystereza. — Pytania.

Doświadczenia XV. **Indukcja magnetyczna.** Weź prostokątny kawałek żelaza miękkiego (blisko 25 cm. długości i 2,5 cm. szeroki) i trzymaj go przez chwilę nad opilką-

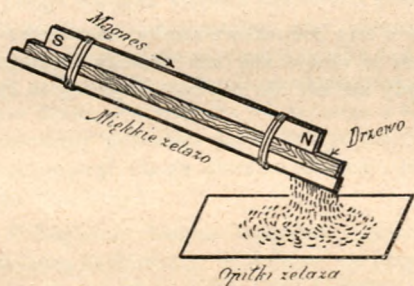


Fig. 64. Miękką sztabę żelazną namagnesowaną przez sztabę magnesową za pomocą indukcji.

mi żelaznemi. Zobaczysz, iż opilki wcale do żelaza nie przylegają. Teraz połóż na żelazie w podłuż cieniutki kawałek drzewa, a na drzewie mocny magnes stalowy tej samej prawie długości co żelazo. Zwiąż teraz trzy te rzeczy szpagatem jak na figurze 64 i znowu potrzyмай nad opilk-

kami bardzo blisko, bacząc na to, by magnes nie zbliżył się zanadto. Znajdziemy, iż żelazo stało się magnesem, bo przyciąga pewną część opilek, chociaż nie dotyka magnesu. Właściwość siły magnetycznej wywierania działań z odległości na inne ciała, które się magnesują, zowie się *indukcją magnetyczną*.

Określenie. *Indukcja magnetyczna jest nazwą nadawaną wzajemnemu oddziaływaniu, które się pojawia skoro siła magnetyczna, wychodząca z jednego ciała, ujawnia magnetyzm ukryty w innym ciele przy zetknięciu lub bez rzeczywistego zetknięcia pomiędzy ciałami. Ciało, z którego siła wychodzi, nazywa się ciałem wzbudzającym, zaś to, na które siła działa, zowie się ciałem wzbudzonem**) Ściśle biorąc, pomiędzy ciałem wzbudzającym a wzbudzonem powinna istnieć przerwa albo luka; ale dla magnetyzmu przyjęto rozciągać pojęcie inducyi i na wypadki zetknięcia. Przestrzeń pomiędzy ciałami może być albo próżnią albo może być zajęta przez ciała niemagnetyczne jak powietrze, drzewo, szkło lub miedź, lecz jeden warunek powinien być wypełniony: *bądź co bądź, to, co pomiędzy niemi leży, powinno być niemagnetyczne.*

Indukcja wtórna. W związku z dopiero co przytoczonym doświadczeniem zauważymy, iż opilki były przyciągane i wtedy, kiedy nie dotykały żelaza. Dowodzi to, że opilki magnesują się przez działanie wtórne, indukcyjne siły pierwotnie wzbudzonej w miękkim żelazie przez

*) Niekiedy, choć niepotrzebnie, pierwsze ciało nazywają *indukującym*, drugie *indukowanym*. Objawy inducyi możemy nazywać *indukcyjnymi*. (Przyp. tł.).

magnes. W każdym przeto wypadku przyciągania magnetycznego przedewszystkiem musi zachodzić indukcyja.

Doświadczenia XVI. **W razie indukcyi pomiędzy dwoma magnesami zawsze występuje przyciąganie.** Postaraj się o kawałek bardzo twardej stali nienamagnesowanej tudzież o kawałek dobrego i miękkiego żelaza kutego tej samej wielkości i kształtu, co stal. Połóż dalej

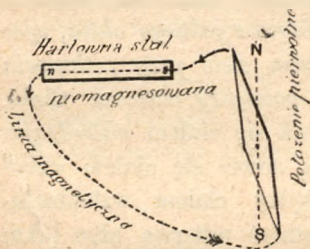


Fig. 65. Przyciąganie igły przez stal zahartowaną.

igłę kompasową na stole i przymocuj na jednej i tej samej wysokości, co ona, sztabę stalową. Widzimy, że igła nieco wychyli się ze swego położenia naturalnego (fig. 65). Teraz zgodnie z poprzednio wyłożonem prawem o magnesowaniu, koniec sztaby, zbliżony do jednego z biegunów igły, powinien otrzymać

biegun natury odmiennej, ponieważ niektóre linie sił przeszły od igły magnesowej przez sztabę stalową i spolaryzowały ją, nadając cząsteczkom jej stan określony. W ten sposób przez indukcyję staje się ona magnesem. To więc, co wygląda na przyciąganie magnesu przez prosty kawałek stali, w gruncie rzeczy jest przyciąganiem pomiędzy dwoma magnesami. Jeśli teraz sztabę stalową zastąpimy sztabą żelazną, igła nanowo się odchyli, lecz tym razem o kąt znacznie większy niż wtedy, gdy sztaba była stalową. Właściwie fakt ten wypływa poprostu z pewnej liczby doświadczeń poprzedzających, ponieważ mniejszy opór magnetyczny żelaza pozwala indukcyi rzecz prosta, o wie-

le łatwiej wystąpić. Tą drogą możecie zgruba przekonać się, czy pewna próbka żelaza lub stali posiada duży lub mały opór magnetyczny, lub też, czy dana sztaba jest żelazna lub stalowa. Sztaba żelazna, dopóki znajduje się pod wpływem magnetyzmu igły, jest o wiele mocniejszym magnesem, od sztaby stalowej. Bądź co bądź w obu razach znajdujemy zarówno *działanie* jak *przeciwdziałanie*. Najpierw tedy mamy *działanie* wzbudzające magnetyzmu igły na sztabę, potem (jako drugie konieczne następstwo), *przeciwdziałanie* tego magnetyzmu wzbudzonego na igłę, powodujące jej odchylenie. I właśnie wtedy, gdy *działanie* indukcji na miękkie żelazo było większe, odpowiednio rosło też *przeciwdziałanie*. Wypływa ztąd fakt pouczający, że *we wszelkich wypadkach indukcji magnetycznej działanie i przeciwdziałanie są równe i odwrotne*.

Dążność igły magnesowej do przyciągania sztaby stalowej lub żelaznej była ściśle równą i odwrotną przyciąganiu, jaką ta ostatnia wywierała na igłę. Ciężar i położenie sztab przeszkadzały wprawieniu ich w ruch przez igłę, ale siła, która dążyła do wykonania tego, była ściśle ta sama. Przeciwdziałanie magnetyzmu wywołanego przez igłę w miękkiej płycie żelaznej w doświadczeniu XIV, (wykład ostatni) tłómaczy nam, dlaczego ta ostatnia wtedy nawet niezupełnie wróciła do swojego przyrodzonego stanu obojętnego, gdy ją uwolniono od wpływu sztaby magnesowej.

Z tego, że w obrębie pewnej przestrzeni w bezpośrednim sąsiedztwie magnesu natężenie pola albo liczba linii sił jest większa, niż w przestrzeniach tejże wielkości lecz

dalej położonych, wnosimy, że im krótszy jest odstęp między ciałem wzbudzającym a wzbudzonem, tem większem jest działanie indukcji. Można tego dowieść, przysuwając lub odsuwając sztabę od igły magnesowej i notując, jak się przytem zmienia kąt odchylenia.

Ciekawą odmianę tego doświadczenia wyobraża fig. 66, polegająca na równoważeniu oporu magnetycznego przez zmianę odległości między jednym biegunem igły

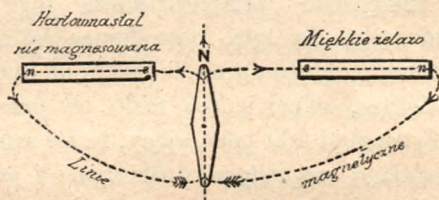


Fig. 66. Równowaga igły pomiędzy stalą hartowaną a żelazem miękkim.

a sztabami, aż igła nie będzie zdradzała żadnego odchylenia. W ten sposób można dowieść, że przez magnetyzm igły można w miękkiej sztabie żelaznej przy odległości większej wywołać takie samo działanie indukcyjne, co w sztabie stalowej w odległości mniejszej, ponieważ sztaba stalowa przedstawia od tamtej większy opór magnetyczny.

Doświadczenie XVII. **Działania indukcyjne biegunów jednakowych i niejednakowych.** Bierzemy sztabę magnesową i kilka gwoździ z miękkiego żelaza. Gwoździe zawieszamy nakształt łańcucha jeden pod drugim na biegunie północnym magnesu. Przypuśćmy, że jest on dostatecznie mocny, aby utrzymać łańcuch trzech gwoździ.

Przesuwając teraz zwolna wzdłuż górnej strony magnesu biegun południowy innej sztaby magnesowej jak na załączonej fig. 66, ujrzymy, iż wszystkie gwoździe po kolei odpadną. To samo nastąpi jeżeli biegun północny innego magnesu umieścimy pod gwoździami (fig. 68). Gdy jednak

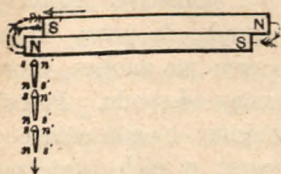


Fig. 67. Odmagnesowujące indukcyjne działanie bieguna odmiennego*).

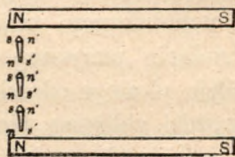


Fig. 68. Odmagnesowujące działanie indukcyjne bieguna jednakowego.

umieścicie biegun północny drugiego magnesu nad gwoździami albo biegun południowy pod gwoździami, wtedy będziecie mogli dodać czwarty albo nawet i piąty gwóźdź do łańcucha (figury 69 i 70). Przez indukcję biegu-

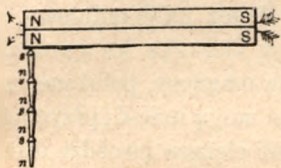


Fig. 69. Spotęgowane magnesu-
sujące działanie bieguna jedna-
kowego.

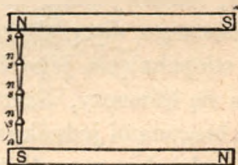


Fig. 70. Spotęgowane magne-
sujące działanie bieguna od-
miennego*).

*) Jako pożyteczne ćwiczenie dla uczniów uważać należy wykonanie tych czterech figur w skali powiększonej, z podaniem przebiegu linii sił magnetycznych zapomocą linii kropkowych i strzał dla rozmaitych wypadków objaśnionych dawniej.

na północnego pierwszego magnesu polaryzuje się pierwszy gwoździe; ów z kolei rzeczy magnesuje drugi gwoździe, ten — trzeci i t. d. Jeżeli wzdłuż górnej strony magnesu będziemy przesuwali biegun południowy magnesu drugiego, wtedy będzie on dążył do wzbudzenia w gwoździach bieguna północnego tam, gdzie dotąd był południowy i bieguna południowego tam, gdzie był północny. Niweczy to działanie pierwszego magnesu tak, że przez ciężar gwoździe od niego odpadają. To samo ma miejsce, skoro do gwoździ zbliżymy biegun północny od spodu. Przeciwnie, jeżeli nad gwoździami umieścimy biegun północny drugiego magnesu, tedy biegunowość w nich istniejąca utrwali się i wzmocni; siła przyciągająca pomiędzy niemi a magnesem wzrośnie i dlatego możemy łańcuch przedłużyć. Podczas, gdy oba magnesy przedstawione na fig. 69 faktycznie wzajemnie wspierają swoje działanie indukcyjne na gwoździe, w tym samym czasie toczą ze sobą jakby walkę. Każdy biegun północny wzmacnia bieguny gwoździ, osłabia jednak wzbudzające działanie innego bieguna północnego, dążąc do zamiany tegoż na południowy, albo do odepchnięcia jego linii sił w kierunku ku gwoździom, tem się tłómaczy, dlaczego dwa magnesy, położone na sobie biegunami jednakowymi nie mogą unieść i przyciągnąć łańcucha dwa razy dłuższego lub ciężaru gwoździ dwa razy większego, niż gdyby działał jeden tylko magnes. Tak samo rozumiemy, dlaczego magnesy złożone (przedstawione na wykładzie II) nie posiadają natężenia równego sumie natężeń płytek oddzielnych.

Odwrotna polaryzacja albo wytwarzanie biegunów kolejnych przez indukcję. Skoro będziemy stopniowo

zblizali biegun mocnego magnesu do jednoimiennego bieguna słabszego magnesu, wtedy aż do pewnej określonej odległości pomiędzy nimi występuje odpychanie; lecz kiedy odległość zmniejszy się tak dalece, że oba magnesy znajdują się tuż obok siebie, wtedy następuje przyciąganie, ponieważ przyrodzone bieguny magnesu słabszego zostały odwrócone. Zdarza się to zawsze, gdy słaba igła magnesowa znajdzie się nagle w mocnym polu, w którym linie sił biegną w kierunku przeciwnym do wewnętrznych linii igły i gdy igła z jakiegokolwiek przyczyny chwilowo nie może się swobodnie obrócić tak aby jej bieguny przyjęły ten sam kierunek co pole. Z tej racji należy troskliwie zważać na to, ażeby magnesy lub gwoździe nie były

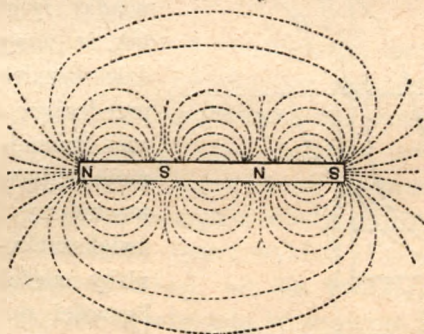


Fig. 71. Bieguny następcze w długiej sztabie magnesowej.

wystawione na podobne odwracające działanie. W innych znowu wypadkach igła słabsza lub magnes słabszy, zwłaszcza gdy jest długi, nie otrzymuje całkiem odwrotnej polaryzacji, lecz jeden tylko biegun odmienny w końcu zbliz-

żonym do magnesu mocniejszego, podczas gdy w drugim dalszym końcu zachowuje swój dawny biegun odmienny. W tym wypadku konieczne powinny się na nim gdziekolwiek znajdować bieguny niejednakowe czyli t. zw. *bieguny następcze* (fig. 71, str. 81). W każdym z tych dwu wypadków magnes lub igła zanim staną się nanowo przydatnymi do celów doświadczalnych, powinny być ponownie i należyście namagnesowane.

Hystereza. Jeżeli pewne ciało magnetyczne poddane zostanie działaniu indukcyjnemu siły magnesującej, której natężenie będziemy zmieniali, tedy magnetyzm wzbudzony w ciele nie będzie odpowiadał tym zmianom tak, że nowy stan będzie niezależny od poprzedzającego, lecz podczas zmniejszania siły magnesującej jest on mocniejszy i podczas zwiększania — słabszy, niżby należało bez okoliczności powyższej.

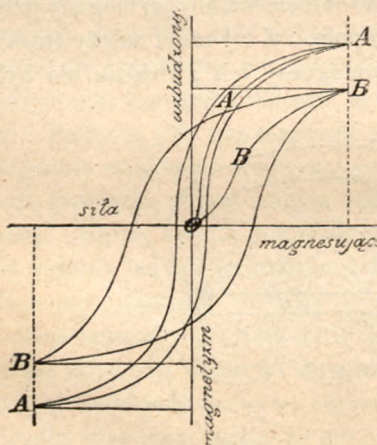


Fig. 72. Graficzny obraz hysterezy. Taki przebieg magnesowania zowie się *hysterezą* (fig. 72) (dosłownie „opóźnianie”).

Doświadczenie. Przybliź ostrożnie łańcuch złożony z 7-iu sztabek żelaznych, załączonych na fig. 53 do środka sztaby; naówczas dopiero w odległości 12 cm. od środka odpadnie 7⁷, w odległości 5 cm. — 6⁷ i dopiero

przy 1 do 2 cm. odpadną pozostałe. Nieuniknione przytem wstrząśnienia przyśpieszają jeszcze odmagnesowywanie sztabek; gdyby nie to, możnaby sztabki jeszcze nieco dalej przesunąć po za środek, zanim wszystkie odpadną. By zjawisko to lepiej uwydatnić, wyobraźmy sobie, że na linii poziomej albo na osi odciętych zostały odłożone wartości proporcjonalne do sił magnesujących.

W każdym punkcie krańcowym wystawiamy prostopadłą albo rzędną, której długość czynimy proporcjonalną do wielkości magnetyzmu wzbudzonego. Wszystkie punkty krańcowe rzędnych łączymy krzywą ciągłą, którą nazwiemy krzywą magnesowania. Krzywa AAA na fig. 72 stosuje się do żelaza wypalonego, krzywa BBB— do kutego ciągnionego*). Krzywe te posiadają dla nas znaczenie następujące:

1) Jeśli ciała przedtem zupełnie niemagnetyczne, wystawione zostały na działanie sił magnesujących, stopniowo rosnących od zera w kierunku określonym, tedy magnetyzm wzbudzony rośnie najpierw zwolna, potem raptownie, w końcu zaś znowu powoli zbliża się do pewnego maximum, które następuje wtedy, gdy osiągnięty został punkt nasycenia (patrz wykład IV), położony dla żelaza wypalonego wyżej, niż dla twardego ciągnionego. Przebieg ten wyobrażają wewnętrzne linie krzywe A i B.

2) Jeśli teraz siły magnesujące będą znowu powoli spadały, tedy wartości magnetyzmu wzbudzonego będą

*) Podług Hopkinsona w „Philosophical Transactions” T. 76, 1885 r., str. 455.

ciągle wyższe niż poprzednio dla tych samych sił magnesujących i już nie schodzą do zera, gdy siła magnesująca doń spada: *trwały magnetyzm stali i pozostający magnetyzm miękkiego żelaza przeszkadzają temu*. Magnetyzm wzbudzony stanie się zerem dopiero dla sił wzbudzających odwrotnie skierowanych, które dla żelaza twardego ciągnionego muszą być większe, niż dla wypalonego i ostatecznie dosięga tych samych wartości skrajnych, co przedtem, ale o biegunowości odwróconej (lewe części krzywych zwartych AA i BB). Wielkości sił magnesujących odwrotnych potrzebnych do zupełnego odmagnesowania mogą służyć za miarę siły zatrzymującej.

3) Jeśli teraz znowu będziemy zmniejszali siły magnesujące aż do 0, w takim razie znowu otrzymamy magnetyzm pozostały, lecz z biegunami odwrotnymi do wypadku (2) i dopiero dla sił większych, działających w kierunku pierwotnym jako to w wypadku (1), magnetyzmy wzbudzone dochodzą do zera i wreszcie przyjmują kierunek poprzedni. W tem miejscu osiągamy nareszcie tę samą wartość najwyższą, co (1); zanim to jednak nastąpi, magnetyzm wzbudzony będzie zawsze nie tylko mniejszy, niż w razie (2), ale mniejszy, niż w (1) (prawe części krzywych zwartych AA i BB). Hystereza staje się wyraźniejszą dla sztab dłuższych, niż dla krótszych, najwyraźniejszą w obwodach magnetycznych zamkniętych. Następstwem jej są rozmaite trudności w zastosowaniu miękkiego żelaza do przyrządów mierniczych i dynamomaszyn, na co później jeszcze raz zwrócimy uwagę. Hystereza staje się pożyteczną pod postacią magnetyzmu trwałego w stali hartowanej

lub magnetyzmu pozostałego w jądrach żelaznych dynamomaszyn, który nawet jest nieodzownie potrzebny do puszczania tych ostatnich.

Pytania do wykładu VI.

1. Jaki jest stan magnetyczny miękkiej sztaby żelaznej umieszczonej poziomo i równolegle nad trwałym magnesem tejże wielkości położonym na stole? Przedstaw szkic, który wskaże biegunowość sztaby i kierunek linii sił.

2. W pobliżu kuli z miękkiego żelaza doskonale wypalonej znajduje się koniec północny mocnego magnesu. Jak działa magnes na kulę? Jaka zmiana zachodzi w samej kuli, skoro magnes zostanie usunięty? I co nastąpi, jeśli do kuli zbliżymy biegun południowy magnesu zamiast północnego? Objasnij swoje odpowiedzi rysunkiem.

3. Igła kompasowa i sztabka prostolinijna z miękkiego żelaza tej samej długości, co igła, zostały do siebie przymocowane tak, że dwa ich końce stykają się. Czy siła, która zniewała obiedwie do wskazania razem południa — północy jest tą samą, która działa na jedną tylko igłę kompasową? Uzasadnij swoją odpowiedź.

4. Cienki pręt żelazny i taki sam stalowy po kolei zostały potarte jednym biegunem sztaby magnesowej. Jak oddziała pręt żelazny albo stalowy na igłę kompasową do niego zbliżoną?

5. Dwie miękkie sztaby żelazne zostały umieszczone na wschód i na zachód od bieguna północnego igły kompasowej tak, że igła ciągle wskazuje południe — północ. Skoro zastąpimy jedną z tych sztab, położoną na wschód od igły, twarłą sztabą stalową tej samej wielkości i kształtu co ona, czy kierunek, który igła wskazuje, ulegnie zmianie? I jeśli tak, to w jakim kierunku i dlaczego będzie się poruszać?

6. Skoro kawałek miękkiego żelaza jest przyciągany przez magnes, powiadamy, iż żelazo magnesuje się tak, że przycią-

ganie w rzeczywistości odbywa się pomiędzy dwoma magnesami — pierwotnym i wytworzonym przez magnesowanie. Jaki dowód możesz przytoczyć na potwierdzenie tego zdania.

7. Sztaba magnesowa leży na stole tak, że jej biegun północny wychodzi za obręb stołu. Do dolnej strony końca wystającego przyczepiona jest kula żelazna. Objaśnij, co się stanie, skoro nad biegunem północnym tego magnesu w jego pobliżu umieścimy biegun południowy innego magnesu. Daj szkice.

8. Dwie jednakowe, cienkie sztaby z bardzo miękkiego żelaza wiszą każda na długiej nici uczeponiej do jednego końca, tuż obok siebie. Jeżeli do sztab zbliżymy od spodu biegun mocnej sztaby magnesowej, wtedy one rozłączają się; wytłumacz to.

9. Tuzin igieł do szycia wisi jako jedna wiązka na niciach przecigniętych przez ich uszka. Jak się one zachowują, jeżeli się je zawiesi nad biegunem mocnego magnesu?

10. Długi magnes i miękka sztaba żelazna tej samej wielkości i kształtu zostały umieszczone równolegle do siebie pod kartką papieru, na której są rozsypane opiłki. Jak się opiłki ułożą?

11. Sztaba magnesowa, która posiada pośrodku dwa kolejne bieguny, została rozłamaną na dwie części. Jaki będzie stan magnetyczny każdej części, jeżeli rozłam nastąpił dokładnie pośrodku, lub też w pewnej ztąd odległości?

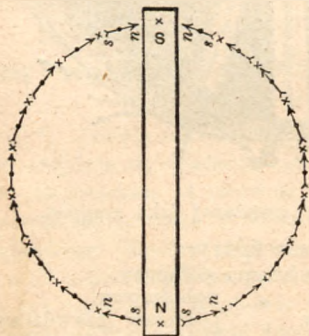
12. Podejrzewamy, iż namagnesowana sztaba stalowa posiada bieguny następcze. Jak przekonasz się o istnieniu tych biegunów?

13. Jaki powinien być kształt przybliżony krzywej magnesowania dla stali zahartowanej, by wyobrażała siłę zatrzymującą?

WYKŁAD VII.

Treść: Ziemia uważana jako magnes. — Bieguny i południki geograficzne i magnetyczne. — Prawdziwa biegunowość ziemi. — Zboczenie (deklinacja). — Nachylenie (inklinacja). — Oś magnetyczna i równik ziemi. — Pytania.

Doświadczenia XVIII. **Ziemia uważana jako magnes.** Połóż mocny magnes sztabowy na stosie książek, lub na niskim stoliku w stosownej wysokości nad płaszczyzną stołu i oprowadź igłę kompasową naokoło magnesu na jednym z nim poziomie zupełnie tak, jak to opisaliśmy w wykładzie III. Albo też zawieś magnes sztabowy za jeden koniec pionowo i przesuwaj naokoło niego igłę nachylen w kierunku linii sił



zewnętrznych. Przekonasz się, że w każdym położeniu igły jeden z jej biegunów niezmiennie dąży do wskazywania jednego, drugi zaś drugiego bieguna magnesu. W rzeczywistości oś magnetyczna igły podczas każdego doświadczenia

Fig. 73. Igła nachylen styczna do zakrzywionych linii sił magnesu. tworzy zawsze w położeniu równowagi styczną do zakrzywionych linii sił sztaby magnesowej (fig. 73). Ściśle to samo zjawisko obserwujemy skoro przenosimy

igłę nachyleń od jednego bieguna do drugiego na powierzchni ziemi jak na fig. 74. Dowodzi to, iż ziemia posiada siłę magnetyczną i zewsząd otacza ją pole magnetyczne.

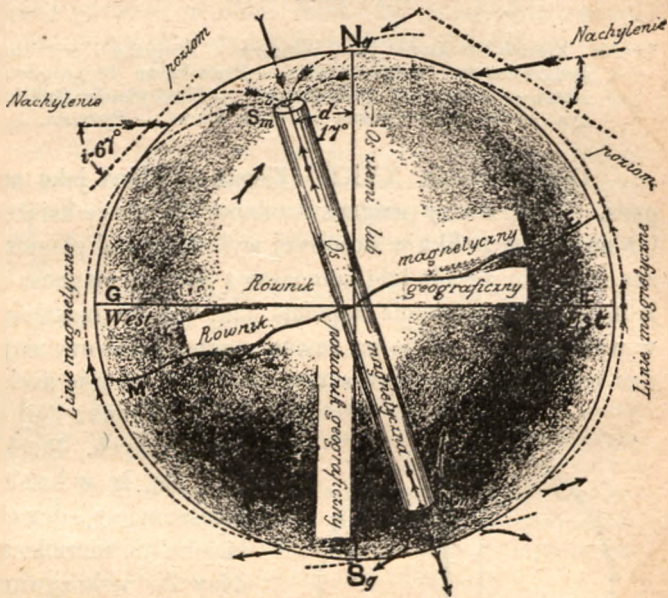


Fig. 74. Diagram ziemi uważanej jako magnes.

Objaśnienie figury:

Ng	oznacza	geograficzny	biegun	południowy.	
Sg	"	"	"	południowy.	
Nm	"	magnetyczny	"	południowy (prawdziwy).	
Sm	"	"	"	południowy (prawdziwy).	
Ng do Sg	"	oś ziemi (albo	rzut	południka geograficznego).	
Nm do Sm	"	oś magnetyczna	ziemi (albo	rzut połud. magn.)	
GE	"	rzut	równika	geograficznego.	
ME	"	"	"	magnetycznego.	
d	"	zbożenie albo	deklinację (=17°	w Londynie 1889).	
i	"	nachylenie	"	inklinację (=67°	w Londynie 1889).

Kierowniczemu działaniu magnetyzmu ziemskiego na igłę kompasu morskiego zawdzięcza marynarz w wysokim stopniu to, że znajduje swój kurs od miejsca do miejsca, wówczas gdy lądu nie widać i badacz afrykański, że odnajduje drogę swoją pośród „lądu czarnego.” Z tego powodu do celów elementarnego wykładu możemy przyjąć, że ziemia działa magnetycznie, tak jakby w sobie zawierała wielki magnes i odpowiednio do tego, rzecz staramy się przedstawić. Figura nasza ilustruje te właśnie zapatrywania. Do łatwiejszego i dokładniejszego wyrozumienia wszystkich zjawisk, dotyczących magnetyzmu ziemskiego, powinny być zastosowane inne pojęcia, lecz wykład tych pojęć w tym miejscu nie wydaje się nam odpowiednim.

Tymczasem objaśnimy tylko rozmaite terminy i szczegóły dotyczące ziemi jako magnesu zapomocą kilku diagramów i doświadczeń.

Doświadczenia XIX. Bieguny i południki geograficzny i magnetyczny. Oznacz kierunek słońca w południe *)

*) Według czasu średniego w Greenwich słońce 4 razy do roku znajduje się dokładnie na południu o godzinie 12-iej we dnie (14 kwietnia, 14 czerwca, 1 września i 25 grudnia); chcąc stosować się do czasu w Greenwich, należy radzić się Rocznika Żeglarskiego (Nautical Almanac) gdzie znaleźć można wskazówki, o ile minut dokładne położenie południowe słońca wyprzedza lub opóźnia się względem czasu południowego i stosownie do tego należy poprawić obserwację bezpośrednią. Według czasu słonecznego słońce znajduje się na południu ściśle w środku każdego dnia słonecznego.

Uwaga tt. Poprawkę tę, dodatnią lub odjemną, dla każdego dnia roku zwaną także *równaniem czasu*, wziąć można z kalendarzy astronomicznych. Wedle tego

Średni czas słoń. = prawdziwy czas słoń. + równanie czasu.

i zrób na desce poziomej lub na stole linię prostą, której przedłużenie albo płaszczyzna pionowa przez nią pociągnięta

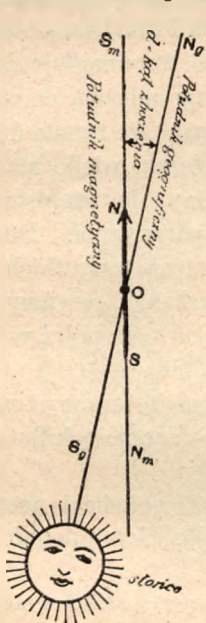


Fig. 75. Oznaczenie południków geograficznego i magnetycznego oraz zbieżności.

dokładnie dzieli słońce na dwie połowy. Koniec tej linii zwrócony ku słońcu oznacz przez S_g (geograficzny kierunek południowy), drugi koniec bliższy — przez N_g (geograficzny kierunek północny) i wtedy obierz pewien punkt O pośrodku. Na linii tej umieść igłę kompasową, tak aby jej środek dokładnie wypadł nad punktem O . Skoro tylko igła pod wpływem magnetyzmu ziemskiego uspokoiła się; oznacz na desce biegun północny i południowy igły*). Teraz usuwamy igłę, prowadzimy linię prostą łączącą N i S i przedłużamy ją w każdym kierunku do S_m i N_m , jak to wskazuje fig. 75. Płaszczyzna pionowa, przebiegająca w kierunku $O—N_g$, przeszłaby przez geograficzny biegun północny ziemi i gdyby ją przedłużyć w kierunku przeciwnym

(*) Żeglarze często stosują inny sposób szukania południka geograficznego i magnetycznego, a ztąd oznaczanie kąta zbieżności a m. obserwują kierunek gwiazdy biegunowej, a potem osi magnetycznej na kompasie morskim i notują kąt pomiędzy nimi; przytem niezbędną jest poprawka dodatnia lub odjemna (wzięta z „Nautical Almanac“ dla czasu i miejsca), o którą postrze-

O—Sg, przeszłaby przez geograficzny biegun południowy. Skutkiem tego linia Sg—Ng leży w południku geograficznym; mamy bowiem *Definicję: południk geograficzny jest linią urojoną, przeprowadzoną na powierzchni ziemi, w płaszczyźnie, która przechodzi przez bieguny geograficzne ziemi i dane miejsce.* Można przypuszczać, iż płaszczyzna pionowa, po przedłużeniu przebiegająca w kierunku ON lub OS_m, przechodzi przez *prawdziwy****) magnetyczny biegun południowy ziemi i w kierunku OS lub ON_m przez prawdziwy magnetyczny biegun północny ziemi; ostatecznie oś magnetyczna igły kompasowej SN albo linia N_m — S_m leży w południku magnetycznym; ztąd wypływa *Definicja: Południk magnetyczny można przyjąć jako linię urojoną poprowadzoną na powierzchni ziemi w płaszczyźnie, która przechodzi przez magnetyczne bie-*

zony kierunek gwiazdy biegunowej odbiega na wschód lub zachód od rzeczywistego kierunku geograficznego bieguna północnego (szczegóły wyznaczania czasu czytelnik znajdzie w dziele „Kosmografia“ Jędrzejewicza str. 86—91 Przyp. tł.).

*) Może się przytem zdarzyć, że bieguny igły kompasowej nie leżą dokładnie na linii prostej, łączącej końce igły. Aby uniknąć przytem błędu możliwego, igłę należy tak urządzić, żeby dawała się zdejmować z kolpaczka i nanowo nasadzać do góry stroną, która przedtem była u dołu. Jeśli podczas takiego odwracania igły zachodzi pewna różnica między położeniem północy a południa, wtedy bierzemy dla położenia biegunów igły średnią z dwóch obserwacji — górnej i dolnej.

) **Prawdziwa biegunowość ziemi. Uczeń powinien pilnie uważać i pamiętać o tem, że ponieważ bieguny odmienne przyciągają się, zaś jednoimienne odpychają się, tedy biegun północny igły magnetycznej może być przyciągnięty tylko przez

guny ziemi i dane miejsce; albo ściślej — jako linię poziomą położoną w płaszczyźnie pionowej, która zawiera oś magnetyczną igły kompasowej, danego miejsca.

biegun południowy innego magnesu, i biegun południowy igły tylko przez biegun północny. Z tego powodu powinien on zawsze przestrzegać co do biegunowości ziemi, ażeby przez S_m stale oznaczany był prawdziwy magnetyczny biegun południowy położony na półkuli północnej i przez N_m prawdziwy magnetyczny biegun północny na półkuli południowej. Przyjmując powyższe oznaczenia i poglądy, unikamy wszelkiej dwuznaczności i kłopotliwych wyjaśnień; niewielka figura 76, za-

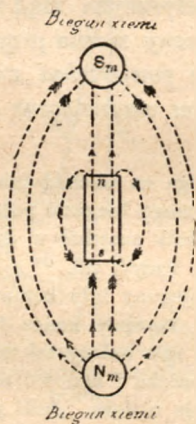


Fig. 76. Prawdziwa biegunowość ziemi i magnesu na jej powierzchni.

prawdziwe bieguny magnetyczne," ponieważ w rzeczywistości magnetyzm ziemski jest tak nieprawidłowy, że nie możemy utrzymywać, iż południk we wszystkich wypadkach przechodzi przez bieguny.

łączona tutaj jako dodatek do poprzedniej większej 74 powinna to jeszcze lepiej uwydatnić. Figura wyobraża najpierw sztabkę magnesową (n, s) na powierzchni ziemi tudzież prawdziwe bieguny N_m i S_m ziemi wraz z liniami sił, które istotnie przechodzą przez magnes, naokoło niego i dalej do biegunów ziemi, a potem pole zewnętrzne ziemi (albo linie magnetyczne powierzchni ziemi pomiędzy biegunami ziemi N_m i S_m). Linie, które przebiegają przez sztabkę magnesową, posiadają ten sam kierunek co linie ziemi, lecz linie pola zewnętrznego sztabki magnesowej biegną i działają w kierunku odwrotnym do linii pola ziemskiego. W tym celu użyliśmy wyrazów „można przypuszczać że i t. d. przechodzi przez

Zboczenie albo deklinacya. Skoro raz jeszcze zwrócić się do dwu figur ostatnich, zauważycie, iż linia N_g — S_g zbiega się z południkiem geograficznym punktu O (albo miejsca obserwacyjnego), linia zaś N_m — S_m z południkiem magnetycznym miejscowości. Obie te linie tworzą ze sobą kąt d° , który nazywa się kątem zboczeń albo deklinacyą danego miejsca. Otrzymujemy ztąd następujące Określenie: *Zboczenie pewnego miejsca jest wartością kąta pomiędzy południkiem magnetycznym a geograficznym miejsca wyrażoną w stopniach.*

Zboczenie bywa wschodnie W lub zachodnie Z stosownie do tego czy południk magnetyczny leży na wschód lub na zachód od geograficznego, jeśli będziemy patrzyli z bieguna północnego kompasu ku półkuli północnej*). Zboczenie bywa rozmaite dla rozmaitych miejscowości na powierzchni ziemi i również zmienia się wraz z czasem. Tak np. w Londynie r. 1800 było $24^\circ 6'$ Z; r. 1880, $18^\circ 40'$; r. 1888 spadło na $17^\circ 40'$ i odtąd wciąż spada. W Sydney r. 1880 było $9^\circ 30'$ Ws. i w Glasgow r. 1889 prawie 21° Z.

Doświadczenia XX. **Nachylenie albo inklinacya.** Weź dużą kulę drewnianą (o średnicy 25 do 30 cm. — stary globus byłby dobry do tego celu), która może obracać się na drewnianej statywie naokoło osi poziomej. W jej wnętrzu umocuj magnes walcowy 20—25 cm. długi, którego średnica jest prostopadłą do osi obrotowej kuli. Uważaj, ażeby bieguny tego magnesu były jednakowo odległe od

*) Bardziej znanemi są oznaczenia: wschodu E (Est), zachodu W (West) Przyp. tl.

powierzchni kuli; kula ta ma wyobrażać ziemię. Zawsze teraz nad punktem środkowym kuli igłę nachyleń tak jak na załączonej fig. 77, str. 94.

Wówczas obróć kulę tak, aby zajęła każde z powyższych położeń i zauważ działanie jej na igłę nachyleń.

1. Jeśli sztaba magnesowa ustawiona jest pionowo biegunem południowym do góry (który wyobraża prawdziwy biegun S_m albo magnetyczny biegun południowy ziemi) w pobliżu igły, tedy ostatnia wisi pionowo zwrócona końcem północnym na dół. Gdy kula zrobi pół obrotu, igła przyjmuje znowu położenie pionowe, ale jej biegun południowy będzie na dole; dwa te położenia wskazują to,

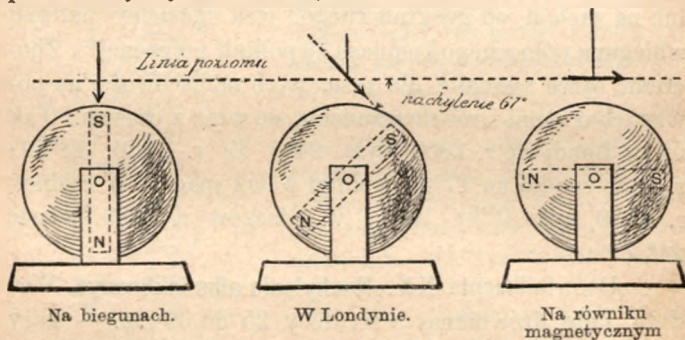


Fig. 77. Drewniany model z magnesem sztabowym, wyobrażający ziemię.

co nastąpiłoby, gdybyśmy mogli igłę nachyleń przenieść na powierzchnię ziemi do miejsc, które leżą dokładnie nad biegunami magnetycznymi ziemi.

2. Obróć kulę o kąt prawie równy temu, który tworzy linia poprowadzona z Londynu do środka ziemi z osią magnetyczną ziemi a postrzeżemy, iż igła nachyla się pra-

wie o 67° do poziomu. Wyobraża to nachylenie igły nachyleń w obserwatorium w Greenwich.

3. Obracaj kulę w dalszym ciągu dopóki magnes nie zajmie położenia poziomego. Uważ, że igła również ustawia się poziomo albo równoległe do sztaby magnesowej. Wyobraża to położenie igły nachyleń na równiku magnetycznym ziemi. Zwróćmy się teraz nanowo do dwóch pierwszych figur tego wykładu i zauważmy rozmaite położenia małych igieł nachyleń i igieł kompasowych (\rightarrow), które zostały narysowane na tych diagramach, a niechybnie wpadniemy na myśl, że obecny stan magnetyczny istotnie jakby wychodzi z ziemi i ją otacza. Ze spostrzeżeń dokonanych pod rozmaitemi szerokościami nad igłami nachyleń okazało się, że bieguny magnetyczne położone są w pewnej odległości od powierzchni ziemi w jej wnętrzu. Również im bliższą jest igła kompasowa (można to pokazać na modelu drewnianym) biegunów magnetycznych, tem mniej czulem jest jej ustawienie; naprawdę nie miała

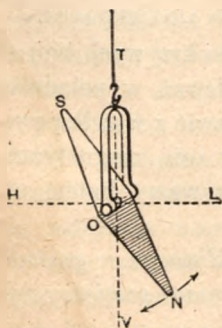


Fig. 78.

by ona żadnej siły kierowniczej, gdyby została ustawiona wprost nad biegunami, gdyż prosto, jak igła w pierwszym wypadku ostatniego doświadczenia, dążyłaby ona do położenia pionowego. Przeciwnie, im bliższą jest igła kompasowa równika magnetycznego, tem działanie jej jest swobodniejsze i czulsze.

Doświadczenie XXI. Weź płaską deskę (rajsbret do tego dobrze się nadaje) i ustaw ją pionowo w płaszczyźnie połu-

dnika magnetycznego. Przeciągnij linię poziomą S_g O N_g przez środek deski i zawieś igłę nachyleń na haczyku miedzianym (patrz fig. 78, str. 95)*) na skręconej nici, tak żeby jej oś wypadła wprost punktu O . Skoro się igła uspokoiła, oznacz na desce położenia biegunów północnego i południowego igły, potem usuń igłę i pociągnij linię N_m O S_m przez punkta S , O i N (fig. 79). Igła zajmuje (jak to poprze-

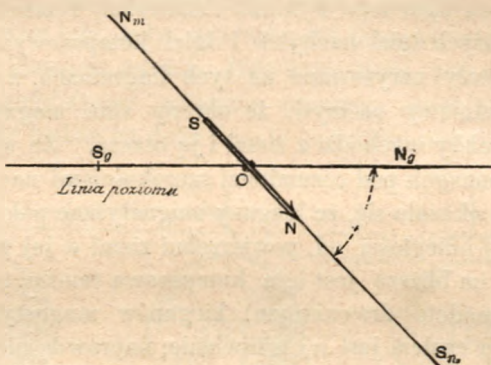


Fig. 79. Poszukiwanie kąta nachylenia albo inklinacji.

dno wyjaśniliśmy) położenie styczne do krzywych linii sił magnetycznych danego miejsca i ponieważ w południku magnetycznym daje się dokładnie ustawić z wszelką swobodą, przeto kąt N_g O S_m (pomiędzy osią magnetyczną igły a linią poziomą) tworzy to co nazywamy kątem nachylenia albo inklinacją igły.

Definicja. Nachylenie albo inklinacja w pewnym miejscu jest kątem wyrażonym w stopniach pomiędzy osią

*) O przygotowywaniu i użytku igły nachyleń do celów laboratoryjnych, zobacz Dodatek do „Magnetyzmu.”

magnetyczną igły nachyleń (która może się swobodnie obracać w płaszczyźnie południka magnetycznego) a linią poziomą w tej samej płaszczyźnie.

Kąt nachylenia (i) albo nachylenie teraz w Europie środkowej i zachodniej stopniowo zmniejsza się; tak np. w Londynie r. 1800 oznaczono $72^{\circ}8'$ Ph. — (Północ); r. 1868 = $68^{\circ}2'$ Ph. i 1888 r. = $67^{\circ}25'$. W Glasgow obecnie wynosi prawie 72° .

Oś magnetyczna ziemi i równik (patrz fig. 74). Podobnie do sztaby magnesowej ziemia posiada oś magnetyczną i równik magnetyczny.

Definicja. Oś magnetyczna ziemi jest linią prostą, która łączy bieguny magnetyczne. Równik magnetyczny jest linią urojoną, nieregularną, pociągniętą naokoło ziemi i łączącą wszystkie miejsca, w których igła nachyleń leży poziomo, jeżeli jej oś magnetyczna zostanie ustawiona w płaszczyźnie południka magnetycznego.

Warunki miejscowe jako to wielkie pokłady żelaza lub innych kruszców magnetycznych, rozmaite magnesy miejscowe tudzież burze magnetyczne zakłócają w wysokim stopniu prawidłowość linii równika magnetycznego, zboczenia i nachylenia w rozmaitych miejscowościach na powierzchni ziemi. Dla żeglarzy i tych, którym zależy na tych wiadomościach, istnieją mapy, które podają dla rozmaitych ważniejszych miejscowości przeciętne poziome natężenie magnetyzmu ziemskiego, zboczenie i nachylenie wraz ze szczególnymi liniami krzywymi, które łączą miejscowości posiadające: a) jednakowe natężenie — są to linie *izodynamiczne*, b) jednakowe zboczenie — czyli linie *izogoniczne*, c) jednakowe nachylenie — czyli linie

izokliniczne. Codzienne i bardzo dokładne postrzeżenia zmian i wszelkich warunków związanych z magnetyzmem ziemskim dokonywają się bez przerwy w obserwatoryach w Greenwich, Kew i wielu innych stacjach podobnych.

Pytania do wykładu VIII.

1. Narysuj przekrój ziemi przez jej bieguny magnetyczne, na którym byłyby wskazane prawdziwe bieguny, południk magnetyczny i równik, oś geograficzna i magnetyczna.

2. Co znaczy wyrażenie „południk geograficzny?” Co znaczy „południk magnetyczny?” Jaką nazwę nadają kątowi pomiędzy temi dwoma południkami i jaka jest jego wartość terazniejsza w Londynie?

3. Objaśnij zwięźle i zrozumiale, dlaczego biegun magnetyczny ziemi położony na półkuli północnej nazywa się prawdziwym biegunem południowym? Gdybyśmy go nazwali biegunem północnym, jak należałoby nazwać biegun igły kompasowej, który wskazuje północ i dlaczego?

4. Żądają od ciebie, ażebyś przedstawił zboczenie i nachylenie igły magnesowej; jak sobie postąpisz? Wskaż doskonałą analogię pomiędzy działaniem ziemi a działaniem sztaby magnesowej?

5. Jak się zmienia położenie igły nachyleń, skoro się ją przeprowadza z Londynu (a) ku biegunowi północnemu lub (b) ku równikowi?

6. Co znaczy, gdy mówimy, że nachylenie magnetyczne w Londynie wynosi $67^{\circ}30'$? Podaj ogólnie, w jakich miejscowościach na powierzchni ziemi nachylenie magnetyczne jest najmniejsze?

7. Jak się zachowa ¹⁾ igła nachyleń i ²⁾ igła kompasowa sprowadzone na bieguny magnetyczne ziemi?

8. Czy kierunek kompasu wozonego naokoło równika ziemi we wszystkich miejscowościach byłby jednakowy? Jeśli nie, to podaj jaknajściślej zmiany, jakie dają się zauważyć w jego zachowaniu podczas drogi?

9. Sztaba magnesowa wisi poziomo w południku magnetycznym. Przypuśćmy, iż obok niej zawiesimy inną sztabę; jak one będą oddziaływały na siebie? Wyjaśnij odpowiedź twą za pomocą diagramu.

10. Szeroka miękka sztaba żelazna leży na stole w południku magnetycznym; w pewnej od niej odległości i prawie na tym samym poziomie umieszczamy igłę nachyleń ¹⁾ na południe ²⁾ na północ od tamtej. Jaka będzie wielkość kąta nachyleń w każdym z tych dwóch wypadków? (Przytem pomija się działanie indukcyjne pomiędzy igłą a sztabą)?

11. Igła kompasowa odchyliła się o 15° od południka, gdy w pewnej odległości od niej na stole umieszczono sztabę magnesową. Czy odchylenie się zmieni, jeżeli bieguny magnesu zostaną połączone zgięciem żelazem. Daj wyjaśnienie.

12. Otrzymałeś magnes i środki do zawieszenia go. Jak oznaczysz a) południk magnetyczny b) w jakim kierunku leży północ? Przypuszcza się, że nie wiesz, który koniec tego magnesu jest północny i który — południowy.

13. Igła nachyleń może się wahać w południku magnetycznym. Od południa zbliżono do niej długą sztabę z miękkiego żelaza, utrzymywaną poziomo w kierunku północno-południowym. W jaki sposób nachylenie igły do poziomu będzie podlegało temu wpływowi skoro odległość pomiędzy nią a sztabą stopniowo zacznie się zmniejszać?

14. Magnes w kształcie podkowy leży płasko na blasze mosiężnej, którą zawieszono na sznurkach w taki sposób, że może obracać się naokoło osi pionowej nie wychodząc ciągle z poziomu. Jakie położenie ona wybierze?

WYKŁAD VIII.

Treść: Kompas okrętowy. — Magnesowanie przez działanie indukcyjne magnetyzmu ziemskiego. — Magnesowanie okrętów żelaznych i stalowych. — Wpływ ziemi na magnes jest kierowniczy lecz nie posuwający. — Igła kompasu zawsze posłuszną jest sile większej. — Para astatyczna. — Pytania.

Kompas okrętowy. Niejednokrotnie wspominaliśmy już o tym najdawniejszym i najpożyteczniejszym zastososo-

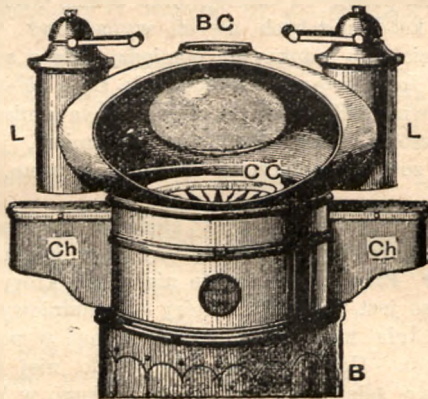


Fig. 80. Kompas okrętowy, według patentu Mac-Gregora.

Objaśnienie figury:

- CC wyobraża różę kompasu.
- B „ pudło ochronne, w którym przytwierdzone są magnesy kompensacyjne służące do wyrównywania błędów półkolistego i błędów nachylenia.
- Ch „ pudełka boczne zawierające miękkie żelazto przeznaczone do niweczenia błędów kwandrusowego.
- BC „ pokrywę pudła.
- LL „ lampy do oświetlania róży kompasu w nocy.

waniu magnesu. Trudy i niebezpieczeństwa zawodowe żeglarza byłyby o wiele większe, gdyby nie znajdował obok siebie nieodłącznego druha i przewodnika w kompasie. Fakt ten jest tak powszechnie uznawany, iż każdy świeżo ekwipowany okręt zanim port opuści powinien zapatrzeć się w kompas sprawdzony i poświadczony.

Objaśnimy tutaj kompas okrętowy najprostszej konstrukcyi, pozostawiając na później*) opis formy ulepszonej przez Sir Williama Thomsona jako wymagającej znajomości faktów przekraczających zakres książki elementarnej.

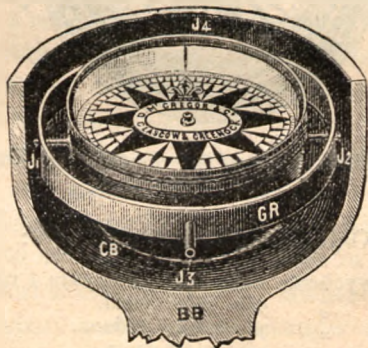


Fig. 81 Przekrój pionowy przez miedniczkę kompasu.

Rozpatrując figury powyższe i objaśnienia przytoczone, postrzeżemy, iż przyrząd składa się ze starannie odrobionej igły magnesowej przymocowanej do dolnej strony lekkiej róży wiatrów tak, że środek igły schodzi się ze środkowym punktem róży i oś magnetyczna dokładnie

*) Podręcznik dla wyższych kursów tegoż autora.

z linią łączącą punkty północy i południa na róży; owóż biegun północny igły leży w pobliżu punktu północnego albo „głowy” róży. Środek igły zaopatrzony jest w mały

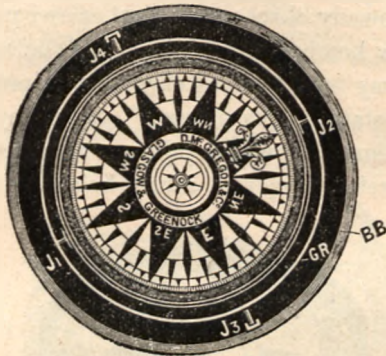


Fig. 82. Plan róży kompasu *) i miedniczki. Zwykły kompas Mc Gregora.

Objaśnienie figur powyższych:

CB	wyobraża	miedniczkę kompasu i różę.
J ₁ J ₂	„	ośki miedniczki.
GR	„	pierścień Cardana.
J ₃ J ₄	„	ośki pierścienia.
BB	„	pułdo ochronne.
	„	t. zw. „lubber-linię.”

kołpaczek \setminus z agatu lub szafiru w celu zredukowania tarcia do minimum i zabezpieczenia od rdzy pomiędzy nią a cienkim ostrzem stalowym, na którym igła spoczywa

*) (Skutkiem pomyłki) róża kompasu na planie obrócona została o 90° na prawo w porównaniu z przekrojem pionowym.

i obraca się. Iгла wraz z różą doskonale daje się równoważyć na tem ostrzu stalowem, które osadzone zostało centralnie we wnętrzu miedniczki mosiężnej lub miedzianej. Miedniczka posiada daszek szklany, chroniący różę od wilgoci i kurzu i pozwalający dostrzedz podziałki i oznaczenia wyryte na górnej stronie róży. Miedniczka nie jest przymocowana sztywno do swojego pudła ochronnego ale unosi się na pierścieniu Cardana, który pozwala miedniczce i róży zajmować położenie pionowe nawet gdy okręt mocno się kołysze. Pierścień posiada dwie panewki przeciwległe na dwóch końcach średnicy, na których spoczywają wystające z miedniczki i przytwierdzone do niej na stałe noże albo okrągłe ośki, oraz prostopadłe do tamtych dwie ośki, które opierają się w nośnikach przytwierdzonych na stałe do półkuli pudła.

Kompas kierowniczy znajduje się przed kołem tak, że „człowiek przy kole” z łatwością może widzieć różę wiatrów podzieloną na 32 punkty, jak wskazuje fig. 83, str. 104. Jeśli ów człowiek, życzy sobie za pomocą kompasu obrać pewien kurs określony, natenczas zwraca ster tak, aby pożądaný punkt na róży wiatrów znalazł się dokładnie wprost czarnej linii pionowej (technicznie zwanej „luber-linią”) pociągniętej na przedniej wewnętrznej ścianie miedniczki na linii przypadającej w kierunku ruchu okrętu. Ażeby kompas okrętowy stał się naprawdę przewodnikiem pożytecznym i pewnym, każdy okręt puszczający się w dalekie wyprawy winien posiadać mapę, na której wskazane są ostatnie zboczenia lub odstępstwa w rozmaitych punktach powierzchni ziemi. Zboczenie powinno być dodawane lub odejmowane od prawdzi-

wego kursu statku zanim kurs kompasu zostanie dany człowiekowi przy sterze. Naprzykład skoro chcemy otrzymać prawdziwy kurs (geograficzny) północny i zboczenie w miejscu zajmowanem przez okręt, wynosi, dajmy na to,

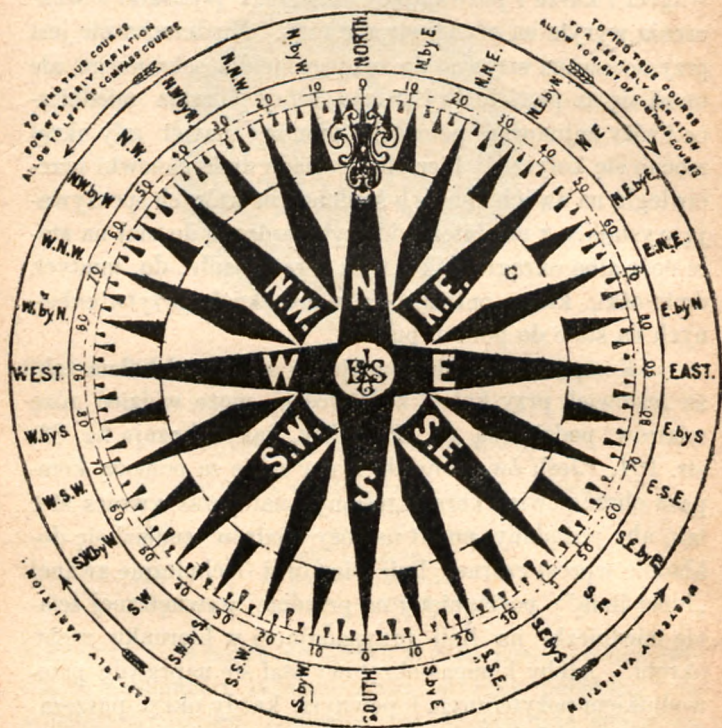


Fig. 83. Róża kompasu morskiego pp. Brown i Synowie.

20° Z., wtedy kurs steru powinien być 20° W. albo w języku żeglarski, należałoby sterować dokładnie na Płn. 20° W.,

albo w przybliżeniu Pn. Pn. Wsch. (Północo-Północo-Wschód) albo dokładniej Pn. Pd. W. przez $\frac{1}{4}$ Pn. Gdybyśmy chcieli sterować na północ podług róży wiatrów, kurs statku byłby Pn. 20° Z., czyli musielibyśmy od zamierzonego kursu ciągle sterować na 20° na zachód. Wiedzcie więc jak pilnie kapitan statku powinien wystrzegać się pomyłek nieodłącznych od złego zastosowania zboczenia. Są jeszcze inne błędy miejscowe, których trzeba unikać i o których w krótkości powiemy.

Doświadczenia XXII. Magnesowanie przez działanie indukcyjne magnetyzmu ziemskiego. Inny, bardzo stanowczy dowód, że ziemia działa jak magnes, znajdujemy w tym fakcie, iż sztaby żelazne i stalowe, które przeleżały pewien czas w kierunku północo-południowym, stają się magnetycznymi zwłaszcza jeśli są wystawione na wstrząśnienia. Chcąc to okazać, weź sztabę stalową nie-namagnesowaną albo twardą żelazną (może to być zwykły pogrzebacz) i potrzymaj ją poziomo tak, aby kierunek podłużny szedł od wschodu na zachód. Sprawdź jej końce zwykłą igłą kompasową a przekonasz się, że ona nie zdradza żadnej biegunowości, każdy zaś koniec w stopniu równym acz niewielkim zdradza przyciąganie względem jednego i drugiego końca igły. Teraz potrzymaj ją w południku magnetycznym pod kątem nachylenia danej miejscowości, w której się znajdujesz (65° dla Niemiec Środkowych, 67° dla Londynu, 72° dla Glasgowa), jak wskazuje fig. 84, str. 106 i uderzaj mocno jego górny koniec młotkiem lub tłuczkiem. Sprawdź sztabę nanowo, zapomocą igły i wówczas znajdziesz w dolnym jej końcu wzbudzony biegun północny, gdyż koniec ten odpycha biegun

północny igły, górny zaś posiada biegun południowy, ponieważ odpycha biegun południowy igły. Nareszcie potrzymaj sztabę albo pogrzebacz prawie poziomo w kierunku od wschodu na zachód, jak poprzednio i uderzaj mocno

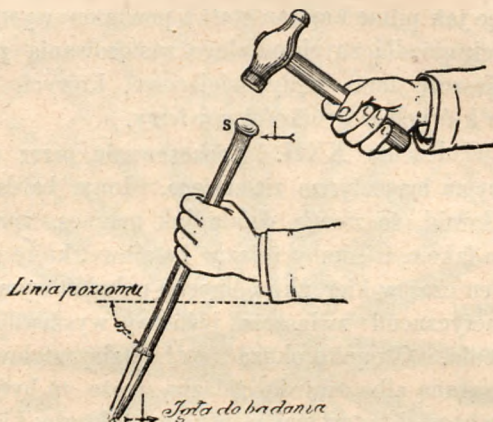


Fig. 84. Magnetyzm ziemski wzbudza biegunowość magnetyczną w pogrzebacz lub sztabie stalowej.

przez pewien czas. Sprawdź ją nanowo igłą i widzisz, (jeśli sztaba nie była zrobiona z bardzo twardej stali), że cały magnetyzm jej znika. W położeniu drugiem, gdy sztaba leżała dokładnie na drodze magnetycznych linii sił ziemi i biegunowość ziemi wzbudziła w niej bieguny odmienne, wtedy uderzenia nasze ułatwiły cząsteczkom obrót pod wpływem kierowniczym siły magnetyzmu ziemskiego. W tym ostatnim położeniu siła ziemi nie mogła w najmniejszym stopniu oddziaływać wzbudzająco na cząsteczki sztaby; wówczas uderzenia nasze wyzwoliły napię-

cie międzycząsteczkowe i pozwoliły biegunom cząsteczek utworzyć pomiędzy sobą krótkie obwody i połączyć się na podobieństwo opilek stalowych nasypanych do rurki szklanej (stosownie do rysunku i wyjaśnień danych na początku wykładu IV).

Weź ze sobą igłę kompasową tam gdzie żelazo lub stal ustawione są od niejakiego czasu pionowo naprz. do sztachet żelaznych, okalających park lub cmentarz a przekonasz się, że wszystkie dolne końce prętów są biegunami północnymi, górne zaś — południowymi, gdyż dolne końce zwrócone są w stronę prawdziwego magnetycznego bieguna południowego ziemi. Naturalnie magnetyzm ich nie ma całkowitej siły, jaką mógłby posiadać gdyby sztaby zwrócone były ściśle w kierunku magnetycznej siły ziemi; jeżeli więc dane sztachety posiadają ugóry i u dołu poprzeczne sztaby żelazne poziome w celu wzmocnienia, wtedy sztaby takie działają jak kotwice i podczas waszej obserwacji powstrzymują pełny rozwój wolnego magnetyzmu, któryby niechybnie wystąpił w sztabach pionowych przy innym sposobie umocowania.

Magnetyzm okrętów żelaznych i stalowych. Bez namysłu rzec można, iż każdy okręt żelazny i stalowy jest ogromnym magnesem pływającym.

Po-pierwsze: gdy okręt buduje się, pobijanie i nitowanie jakiemu on wtedy podlega, wspiera z natury rzeczy działanie indukcyjne magnetyzmu ziemskiego i wywołuje w częściach hartowanych i stalowych poprzecznie i płyt prawie trwałe magnetyzm. Działanie to jest o wiele potężniejszym, skoro żebra pojedyncze, na których budowa się opiera, mają kierunek północ-południo-

wy. Gdy okręt wyrusza na morze, część tego magnetyzmu zostaje stracona skutkiem uderzeń balwanów, zwłaszcza gdy kierunek przedniej części okrętu w czasie biegu jest przeciwny temu, jaki był w czasie budowy. Zawsze jednak pozostaje w nim pewna część pierwotnie wzbudzonego i prawie trwałego magnetyzmu, który wytwarza t. zw. błąd półkolisty kompasu albo błąd dający się najbardziej we znaki gdy okręt posiada kurs Pn., W., Pd. i Z. Błąd ten znika prawie zupełnie skoro na pokładzie albo w pudle zawierającym kompas umieścimy pod tym ostatnim jeden lub więcej trwałych magnesów, zwróconych w kierunku belki spodniej okrętu tak, że bieguny ich są przeciwległe do do biegunów statku. Ale ani magnetyzm okrętu ani magnesów przeciwdziałających nie jest stały i skutkiem tego od żeglarsza musimy wymagać aby ciągle zważał na wszelkie zmiany poważniejsze tego błędu.

Powtórę: Gdy okręt cieknie, magnetyzm ziemski wzbudza w jego miększych częściach żelaznych i stalowych magnetyzm i wytwarza t. zw. błąd kwadransowy kompasu, który to błąd najwięcej daje się we znaki, gdy okręt zmierza na Pn. W., Pd. W. lub Pd. Z. i Pn. Z. Błąd ten znosi się prawie skoro w poprzek okrętu na jednej linii z kompasem i po obu jego stronach umieścimy masy miękkiego żelaza lub magnesy.

Po-trzecie: Następny błąd zwany „błędem nachylenia” pochodzi z nachylenia i przechylenia się statku i w przybliżeniu daje się usunąć przez umieszczenie wprost pod kompasem pionowych magnesów.

Po-czwarte: Błąd, zwany „ładunkowym” pochodzi od przewożenia żelaza lub stali. W parowcach używanych do zakładania telegrafu, które posiadają po kilka zbiorników do przechowywania kabli podmorskich obwiniętych żelazem lub stalą, błąd ten jest bardzo wyraźny i zmienny, ponieważ położenie względne mas i kabli na okręcie ulega ciągłym zmianom z powodu układania lub odbioru albo przekładania z jednego do drugiego zbiornika.

Po-piąte. Na parowcach posiadających światło elektryczne zwłaszcza według systemu jednego przewodnika, gdzie więc do odprowadzenia prądów elektrycznych do maszyny używa się kadłubu statku, należy pilnie przestrzegać by przewodniki tak były ułożone i dynamomaszyny ustawione ażeby magnetyzm powstały pod wpływem tych prądów i biegunów nie oddziaływał na kompas okrętowy*).

Wszystkie te pięć rodzajów błędów miejscowych razem stanowią to co marynarze nazywają *dewiacją* kompasu, która łącznie ze *zbozczeniem* składa się na t. zw. *błąd całkowity* kompasu. Błąd dewijacyjny może współdziałać lub przeciwdziałać zbozczeniu miejsca, stoso-

*) Na parowcu Bombay, który pod okiem autora był zopatrzony w światło elektryczne, zauważył on największy błąd około 9° na kompasie sterowym i dopiero gdy użyto przewodników podwójnych wszędzie w pobliżu kompasu błąd stał się niedostrzegalnym. Sir William Thomson w komunikacie swoim w tym przedmiocie wypowiedzianym na zebraniu Bryt. Instytutu inżynierów elektryków w maju 1889 zwracał szczególną uwagę na ten rodzaj błędu (Patrz Sprawozdania z r. t.).

wnie do okoliczności i kursu jaki ma odbyć okręt; skutkiem tego nowe okręty, zanim wyruszą w podróż, ~~s~~prowadzone są do miejsc samotnych i dogodnych, naprz. okręty budowane nad Klajdą (Clyde) do Gaŕeloch nad tą rzeką, gdzie kompas zostaje wyrównywany przez ludzi kompetentnych i upoważnionych do kontrolowania kompasów. Zanim okręt wyruszy w drogę, kontroler, oddaje kapitanowi tabelkę błędów dewiacyjnych, ułożoną dla wzorowego (normalnego) kompasu okrętowego*); atoli warunki wpływające na kompas okrętowy tak się zmieniają, iż tabelka owa słuszną jest tylko dla miejsca, gdzie okręt stał na kotwicy w celu otrzymania równania kompasu, oraz dla tego stanu rzeczy jaki wtedy miał miejsce. Z tego powodu kapitan okrętu powinien korzystać z każdej sposobności do prowadzenia obserwacji słońca, gwiazdy biegunowej lub jakiego dobrze znanego cypla lądu, jeżeli chce się uchronić od pomyłek w czasie drogi.

Doświadczenia XXIII. Wpływ ziemi na magnes jest kierowniczy, nie zaś posuwający. Fakt to godny uwagi, że działanie ziemi na igłę opartą lub zawieszoną jest ra-

*) Kompas wzorcowy powinien być wykonany nader starannie i zaopatrzony we wszelkie najnowsze ulepszenia do prowadzenia postrzeżeń a wraze potrzeby, do równoważenia rozmaitych błędów miejscowych, albo też winien być umieszczony na wyniosłym miejscu (naprz. na wierzchołku słupa drewnianego lub masztu) tak aby praktycznie znajdował się poza obrębem miejscowego pola magnetyzmu okrętowego. Kompas ten niekiedy zowie się kompasem retmana i używany bywa przez kapitana i oficerów jako wzorcowy albo porównawczy do kontrolowania danych otrzymanych za pomocą zwykłego grubszego kompasu sterowego.

czej kierownicze, nie zaś posuwające. Proste doświadczenie wyjaśni nam w zupełności znaczenie tego zdania. Na korku puszczaemy do naczynia z wodą bardzo mały i lekki magnes i zwracamy go od wschodu na zachód. Zaledwie go puściliśmy, korek obraca się ze swoim magnesem jakby na czopie i zatrzymuje się w południku magnetycznym; ale ani korek ani igła nie



Fig. 85. Magnes na korku w naczyniu z wodą obraca się wyłącznie pod wpływem siły ziemi.

posuwają się ku północy lub ku południowi. Zmienia się kierunek lecz nie miejsce. Prawdziwy magnetyczny biegun południowy ziemii w tym samym czasie przyciąga biegun północny igły i odpycha jej biegun południowy; ale ponieważ przyciągające działanie wykonywa się tu z odległości krótszej niż odpychanie, przeto uczeń mógłby spodziewać się, że igła obracać się będzie jako całość ku pierwszemu biegunowi. Tymczasem bieguny ziemii tak są daleko, że krótką odległość pomiędzy biegunami igły wobec tamtych odległości przestaje już mieć jakiegokolwiek znaczenie. Mamy tym sposobem siły przyciągające i odpychające, które działają na igłę w tym

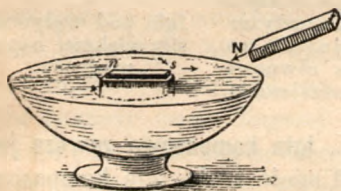


Fig. 86. Magnes na korku pływającym w naczyniu z wodą obraca się i przyciąga do sztaby magnesowej.

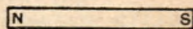
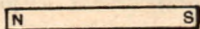
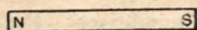
staje już mieć jakiegokolwiek znaczenie. Mamy tym sposobem siły przyciągające i odpychające, które działają na igłę w tym

posuwają się ku północy lub ku południowi. Zmienia się kierunek lecz nie miejsce. Prawdziwy magnetyczny biegun południowy ziemii w tym samym czasie przyciąga biegun północny igły i odpycha jej biegun południowy; ale ponieważ przyciągające działanie wykonywa się tu z odległości krótszej niż odpychanie, przeto uczeń mógłby spodziewać się, że igła obracać się będzie jako całość ku pierwszemu biegunowi. Tymczasem bieguny ziemii tak są daleko, że krótką odległość pomiędzy biegunami igły wobec tamtych odległości przestaje już mieć jakiegokolwiek znaczenie. Mamy tym sposobem siły przyciągające i odpychające, które działają na igłę w tym

samym czasie i praktycznie z jednakowych odległości; jednakże ponieważ siły te sobie są równe i przeciwne, przeto igła jako całość nie jest ani przyciągana ani odpychana.

Gdy atoli do igły przysuniemy biegun magnesu na taką odległość od niej, że *długość igły będzie znaczną w porównaniu z odległością pomiędzy nimi*, znajdziemy wtedy, że igła bywa *kierowana i przyciągana*.

Fig. 87.



Igła po za polem siły sztaby magnesowej a więc pod wpływem pola ziemi.

Położenie astatyczne. Magnetyzm ziemski i sztaba magnesowa równoważą się wzajemnie.

Igła pod wpływem siły większej naprz. magnesu.

Doświadczenia XXIV. Igła kompasowa zawsze jest posłuszna sile większej. Umieść małą igłę kompasową na stole i nad nią równolegle trzymaj sztabę magnesową, której bieguny zwrócone są tak jak bieguny igły. Trzymaj najpierw magnes w takiej odległości, żeby on wyraźnie nie oddziaływał na położenie igły (por. pierwszą z figur 87). Teraz powoli zbliżając sztabę postrze-

żesz, iż w pewnej określonej odległości igła zaczyna się wahać w tę i ową stronę. Jeżeli magnes zatrzymamy, tedy igła utrzyma się w każdym położeniu jakie jej nadamy. Jeżeli obniżymy magnes jeszcze więcej, igła zrobi naraz pół obrotu i zatrzyma się zwrócona biegunami tak, jak wskazuje trzecia z załączonych figur. W położeniu pierwszym magnes był tak daleko, że tylko niektóre z jego linii sił przechodziły przez igłę; skutkiem tego już on nie wywierał na nią wyraźnego wpływu. Skoro go przybliżyliśmy, więcej linii sił zaczęło przechodzić przez igłę, aż nareszcie w położeniu drugim już on może zobojętnić siłę kierowniczą magnetyzmu ziemskiego. Następstwem tego było, że igła swobodnie mogła zatrzymać się w każdym położeniu. Skoro magnes został bardziej zbliżony, wpływ jego nad wpływem ziemi przeważył i igła posłuszna mocniejszej sile kierowniczej obróciła się i zatrzymała, zwrócona biegunem południowym do bieguna północnego sztaby magnesowej.

Para astatyczna. Igła z magnesem w położeniu drugim nazywa się astatyczną, gdyż nie posiada stanu określonej równowagi, lecz w każdym położeniu nadanem jej mechanicznie zatrzymuje się. Jeżeli teraz będą wzięte dwa magnesy, co do długości oraz natężenia biegunów jednakowe i spojone razem drutem albo innym jakim wiązadłem sztywnym tak, że ich osi magnetyczne będą równoległe i bieguny jednakowe odwrotnie zwrócone, tedy powstanie urządzenie, które nazywają rozmaicie: *parą astatyczną*, *układem astatycznym* albo *igłami astatycznymi*. Jeżeli układ w tym rodzaju, co na fig. 88 str. 114,

zostanie zawieszony za środek w ten sposób, że ma zapewniony ruch swobodny w płaszczyźnie poziomej, wtedy oba magnesy zubojetnią się wzajemnie. Siła ziemi, przy-

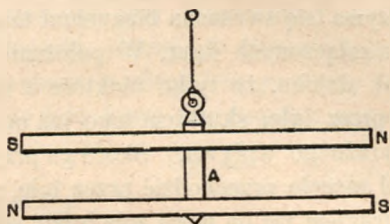


Fig. 88. Igły astatyczne.

ciągająca biegun północny jednej igły, dokładnie jest równoważona przez siłę odpychającą biegun południowy

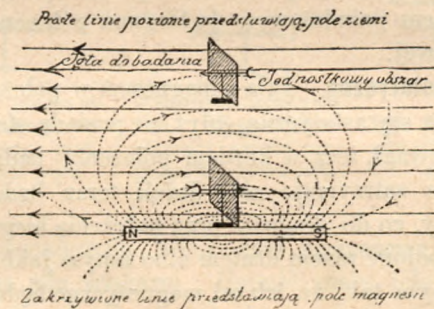


Fig. 89. Okazanie natężeń względnych dwu pól za pomocą linii (patrz pyt. 10).

UWAGA. Linie ziemi nie są poziome w Głaskow, chociaż w obrębie kompasu mogą za takowe uchodzić, co też wskazuje figura załączona.

drugiej igły; skutkiem tego nie ma tu siły kierowniczej któraby zmuszała taki układ do zajęcia pewnego szczególnego położenia. Później znajdziemy sposobność do wyłożenia, w jaki sposób podobny układ dwóch igieł, skoro się go połączy z jedną lub dwiema cewami drutu, tworzy wielce użyteczny i dogodny galwanometr astatyczny, nadający się zarówno do wskazywania obecności i kierunku, jak do pomiarów natężenia prądów elektrycznych.

Pytania do wykładu IX.

1. Narysuj i opisz najprostszą formę kompasu okrętowego i wskaż jego części, nadmieniając z czego i dlaczego się robią.

2. Dlaczego okręty żelazne i stalowe można uważać za magnesy?

3. Jakie są rozmaite rodzaje błędów, które mogą się wydarzyć w kompasie okrętowym? Jakie przyczyny wywołują te rozmaite błędy?

4. Objaśnij, z jakiego powodu niekiedy w pobliżu kompasu okrętowego przed nim, po obu stronach, mieści się jeden lub kilka magnesów stalowych na pokładzie. Dlaczego niekiedy w poprzek okrętu po obu stronach kompasu normalnego położone są masy miękkiego żelaza? Co rozumiesz przez kompas normalny?

5. Dlaczego, po ustawieniu długiej sztaby żelaznej, bardzo miękkiej, prostopadle, górny jej koniec odpycha biegun południowy igły kompasowej, dolny zaś koniec — biegun północny igły kompasowej? Jaki byłby dokładny skutek rozgrzewania końca sztaby stalowej, utrzymywanej w południku magnetycznym i pod kątem nachylenia (danej okolicy)? Jaki byłby skutek uderzania młotkiem sztaby stalowej utrzymanej poziomo od wschodu na zachód?

6. Dwie jednakowe sztaby stalowe po jednakowem namagnesowaniu były trzymane przez kilka lat w położeniu pionowem, przytem: a) pierwsza biegunem południowym do góry, b) druga biegunem północnym do góry. Sztaby są tak daleko od siebie, że nie oddziałują na siebie. Która z tych sztab przypuszczalnie lepiej zachowa swój magnetyzm i dlaczego?

7. Miękką sztaba żelazna AB leży poziomo od wschodu na zachód, przyczem koniec jej wschodni pozostaje w odległości blisko 10 cm. na zachód od północnego bieguna igły kompasowej. Koniec A trzymamy mocno, zaś B podnosimy dopóki sztaba nie stanie poziomo. Jak sztaba wpływa na igłę w jej położeniu pierwotnem i ostatecznem?

8. Mały magnes kładziemy na korku płaskim, pływający na półmisku z wodą i przytwierdzamy go do korka odrobiną wosku. Opisz i objaśnij zachowanie się magnesu: 1) pod wpływem wyłącznym magnetyzmu ziemskiego i 2) skoro do niego zbliżymy sztuczny magnes stalowy?

9. Mówią niekiedy, iż ziemia nie posiada żadnej dążności do nadawania igle magnesowej ruchu przenośnego, że jednak w pewnych określonych warunkach posiada dążność do nadania jej ruchu obrotowego. Jaka jest podstawa do takiego twierdzenia?

10. Mocny magnes stalowy leży na stole, osią swoją w południku magnetycznym i biegunem północnym zwrócony na północ. Powiedz jaki kierunek wskaże igła kompasowa, skoro się ją: 1) umieści tuż nad środkiem sztaby magnesowej, 2) podniesie stopniowo w kierunku pionowym.

NB. Igła kompasowa może obracać się tylko w płaszczyźnie poziomej naokoło swojego punktu oparcia.

11. Jak otrzymasz igłę astatyczną z pasków sprężyny zegarkowej, jednostajnie namagnesowanej, którą można dowolnie giąć lub łamać.

12. Dwie sztaby magnesowe jednakowe i jednakowo namagnesowane, zostały przymocowane do siebie prostopadle

w punktach środkowych, tworząc rodzaj krzyża równoramiennego. Jakie położenie przybierze krzyż, jeśli będzie się wahał pośrodku na ostrzu w płaszczyźnie pionowej?

13. Układ astatyczny dwu magnesów został zmieniony w ten sposób, iż magnesy zwrócono prostopadłe do siebie zamiast równoległe. Jakie położenie przybierze on względem południka magnetycznego, jeśli się go zawiesi zwyczajnie? Odpowiedź swoją objaśnij, rysując, jak siły działają na magnes.

14. Belka wagi zrobiona jest z miękkiego żelaza. Skoro ją umieścisz pod kątem prostym do południka magnetycznego, obciążaj oba jej końce jednakowymi ciężarami, aż do zrównoważenia. Czy ciężary ciągle jeszcze będą się wydawały równe, jeżeli belka wahać się będzie w południku magnetycznym? Wskaż przyczyny oraz szkice do swojej odpowiedzi.

15. Kawalek drutu stalowego zgiętego tak, że tworzy dwa boki kwadratu, namagnesowano w taki sposób, że każdy z jego wolnych końców jest biegunem północnym, zaś miejsce zgięcia biegunem południowym. Jeśli go umieścimy na korku pływającym po wodzie, jak się on wtedy zwróci?

16. Pręt żelazny AB, utrzymywany pionowo końcem B na dół, mocno uderzono młotkiem. Jeśli go położymy poziomo i zbliżymy do igły kompasowej, koniec B odpycha biegun północny igły w odległości 10 cm i przyciąga, skoro, odległości zmniejszą się do 2,5 cm.

17. Wysoki słup żelazny stoi nieco z przodu kompasu na okręcie drewnianym. Objaśnij rodzaj błędu kompasu, skoro okręt pożegluje na wschód: a) na półkuli północnej, b) na półkuli południowej.

18. Pręt żelazny, przysunięty do igły kompasu, przyciąga jeden biegun i odpycha drugi. Jak się przekonasz czy magnetyzm jego jest trwały lub też jest wynikiem chwilowej indukcji ziemskiej?

19. Pręt żelazny, ustawiony pionowo, uderzamy młotkiem. Znajdujemy, że górny koniec odpycha biegun połu-

dniowy i przyciąga północny igły kompasu. Odwracamy teraz pręt całkowicie i ten sam koniec (obecnie dolny) ponownie sprawdzamy. Wtedy uderzamy go i raz jeszcze sprawdzamy. Powiedz, jakich wyników należy oczekiwać i jak je wytłumaczyć.

20. Sztaba magesowa leży na stole, prostopadle do południka magnetycznego i zwrócona do środka igły kompasowej. Opisz i objaśnij zachowanie się igły.

21. Jeżeli wyprowadzimy igłę kompasową z południka magnetycznego, robi ona pewną liczbę wahań na minutę w płaszczyźnie poziomej. Czy sądzisz, iż wahańcia jej będą prędsze lub wolniejsze: a) na równiku magnetycznym; b) w pobliżu bieguna magnetycznego północnego lub w miejscach pośrednich? Uzasadnij swoje odpowiedzi.

X.
WYKŁAD IX*).

Treść: Bezwzględne jednostki mechaniczne miar.—Prawo Coulomb'a. — Jednostka natężenia biegunu magnetycznego. — Linie jednostkowe. — Natężenie pola magnetycznego. — Proste wypadki pól magnetycznych. — Składanie kilku pól magnetycznych w jedno pole wypadkowe. — Moment magnetyczny sztaby magnesowej. — Długość wahnięć igły magnesowej w polu jednorodnym. — Określenie względnych natężeń pól magnetycznych. — Absolutne oznaczenie magnetyzmu ziemskiego i magnetyzmu sztabowego podług Gauss'a. — Indukcyja magnetyczna i magnesowanie właściwe. — Przenikalność i podatność magnetyczna. — Paramagnetyzm i diamagnetyzm. — Prąd magnetyczny. — Praca magnesowania i potencjał magnetyczny. — Pytania.

Absolutne jednostki mechaniczne. Wszystkie wielkości pomiarowe w mechanice doświadczalnie sprowadzają się do *dwóch*, a raczej do *trzech zasadniczych lub podstawowych wielkości*. Jako takie miarodajnymi okazały się długość, czas i masa. A zatem potrzebne nam są trzy zasadnicze jednostki, a mianowicie: na mocy uchwały międzynarodowego zjazdu elektryków w Paryżu r. 1881.

jednostka długości 1 centymetr = 1 cm.

„ czasu 1 sekunda = 1 s.

„ masy 1 gram = 1 g.

*) Ten rozdział, oraz kilka następnych rozdziałów, w których zachodzi mowa o miarach i mierzeniu, uzupełniłem uwagami i oznaczeniami, wzorowanymi przeważnie na wybornem współczesnem dziele prof. dr. Leona Grunmach'a z politechniki Berlińskiej p. t. „Lehrbuch der magnet. u. elektrischen ⁰⁰¹Messeinheiten, Messmethoden und Messapparate” Stuttgart, 1895. (Przyp. tł.).

Wszystkie inne wielkości zowią się *pochoďnemi*, jednostki zaś miary — *jednostkami pochoďnemi*. Tu należą przede wszystkim jednostka powierzchni: 1 centymetr kwadratowy = 1 cm^2 i jednostka przestrzeni 1 centymetr sześcienny = 1 cm^3 .

Następnie prędkością ciała nazywamy drogę, którą ono przebiegłoby w ciągu jednej sekundy, gdyby się poruszało jednostajnie; równa się *prędkość* ilorazowi drogi przebieżonej przez ciało podzielonej przez czas potrzebny do jej przebycia (przy ruchu zmiennym obie te wielkości mogą być nieskończenie małe). Stosownie do tego, jednostką prędkości jest *centymetr—sekunda* albo *centymetr na sekundę*, co podług oznaczenia przyjętego przez Maxwell'a = 1 cm s^{-1} *). *Przyspieszenie* lub *opóźnienie* nazywa się przyrostem lub ubytem prędkości na sekundę, jeżeli zmiana ta w jednakowych odstępach czasu zawsze jest jednakową albo jednostajną; dla ruchów, niejednostajnie się zmieniających, ostatni warunek ma znaczenie tylko w takim razie, gdy odstęp są nieskończenie małe. Odpowiednio do tego, przyspieszenie lub opóźnienie jest ilorazem prędkości przez czas, jednostka przeto $\frac{\text{cm/sek}}{\text{sekunda}}$ czyli $1 \frac{\text{centymetr}}{\text{sekunda}^2}$ albo *1 centymetr na sekundę — na sekundę* lub *1 centymetr na sekundę w kwadracie*, albo krócej 1 cm s^{-2} .

*) Wyrażenia złożone, otrzymane według prawideł algebry ze znaków cm, g, s albo L, M, T (długość, masa, czas) ułożonych w porządku alfabetycznym, np. cm s^{-1} ($L T^{-1}$) zowią się wymiarem danej wielkości o kształcie ogólnym $\text{Cm}^x \text{g}^y \text{s}^z$ albo $[L]^x [M]^y [T]^z$.

Kąt jest albo częścią płaszczyzny, ograniczoną dwiema prostymi lub dwoma promieniami zbiegającymi się w jednym punkcie; mierzy się go zwykle 360 częściami całkowitej płaszczyzny albo stopniami [oprócz tego istnieją podziałki mniejsze $\frac{1}{60}$ stopnia $= \frac{1}{60}^\circ = 1 \text{ minuta} = 1'$; $\frac{1}{60}' = 1 \text{ sekunda} = 1''$; czyli $1^\circ = 60' = 3600''$]. Albo jestto stosunek łuku koła, względem którego ten kąt jest środkowym, do promienia koła. Wynika ztąd, że kąt, stosownie do natury swojej, zawsze jest liczbą nieoznaczoną. Jednostką w tym razie jest kąt, którego łuk wyrównywa promieniowi czyli wynosi $57,2958''$); a zatem

$\varphi = \frac{x^\circ}{180^\circ} \pi$ *) i $x^\circ = \frac{\varphi}{\pi} \cdot 180^\circ$. Dla ruchów obrotowych albo rotacyjnych kąt ten, wytworzony w jednej sekundzie przez promień, nazywamy *prędkością kątową*. Jednostką prędkości kątowej jest $\frac{1}{\text{sekunda}} = 1 \text{ s}^{-1}$. Przyrost lub ubytek prędkości kątowej na 1 sekundę nazywa się *przyspieszeniem lub opóźnieniem kątowym*. Jednostką miary jest $\frac{1}{\text{sekunda}^2} = 1 \text{ s}^{-2}$.

Masa ciała, przypadająca na centymetr sześcienny, zowie się jego *masą właściwą* lub *gęstością*. Otrzymujemy ją w ten sposób, iż całkowitą masę ciała dzielimy przez

*) $\pi = 3,1416$ (w przybliżeniu $\frac{22}{7}$) jest znaną liczbą Ludolpha; $\log \pi = 0,49715$.

**) Kąt taki zowie się radyjanem (Przyp. tł.).

jego pojemność, więc będzie to oznaczenie typu $\frac{\text{gram}}{\text{cent. sześć.}}$ jednostką zaś — $1 \text{ cm}^{-3} \text{ g}$. Jestto *gęstość wody*.

Skoro pewna *siła* działa na *masę*, wytwarza w niej *przyspieszenie* (lub *opóźnienie*), które jest wprost proporcjonalne do wielkości siły i odwrotnie proporcjonalne do masy; a więc *przyspieszenie* lub *opóźnienie* *wytworzone* jest *proporcjonalne* do ilorazu $\frac{\text{siła}}{\text{masa}}$.

Jeżeli wybierzemy *jednostkę siły* taką, by nadawała *masie 1 grama przyspieszenie 1 centymetr na sekundę*, tedy w ogólności *przyspieszenie* lub *opóźnienie* = $\frac{\text{siła}}{\text{masa}}$. Wynika ztąd, że *siła* jest *iloczynem* *masa* \times *przyspieszenie*; *wy-*miar jej przeto jest $[M L T^{-2}]$, jednostką zaś *1 gram* \times *1 centymetr podzielony przez sekundę²*, czyli krócej 1 cmgs^{-2} . Jednostka ta zowie się także *dyną*.

UWAGA tłumacza. Ponieważ siła przyciągania ziemi albo ciężkość jest bardzo wygodnym środkiem do porównywania rozmaitych sił, przeto przyzwyczajono się te ostatnie wyrażać za pomocą ciężarów. Przecież pamiętać należy, że gram posiada wartość stałą tylko dla pewnego dobrze określonego punktu ziemi, po za tem dla rozmaitych punktów ziemi jest różną a w środku ziemi równa się zeru. Wobec tego, chcąc porównywać siły lub ciężary w rozmaitych okolicach ziemi, musimy koniecznie uwzględnić poprawkę wywołaną przez zmianę przyspieszenia ciężkości g.

Jeżeli g_{45} oznacza t. zw. *normalne przyspieszenie* ciężkości t. j. przyspieszenie ciężkości pod szerokością geograficzną 45° i na poziomie morza, a potem $g_{\varphi, H}$ przyspieszenie ciężkości w miejscu pod szerokością geo-

graficzną φ i na wysokości H n. p. m. (wyrażonej w centymetrach) tedy mamy wzór *)

$$g_{\varphi, H} = g_{45} (1 - 0,00259 \cos 2\varphi) (-0,00000000196 H).$$

Z formuły tej, zakładając $g_{45} = 980,63$ cm, znajdujemy dla Warszawy, biorąc pod uwagę (obserwatorium astronomiczne) szerokość geograficzną $52^{\circ} 13' 5,7''$ i wysokość n. p. m. 110 metrów **)

$$g_{\text{(Warszawa)}} = 981,24 \text{ cm.}$$

Na zasadzie powyższego wzoru dają się obliczyć dla najważniejszych stacyi metronomicznych wartości stosunku $\frac{g_{\varphi, H}}{g_{45}}$, a ztąd i $g_{\varphi, H}$ (patrz tabelkę w końcu

$$\frac{g_{\varphi, H}}{g_{45}}$$

książki).

Skoro siłę wyrażamy w ciężarach jednostki masy czyli w gramach, mówimy, iż wyrażamy ją w układzie grawitacyjnym miar. By siły wyrażone w układzie grawitacyjnym mogły być sprowadzone do układu absolutnego i odwrotnie, powinien być ustalony stosunek pomiędzy absolutną jednostką siły, dyną, a jednostką siły w układzie grawitacyjnym czyli ciężarem 1 grama.

Powiedzieliśmy, iż dyna jest siłą, która nadaje jednostce masy przyspieszenie jedność w układzie C. G. S. Tymczasem przyspieszenie, jakie posiada jednostka masy, spadając na ziemię pod szerokością geogr. 45° na poziomie morza w przestrzeni bezpowietrznej, wynosi 980,63 cm. Siła, powodująca owo przyspieszenie, a. m.

*) Broch, Travaux et mémoires du bureau international des poids et mesures I. A. 9. Paris, Gauthier-Villars 1881. We wzorze tym należałoby jeszcze, ściśle biorąc, uwzględnić poprawkę pochodzącą z miejscowej deformacyi poziomu morza i miejscowego przyciągania.

**) Dr. H. Landolt i dr. R. Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, II wyd. 1894, str. 9.

ciężar 1 grama, musi być równą iloczynowi z masy i przyspieszenia czyli $= 1 \times 980,63$; wedle tego ciężar 1 grama pod szerokością 45° na poziomie morza jest 980,63 razy większy od 1 dyny; w ogólności

$$m \text{ gramów} = m \text{ g dyn,}$$

jeśli g oznacza przyspieszenie wywołane przez ciężkość.

Skutkiem tego przyspieszenie jednostki masy, spadającej pod środkową szerokością na ziemię, okrągło wynosi 981 cm. Aby przyspieszenie wynosiło tylko 1 cm, siła przyspieszająca powinna wynosić $\frac{1}{981}$ ciężaru jednostki masy; okrągło

$$1 \text{ dyna} = \frac{1}{981} \text{ tej siły,}$$

którą wywiera ciężkość na jednostkę masy.

Pod szerokością geograficzną 45° i na poziomie morza

$$1 \text{ gram} = 980,63 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ kilogram} = 980,63 \cdot 10^3 \text{ dyn;}$$

i odwrotnie

$$1 \text{ dyna} = 0,001019752 \text{ gr}$$

$$= 0,001019752 \cdot 10^{-3} \text{ kgr.}$$

w Warszawie

$$1 \text{ gram} = 981,24 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ dyna} = 0,001019752 \cdot 10^{-3} \text{ kgr}$$

A zatem absolutna jednostka siły jest mało co większa od 1 miligramu.

Siła, która posuwa ciało *w kierunku działania* o pewną odległość, wykonywa *pewną pracę*. Praca ta mierzy się *iloczynem siły \times droga*. Jednostką przeto pracy jest *centymetr — dyna* albo *erga* $= 1 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-2}$.

Podobnie jak siłę, przyzwyczajono się wyrażać pracę w mierze *grawitacyjnej*. Miarą pracy potrzebnej do podniesienia ciała jest iloczyn z ciężaru ciała i wysoko-

ści podniesienia; podobnież miarą pracy, wykonywanej przez ciało swobodnie spadające, jest iloczyn z wagi ciała i wysokości spadku; pracę, którą wykonywamy, podnosząc ciężar 1 kilograma na wysokość 1 metra, oraz pracę, którą wykonywa ciało wagi 1 kilograma, spadające z wysokości 1 m, nazywamy *kilogrammetrem*. Wielkość pracy wyrażonej w mierze grawitacyjnej zależy od wielkości przyśpieszenia g pod wpływem siły ciężkości w danym miejscu. Zatem pracę, wyrażoną w mierze grawitacyjnej, należy pomnożyć przez g celem sprowadzenia jej do miary absolutnej.

W ogólności 1 gram—centymetr = g erg, 1 kilogrammetr = 100000 g erg.

Ponieważ erga jest jednostką bardzo małą, przeto do celów praktycznych musiano wprowadzić jednostkę większą a m.

megaergę czyli megergę = 1000000 erg.

W Warszawie

1 gramcentymetr = 981,24 erg

1 kilogrammetr = 98,124 megerg;

i odwrotnie

1 erga = 0,001019077 gramcentymetra

1 megerga = 0,01019077 kilogrammetra.

Do pomiarów elektrycznych wprowadzono jeszcze inną jednostkę miary pracy a mianowicie *joule* *), który określa się przez równanie 1 joule (j) = 10^7 erg.

Praca wykonywana zużywa się albo *w całości* na przezwyciężenie *oporów* przeciwdziałających ruchowi, albo zachowuje się w masie poruszanej w postaci *zasobu pracy* (siła żywa, energia ruchu, energia kinetyczna), jeżeli *oporów tych całkiem niema* lub skoro ich natężenie jest

*) Od nazwiska uczonego fizyka angielskiego Joule'a (wym. Dżaul).

mniejsze od siły działającej; ten zasób pracy wyrównywa połowie iloczynu z masy (M) i prędkości podniesionej do kwadrata (V) czyli $\frac{1}{2} MV^2$. Wymiarem pracy jest $[M L^2 T^{-2}]$.

Praca zużyta przez opory nazywa się *siłą napiętą* (siła martwa, energia położenia, energia potencjalna, jeżeli podczas ruchu odwrotnego siły, przedtem przeciwdziałające, stają się siłami poruszającymi (naprz. w razie ciężaru podniesionego, sprężyny naciągniętej, powietrza zagęszczonego, wreszcie ciał magnetycznych i elektrycznych). Podczas *tarcia* ruch ciała przechodzi w ruch cząsteczkowy — otrzymujemy *ciepło*. Wszystkie siły napięte a po części i ciepło mogą napowrót przeistaczać się w energię ruchu (*prawo zachowania energii**).

Przez *moment obrotowy* pewnej siły rozumiemy *iloczyn siły przez odległość jej kierunku działania od osi obrotowej*. *Moment obrotowy wielu sił, jednocześnie działających na to samo ciało przy obracaniu go, = sumie algebraicznej pojedynczych momentów obrotowych*. Wymiar momentu obrotowego jest ten sam co pracy $[M L^2 T^{-2}]$. Przez pomnożenie tego momentu obrotowego przez kąt obrotowy (wyrażony w mierze łuku) otrzymujemy *pracę wykonywaną (lub zużywaną) przez siły obracające*.

Zasób pracy ciała kręcącego się składa się z zasobu pracy jego cząsteczek, które są rozmaite, ponieważ ich prędkości, stosownie do odległości od osi obrotowej, są wielce rozmaite. Jest ona równa połowie iloczynu z kwadratu prędkości kątowej i liczby którą otrzymujemy, mno-

*) Bliższe szczegóły o energii i jej wyrazach ciekawy czytelnik znajdzie w „Zasadach fizyki” prof. Aug. Witkowskiego, 1892 t. I, str. 190 i dalsze (Przyp. tłóm.).

ząc wszystkie masy cząsteczek (m) ciała przez kwadraty ich odległości od osi obrotowej (r) i następnie dodając wszystkie te iloczyny do siebie. Suma ta nazywa się momentem bezwładności ciała (B). Tym sposobem $B = \sum mr^2$; jednostką miary jest 1 cm s^{-2} .

Praca, wykonana lub zużywana w ciągu sekundy, zowie się w mechanice dzielnością lub skutkiem (efekt). Jednostką jest 1 erga na sekundę albo sekunda-erga $= 1 \text{ cm}^2 \text{ gs}^{-3}$. W elektrotechnice bierze się zazwyczaj jednostkę 10 milionów razy większą ($10^7 \text{ cm}^2 \text{ g s}^{-3}$), którą nazywamy watem $= \text{w}$ lub voltamperem $= \text{va}$ (nazwa ta znajdzie wyjaśnienie w części drugiej tego dzieła). Dalej 1 kilogrammetr na sekundę $= 98100000 \text{ erg na sekundę} = 9,81 \text{ wattów}$; 1 siła konia $= 75 \text{ kilogrammetrów na sekundę} = 736 \text{ wattów czyli albo voltamperów}$.

Otrzymujemy tedy skutek, albo dzieląc pracę przez czas, albo mnożąc siłę przez prędkość przy ruchu jednostajnie postępowym, albo mnożąc moment obrotowy przez prędkość kątową przy ruchu jednostajnie obrotowym.

Doświadczenie XXV. Prawo Coulomba. Weź dwie możliwie długie (blisko 70 cm.) i cienkie sztaby stalowe, jednostajnie namagnesowane, i zawieś jedną z nich podług fig. 4 poziomo na haku podwójnym za pomocą drutu mosiężnego ciągnionego na twardo, długiego na 50 cm i 0,3 mm grubego, górny koniec drutu złączony jest mocno z guzikiem obracającym się i opatrzonym we wskazówkę, oznaczającą podziałki stopni. Urządź to, wieszając z początku na haku sztabę mosiężną, tyleż prawie wazącą tak, żeby się sama ustawiała w południku magnetycznym, i wtedy dopiero osadź w haku sztabę magesową, zwróconą

biegunem północnym na północ. Potem przybliży drugą sztabę w położeniu pionowym tak, aby jej biegun północny n' znajdował się na tej samej wysokości, co biegun n sztaby zawieszonej, w odległości jeden od drugiego 10—20 cm (fig. 90) i przez obrót guzika nadaj drutowi takie skrę-

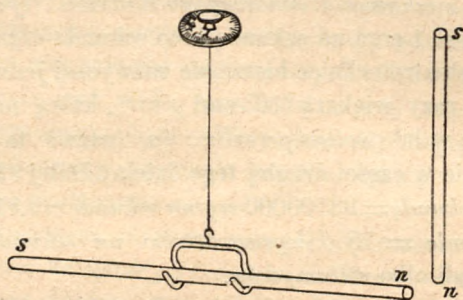


Fig. 90. Dowód prawa Coulomba.

cenie, ażeby sztaba sn nanowo powróciła do południka magnetycznego. Jeżeli dalej podwoimy lub zmniejszymy o połowę odległość nn' , tedy, by sprowadzić nanowo sztabę w południk, potrzebne jest skręcenie w czwórnasób mniejsze lub większe*). Skoro weźmiesz zamiast bieguna n'

*) Dobrze jest urządzić hamowanie wodne w celu przedszego uspokojenia wahnięcia sztaby ns . Składa się ono poprostu z cieniokiego prostokątnego kawałka blachy cynkowej (zz), do której przylutowano sztabkę mosiężną opatrzoną w hak podwójny, za pomocą którego, jak to wskazuje fig. 91, zawiesz

biegun s', musisz, rzecz prosta, obrócić guzik w kierunku odwrotnym. Tak samo oddziaływać mogą na siebie bieguny s i s' lub s i n'.

Ztąd wynika prawo:

Dwa bieguny magnetyczne działają na siebie z siłą, która jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu ich wzajemnej odległości.

NB. Sztaby magnetyczne do tego doświadczenia powinny być tak długie i odległość nn' tak mała, ażeby działania pomiędzy n' i s tudzież pomiędzy s' i n i s mogły nie być brane w rachubę. Urządzenie w rodzaju powyższego

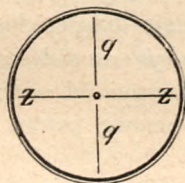
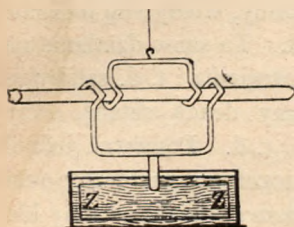


Fig. 92.

zowie się *szalkami* albo *wagą skręceń*.

się ją nad sztabą ns; blacha ta zanurza się w naczyniu cynkowym z wodą, ledwie kilka mm. szerokim, które ścianką poprzeczną, posiadającą pośrodku tylko szparę blisko 0,8 cm. szeroką dla zz, dzieli się na dwie połowy. Bez wodnego hamowania musielibyśmy sztabkę ns zamknąć w pudełku szklanem, aby ją zabezpieczyć od zakłóceń, pochodzących od słabych prądów atmosferycznych. Doświadczenie z tym przyrządem wykazało np.

przy odległości nn'	skręcenie
10 cm.	282°
18 cm.	90°

$$\text{Tymczasem } 10^2 : 18^2 = 100 : 324 \approx 90 : 282.$$

Gdyby można bez zobowiązań osłabienia, zamiast sztaby n's', zastosować obok siebie dwie jednakowe i jednakowo mocno namagnesowane sztaby, wtedy siłę możnaby znaleźć podwójną, potrójną i t. d. To samo działanie nastąpiłoby w razie podwojenia, potrojenia i t. d. sztaby ns. Skoro podwoimy jedną i potroimy drugą sztabę, otrzymamy sześciokrotne działanie i t. d. Ponieważ jednak wtedy powiedzieć możemy, iż biegun magnetyczny o natężeniu dwa, trzy i t. d. razy większem działa na inny biegun dwa, trzy i t. d. razy mocniejszy, więc niezwłocznie do prawa powyższego dołączyć możemy drugie, głoszące:

Dwa bieguny magnetyczne działają na siebie z siłą, która jest wprost proporcjonalną do iloczynu ich natężeń.

Oba prawa razem stanowią osnowę prawa Coulomba.

Jednostka natężenia bieguna magnetycznego. Z prawa Coulomba skorzystał słynny matematyk Gauss, ażeby ustalić dla natężenia bieguna magnetycznego jednostkę miary niezależną od rozmaitych wypadków. Za nim i stosownie do uchwał zjazdu Paryskiego, jednostkę tę określamy: Definicja: Powiadamy, iż *biegun magnesu posiada natężenie 1, skoro wywiera na inny biegun tej samej mocy, położony od tamtego w odległości 1 cm, siłę 1 dyny (1 cm g s^{-2}).*

Jednostkę tę nazywamy *absolutną**) *jednostką natężenia bieguna magnetycznego.* Nazwa ta podług Gaussa, powinna wyrażać zależność jednostki tylko od jednostek długości, czasu i masy, nie zaś od natężenia pewnego magnesu, dowolnie obranego na jednostkę. Pomiar, wyra-

*) Albo bezwzględną jednostką i t. d.

żone w takich jednostkach, nazywają się pomiarami *absolutnymi* w przeciwieństwie do innych, które się nazywają *względными* (porównaj określenie względnego natężenia wolnego magnetyzmu za pomocą wahnięd igły magnesowej, wykład V). Doświadczenie przytoczone na fig. 90 i 91 posłużyłoby do takiego absolutnego mierzenia natężenia biegunów obu magnesów, gdybyśmy wiedzieli, jak wielką jest siła, która powinna działać w końcu sztaby zawieszanej na haku, ażeby zrównoważyć skręcenie drutu o pewien określony kąt skręcenia naprz 1°. Jeśli oznaczymy natężenie obu biegunów przez \mathfrak{M} i \mathfrak{M}' , odległość zaś ich przez r , wtedy podług prawa Coulomba wyrażenie $\frac{\mathfrak{M} \cdot \mathfrak{M}'}{r^2}$ powinno wyrównywać pewnej sile, powinno zatem mieć te same wymiary co siła. Tym sposobem otrzymujemy $\frac{\text{wym. } \mathfrak{M} \times \text{wym. } \mathfrak{M}}{\text{cm}^2} = \text{cm g s}^{-2}$, a ponieważ $\text{wym. } \mathfrak{M} = \text{wym. } \mathfrak{M}'$, przeto $\text{wym. } \mathfrak{M} = \text{cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$.

Linie jednostkowe. Prawo Coulomba wyraża stosunek pomiędzy dwiema tylko urojonemi rzeczami a m. pomiędzy dwoma pojedynczymi *biegunami magnetycznymi uważanymi jako punkty*. Na mocy poglądów, wcześniej wyłożonych a pochodzących przeważnie od Faradaya, bieguny mogą być raczej uważane tylko za miejsca, kędy linie sił *największej gęstości* wychodzą i wchodzą do magnesu. W gruncie rzeczy takie linie sił opuszczają magnes we wszystkich miejscach. Gdy bieguny magnetyczne, w myśl prawa Coulomba, *istnieją tylko w wyobraźni, pole magnetyczne jest czemś rzeczywistem, zawsze istniejącem w magnesach i naokoło magnesów*.

Chcąc dojść do absolutnej miary natężenia takiego pola magnetycznego, użyjemy sposobu Maxwella:

Wyobraźmy sobie wiązkę płaszczyzn tak zbudowaną, że wiązki wszędzie są prostopadłe do linii sił pola; nazwiemy je *powierzchniami poziomymi* albo *sił*. Wiązka linii sił, która otacza przestrzeń rurkowatą i którą nazywać będziemy *rurką sił* albo *rurką indukcyjną* (fig. 92), wycina

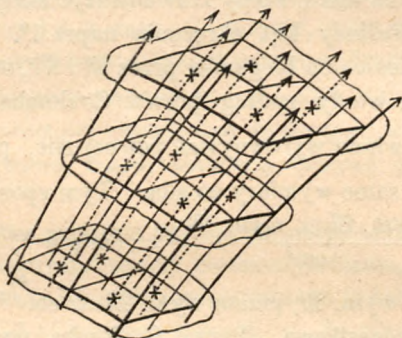


Fig. 92. Obraz linii jednostkowych.

na powierzchniach poziomym zamknięte kontury (patrz fig 92, na której rurki indukcyjne dla ułatwienia mają postać czworoboków sferycznych). Nadajmy rurkom indukcji rozległość taką, ażeby siła wywierana przez jeden taki oddzielnie pomyślany kontur na biegun magnetyczny, położony w jego środku, o natężeniu 1 (patrz wyżej) albo na *biegun jednostkowy* była jedną dyną (czyli tejże wielkości i kierunku, co siła wywierana przez biegun równego natężenia, położony od tamtego o 1 cm w kierunku linii sił),—

taka rurka nazywa się *rurką jednostkową*, linia zaś siły biegnąca przez jej środek i w pewnym stopniu skupiająca w sobie całą wiązkę linii sił, z których właściwie rurka się składa, linia jednostkową.

Natężenie pola magnetycznego. Definicya. Przez natężenie, gęstość albo moc pola magnetycznego rozumiemy liczbę linii jednostkowych przebiegających przez część powierzchni o rozległości 1 cm^2 , prostopadle do linii sił pola. Pole o natężeniu albo gęstości \mathfrak{H} wywiera na pojedynczy urojony biegun magnetyczny o natężeniu \mathfrak{M} siłę $\mathfrak{H} \mathfrak{M}$ dyn. Ztąd dają się wyprowadzić wymiary natężenia pola, ponieważ wym. $\mathfrak{H} \times$ wym. $\mathfrak{M} = \text{cm g s}^{-2}$, albo wym. $\mathfrak{H} \times \text{cm}^{3/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1} = \text{cm g s}^{-2}$. Według prawideł algebry wypływa ztąd wymiar $\mathfrak{H} = \text{cm}^{-1/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$ albo $[\text{M}^{1/2} \text{L}^{1/2} \text{T}^{-1}]$.

Pojedynczy biegun północny poruszałby się w kierunku linii sił pola, pojedynczy zaś biegun południowy przeciwko nim, gdyby nie posiadał żadnego stanu bezwładności czyli, gdybyśmy sobie mogli go wystawić jako punkt pozbawiony wszelkiej masy materyalnej.

Proste wypadki pól magnetycznych. Całkowita liczba jednostkowych linii pola magnetycznego w krótkości zowie się *połem* i oznacza przez Φ . Tylko w najprostszych wypadkach Φ i \mathfrak{H} dają się określić przez obliczenie. Kilka z tych najprostszych wypadków rozpatrzmy tutaj bliżej.

1. **Pole jednorodne.** Linie sił są prostymi równoległymi, gęstość zaś pola \mathfrak{H} jest stała. Gdy więc przekrój pola jest $Q \text{ cm}^2$, wtedy pole całkowite $\Phi = Q \mathfrak{H}$. Ztąd wymiar $\Phi = \text{wym. } \mathfrak{H} \times \text{cm}^2 = \text{cm}^{3/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1}$.

2. **Pole bieguna pojedynczego.** Linie sił są liniami prostymi albo promieniami, zbiegającymi się na biegunie, z drugiej zaś strony nieograniczonymi. Ponieważ siła wy-

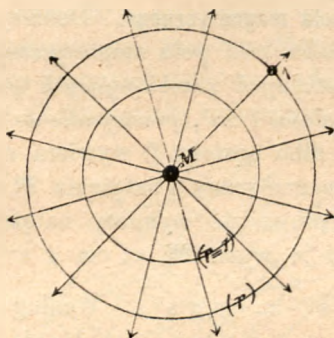


Fig. 93. Pole magnetyczne bieguna pojedynczego.

wierana na biegun jednostkowy w odległości r podług prawa Coulomba $= \frac{\mathfrak{M}}{r^2}$, przeto gęstość pola $\mathfrak{H} = \frac{\mathfrak{M}}{r^2}$ linii jednostkowych. Odpowiednio, całkowita liczba linii jednostkowych, albo pole $\Phi = 4 \pi r^2 \frac{\mathfrak{M}}{r^2} = 4 \pi \mathfrak{M}$, ponieważ powierzchnia kuli zawiera $4 \pi r^2$ centymetrów kwadratowych.

3. **Całkowite pole cienkiej sztaby magnesowej,** która składa się z dwu biegunów o jednakowym natężeniu, północnego i południowego, położonych w odległości 1 od siebie (w cienkich magnesach długość ta , zgodnie z doświadczeniem, wynosi 0,83 całkowitej długości sztaby, czyli bieguny naprz. sztaby magnesowej 10 cm dłuższej, leżą na

jej osi geometrycznej w odległości 0,85 cm od końców i od siebie o 8,5 cm) jest tak samo duże, jak pole pojedynczego bieguna, gdyż wszystkie linie sił, wychodzące z bieguna północnego, nanowo wchodzą przez biegun południowy. Gdy więc \mathfrak{M} jest natężenie bieguna, tedy całkowite pole magnesu $\Phi = 4 \pi \mathfrak{M}$.

Składanie wielu pól magnetycznych w jedno pole wypadkowe. Gdy mamy dwa pola jednorodne o rozmaitym natężeniu (\mathfrak{H}_1 i \mathfrak{H}_2) i kierunku, wtedy każde z nich wywiera na biegun \mathfrak{M} siły $\mathfrak{H}_1 \mathfrak{M}$ i $\mathfrak{H}_2 \mathfrak{M}$. Według zasady równoległoboku sił obie te siły, jeżeli działają jednocześnie, dają się zastąpić przez siłę średnią albo wypadkową, której wielkość i kierunek otrzymuje się w sposób następujący: wyobrażamy sobie siły jako odległości, których kierunki schodzą się z kierunkami sił, długości zaś są proporcjonalne do natężeń tychże sił; z odległości tych jako boków tworzy się równoległobok (k_1 i k_2 na załączonej fig. 94); wówczas

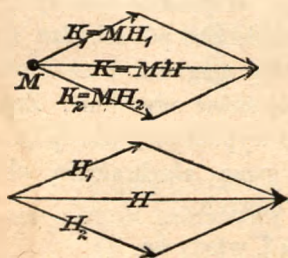


Fig. 94. Równoległobok sił i pól magnetycznych.

przekątna k tego ostatniego wyobraża siłę wypadkową. Ściśle to samo prawo powinno mieć znaczenie i dla pól magnetycznych wytwarzających siły k_1 i k_2 , co pozwala nam wyprowadzić **prawo zasadnicze**: Dwa jednorodne pola magnetyczne dają się zastąpić przez pole wypadkowe o natężeniu i kierunku określonym przez wielkość i kie-

runek przekątnej równoległoboku, którego boki, co do długo-

ści, proporcjonalne są do natężeń pól i, co do kierunku, zgodne są z kierunkami sił.

Z prawa tego można korzystać przy sumowaniu pól bardziej złożonych z pól prostszych. Naodwrot dane pole można rozłożyć na dwa lub więcej pól składowych. Prawo to wprawdzie przede wszystkim stosuje się do pól jednorodnych, ale ponieważ każde rozleglejsze i dowolnie ukształtowane pole w dostatecznie małych częściach przestrzeni może być uważane jako jednorodne (zupełnie tak, jak krótki kawałek linii krzywej wygląda jak linia prosta), przeto prawo powyższe posiada znaczenie i dla pól dowolnych. Naprzykład moglibyśmy przy jego pomocy zbudować prawdziwe pole magnesu sztabowego z urojonych pól obu jego biegunów; w tym jednak razie ograniczymy się do dwu ważniejszych wypadków szczegółowych.

1. Kierunek i natężenie pola magnetycznego sztabu magnesowej w punkcie, należącej do osi sztabu i położonym w odległości R od środka magnesu. W punkcie tym fig. 95

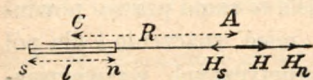


Fig. 95.

kierunki obu pól schodzą się z osią magnesu i zwrócone są do siebie odwrotnie. Ztąd pole wypadkowe jest prosto sumą algebraiczną obu pól danych.

Nazwijmy długość magnesu l , wtedy fig. 95

$$\mathfrak{H}_n = \frac{\mathfrak{M}}{\left(R - \frac{l}{2}\right)^2} \quad \text{i} \quad \mathfrak{H}_s = - \frac{\mathfrak{M}}{\left(R + \frac{l}{2}\right)^2}$$

wtedy

$$\mathfrak{H} = \mathfrak{H}_n + \mathfrak{H}_s = \frac{\mathfrak{M}}{(R - l/2)^2} - \frac{\mathfrak{M}}{(R + l/2)^2}$$

Daje się to łatwo doprowadzić do formy

$$\mathfrak{H} = 2 \mathfrak{M} l \cdot \frac{R}{\left(R^2 - \frac{l^2}{4}\right)^2} = \frac{2 \mathfrak{M} l}{R^3} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{l^2}{4 R^2}\right)^2}$$

Jeśli l jest bardzo małe wobec R , wtedy $l/2R$ a tem bardziej $l^2/4R^2$ jest tak małym ułamkiem, że można go pominąć wobec 1. W takim razie możemy przyrównać

$$\mathfrak{H} = 2 \frac{\mathfrak{M} l}{R^3}$$

2. Kierunek i natężenie pola magnetycznego w punkcie B , należącym do płaszczyzny równika magnetycznego sztaby magnesowej, w odległości R od środka sztaby.

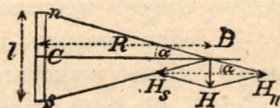


Fig. 96.

Oba pola posiadają teraz kierunki widoczne z fig. 96 oraz wielkość jednakową a m.

$$\mathfrak{H}_n = \mathfrak{H}_s = \frac{\mathfrak{M}}{R^2 + l^2/4}$$

\mathfrak{H} staje się wtedy przekątną romba i, odpowiednio do tego, posiada wielkości $\mathfrak{H} = 2 \mathfrak{H}_n \sin \alpha$. Teraz $\sin \alpha = \frac{l/2}{\sqrt{R^2 + l^2/4}}$

A zatem

$$\mathfrak{S} = 2 \frac{\mathfrak{M}}{R^2 + l^2/4} \cdot \frac{l/2}{\sqrt{R^2 + l^2/4}} = \frac{\mathfrak{M}l}{R^3} \frac{1}{\sqrt{(1 + l^2/4R^2)^3}}$$

Dla R dużego i l małego

$$\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{M}l}{R^3};$$

a zatem pole stanowi tylko połowę natężenia w punkcie A.

3. Pole magnetyczne ziemi w każdym miejscu może być uważane jako jednorodne z powodu nadzwyczaj wielkich odległości pomiędzy magnetycznymi biegunami ziemi. Ma ono kierunek igły nachyleń; natężenie jego nazywa się *całkowitem natężeniem albo mocą magnetyzmu ziemskiego*. Możemy sobie wystawić pole magnetyczne ziemi jako złożone z dwóch składowych — poziomej H_1 i pionowej H_2 (fig. 97), które oznaczamy jako składową *poziomą i pionową magnetyzmu ziemskiego*. Na igłę kompasową wpływa *wyłącznie* składowa H_1 .



Fig. 97.

Na igłę kompasową wpływa *wyłącznie* składowa H_1 .

4. Jedną z przyczyn, dla której obserwacja wahnięć, wykonana tak jak w wykładzie V, nie może wykazać prawdziwego rozkładu wolnego magnetyzmu, jest właśnie to, że w środkowych częściach sztaby, ustawionej pionowo, na igłę poziomą wpływa tylko składowa pozioma pola całkowitego, którego kierunek, jak wskazuje rzut oka na fig. 37, w ogóle nie jest poziomy. Drugą przyczyną może niekiedy tkwić w tem, że magnetyzm igły ulega zmianom w niewielkiej odległości od mocnego magnesu. Dokładny sposób będzie podany w części drugiej tego dzieła.

Moment magnetyczny. Definicja. — *Iloczyn Ml zowie się momentem magnetycznym albo magnetyzmem sztabowym sztabu magnesowej.*

Długość wahnięcia igły magnesowej w polu jednorodnem. Siły, które oddziałują w jednorodnem polu magnetycznem na oba bieguny igły magnesowej, są równe i odwrotnie skierowane. Z tego powodu nie mogą one wcale przesuwać igły lecz *tylko obracają ją* (patrz doświadczenie XXIII w ciągu ostatniego wykładu). Przytem jej *moment obrotowy* zawsze równa się sumie algebraicznej iloczynów sił, wywieranych na oba bieguny, przez odległości ich kierunków od osi obrotowej. Skoro igła zwrócona jest poprzecznie do linii sił, wtedy suma ta dla każdego położenia osi obrotowej równa się iloczynowi siły, wywieranej na biegun, przez długość magnesu (fig. 98 A).

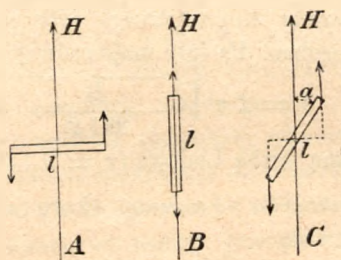


Fig. 98. Moment obrotowy igły magnesowej.

Jeżeli kierunek igły dokładnie zgadza się z kierunkiem pola, wtedy obie siły przechodzą przez oś obrotową; moment obrotowy jest wtedy zerem (fig. 98 B). Nareszcie skoro oś magnetyczna igły tworzy z kierunkiem pola

kąt α , wtedy odległość obu sił odwrotnych jest $l \sin \alpha$ (fig. 98 C), a zatem moment obrotowy równa się momentowi w razie A, pomnożonemu przez wstawę kąta odchylenia. Tym sposobem w razie A moment obrotowy posiada wartość największą odpowiadającą $\sin 90^\circ = 1$, zaś w razie B wartość zero odpowiadającą $\sin 0^\circ = 0$.

Gdy taka igła zostanie odchyłona ze swojego położenia równowagi (B) o kąt niewielki, wtedy wykonywa, skoro się ją puści wolno, naokoło niego małe wahnięcia; dla pełnego wahnięcia (tam i napowrót) istnieje ten sam stosunek, jak dla małych wahań wahadła a mianowicie:

$$\text{Długość wahnięcia} = 2\pi \sqrt{\frac{\text{moment bezwładności}}{\text{największy moment obrotowy}}}$$

Ponieważ siła wywierana na biegun $= M \mathfrak{H}$, przeto ów największy moment obrotowy $= M l \mathfrak{H}$ czyli równa się iloczynowi momentu magnetycznego igły przez natężenie pola. Tym sposobem dla igły magnesowej

$$t = 2\pi \sqrt{\frac{B}{M l \mathfrak{H}}}$$

gdzie π jest znaną liczbą Ludolfa ($\pi = 3,1416$).

Liczba wahań n na minutę, skoro t dane jest w sekundach, wyraża się

$$n = \frac{60}{t} = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{M l \mathfrak{H}}{B}}$$

Oznaczenie względnych natężeń pól magnetycznych. Dla jednej i tej samej krótkiej igły magnesowej wielkość $\frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{M l}{B}}$ dopóty jest stałą, dopóki magnetyzm igły się

nie zmienia. Załóżmy tedy $\frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{Ml}{B}} = \sqrt{a}$; wówczas dla jednej i tej samej igły

$$n = \sqrt{a} \cdot \sqrt{\mathfrak{H}}$$

$$n^2 = a \mathfrak{H}$$

czyli \mathfrak{H} jest proporcjonalne do kwadratu liczby wahnięć. W ten sposób podczas doświadczenia XXII w wykładzie \sqrt{V} liczba wahnięć użytą została do określenia względnego natężenia pola. Na rozległą skalę pierwszy Aleksander v. Humboldt określił z liczby wahnięć igły nachyleń względne natężenie magnetyzmu ziemskiego w bardzo wielu miejscowościach kuli ziemskiej.

Określenie absolutnego natężenia magnetyzmu ziemskiego i magnetyzmu sztabowego, podług Gaussa. Względne oznaczenia, które dopiero co przytoczyliśmy, nie dają się już ze sobą porównywać, skoro magnetyzm wahającej się igły uległ jakiegokolwiek nieznaney zmianie. By zaradzić temu złemu, słynny matematyk niemiecki Gauss (1833) pokazał sposób mierzenia natężenia pól magnetycznych, zwłaszcza zaś natężenia składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego, zupełnie niezależnie od przypadkowych zmian magnetyzmu w igle magnesowej i wykonał określenia *długości, czasów i mas*; ten rodzaj pomiarów nazwał on *absolutnemi*. Dla otrzymania *składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego* postępować należy jak następuje:

Doświadczenie XXVI. 1) Sztabę magnesową o známym momencie bezwładności, obracaną w płaszczyźnie poziomej, wprawiamy w wahanie naokoło osi pionowej, prze-

chodzącej przez jej punkt środkowy*). Niechaj długość wahnięcia będzie t ; a dalej jego moment bezwładności B . Wówczas

$$t^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{B}{\mathfrak{M}l H_1}$$

czyli
$$\mathfrak{M}l H_1 = \frac{4\pi^2 B}{t^2} = a.$$

2. A. Sprowadzamy do miejsca A (wypadek 1 na str. 136) punkt środkowy krótkiej igły kompasowej i umieszczamy w płaszczyźnie równika magnetycznego igły poziomo na jednej z nią wysokości (I położenie główne podług Gaussa) sztabę magesową tak, że odległość pomiędzy A a punktem środkowym sztaby wynosi R . Wówczas

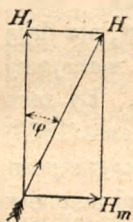


Fig. 99.

czas pole sztaby jest prostopadłe do *składowej poziomej* H_1 pola ziemskiego; oba dały pole wypadkowe, w kierunku którego ustawia się oś igły kompasu. Nazwijmy \mathfrak{H}_m — natężenie pola sztaby, \mathfrak{H} — natężenie pola wypadkowego i φ — kąt pomiędzy H_1 a H czyli kąt odchylenia igły od południka magnetycznego (patrz fig. 99), natenczas

*) W tym celu zaopatruje się sztabę magesową blisko 10 cm \times 1,5 cm \times 1 cm w haczyk mosiężny pośrodku i zawiesza się ją na nim na wiązce nieskręconych nici kokonowych (którą otrzymujemy przez nawijanie nici odwiniętej z kokonu naoko o dwóch szklanych pręcików, umocowanych równoległe do siebie, w należytej odległości) w pudełku szklanem zewsząd zamykanem, ażeby ruchy powietrza nie przeszkadzały doświadczeniu.

$$\frac{\mathfrak{H}_m}{H_1} = \text{tang } \varphi$$

Skoro R jest znaczne wobec długości sztaby, wtedy według powyższego:

$$\mathfrak{H}_m = \frac{2 \mathfrak{M}l}{R^3}$$

Tym sposobem

$$\frac{\mathfrak{M}l}{H} = \frac{R^3 \text{ tang } \varphi}{2} = b.$$

B. Albo doprowadź środek igły kompasowej do punktu B (wypadek 2 na str. 137), a więc sztabę magnesową ustaw poziomo, osią prostopadle do południka magnetycznego, na jednej wysokości z igłą tak, żeby jej punkt środkowy przypadał w południku magnetycznym, który przechodzi przez środek igły kompasowej (II położenie główne Gaussa); odległość pomiędzy punktem środkowym sztaby a igły niechaj znowuż będzie R. W takim razie pole sztaby znowu jest prostopadle do składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego i, jeśli \mathfrak{H}_m znowu oznacza natężenie pola sztaby, w takim razie kąt odchylenia φ' , jak poprzednio, określa się z równania

$$\frac{\mathfrak{H}_m}{H_1} = \text{tg } \varphi'.$$

Ale teraz $\mathfrak{H}_m = \frac{\mathfrak{M}l}{R^3}$; mamy więc

$$\frac{\mathfrak{M}l}{H_1} = R^3 \text{ tg } \varphi' = b'.$$

Dla niewielkich odchyień, w wypadku B kąt φ' wynosi zaledwie połowę kąta φ — w wypadku A; w razie metody A wszelkie nieprawidłowości w magnetyzmie

sztaby mniejszy mają wpływ na rezultat, tak że metoda ta zasługuje na większe uznanie. Aby tego rodzaju nieprawidłowości możliwie wyrównać, podług metody A kładziemy sztabę na wschód lub na zachód, podług metody B na północ lub na południe w odległości R od igły, poczem zwracamy oś najpierw od wschodu na zachód, potem odwrotnie. Otrzymują się w ten sposób zawsze 4 wartości dla φ i φ' , z których bierzemy przeciętną.

Jeżeli iloraz $\frac{1}{2R}$ nie jest tak mały, iż jego kwadrat wobec 1 daje się pominąć, wówczas w razie metody A prawą stronę równania dla $\frac{\mathfrak{M}l}{H_1}$ należy jeszcze pomnożyć przez czynnik $\left[1 - \left(\frac{1}{2R} \right)^2 \right]^2$, zaś w razie metody B przez $\sqrt{1 + \left(\frac{l^2}{2R} \right)^{2,3}}$ (patrz wyżej).

3. Mamy więc pomiędzy dwiema nieznanymi wielkościami $\mathfrak{M}l$ i H_1 dwa równania

$$\mathfrak{M}l H_1 = a ; \quad \frac{\mathfrak{M}l}{H_1} = b \text{ lub } b'.$$

Ztąd wypływa

$$(\mathfrak{M}l)^2 = ab \text{ albo } ab' ; \quad a \text{ zatem } \mathfrak{M}l = \sqrt{ab} \text{ albo } \sqrt{ab'}$$

$$H_1^2 = a/b \text{ albo } a/b' ; \quad a \text{ zatem } H_1 = \sqrt{\frac{a}{b}} \text{ albo } \sqrt{\frac{a}{b'}}$$

Przykład. Prostokątna sztaba magnesowa pryzmatyczna, 10,03 cm długa, 0,97 cm gruba i wążąca 137,4 g, zrobiła w ciągu 5 minut 27,2 sekund pełnych wahnięć; przytem w odległości R=45 cm wywołała ona następujące odchylenia krótkiej igły kompasowej:

		Oś	φ°
I	Polożenie główne, magnes W	Z W	9,20
		W Z	8,95
	Z	Z W	8,75
		W Z	9,85

$$\begin{aligned} \text{Przeciętna wartość } \varphi &= 9,19^{\circ} \\ &= 9^{\circ}11' \end{aligned}$$

		Oś	φ^{10}
II	Polożenie główne, magnes Pn	Z W	5,15
		W Z	3,75
	Pd	Z W	3,70
		W Z	5,05

$$\begin{aligned} \text{Wartość przeciętna } \varphi' &= 4,41^{\circ} \\ &= 4^{\circ}25' \end{aligned}$$

1. Moment bezwładności: $B = \frac{137,4}{12} (10,03^2 + 1,8^2) = 1188,0 \text{ cm}^2\text{g}$; długość wahnięcia $t = 327,2 : 25 = 13,09 \text{ Pd}$
 Ztąd wynika:

$$\mathfrak{M}H_1 = \frac{4 \cdot 9,8696 \cdot 1188}{(13,09)^2} = 273,71 \text{ cm}^2\text{gs}^{-2} = a.$$

2. Ponieważ długość osi magnetycznej sztaby wynosi 0,83 osi geometrycznej, przeto: $l = 8,32 \text{ cm}$, dalej $2R = 90 \text{ cm}$; tym sposobem $\frac{l}{2R} = 0,0925$, $\left(\frac{l}{2R}\right)^2 = 0,00855$.

A zatem

$$\begin{aligned} 1 - \left(\frac{l}{2R}\right)^2 &= 0,99145 ; \left[1 - \left(\frac{l}{2R}\right)^2 \right]^2 = 0,9831 \\ 1 + \left(\frac{l}{2R}\right)^2 &= 1,00855 ; \sqrt{\left[1 + \left(\frac{l}{2R}\right)^2\right]^3} = 1,0129. \end{aligned}$$

Tym sposobem wartość b , otrzymana metodą A, byłaby blisko o 1,7% za duża; wartość b' , otrzymana metodą B, byłaby blisko o 1,7% za mała, gdybyśmy nie wprowadzili poprawki.

A dalej: $\text{tang } 9^{\circ}11' = 0,1617$, czyli

$$\text{I Położenie główne: } \frac{\mathfrak{M}_1}{H_1} = \frac{1}{2} (45)^3 \cdot 0,1617 \cdot 0,9831 = 7242,7 \text{ cm}^3 = b.$$

A dalej: $\text{tang } 4^{\circ}25' = 0,0722$ czyli

$$\text{II Położenie główne: } \frac{\mathfrak{M}_1}{H_1} = (45)^3 \cdot 0,0772 \cdot 1,0129 = 7125,3 \text{ cm}^3 = b'.$$

Ostatecznie przeto otrzymujemy:

$$\text{zapomocą metody A : } \mathfrak{M}_1 = \sqrt{273,71 \cdot 7242,7} = 1408 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

$$H_1 = \sqrt{273,71 : 7242,7} = 0,1944 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

$$\text{zapomocą metody B : } \mathfrak{M}_1 = \sqrt{273,71 \cdot 7125,3} = 1396 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

$$H_1 = \sqrt{273,71 : 7125,3} = 0,1960 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

przeciętnie więc $H_1 = 0,195 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$

$$\mathfrak{M}_1 = 1402 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

oba postrzeżenia odbiegają tylko o 0,4% od przeciętnej.

Dalej po dawnemu otrzymujemy:

natężenie bieguna magnesu

$$\mathfrak{M} = 1402 : 8,32 = 168,5 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

całkowite pole magnesu

$$\Phi = 4 \cdot 3,1416 \cdot 168,5 = 2117 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Ponieważ przekrój $Q = 1,8 \cdot 0,97 = 1,746 \text{ cm}^2$, przeto przeciętne natężenie pola w płaszczyźnie równika

magnesu $= 2117 : 1,746 = 1212 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$, czyli przez centymetr kwadratowy przekroju przechodzi w płaszczyźnie równika sztaby 1212 linii jednostkowych.

Nareszcie całkowite natężenie magnetyzmu ziem-

skiego $= \frac{H_1}{\cos i}$; ponieważ jednak w Chemnitz, miejscu postrzeżeń, $i = 65^{\circ}20'$ a więc $\cos i = 0,418$, przeto wielkość ta $= 0,467 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$, czyli na 2 cm^2 powierzchni przypada zaledwie jedna linia jednostkowa.

Indukcja magnetyczna i magnesowanie właściwe żelaza i stali. Widzieliśmy już dawniej, że miękkie żelazo, w mniejszym zaś stopniu twarde i w jeszcze mniejszym — stal posiadają własność poniekąd skupiania w sobie linii sił pola. Ciała te w tym czasie, gdy ich cząsteczki magnetyczne obróciły się równolegle do siebie, skutkiem *indukcyi* same stają się magnesami; w ten sposób do istniejących linii sił pola przyłączyły się nowe, które wzmocniły natężenie pola.

Jeżeli pole wytworzone przez indukcję w żelazie i pole wzbudzające są jednorodne i Q jest przekrój masy żelaza, wtedy dla całkowitego pola w żelazie mamy

$$\Phi = Q \mathfrak{H} + 4\pi \mathfrak{M},$$

gdzie \mathfrak{M} oznacza natężenie biegunów magnesu, powstałego w żelazie. Wynika ztąd dla jednostki o przekroju (1 cm²):

$$\frac{\Phi}{Q} = \mathfrak{H} + 4\pi \frac{\mathfrak{M}}{Q}.$$

Istnieje więc (podług Sir Williama Thomsona)

Definicja: Iloraz $\frac{\Phi}{Q} = \mathfrak{B}$ zowie się *indukcją magnetyczną*, iloraz $\frac{\mathfrak{M}}{Q} = J$ *magnesowaniem właściwym materiału*. Przytem

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi J.$$

Przenikalność i podatność magnetyczna. Założmy teraz $\mathfrak{B} = \mathfrak{H}\mu$ i $J = \mathfrak{H}k$, gdzie μ i k są dwa czynniki liczebne, i nazwijmy

Definicja: μ — *przenikalnością magnetyczną*, $1/\mu$ *oporem magnetycznym właściwym*, k — *podatnością magnetyczną materiału*. Wówczas

$$\mu = 1 + 4\pi k.$$

Liczba k , a tem samem μ , dla ciał magnetycznych bynajmniej nie jest wielkością stałą, ale, przy wzrastającym natężeniu \mathfrak{H} pola wzbudzającego, k najpierw rośnie do pewnego maximum a potem spada tak, że ostatecznie wartość $J = \mathfrak{H}k$ jest stałą, czyli k jest odwrotnie proporcjonalną do wartości \mathfrak{H} . Odpowiada to stanowi *nasycenia magnetycznego* (patrz wykład IV). Załączona tablica*) zawiera war-

*) J. A. Ewing, *Magnetic Induction in Iron and other metals*. Niem. przekład Holborn'a i Lindeck'a. Berlin 1892, str. 55.

tości liczebne \mathfrak{H} , J , k , \mathfrak{B} , μ dla wstępującej gałęzi krzywej magnesowania miękkiego drutu żelaznego.

\mathfrak{H}	J	$k = \frac{J}{\mathfrak{H}}$	\mathfrak{B}	$\mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}}$
0	0	—	0	—
0,32	3	9	40	120
0,84	13	15	170	200
1,37	33	24	420	310
2,14	93	43	1170	550
2,67	295	110	3710	1390
3,24	581	179	7300	2250
3,89	793	204	9970	2560
4,50	926	206	11640	2590
5,17	1009	195	12680	2450
6,20	1086	175	13640	2200
7,94	1155	145	14510	1830
9,79	1192	122	14980	1530
11,57	1212	105	15230	1320
15,06	1238	82	15570	1030
19,76	1255	64	15780	800
21,70	1262	58	15870	730

Skutkiem wstrząśnień k rośnie podczas działania siły magnesującej (dla żelaza miękkiego μ może wzrosnąć do 20110).

O szczególnym wpływie temperatury na magnesowanie żelaza i stali była wzmianka w końcu wykładu IV. W najnowszych czasach Hopkinson drobniawo zbadał te zjawiska i znalazł, iż dla sił słabo magnesujących (aż przeszło do $\mathfrak{H} = 50 \text{ cm}^{-1} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$) μ najpierw rośnie prawie do temperatury krytycznej (w niektórych razach po za 11000), poczem nagle spada do 0. Nagle też powstaje magnetyzm przy oziębianiu i to, po największej części, w tej samej temperaturze, w jakiej zniknął podczas ogrze-

wania. Niektóre stopy żelaza i niklu okazywały w tym czasie dwie temperatury krytyczne: wyższą, w której magnetyzm znikł podczas ogrzewania, i niższą, w której ujawnił się nanowo podczas oziębienia. Ta ostatnia podczas jednej z prób spadła poniżej 0° .

Doświadczenie XXVII. Paramagnetyzm i diamagnetyzm. Opatrz bieguny potężnej i trwałej podkowy magnusowej o formie złożonej (jeszcze lepszy byłby elektromagnes taki, jak na fig. 11) w kotwice z końcami zaostrome-

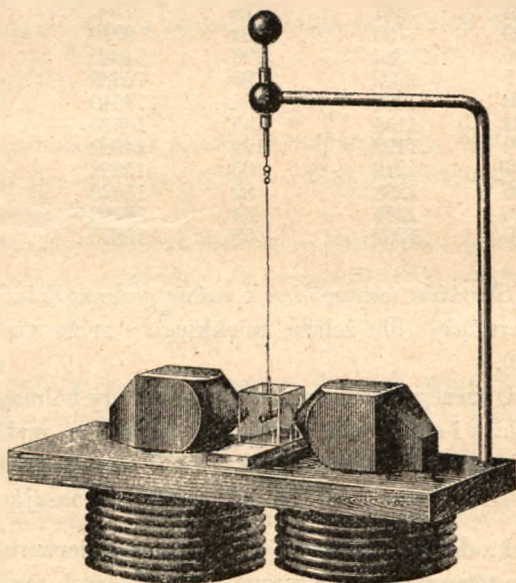


Fig. 100. Przyrząd do doświadczeń diamagnetycznych. mi z miękkiego żelaza jak na fig. 100. Do końców biegunów magnesu przymocowano stoliczek drewniany, a do nie-

go przyśrubowano małą statywę z drutu mosiężnego. Na statywie tej zawiesz na nici kokonowej pomiędzy biegunami magnesu: 1) krótką i cienką sztabkę żelazną; 2) rurkę szklaną, napelnioną rozcieńczonym roztworem chlorniku żelaza, blisko 1,5 cm długą i 0,3 cm szeroką; 3) sztabkę bizmutu jednakowych prawie wymiarów. *W obu wypadkach, pierwszym i drugim, znajdujemy układ w kierunku osi magnetycznej albo poprostu układ osiowy, w wypadku trzecim sztabka ustawia się poprzecznie do tego kierunku, czyli w płaszczyźnie równika magnetycznego, słowem posiada układ równikowy.*

Ciała, zachowujące się jak w wypadku (1) i (2) — tu należą, oprócz żelaza, nikiel, kobalt, mangan, platyna, tlen, tudzież większość związków chemicznych tych metali np. chlornik żelaza — zowią się *paramagnetycznymi* albo poprostu *magnetycznymi*. Ciała zaś, zachowujące się tak, jak w wypadku (3), np. bizmut, miedź, wodór, gazy płomienia świecy, zowią się *diamagnetycznymi*.

Dla ciał paramagnetycznych podatność k jest dodatnia, dla powietrza jest zerem, a dla ciał diamagnetycznych przyjmuje wartości odjemne, lecz takie, że μ wciąż jeszcze zachowuje wartość dodatnią pomiędzy 0 a 1; ciało bowiem, któreby w ogóle nie przepuszczały magnetycznych linii sił, niema.

Według tego, przez ciała diamagnetyczne mniej przechodzi linii sił niż przez powietrze (lub przez próżnię); ponieważ jednak (patrz wykład XVIII) prostopadle do kierunku linii sił powstaje ciśnienie, rosnące wraz z gęstością pola, przeto ciała diamagnetyczne bywają odpychane

istotnie lub pozornie od gęstszych okolic pola do mniej gęstszych.

Jeżeli pogląd powyższy jest słuszny, tedy *każde ciało paramagnetyczne powinnyby zachowywać się jak diamagnetyczne, skoro się je otoczy ciałem paramagnetycznem stopnia wyższego*. O prawdziwości tego faktu najlepiej przekonywa następane.

Doświadczenie XXVIII. Zrób z cienkich krawędzi szklanych (np. szkiełek mikroskopowych), spojonych kitem, małe pudełko sześciennie, mające krawędź blisko 2 cm długą. Napelnij je roztworem chlorniku żelaza, gęstszym od roztworu w rurce szklanej (2). Następnie umieść pudełko to między ostrzami kotwicy i zawieś w jego wnętrzu rurkę szklaną (2). Wtedy rurka ustawi się w równiku.

Prąd magnetyczny. Nazywamy Φ również *prądem magnetycznym*; a dalej, jeżeli L jest całkowitą długością i Q przekrojem *obwodu prądu magnetycznego*, tedy *wielkość* $w = \frac{1}{\mu} \cdot L/Q$ *nazywamy oporem obwodu magnetycznego*; jeżeli pole to jest wszędzie jednorodne, tedy $\mathcal{H} L = F$ *jest siłą magnetomotoryczną*. Ponieważ, podług poprzedniego, $\Phi = Q H\mu$, przeto możemy pisać

$$\Phi = \frac{F}{W}$$

Równanie powyższe oraz nazwy wielkości, doń wchodzących, utworzone zostały analogicznie do *prądu elektrycznego*. Pod względem znaczenia tych wielkości i wzoru należy porównać je z odpowiedniami rozdziałami drugiej części tego dzieła (prawo Ohm'a).

Praca magnesowania i potencjał magnetyczny. Ażeby w polu magnetycznem jednorodnem o natężeniu \mathcal{H} przesu-

nać pojedynczy magnetyczny biegun północny, o natężeniu uprzednio określonym 1, wbrew kierunkowi linii sił, o kawałek drogi L , należy na drodze tej przewyciężyć siłę przeciwdziałającą albo opór $\mathfrak{H}1$, czyli wykonać potrzeba pracę mechaniczną, wyrównywającą $\mathfrak{H} \cdot L$ 1 albo $\mathfrak{H} L$ erg. Wedle tego, *wielkość $\mathfrak{H} L^*$), pomnożona przez natężenie bieguna magnetycznego \mathfrak{M} , daje w ergach pracę, którą trzeba wykonać (albo która wypada podczas ruchu odwrotnego), ażeby przesunąć biegun ten na odległość L , a którą zwiemy różnicą potencjału magnetycznego pomiędzy punktami krańcowymi drogi L (porównaj dalej pojęcie podobne w elektryczności).*

Ponieważ wytwarzanie indukcji magnetycznej w ciele, dającym się magnesować, możemy sobie również wystawić jako przesunięcie mas magnetycznych albo biegunów, któremu przeciwdziała od strony ciała pewien opór, przeto i magnesowanie ciała wymaga pewnego wydatku pracy mechanicznej, którą oznaczamy jako *pracę magnesowania*. Gdy mamy kawałek żelaza o przekroju Q i długości L

*) W polach niejednorodnych, gdzie \mathfrak{H} zmienia się ciągle, L można wziąć tak małe, by przesunięcie \mathfrak{H} przytem widocznie się nie zmieniło. Przesunięcie L o wartości skończonej, dla którego warunek ten już nie jest wypełniony, można sobie wyobrazić rozłożone na taką liczbę bardzo małych przesunięć dL_1 , dL_2 i t. d., że i dla każdego z nich przynależną wartość \mathfrak{H}_1 , \mathfrak{H}_2 i t. d., można uważać jako stałą; czyli w wypadku tym potencjał magnetyczny jest sumą iloczynów $\mathfrak{H}_1 dL_1 + \mathfrak{H}_2 dL_2 + \dots$ albo prosto $\Sigma \mathfrak{H} dL$. Ponieważ ostatecznie chodzi tu o sumę nieskończenie wielu nieskończenie małych składników, przeto obliczenie sumy powyższej jest zadaniem rachunku całkowego; suma powyższa jest całką określoną.

w polu magnetycznym jednorodnym o natężeniu \mathfrak{H} , to według tego, co mieliśmy (str. 148)

$$\Phi = Q \mathfrak{B} = Q \mathfrak{H} + 4\pi Q J.$$

Liczby linii sił $4\pi Q J$ dostarcza samo żelazo, bez żelaza mielibyśmy tylko $Q \mathfrak{H}$. Podług str. 134 $\mathfrak{M} = Q J$ byłoby natężenie biegunów magnesu, powstającego z żelaza, czyli $L \mathfrak{M} = Q L J$ byłby jego moment magnetyczny, gdybyśmy brali pod uwagę jedynie linie sił, wytworzone nanowo w żelazie. Możemy sobie magnetyzm ten wystawić w sposób następujący: przesuwamy biegun o natężeniu \mathfrak{M} od środka kawałka żelaza do bieguna o natężeniu — \mathfrak{M} w drugim końcu sztaby; a ponieważ siła, wykonywająca to przesunięcie, w obu wypadkach posiada wielkość $\mathfrak{H} \mathfrak{M}$, wielkość zaś tego przesunięcia jest $\frac{L}{2}$, przeto praca, wykonywana przez siłę magnesującą przy wytwarzaniu magnetyzmu w żelazie $= 2 \cdot \frac{L}{2} \cdot \mathfrak{H} \mathfrak{M} = L \mathfrak{H} \mathfrak{M} = Q L \mathfrak{H} J$.

Tu powinniśmy jeszcze przyłączyć pracę, potrzebną do wytworzenia pola \mathfrak{H} . Do obliczenia jej możemy dojść na drodze następującej: zakładamy $Q \mathfrak{H} = \frac{4\pi Q \mathfrak{H}}{4\pi}$; stosownie do tego, mielibyśmy do bieguna \mathfrak{M} (resp. — \mathfrak{M}) dodać na obu końcach żelaza jeszcze biegun \mathfrak{M}_0 (resp. — \mathfrak{M}_0) o natężeniu $\mathfrak{M}_0 = \frac{Q \mathfrak{H}}{4\pi}$ i, skutkiem tego, powiększyć moment magnetyczny jeszcze o $L \mathfrak{M}_0 = \frac{Q L \mathfrak{H}}{4\pi}$. Podobnie moglibyśmy sobie wystawić, że moment ten powstał ztąd, iż bieguny \mathfrak{M}_0 i — \mathfrak{M}_0 zostały przesunięte od środka ka-

wałka żelaza do jednego lub drugiego jego końca; siła, wywołująca to przesunięcie, jest $\mathfrak{M}_0 \mathfrak{H}$ a zatem praca, jak wyżej, równa się

$$2 \frac{L}{2} \cdot \mathfrak{M}_0 \mathfrak{H} = L \mathfrak{H} \mathfrak{M}_0 = \mathfrak{H} \frac{QL\mathfrak{H}}{4\pi} = \frac{QL\mathfrak{H}^2}{4\pi}$$

Otrzymujemy przeto pracę całkowitą

$$\frac{QL\mathfrak{H}^2}{4\pi} + QL\mathfrak{H}J = \frac{QL\mathfrak{H}}{4\pi} (\mathfrak{H} + 4\pi J) = \frac{QL\mathfrak{H}\mathfrak{B}}{4\pi} = \frac{F\Phi}{4\pi},$$

po wprowadzeniu dawniej użytych wielkości dla prądu magnetycznego F i Φ . Dla pól niejednorodnych i mas nieprawidłowo ukształtowanych obliczenie pracy magnesowania wymagałoby również rachunku całkowego.

Weźmy $L = 1$ cm i $Q = 1$ cm²; wtedy otrzymamy pracę całkowitą, potrzebną do namagnesowania 1 cm³ żelaza

$$\frac{\mathfrak{H}}{4\pi} (\mathfrak{H} + 4\pi J) = \frac{\mathfrak{H}^2}{4\pi} + \mathfrak{H} J = \frac{\mathfrak{H}\mathfrak{B}}{4\pi} *).$$

Dotychczas założyliśmy sobie, że pole nasze posiada natężenie \mathfrak{H} jednakowe podczas całego przebiegu magnesowania żelaza. Gdy jednak \mathfrak{H} i \mathfrak{B} współcześnie opadają lub rosną tak, jak to wskazuje krzywa magnesowania na fig. 72, musimy obrać drogą następującą, ażeby znaleźć pracę magnesowania. Niechaj $H_0, H_1, H_2, \dots, H_n$ będzie część krzywej magnesowania (na fig. 101, str. 156); z początku pole będzie \mathfrak{H}_0 , indukcyja zaś \mathfrak{B}_0 . Pomyślmy sobie że \mathfrak{H}_0 stopniowo rośnie, przyjmując wartości $\mathfrak{H}_1, \mathfrak{H}_2, \dots, \mathfrak{H}_n$,

*) Z powyższego rozważania wynika, że J nazwać można również *momentem magnetycznym magnetyzmu wytworzonego w jednostce pojemności* (1 cm³).

tudzież \mathfrak{F}_0 przechodzi w $\mathfrak{F}_1, \mathfrak{B}_2, \dots, \mathfrak{F}_n$ takie, że $\mathfrak{B}_1 - \mathfrak{F}_0 = \mathfrak{B}_2 - \mathfrak{B}_1 = \dots = \mathfrak{B}_n - \mathfrak{B}_{n-1}$. Wtenczas, stosownie do powyższego rozumowania, na przejście

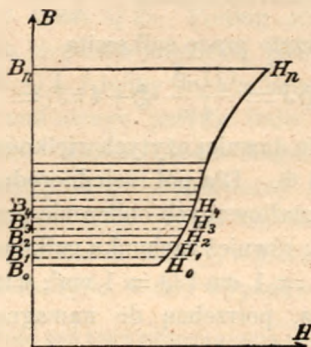


Fig. 101.

od $\mathfrak{F}_0 \mathfrak{B}_0$ do $\mathfrak{F}_1 \mathfrak{B}_1$ wymagamy pracy

$$\frac{\mathfrak{F}_0 + \mathfrak{F}_1}{2} \cdot \frac{\mathfrak{B}_1 - \mathfrak{B}_0}{4\pi} = \text{płaszcz.} \frac{B_0 H_0 H_1 B_1}{4\pi}$$

od $\mathfrak{F}_1 \mathfrak{B}_1$ do $\mathfrak{F}_2 \mathfrak{B}_2$ wymagamy pracy

$$\frac{\mathfrak{F}_1 + \mathfrak{F}_2}{2} \cdot \frac{\mathfrak{B}_2 - \mathfrak{B}_1}{4\pi} = \text{płaszcz.} \frac{B_1 H_1 H_2 B_2}{4\pi}$$

.....

od $\mathfrak{F}_{n-1} \mathfrak{B}_{n-1}$ do $\mathfrak{F}_n \mathfrak{B}_n$ wymagamy pracy

$$\frac{\mathfrak{F}_{n-1} + \mathfrak{F}_n}{2} \cdot \frac{\mathfrak{B}_n - \mathfrak{B}_{n-1}}{4\pi} = \text{płaszcz.} \frac{B_{n-1} H_{n-1} B_n H_n}{4\pi}$$

Możemy bowiem przyjąć, jeżeli zmiany $\mathfrak{B}_1 - \mathfrak{F}_0$ będą dostatecznie małe, dla natężeń pola, zmiennych w grani-

cach od \mathfrak{H}_0 do \mathfrak{H}_1, \dots , wartości przeciętne $\frac{\mathfrak{H}_0 + \mathfrak{H}_1}{2}$, albo, co na jedno wychodzi, możemy uważać płaszczyzny $B_0 H_0 H_n B_n \dots$ za trapezy równoległe. Całkowita praca, potrzebna do przejścia od stanu $\mathfrak{H}_0 \mathfrak{B}_0$ do stanu $\mathfrak{H}_n \mathfrak{B}_n$, jest sumą wymienionych prac pojedynczych; geometrycznie sumę tą wyobraża $\frac{1}{4\pi}$ część płaszczyzny $B_0 H_0 H_n B_n$, ograniczona z jednej strony przez odległości $B_0 H_0$ i $B_n H_n$ i z drugiej strony przez kawałki $B_0 B_n$ osi rzędnych oraz $H_0 H_n$ krzywej magnesowania.

Owóż, podług tego, co dopiero widzieliśmy, iloraz $\frac{B_0 H_0 H_n B_n}{4\pi}$ wyobraża w ergach pracę, którą

musimy wykonać na każdy centymetr sześcienny żelaza, jeżeli przejść chcemy od pola \mathfrak{H}_0 i indukcji \mathfrak{B}_0 do pola \mathfrak{H}_n i indukcji \mathfrak{B}_n (pracę tę naprz. wykonywają prądy elektryczne, jeżeli przebiegają przez elektromagnes). Odwrotnie, siły magnetyczne musiałyby *wykonać* *tę samą* pracę, którą moglibyśmy stosować i do innej działalności (naprz. do wytwarzania prądów elektrycznych), jeżeli przejść zechcemy od stanu $\mathfrak{H}_n, \mathfrak{B}_n$, do stanu $\mathfrak{H}_0, \mathfrak{B}_0$. Ściśle jednak ma to miejsce tylko dla pracy, odpowiadającej zmianie \mathfrak{H} , podczas gdy, skutkiem dopiero co opisanej w wykładzie VI *hysterezy*, część pracy, odpowiadająca własnemu magnesowaniu żelaza, już się nie daje w zupełności odzyskać, lecz ginie w samym żelazie, przechodząc w ciepło. By wyrobić sobie pojęcie o tej *stracie pracy*, wystawmy sobie, że z początku mamy natężenie pola $\mathfrak{H} = 0$ i że pozostaje jeszcze szczątkowa indukcya — B_0 . By wtedy wywołać stan $+\mathfrak{H}_1 + \mathfrak{B}_1$, potrzebujemy pewnego

nakładu pracy, który daje się wyobrazić przez $\frac{1}{4\pi}$ część całkowitej płaszczyzny $-B_0 + H_1 - B$, położonej na fig. 102, str. 158, na prawo od osi rzędnych $-B + B$. Niechaj teraz \mathfrak{H} nanowo spada od $+H_1$ do 0, wtedy skutkiem hysterezy odzyskujemy tylko $\frac{1}{4\pi}$ część płaszczyzny zacieniowanej $\#$, odpowiadającej pracy $+B_0 + H_1 + B_1$.

Jeżeli teraz \mathfrak{H} nanowo przejdzie od 0 do $-H_1$, i odpowiednio, \mathfrak{B} od $+B_0$ do $-B_1$, tedy $\frac{1}{4\pi}$ powierzchni $+B_0 - H_1 - B_1$ nalewo od osi rzędnych $-B + B$ wyobraża nakład pracy, na to potrzebnej. Nareszcie gdy przejdziemy od $-H_1$ do $\mathfrak{H} = 0$, i odpowiednio, $-B_1$ przejdzie

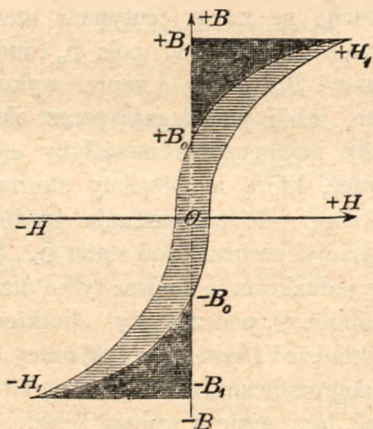


Fig. 102.

w B_0 , tedy odzyskujemy napowrót jako pracę $\frac{1}{4\pi}$ część płaszczyzny, zacieniowanej $\#$, $-B_0 - H_1 - B_1$.

Podczas całego tego cyklu magnetycznego straciliśmy przytem część pracy, którą geometrycznie wyobraża $\frac{1}{4\pi}$ płaszczyzny, otoczonej przez zamkniętą pętlę krzywej magnesowania.

Jak to już wyżej nadmieniliśmy, część ta przechodzi w ciepło.

Stratę pracy, wywołaną przez hysterezę, otrzymalibyśmy, rzecz prosta, gdybyśmy przedstawili w postaci krzywej zależność pomiędzy siłą magnesującą \mathfrak{H} a magnesowaniem właściwem J , zupełnie jak to uczyniliśmy dla \mathfrak{H} i \mathfrak{B} . Wtedy stratę pracy podczas przebiegu kołowego na każdy centymetr materiału wyobraża powierzchnia otoczona przez pętlę krzywej bez dzielnika 4π , co zresztą wskazuje wielkość tej pracy, podana na str. 155.

Co się tyczy wielkości straty pracy, spowodowanej przez hysterezę, Hopkinson podaje dla zmiany \mathfrak{H} pomiędzy -240 a $+240$ wartości następujące:

dla żelaza kutego	strata pracy =	13300	erg na cm^3
" " lanego	" " =	39800	" " "
" stali wypalanej	" " =	42400	" " "
" " hartowanej			
w oleju	" " =	99400	" " "
" " wolframowej			
francuskiej hartowanej			
w oleju	" " =	216900	" " "

Według Steinmetza (Elektrot. Zt. r. 1891 str. 63), strata owa energii, dla żelaza miękkiego, zdaje się, wynosi:

$$0,002 \mathfrak{B}^{1.6} \text{ erg na } \text{cm}^3$$

Według określeń na str. 126 praca magnesowania, na podobieństwo pracy zużywanej do podnoszenia ciężaru, do naciągnięcia sprężyny i t. d., przekształca się w *siły napięte* albo w *energię położenia*.

Pytania do wykładu IX.

1. Jakie są trzy zasadnicze jednostki absolutnego układu miar?
2. Co rozumieć należy przez jednostki pochodne? Co nazywamy wymiarem takowej?
3. Podaj nazwy, znaczenie i wymiary następujących jednostek: powierzchni, pojemności, prędkości, przyspieszenia i opóźnienia, kąta, prędkości kątowej, przyspieszenia kątowego, gęstości.
4. Jak się mierzy siła? Jaka jest jednostka siły i jej wymiary? W jakim stosunku do niej znajduje się kilogram?
5. Co rozumiemy przez pracę mechaniczną? Jaka jest nazwa i wymiary jednostki pracy i w jakim stosunku znajduje się ona do kilogramometra?
6. Kiedy w masie powstaje pojemność pracy? Jaka jest jej wielkość?
7. Co rozumiemy przez siły napięte? Nazwij kilka sił napiętych.
8. Co rozumiemy przez moment obrotowy siły i jakie są jego wymiary?
9. Co rozumiemy przez moment bezwładności? Jakie są jego wymiary? Jak wielka jest pojemność pracy ciała obracającego się?
10. Wskaż definicyę, nazwę i wymiary sprawności mechanicznej. Jakie jednostki przyjęto za absolutne oraz zwykłe jednostki mechaniczne sprawności i w jakim stosunku znajdują się one do siebie? Jak się otrzymuje sprawność?

11. Wykonaj doświadczenie, które pozwoli ci znaleźć wielkość oddziaływania siły pomiędzy dwoma biegunami magnetycznymi. Jakie prawo daje się stwierdzić przez te doświadczenia? Jak się nazywa przyrząd do tego celu służący?

12. Jak można korzystać z prawa powyższego w celu określenia jednostki natężenia bieguna magnetycznego w mierze absolutnej? Jaki jest wymiar tej jednostki?

13. Co powinniśmy rozumieć przez t. zw. jednostkową linię sił? Jak się nazywają powierzchnie, które we wszystkich punktach są prostopadłe do linii sił?

14. W jaki sposób jednostkowa linia może służyć do przedstawienia natężenia pola magnetycznego?

15. Jaką siłę wywiera pole o natężeniu 1 na biegun jednostkowy, znajdujący się w polu? Jak się ztąd określają wymiary jednostki natężenia pola?

16. Co rozumiemy w ogólności przez pole magnesu albo przez pole całkowite? Jaki jest wymiar tej wielkości i jak się ją znajduje z natężenia pola?

17. Co rozumiemy przez pole jednorodne? Jaka jest jego wielkość?

18. Jaka jest gęstość pola, wytworzonego przez biegun pojedynczy o natężeniu M , z odległości r ?

19. Jak wielkiem jest pole sztaby magesowej?

20. Co się stanie, gdy w jednym miejscu jednocześnie wzbudzają się dwa pola magnetyczne i jak się obliczają pola złożone?

21. Oblicz według tego natężenie pola sztaby magesowej, 1 cm długiej, w odległości R od jej środka a) dla punktu położonego na przedłużeniu jej osi, b) dla punktu położonego w płaszczyźnie jej równika? Jak wielka jest „długość magnetyczna l ” sztab magesowych, skoro „geometryczna” jest L .

22. Co rozumiesz przez składową poziomą magnetyzmu ziemskiego? Jaki jest wymiar tej wielkości?

23. Jak się zachowuje igła magesowa w polu magnetycznym, skoro się ją wyprowadzi ze stanu równowagi?

24. Jak można znaleźć wartości względne natężeń pól?
Gdzie już je stosowaliśmy?

25. Jaką wadę posiada ten sposób określeń względnych?

26. Opisz dokładnie sposób użyty po raz pierwszy przez Gaussa do określenia składowej poziomej magnetyzmu ziemskiego w mierze absolutnej? Co znaczy według Gaussa mierzenie absolutne?

27. Jak się ze składowej poziomej znajduje całkowite natężenie magnetyzmu ziemskiego? Jaka jest przybliżona wartość tej wielkości dla Niemiec środkowych?

28. Co nazywamy wielkością indukcji magnetycznej? Jak pojmujemy magnesowanie właściwe? W jakim związku stoją obie te wielkości do siebie i do natężenia pola wzbudzającego?

29. Co nazywamy przenikliwością magnetyczną, oporem właściwym i podatnością ciała magnetycznego? Jaki związek zachodzi pomiędzy pierwszą a trzecią wielkością?

30. Co się dzieje z podatnością magnetyczną, skoro natężenie pola wzbudzającego rośnie? Co się z nią dzieje wtedy zwłaszcza, gdy ciało jest magnetycznie nasycone?

31. Jak wielka jest podatność magnetyczna powietrza? Jaka różnica zachodzi pomiędzy ciałami para i diamagnetycznymi? Jak się daje określić ciało diamagnetyczne? Jakiemi doświadczeniami możesz udowodnić te określenia?

32. Co rozumieć należy przez prąd magnetyczny, siłę magnetomotoryczną i opór magnetyczny? Jakie wymiary posiadają jednostki tych wielkości. Jakiemu prawu one podlegają?

33. W jaki sposób obrazowy wystawić sobie możesz pracę magnesowania na jeden centymetr sześcienny materiału?

34. Jakie znaczenie ma hystereza dla magnesowania ciała?

35. Jak się znajduje całkowita praca magnesowania dla danego obwodu prądu magnetycznego? Dowiedź wymiarami, że dane wyrażenia są rzeczywistymi mechanicznymi wartościami pracy.

DODATEK.

Praktyczne wskazówki dla uczniów, dotyczące sporządzenia przyrządów potrzebnych do doświadczeń magnetycznych.

Uwagi wstępne. Każdy, kto bada magnetyzm i elektryczność, oczywiście pragnie wykonywać przyrządy, które oglądał w swoim podręczniku lub ujrzał na wykładzie w audytorjum, gdy mu je pokazywał i objaśniał nauczyciel, chciałby też z niemi wykonywać doświadczenia. Życzeniu temu częstokroć stoi na przeszkodzie okoliczność, iż materiały i narzędzia niezbędne do tego celu przekraczają środki ucznia; mając je nawet, lecz bez wprawy lub uzdolnienia do ćwiczeń mechanicznych, może on łatwo zniechęcić się, skoro tylko pierwsza próba sporządzenia prostego przyrządu nie powiedzie się lub nieda pożądanych wyników doświadczalnych.

A jednak materiały i narzędzia te należą do najtańszych i najprostszych, dających się nabywać po kolei u mechanika, fabrykanta narzędzi lub w składach starego żelaztwa i stali.

Niepowodzenia przy sporządzaniu przyrządów pochodzą w ogólności z niepilnowania się metody określonej, która okazała się pomocną innym.

W Kolegium Technicznem miasta Glasgow i Szkocyi Zachodniej autor książki przez lat kilka prowadził praktyczne kursy sporządzania przyrządów elektrycznych, do których każdy uczeń musiał mieć własny warsztat i szufladę do przechowywania narzędzi; oprócz tego do rozporządzenia uczniów instytut oddaje motor, dynamomaszyny, tokarnie, kamienie szlifierskie, wiertarki i t. d. W tych warunkach autor przekonał się, że uczniowie elektrotechniki nie tylko gorąco zajmują się badaniami praktycznymi, ale osiągają o wiele dokładniejszą i trwal-

szą znajomość przewodnich praw magnetyzmu i elektryczności, niż w drodze wyłącznego przysłuchiwania się wykładom. Również jest on zdania, że uczniowie początkowych kursów wieczornych, którzy w celu głębszego zrozumienia wykładu i pytań, wykonywają w domu przyrządy i doświadczenia, daleko lepiej są przygotowani do wyższego oddziału i pracy w laboratorium elektrotechnicznym, niż studując tylko podręczniki szkolne.

Wskazówki następujące mają tylko dostarczyć kilku przykładów na to, co uczniowie kursu elementarnego mogą wykonać z działu „magnetyzm.” Dalsze przykłady przyrządów elektrycznych będą podane w dodatkach do rozdziałów o elektryczności voltaicznej i elektryczności przez tarcie. Wskazówki te, jeśli znajdą uznanie, będą pomnażane w przyszłych wydaniach.

Sporządzenie trwałego magnesu. 1. Przeczytaj uważnie następujące wskazówki, poczem zrób t. zw. rysunek warsztatowy żądanego magnesu w kształcie i wymiarach naturalnych. Właściwie do doświadczeń dogodną będzie sztaba magesowa $15\text{ cm} \times 1,2\text{ cm} \times 0,6\text{ cm}$, dla większości jednak doświadczeń wykładowych powinna wynosić przynajmniej $30\text{ cm} \times 2,5\text{ cm} \times 1,0\text{ cm}$ albo, w razie formy cylindrycznej, $30\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ (średnica).



Fig. 103. Sztaby magesowe.

2. Dostań kawałek dobrej stali drobno-ziarnistej, walcowanej, która, odkąd ją zrobiono, nie była rozgrzewana, żądanej formy i wiekości*).

*) Pp. Spagnoletti i Crookes w Londynie (Adelaide Works, Uxbridge Road) posiadają specyjalność wyrabiania najlepszej stali magesowalnej po cenach bardzo umiarkowanych. Podobnie

3. Końce obrób pilnikiem na kant prostokątny, wygładź i naznacz jeden z nich kreską (jak na fig. 12 i 13) albo literą N.

4. Wprowadź tę stal do jednostajnie podsycanego ogniska i trzymaj w nim, dopóki nie osiągniesz stopnia umiarkowanego żaru jasno-czerwonego; poczem wyjmij ją obcęgi i zanurz wążką stroną, poziomo trzymając w naczyniu z zimną wodą, poruszając przytem ciągle dopóki zupełnie nie ostygnie; wtedy stal zrobi się zahartowaną i twardą jak szkło. Baczyć należy, by stal nie rozgrzała się do jasnej czerwoności lub do białości, wszakże rozgrzanie powinno być na całej długości i ze wszystkich stron jednostajne, zanim się ją zanurzy do wody.

Ognisko koksowe z natury rzeczy jest lepsze niż z węgla kamiennego, najlepszym jednak do rozgrzewania stali jest piecyk gazowy do celów metalurgicznych Fletchera. Hartowanie powinno się odbywać prędko i o ile się da, zaraz po pierwszym rozgrzaniu, zauważono bowiem, iż stal nie daje już tak dobrego magnesu, skoro się ją rozgrzeje dwa lub trzy razy, w chęci otrzymania lepszych wyników.

5. Namagnesuj sztabę zahartowaną tak, żeby jej koniec N, albo koniec, znaczony stał się biegunem północnym, według jednego ze sposobów opisanych na wykładzie I, pomnij jednak, że najlepsze wyniki dostajemy za pomocą dobrego elektromagnesu i potężnego prądu z baterji lub dynamaszyny; nie prędzej też należy powstrzymać działanie, aż magnes zacznie z łatwością unosić kawałki stali hartowanej, wążące tyleż co sztaba, lub żelazo, trzy lub cztery razy przewyższające jego ciężar.

6. Mając dwa takie magnesy, arkusz papieru i trochę parafiny, możemy wykonać doświadczenie, opisane i objaśnione na wykładzie III, odtworzyć krzywe magnetyczne i t. p.

stal wolframową, dobrą do tego celu, wyrabia stalownia p. Henryka Remy w Hagen w Westfalii.

Jak się robi igła magnesowa i statywa. 1. Przeczytaj następne wskazówki, zrób rysunek przekroju boczne-
go i poziomego wielkości naturalnej i postaraj się o nie-
zbędne materiały.

2. Wyciosaj lub wytocz podstawę z drzewa ma-
honiowego lub innego twardego, w samym jej środku
zrób wąski otwór taki, żeby się w nim duża iglica mieści-
ła, poczem umocuj ją prostopadle i szczelnie ostrzem do
góry.

3. Na kawałku stali wstążkowej cienkiej $10\text{ cm} \times 1,2\text{ cm} \times 0,08\text{ cm}$, albo na kawałku mocnej sprężyny, uży-
wanej na wyrób zegarków lub obręczy, narysuj kontur
igły, zaokrąglając jej koniec, jeżeli igła nie ma służyć do
wskazywania odchyłeń na papierze tekturowym, podzie-
lonym na stopnie. Zaletą końców zaokrąglonych, gdy
igła używana jest li tylko do wskazywania istnienia lub

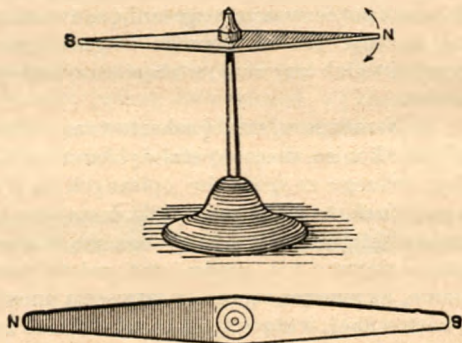


Fig. 104. Igła kompasowa.

biegunowości magnesów i prądów, jest, że na tą samą
długość igły przypada więcej masy a więc działanie ma-
gnetyczne obrotowe jest większe; oprócz tego niewprawni
uczniowie z łatwością oblamują cienkie końce.

4. Zmiękczył ten pasek przez wprowadzenie go w ogień lub płomień palnika Bunsenowskiego lub lampy spirytusowej i rozgrzewanie do ciemnej czerwoności, następnie powoli oziębiaj go w popiele. Zrób pośrodku tego kawałka stali mały otwór stożkowy, mający blisko 0,5 do 0,6 cm w średnicy i wytnij dłutkiem lub nożycami igłę zgruba, zostawiając przytem brzeg dostateczny, na oszlifowaniu lub opiłowaniu igły, jak na rysunku.

5. Przygotuj kołpaczek kształtu Λ ze szkła lub mosiądzu twardego (albo lepiej z agatu, którego dostać można u mechanika), pasujący do otworu. Kołpaczek szklany otrzymuje się z kawałka cienkiej rurki szklanej miękkiej, o średnicy zewnętrznej blisko 0,6 cm, od której odciąć należy kawałek długi 15 do 20 cm i środek jego wprowadzić do wnętrza płomienia Bunsenowskiego, dmuchawki albo lampy spirytusowej; przez ten czas obracaj rurkę pomiędzy palcem wskazującym a wielkim obu rąk (trzymając przytem rurkę za oba końce), dopóki część, trzymana w ogniu, nie stanie się jednostajnie miękką; następnie odciąga się ją odrazu dwiema rękami prosto w kierunku osi rurki, aż przedzieli się na dwa kawałki, stożkowato zakończone. Teraz weź jeden z tych kawałków prawą ręką i obracaj cienkie ostrze stożkowate w ogniu, dopóki nie zaokrągli się pięknie. Włóż stożek w otwór igły i na szkłe od strony dolnej igły zrób znak. Wtedy wyjmij rurkę i pilnikiem (zużytym lub wygładzonym na kamieniu ślifierskim) zrób rysę naokoło rurki. Następnie włóż to miejsce w płomień i, wywierając słaby nacisk na stożek, odłam go od rurki pozostałej; nareszcie wygładź brzeg chropowaty podstawy stożka pilnikiem, aż do zupełnego skutku. Mosiężny kołpaczek kształtu Λ daje się wytoczyć na tokarni z kawałka mosiądzu. Wymaga to pewnej wprawy w obracaniu mosiądzu, jeżeli kołpaczek ma być ładny, lekki i głęboko wycięty.

6. Zahartuj igłę, stosując się do wskazówek poprzedzających i późniejszych (a potem starannie oczyść

ją do białości delikatnym papierem szmirglowym i napuść farbą żółtą lub niebieską na sztabie żelaznej rozgrzanej na płomieniu).

7. Umocuj teraz dobrze kołpaczek Λ w otworze za pomocą odrobiny roztopionego szellaku.

8. Namagnesuj igłę podług jednego ze sposobów, przytoczonych w wykładzie I.

9. Teraz sprawdź igłę, umieszczoną na ostrzu statywy i prawdopodobnie znajdziesz, że koniec północny obniża się. Wobec tego koniec ów należy nieco odszlifować, dopóki igła nie zajmie położenia poziomego i wtedy nanowo namagnesuj ją aż do nasycenia.

10. Wymaluj koniec Pn czerwoną koszenilą i Pd na niebiesko pruskim błękitem (o wiele dogodniej jest południową stronę igły, napuszczonej farbą niebieską, oczyścić delikatnym papierem szmirglowym do białości).

Teraz można wykonać wszystkie doświadczenia wymienione w ciągu wykładów IV i V i te, w których igła kompasowa służy do sprawdzenia biegunowości magnesów i t. d.

Jak się sporządza igła nachyleń wraz z kołem (inklinatorium). Prostą i taną formę tego pouczającego przyrządu uczniowie mogą sami z łatwością wykonać, posilkując się załączoną figurą i objaśnieniem. Forma tu załączona okazała się dostatecznie czułą do praktyki laboratoryjnej uczniów młodszych lub do wykładów.

Przygotowanie. 1. Po uważnem przeczytaniu wskazówek następujących, podobnie jak dawniej, masz wyrysować przyrząd wielkości naturalnej*). Na rysunku tym oznacz co ważniejsze wymiary i podług nich wykonaj spis rozmaitych rzeczy potrzebnych, z nadmianieniem wielkości i postaraj się o nie.

*) Do wykładów najlepszą jest forma ośm razy powiększona.

2. Zrób podstawę B i prostopadłą deskę UB, 2,5 cm grubą, z dobrze wysuszonego drzewa sosnowego. Zmocuj je dokładnie trzema lub czterema śrubami mosiężnymi. W razie większych wymiarów, koniecznym jest przyśrubować pomiędzy B a UB cztery dokładne i prostokątne narożniki mosiężne, w odległości około 5 cm od tej ostatniej.

3. Z twardego drzewa (mahoniowego lub brzoźowego) wyciosaj poziomą podporę HB i wytocz lub wytnij w niej środkową wyniosłość dla UB. W miejscach, oznaczonych na figurze przez PS, wpuść starannie odrobione śruby przyciskające, z mosiądzu.

4. Przyklej do tylnej strony UB część środkową z twardego drzewa. Obie płyty HB i UB połącz odpowiednimi sztyftami z grubego drutu mosiężnego oraz śrubami z tego samego materiału.

5. Dostań dwa pręty szklane z miękkiego szkła angielskiego, 15,2 cm długie i 0,6 cm grube, i w każdym ich końcu zrób głębokie łożyska kształtu V dla pomieszczenia osi; można to zrobić, wprowadzając każdy pręt po kolei lewą ręką w płomień dmuchawki lub palnika Bunsenowskiego i naciskając jednocześnie łagodnie i jednocześnie pręt szklany w kierunku osi rozgrzanym cienkim kołcem stalowym, kołcem lub igłą do cerowania.

6. Ustaw podstawę B poziomo przy pomocy zwykłej libelki spirytusowej i oznacz dokładnie z przodu i z tyłu HB i UB środki zgrubienia na jednej linii poziomej. Potem wyświdruj starannie otwór dokładny i poziomy tak, ażeby końce szklanych łożysk osi GC weń wchodziły i wpuść je w te otwory.

7. Otrzymanie igły. a) Dostań kawałek dobrej stali wstążkowej magnesowalnej, 20 do 30 cm długiej, odpowiednio do wielkości koła nachyleń, 0,9 do 1,3 cm szerokiej i blisko 0,8 mm grubej. Pasek stali wolframowej z łatwością można dostać u tych co robią magnesy; można też przykrajać i oszlifować wedle potrzeby mocną sprę-

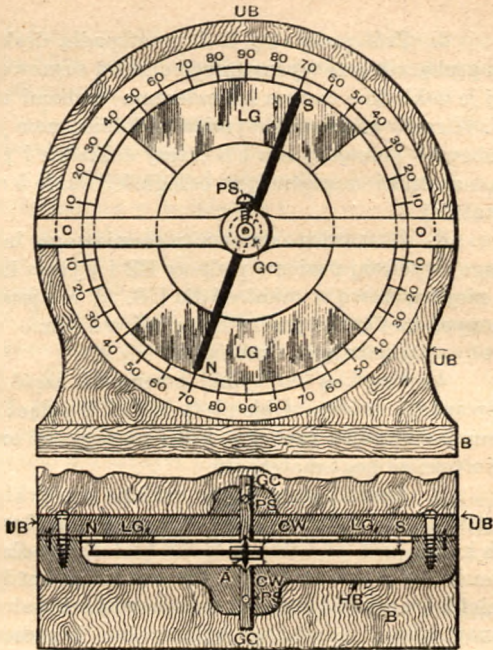


Fig. 105. Iгла nachyleń wraz z kołem.

Uwaga do figury. Na planie sytuacyjnym załączonej figury, igłę umyślnie narysowano w całej rozciągłości w położeniu jakby poziomem, celem okazania, że nie dotyka ścian wewnętrznych podpory poziomej.

Objaśnienie widoku bocznego i poziomego.

- | | | |
|---------|----------|---|
| NS | wyobraża | bieguny N i S igły nachyleń |
| A | — | oś igły |
| CW | — | środkowe krążki utrzymujące |
| GC | — | szklane łożyska osi kształtu v |
| PS | — | śruby ściskające |
| B | — | podstawę (drewnianą) |
| UB | — | deskę prostopadłą |
| HB | — | podporę poziomą (z drz. twardego lub mosiądzu) |
| 0 do 90 | — | podziałki kątów na tekturze lub papierze |
| LG | — | zwierciadło (służące do unikania błędu parallaktycznego). |

zynę zegarkową lub zużytą piłkę metalową. b) Nadaj końcom kształt $< >$ za pomocą dłutka, ostrych nożyce lub przez szlifowanie. Następnie zmiękcź środek, i zupełnie prostopadłe do paska, wyświdruj w nim otwór tak, aby weń wchodziła igła, blisko na 2,5 cm od ostrza. Drugi koniec igły tej wyszlifuj na odpowiednio cienkie i zupełnie gładkie ostrze i wciśnij ją w otwór paska stalowego. c) Oś igły A umieść pomiędzy szklanymi łożyskami GC, po czym obróć w około igłę, ażeby się przekonać, czy oś jest zupełnie prostopadła do paska i czy szklane łożyska osi leżą na linii prostej prostopadłej do UB. Gdyby igła leżała ukośnie do osi, należałoby otwór rozszerzyć, na A nasadzić dwa krążki ebonitowe lub tekturowe CW, które powinny być przytwierdzone do NS balsamem kanadyjskim lub roztworem szellaku (w spirytusie), bacząc na to, by, po wysuszeniu kitu spajającego, krążki wraz z igłą leżały ściśle prostopadłe do osi *).

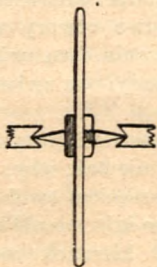


Fig. 106.

nie leżą na jednej linii prostej prostopadłej do UB, wówczas obracać trzeba jedno lub oba dopóki to nie nastąpi, oznaczyć miejsce naprzeciwko śrub przyciskających PS i wyszlifować na małym kawałku tak, aby końce tych śrub przyciskających same przez się mocno utrzymywały szklane łożyska w położeniu zrównanem. d) Teraz doprowadź jak najdokładniej igłę do równowagi, odszlifując po odrobieniu naprzemian z jednego lub z drugiego końca, aż igła poziomo położona utrzyma się w tym stanie podczas gdy oś jej w łożyskach swoich

*) Niektórzy mechanicy wolą opatrywać oś w śruby i oba krążki wkręcać jak na fig. 106, lecz sposób ten uważamy jako za trudny dla przeciętnego ucznia.

będzie najzupełniej swobodną. e) Teraz wyjąć należy igłę i końce starannie zahartować aż do twardości szkła na odległość blisko 3 cm od środka. Przy takiej długości cienkiego paska stalowego, posiada on dążność do skrzywiania się i skręcania podczas hartowania; gdy jednak weźmiesz długi kawałek cienkiego i miękkiego drutu żelaznego i owiniesz nim pasek, poczynając od środka ku końcowi, przed rozgrzaniem do ciemnej czerwoności, a potem igłę pionowo zanurzysz w wodzie zimnej, wtedy cel będzie osiągnięty bez zginania igły. f) Nareszcie namagnesuj igłę tym lub owym sposobem, opisanym w wykładzie I. Gdy nie masz pod ręką elektromagnesu lub długiego solenoidu, w którym cała igła mogłaby się zmieścić, powinieneś zastosować metodę rozbieżnego pocierania.

8. Z kawałka sztywnej, białej tektury (wystarcza grubość 0,1 cm) wytnij pełne koło z wycięciami tak, żeby dawało się giąć i wsuwać pomiędzy końce wewnętrzne HB. W środku zrób otwór, odpowiadający grubości GC, i oprócz tego zrób dwa otwory w kształcie kwadransów, w celu pomieszczenia dwu zwierciadeł LG tejże grubości, co tektura. Tekturę i oba zwierciadła trzeba skleić razem.

9. Oczyść doskonale końce osi i łożyska kształtu γ i wprowadź igłę pomiędzy nie tak, iżby dawała się bardzo małym bocznym przesunięciem swobodnie obracać. Wtedy na północny koniec igły nasadź korek obciążony, nadaj płaszczyźnie UB kierunek magnetyczny wschodnio-zachodni, starannie spoziomuj podstawę przy pomocy libelki spirytusowej i patrz wprost na igłę, aż obraz jej w zwierciadle dokładnie zakryty zostanie. Zauważ punkt podziałek, na którym zatrzymuje się koniec S, i punkt ten oznacz przez 90° . Teraz usuń korek obciążony i patrz, czy igła znowu stanie ściśle jak przedtem; wtedy naznacz przez 90° punkt przeciwległy północnemu końcowi igły, tak samo jak przedtem.

10. Usuń igłę (a w razie potrzeby poziomą podporę) i cyrklem, którego jeden koniec wstawisz w tylne łożysko kształtu V , zatocz rozmaite koła i podziel je dokładnie, zgodnie ze szkicem powyższym, dodając jednak na rzeczywistym papierze jeszcze stopnie pojedyncze. Może się zdarzyć, że uczniowie niewyćwiczeni lub niezręczni, z obawy zawalania tektury podczas podobnej czynności, wolą odrysować koła na arkuszu papieru i potem dopiero nakleić go na tekturę. Muszą oni wtedy dobrze uważać, by oba stany 90° zgadzały się z pionowymi położeniami igły znalezionemi dopiero za pomocą sposobu (9), gdy UB zwrócona jest prostopadłe do południka magnetycznego, tudzież by koło papierowe ściśle i koncentrycznie przytwierdzone było do tylnego łożyska kształtu V .

Obserwacje niezbędne przy określeniu średniego kąta nachylenia dla danej miejscowości i igły.

1. Ustaw nanowo przyrząd tak, aby igła wisiała pionowo — czyli, by końce jej N i S dokładnie znajdowały się wprost górnego i dolnego punktu 90° . Po starannem spoziomowaniu podstawy, zrób naokoło krawędzi podstawy prostokątnej kreskę ołówkiem. Teraz obróć podstawę o 90° , spoziomuj ją i odczytaj nanowo stan igły. Odczytanie to daje w przybliżeniu kąt nachylenia, gdyż płaszczyzna, w której się igła porusza, teraz znajduje się w południku magnetycznym. Dajmy, odczytanie było 70° . Gdybyśmy uważali to nachylenie za prawdziwe, musielibyśmy igle przypisać trzy nieprawdopodobne własności:

a) że oś magnetyczna igły zlewa się z linią ostrzy, kształtu $< >$,

b) że środek jej masy, co do szerokości i długości, schodzi się ze środkiem jej ruchu obrotowego,

c) że nie ma tu błędu, spowodowanego przez tarcie pomiędzy osią a szklanem łożyskiem, czyli, że nie ma żadnego tarcia.

Powinniśmy przeto wziąć średnią z 8 par odczytań (jako przykład posłuży nam szereg następny), ażeby mózdz ze znacznym stopniem dokładności powiedzieć, jakie jest prawdziwe nachylenie.

Zbadanie nachylenia, wykonane w pracowni elektrotechnicznej Kolegium Technicznego miasta Glasgow i Szkocyi Zachodniej przez A. H. Allen'a, Październik, r. 1889.

1. Znaleźć stan pod kątami prostymi do południka magnetycznego:

Koło zwrócone północną wskazówką na skali poziomej pod 100° . Igła pod 90°

Koło zwrócone południową wskazówką na skali poziomej pod 100° . Igła pod 90° .

Średni stan wskazówki na skali poziomej pod $118^{\circ},15$. Igła pod 90° .

Po obróceniu koła o 90° , wskazówka zwraca się na $28^{\circ},15$ skali.

2. Znaleźć kąt nachylenia:

Koniec naznaczony wskazuje północ.

Odczytania:

	Biegun północny	Biegun południowy	Średnia
1. Koło zwrócone na zachód, igła do koła	$73^{\circ},10$	$72^{\circ},50$	$72^{\circ},30$
2. Koło zwrócone na zachód, igła od koła	$79^{\circ},52$	$79^{\circ},52$	$79^{\circ},52$
3. Koło zwrócone na wschód, igła od koła	$73^{\circ},25$	$72^{\circ},60$	$72^{\circ},92$
4. Koło zwrócone na wschód, igła do koła	$79^{\circ},70$	$79^{\circ},70$	$79^{\circ},70$

Koniec naznaczony wskazuje południe.

Odczytania:

	Biegun północny	Biegun południowy	Średnia
5. Koło zwrócone na zachód, igła do koła	67 ^o ,80	68 ^o :15	67 ^o ,95
6. Koło zwrócone na zachód, igła od koła	53 ^o ,75	53 ^o ,15	53 ^o ,45
7. Koło zwrócone na wschód, igła od koła	70 ^o ,95	70 ^o ,95	70 ^o ,95
8. Koło zwrócone na wschód igła do koła	58 ^o ,15	57 ^o ,55	57 ^o ,85
Średnia ze wszystkich średnich odczytywań			69 ^o ,39



CZEŚĆ II.

Elektromagnetyzm.

WYKŁAD X.

Treść: Elektromagnetyzm. — Prąd do naszych doświadczeń pochodzi z bateryi lub dynamoszyn. — Pole magnetyczne prądu prostoliniijnego. — Kierunek pola magnetycznego prądu prostoliniijnego. — Kierunek prądu w drutach przewodnich. — Próba pytania i odpowiedzi. — Pytania.

Elektromagnetyzm. Część pierwszą działu tego poświęciliśmy przeważnie doświadczeniom, które miały ustalić główne prawa magnetyzmu i zasady rządzące w praktycznych tegoż zastosowaniach. W części drugiej w podobny sposób opracujemy elektromagnetyzm i elektrocyfetykę albo naukę o elektryczności w ruchu. Badanie elektromagnetyzmu w sposób naturalny narzuca się zaraz po badaniu magnetyzmu. Bo skoro tylko i gdziekolwiek bądź przez czas dłuższy lub krótszy powstaje prąd elektryczny, wtedy wzdłuż i naokoło całej drogi prądu elektrycznego tworzy się pole magnetyczne. A nadto działalność wielu bardzo ważnych praktycznych zastosowań magnetyzmu np. w telegrafach, telefonach, oświetleniu elektrycznem etc. wymaga prądów elektrycznych.

Prądu do naszych doświadczeń dostarczą baterye lub dynamomaszyny. Na razie poprzestać musimy na tem, że prądy elektryczne pochodzą z bateryj lub dynamomaszyn, i że wiedza ucznia we względzie tych urządzeń nie sięga po za to, iż są to źródła energii elektrycznej, z których można czerpać dowolną ilość prądu do naszych celów doświadczalnych. Później wyłożymy szczegółowo budowę i urządzenie rozmaitych bateryj oraz zasady powstawania prądów elektrycznych w dynamomaszynach. Do większości naszych diagramów używać będziemy sposobu oznaczania powszechnie dzisiaj przyjętego przez elektrotechników, a mianowicie baterye będziemy oznaczali przez kilka linii naprzemian cieńszych i grubszych, z których pierwsze są nieco dłuższe, drugie krótsze $+ \left| \left| \left| \right| \right| \right| +$, gdzie znak $+$ oznacza koniec dodatni, czyli końcówkę, przez którą prąd wychodzi, zaś znak $-$ wskazuje miejsce, którędy prąd powraca do owego zbiornika lub źródła energii elektrycznej. Podobnież, skoro zajdzie potrzeba oznaczenia kierunku *w obwodzie* czyli przebiegu prądu po przewodniku *zamkniętym* albo całkowitym, używać będziemy strzałek, umieszczanych w pewnych odstępach wzdłuż obwodu. Tak proste urządzenie będzie dla ucznia pewną wskazówką bez uciekania się do rozwlekłych wyjaśnień w tekście. Jeżeli zamiast bateryi weźmiemy dynamomaszynę, tedy używać będziemy symbolu elektryków $\overline{+} \bigcirc \underline{-}$, gdzie znowu znaki $+$ i $-$ wskazywać będą końcówki dodatnią i ujemną, czyli tą, przez którą prąd wychodzi, i tą, przez którą prąd wraca do dynamo.

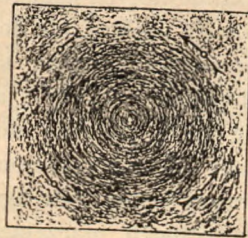
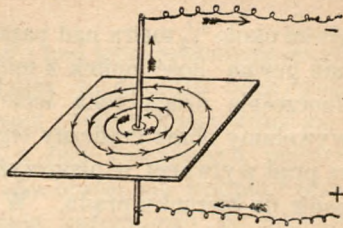
Doświadczenie I. Pole magnetyczne prądu prostoliniowego. Weź baterię, drut miedziany i nieco żelaznych miękkich opilek. Połącz końce + i — baterii drutem miedzianym i środkową część drutu zanurz w opilkach żelaznych. Widzimy, iż opilki przylegają do drutu naokoło nakształt gron; przypomina to poniekąd rój młodocianych pszczół, obsiadający swoim zwyczajem pierwszą lepszą gałąź drzewa, albo rojenie się mrówek na miejscu osłodzonym. W istocie opilki ulegają przyciąganiu i magnesowaniu zupełnie jakby drut otoczony był mnóstwem magnesów, których osi na całej długości styczne są do drutu. Na wykładzie I widzieliśmy, że, jeśli magnes włożymy w opilki żelazne, tedy opilki przylegają *wyłącznie* do jego końców; tymczasem w wypadku obecnym opilki w równym stopniu czepiają się drutu, gdziekolwiek zostanie pomiędzy nie włożony i przytem na całej jego długości.



Fig. 107. Prąd, przebiegający po drucie, przyciąga opilki żelazne.

Doświadczenie II. Weź sztywny drut miedziany o średnicy 2,8 mm (Nr. 12 drut angielski normalny), kawałek drzewa lub grubej tektury (25 cm²), arkusz papieru parafinowanego (podobnie jak w doświadczeniu VII, wykład III, cz. I) i nieco opilek żelaznych, najlepiej w pieprzniczce lub woreczku muślinowym. Przeciągnij drut pionowy

przez środek deski pokrytej papierem parafinowym, jak to wskazuje pierwsza z załączonych figur. Połącz giętkimi drutami dolny koniec tego drutu z końcówką +, górny z końcówką — baterji lub dynamomaszyny i przepuść potężny prąd (30 do 40 amperów) po tym drucie pionowym. Wtenczas, gdy prąd przepływa po drucie, z pieprzniczki lub woreczka muślinowego, trzymanego w odle-



Plan poziomy z gólkami

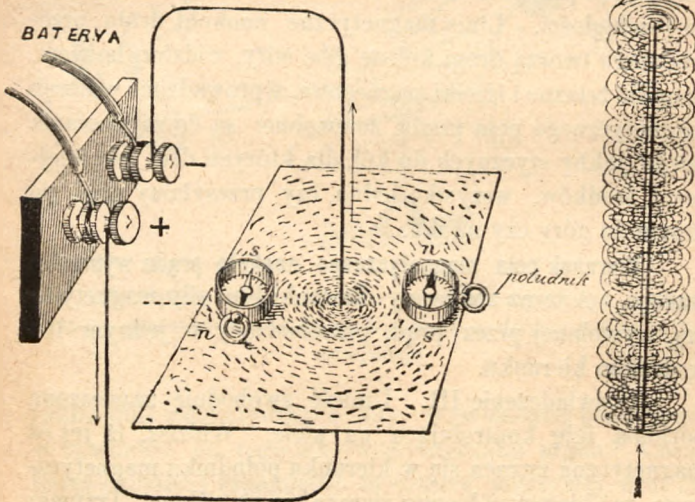


Fig. 108. Obrazy pola magnetycznego, tworzące się pod wpływem prądu, przebiegającego po wyprostowanym drucie.

głości około $\frac{1}{2}$ metra nad papierem parafinowanym, wysiej nań pewną ilość opilek z miękkiego żelaza, pukając jednocześnie drugą ręką leciuchno w deskę; w ten sposób wywołamy obraz graficzny tego pola magnetycznego, które prąd wytwarza w płaszczyźnie papieru, a więc prostopadle do kierunku prądu. W celu utrwalenia opilek żelaznych na zajmowanych miejscach, powinniście tylko przesunąć w pobliżu papieru, nie dotykając go jednak, rozgrzany do czerwoności kawałek miedzi albo płomień Bunsena w celu stopienia parafiny (jak na str. 35, cz. I) a wtedy otrzymacie figurą podobną do tej, jaką widzimy na fig. 108 w planie oraz z lewej strony u dołu.

Z prawej strony tejże figury widzimy urojony obraz pola magnetycznego, otaczającego drut pionowy, przewodzący prąd przypuszczalnie w kierunku strzałek, na całej jego rozciągłości. Linie magnetyczne naokoło drutu przewodniego tworzą drogi koliste albo wiry, widzimy bowiem, iż opilki żelazne i igielki magesowe, wprowadzone w obręb magnetycznego pola prądu, zniewolone są do zajmowania miejsc jakby stycznych do kół, dla których drut jest miejscem środków, wszystko jedno, czy przesyłamy prąd po drucie do góry czy na dół.

Kierunek pola magnetycznego naokoło prądu wyprostowanego. A teraz zbadajmy kierunki linii siły magnetycznej, wywołanej przez prąd, przechodzący w jednym lub w drugim kierunku.

Doświadczenie III. Umieść swobodnie zawieszoną poziomą igłę kontrolującą na stole. Widzisz, iż jej oś magnetyczna zwraca się w kierunku południka magnetycznego, zaś biegun północny zwraca się na północ. Trzymaj

prosty drut miedziany tuż nad i pod igłą, równoległe do jej osi magnetycznej. Nie widzimy tu żadnego odchylenia igły. Teraz niechaj ktokolwiek połączy końce drutu miedzianego w którymkolwiek z obu powyższych położen z biegunami baterji, a wnet igła obróci się wokoło, przechodząc ze swojego położenia naturalnego do takiego, w którym jej biegun Pn zwraca się na wschód lub na zachód, stosownie do kierunku prądu w drucie, czyli stosownie do tego, który z jego drutów łączy się z biegunem + baterji. Dowód to oczywisty, że zachodzi różnica w kie-

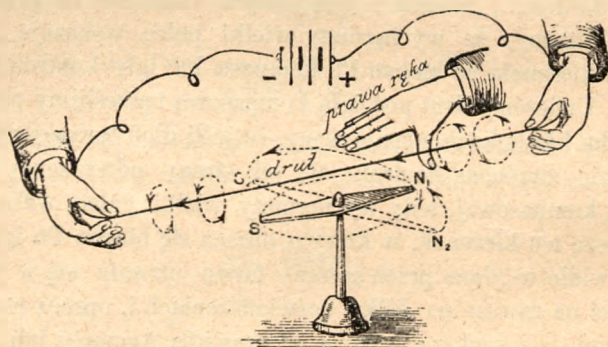


Fig. 109. Sprawdzenie kierunku pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd o znanym kierunku w drucie prostym, lub odwrotnie.

runku linii magnetycznych siły, wywołanych przez prąd, w zależności od tego lub owego kierunku prądu. Chcąc bliżej określić i zapamiętać tę różnicę, postrzymaj drut zupełnie, jak na fig. 109. Postrzegasz, że biegun Pn igły

odwraca się od was. Niechaj teraz ktokolwiek potrzyma rękę prawą nad drutem, stroną wewnętrzną dłoni do drutu tak, żeby palce wskazywały kierunek prądu przebiegającego i poproś go o zwrócenie wielkiego palca pod kątem prostym do dłoni a tem samem pod kątem prostym do prądu. Teraz ów palec wskazuje ten sam kierunek, co biegun Pn igły, umieszczonej pod drutem. Odwróć kierunek prądu, łącząc końce wyprostowanego drutu z odmiennymi biegunami baterji albo przekładając drut, zawsze jednak równolegle do igły magnesowej; niechaj asystent wasz trzyma prawą rękę jak przedtem (a m. dłońią do drutu i palcami w tym samym kierunku co prąd). Znajdujemy, że wyciągnięty wielki palec wskazuje ten sam kierunek, co biegun Pn kompasu lub igły kontrolującej. Umieścimy drut pod igłą kompasową i prześlijmy prąd w obu kierunkach a znajdziemy, że jeśli dłoń prawej ręki będzie zwrócona do drutu, ale od strony odwróconej od igły kompasowej, tedy wyciągnięty wielki palec wskaże zawsze ten kierunek, w którym obraca się biegun Pn igły. Prawidło to (dane przez autora) łatwo utrwała się w pamięci na zawsze po kilku doświadczeniach i, oprócz tego, cechuje się większą prostotą od prawidła Amperèa lub innych ze wskazywanych przez podręczniki. Oprócz tego, zobaczymy później, że daje się ono zastosować do sprawdzania biegunowości solenoidu, i z małą odmianą, do prawidła, danego przez prof. Fleminga w celu poszukiwania kierunku prądu w zbroy dynamomaszyny lub kierunku obrotu zbroy w motorze elektrycznym.

Doświadczenie IV. Po-pierwsze. Weź sztywny drut miedziany i przeciągnij go przez środek poziomej deski

drewnianej, jak w doświadczeniu II. Połącz go z twoją baterią i przepuść mocny prąd po drucie do góry, jak

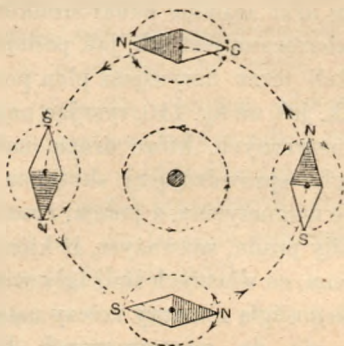


Fig. 110. Prąd, przecinający płaszczyznę papieru z dołu do góry.

przedtem. W chwili, gdy prąd przebiega, umieść w pewnej niewielkiej odległości od drutu poziomą igłę spraw-

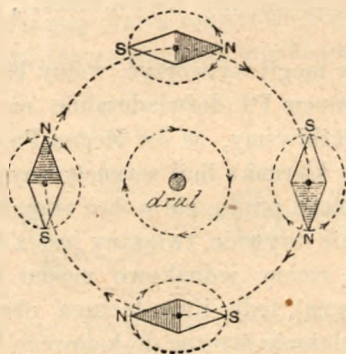


Fig. 111. Prąd, przecinający płaszczyznę papieru z góry na dół.

dzającą i przesuwać ją naokoło niego. Postrzegasz, że igła swoją osią magnetyczną zawsze pozostaje styczną do koła, w którym drut zajmuje punkt środkowy, i biegunem północnym skierowaną jest tak, jak podaje prawidło prawej ręki. Jeżeli teraz narysujesz plan poziomy tego doświadczenia tak, jak na fig. 110, rysując najpierw kierunki linii sił magnetycznych, które drogą naturalną biegną od i naokoło igły sprawdzającej skutkiem jej własnego i nieodłącznego magnetyzmu, a potem, rysując koliste linie magnetyczne siły prądu, zauważysz, iż kierunek tych ostatnich jest ten sam, co własnych linii igły wewnątrz niej samej. Wedle tego, igła z natury rzeczy ustawia się tak, iż przystosowuje się do magnetycznych linii sił prądu i wspiera je.

Powtóre. Przepuść prąd po drucie ku dołowi i natychmiast nasza igła magnesowa obróci się, czyniąc zadość temu samemu prawu. Zastosujmy próbę prawej ręki i wykonajmy szkie sytuacyjny doświadczenia, podanego na fig. 109.

Gdybyśmy mogli wytworzyć wolny biegun Pn, niezwiązany z biegunem Pd (doświadczalnie nie daje się to wykonać), znaleźlibyśmy, że ów biegun Pn obracałby się naokoło drutu w kierunku linii magnetycznych siły prądu, przez czas przebiegu prądu; ale wobec tego, że nasz biegun Pn nierozzerwalnie sztywnie związany jest z biegunem Pd, (który z natury rzeczy jednakowo mocno pędzony jest w stronę przeciwną), tedy linia, łącząca oba bieguny (oś) stale zajmuje położenie styczne do kołowego kierunku magnetycznego pola prądu.

Wynika ztąd prawidło: *Kierunek linii magnetycznych prądu elektrycznego jest taki sam, jaki z natury rzeczy przybierają linie magnetyczne swobodnie zawieszonej i niepodlegającej żadnemu wpływowi igły magnesowej, która znajduje się w obrębie pola prądu.*

Odwrócone prawidło również odpowiada celowi, gdyż częstokroć elektrykowi bardzo zależy na tem, by wiedzieć, w jakim kierunku pójdzie albo już idzie prąd z baterji lub dynamomaszyny lub innego źródła energii elektrycznej, nie uciekając się do badania przewodników prądu w całej rozciągłości ich aż do źródła.

Doświadczenie V. **Kierunek prądu w drutach przewodzących** (prawidło Jamiesona).

1. Umieść przewodnik (gdy to możebne) w południku magnetycznym.
2. Swobodnie zawieszoną igłę kompasową ustaw pod lub nad przewodnikiem.
3. Potrzymaj prawą rękę równoległe do drutu, dłonią do igły tak, iżby wyciągnięty wielki palec miał ten sam

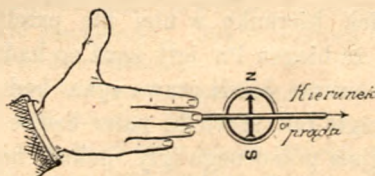


Fig. 112. Prawa ręka nad przewodnikiem.
Igła pod przewodnikiem.

kierunek, jak odchylony biegun północny igły. Wtedy prąd

biegnie wzdłuż drutu w kierunku strzałek na rysunku do bieguna odjemnego — dynamomaszyny lub baterji.

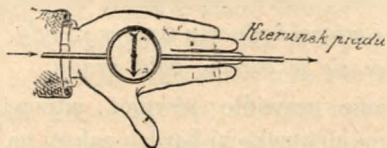


Fig. 112a. Prawa ręka pod przewodnikiem.
Igła nad przewodnikiem.

Pytanie próbne i odpowiedź.

Pytanie. Po drucie telegraficznym idącym z Edynburga do Londynu przebiega prąd, nie wiemy jednak, czy on przychodzi z Edynburga, czy z Londynu. Przypuśćmy, że wiadomości tej żądają; w jaki sposób ją zdobędziesz?

Odpowiedź. Ponieważ kierunek drutu telegraficznego, łączącego Edynburg z Londynem, zlewa się prawie z kierunkiem południka magnetycznego, przeto igła kompasowa, umieszczona w pobliżu drutu nad nim, z natury rzeczy ustawiłaby się równoległe do drutu, gdyby żaden prąd w jakimkolwiek kierunku w nim nie przebiegał. Przypuśćmy atoli, że biegun Pn igły bądź co bądź odchylił się na wschód; wówczas, jeżeli prawa ręka będzie trzymana pod drutem i igłą tak, iż wielki palec będzie wyciągnięty w stronę bieguna północnego igły, pokaże nam to, iż prąd biegnie na północ czyli z Londynu do Edynburga. Gdyby igła odchyliła się ku zachodowi, wnieslibyśmy na mocy podobnego sprawdzenia, iż prąd biegnie z Edynburga do Londynu.

(Tu uczeń powinien samodzielnie wykonać dwa szkice, ilustrujące odpowiedź na pytanie).

Pytania do wykładu X.

1. Mocny prąd przepuszczono przez wyprostowany drut miedziany, zanurzony w opiłkach z miękkiego żelaza. Jaki będzie wynik i jakie zeń płyną wnioski?

2. Mocny prąd przeprowadzono po drucie. W jakim stanie znajduje się wtedy środowisko otaczające drut? W jaki sposób dowodzenie uzasadnisz doświadczalnie? Wykonaj szkic, któryby okazał, jak linie sił układają się w sąsiedztwie drutu?

3. Mocny prąd przepuszczono po drucie pionowym na dół. Jak urządziś i wykonasz doświadczenie, które dałoby trwałą obraz układu pola magnetycznego, wytworzonego przez prąd naokoło drutu? Jakie położenie i dlaczego zajmie igła kontrolująca, skoro ją zbliżymy i przesuwając będziemy wzdłuż drutu?

4. Wskaż w ogólności, jak się układają linie magnetyczne siły prądu elektrycznego, który przebiega po drucie. Wyjaśnij swoją odpowiedź za pomocą szkicu doświadczenia, w którym prawa ręka przy udziale igły kompasowej zawsze pozwoli ci określić kierunek tamtych.

5. Pionowy drut, po którym na dół przebiega prąd, zwrócony jest najpierw ściśle na wschód, potem ściśle na południe od małej igły kompasowej. Jak to wpływa w obu razach na igłę? Wykonaj dwa szkice.

6. Dwie igły kompasowe zbliżone zostały do siebie tak, iż leżą na jednej linii prostej. W środku między igłami wyciągnięto drut pionowy, który łączy koniec dodatni +, albo platynę, baterii z końcem —, czyli cynkiem baterii. W jaki sposób prąd, przebiegający po drucie, wpłynie na igłę i w jakiej zależności wpływ ten pozostaje od tego, czy koniec +, albo platyna połączy się z górnym lub dolnym końcem drutu? Zrób szkic porządkny, objaśniający odpowiedź.

7. Drut położony jest od wschodu na zachód (w znaczeniu magnetycznym) wprost nad igłą kompasową. W jakim kierunku zachodzi największe działanie na igłę, gdy mocny prąd a) przebiega po drucie od zachodu na wschód, b) od wschodu na zachód? Zrób dwa szkice.

8. Drut telegraficzny biegnie wzdłuż południka magnetycznego od północy na południe. W pobliżu drutu na jednej z nim wysokości umieszczamy igłę magnesową, swobodnie obracającą się na wszystkie strony. Jak się ta igła zachowa, jeśli prąd przesyłany będzie po drucie od południa na północ?

9. Prąd przebiega po sztywnym drucie miedzianym. Jak należy względem niego umieścić mały kawałek drutu żelaznego, chcąc, by żelazo namagnesowało się w kierunku długości? Mając dany kierunek prądu, powiedz, który koniec żelaza będzie biegunem północnym?

10. Mocny prąd elektryczny przebiega po drucie miedzianym, który przechodzi przez środek pierścienia żelaznego, przytem pod kątem prostym do płaszczyzny pierścienia. Opisz stan magnetyczny pierścienia.

11. Nad środkiem igły magnesowej prostopadle do południka magnetycznego wyciągnięto drut. Potem końce jego zostały połączone z biegunami baterji tak, że prąd przebiega od zachodu na wschód po drucie. Czy istnieje działanie na igłę i jakie właśnie w tem położeniu i w tych warunkach?

WYKŁAD XI.

Treść: Prosty przyrząd do badania działania magnetycznego i kierunku prądów elektrycznych. — Proste galwanoskopy albo proste wykrywacze prądu, pionowe i poziome. — Multyplikatory albo galwanometry wykrywające. — Próbné pytanie i odpowiedź. — Pytania.

Prosty przyrząd do badania działania magnetycznego i kierunku prądów elektrycznych. Doświadczenie VI. Weź przyrząd, mający kształt i budowę *) taką, jak fig. 113,

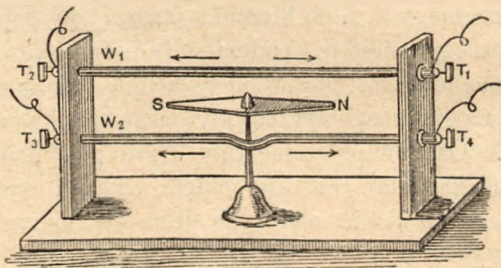


Fig. 113. Przyrząd do badania kierunku prądów.

i umieść go na stole tak, żeby igła magesowa leżała równolegle do drutów W_1 W_2 . Przepuść prąd z baterji po drucie górnym W_1 . Zauważ, w jakim kierunku zwraca się biegun Pn igły kontrolującej i stosując prawą rękę tak, jak to opisaliśmy w doświadczeniach III i V wykładu IX, oznacz, w jakim kierunku przebiega prąd wzdłuż drutu w_1

*) Obacz w „Dodatku” do cz. II opis, jak się sporządza ta forma przyrządu Oersteda.

i która z końcówek T_1 i T_2 złączona jest z biegunem + bateryi. Zmień położenie drutów przewodnich bateryi i wykonaj doświadczenie po raz wtóry.

Powtóre: Prześlij prąd po dolnym drucie W_2 a potem odwróć druty łączące i wskaż kierunek prądu w obu wypadkach, tudzież, która z końcówek, T_3 czy T_4 , złączona jest z biegunem + bateryi lub innego źródła energii elektrycznej. W każdym z tych czterech wypadków*), gdy prąd przebiega wzdłuż tego lub owego drutu, oczywiście siła magnetyczna ziemi (skutkiem jej działania na siłę magnetyczną igły (dąży stale do cofnięcia igły do jej stanu normalnego (t. j. do kierunku płaszczyzny południka magnetycznego miejsca), podczas gdy w tym samym czasie siła magnetyczna prądu odchyła igłę (skutkiem jej działania na siłę magnetyczną igły) od południka magnetycznego. Ostatnie położenie igły (jeżeli prąd przez cały czas się nie zmienia) jest kierunkiem wypadkowym z jednoczesnego działania obu tych sił na siłę magnetyczną

*) Tu uczeń powinien wykonać cztery szkice oddzielne do każdego z czterech powyższych doświadczeń. Za pomocą linii kropkowanych i strzałek powinien on wskazać:

Po-pierwsze: Kierunek magnetycznych linii sił ziemi

Po-wtóre: Kierunki magnetycznych linii sił igły

Po-trzecie: Kierunek magnetycznych linii sił prądu.

Postępując w ten sposób, da on dokładny obraz kierunku, w którym powinien się obracać biegun P_n igły pod wpływem kierunku pola magnetycznego prądu i t. d. Skoro dla każdego wypadku uczeń narysuje prawą rękę, stosownie umieszczoną względem kierunku prądu i igły magnesowej, znajdzie on, iż kierunek wielkiego palca wyciągniętego zgadza się z kierunkiem ruchu bieguna północnego.

igły. Innemi słowy, igła odchyła się od swojego położenia normalnego o pewną wartość zależną od natężenia prądu w tem przypuszczeniu, iż pole ziemi i odległość biegunów igły od drutu są stałe.

Doświadczenie VII. Połączmy końcówki T_2 i T_3 krótkim drutem miedzianym, końcówki zaś T_1 i T_4 z baterią. Postrzegacie teraz, że odchylenie igły jest większe niż wtedy, gdy prąd przebiegał tylko po jednym z drutów. Zastosuj prawidło prawej ręki do sprawdzenia każdego z drutów i oznacz sposobem tym kierunek przebiegającego prądu, skąd wypływa wniosek poparty szkicem, iż kierunki magnetycznego pola prądu w w_1 i w_2 razem wpływają na pole igły, wspierając się wzajemnie w pokonywaniu odpychającego działania pola ziemi. Odwracamy teraz druty łączące z baterią pomiędzy T_1 a T_4 i postrzegamy znowu, iż odchylenie większe jest, niżli w doświadczeniu VI, ale odbywa się w stronę przeciwną jak w doświadczeniu poprzednim.

Załączona rycina przedstawia formę przyrządu najczęściej napotykaną i dostarczaną nauczycielom przez fabrykantów przyrządów elektrycznych, jestto tak zwany „prosty przyrząd Oersted'a,” ponieważ pierwszy Oersted z Kopenhagi d. 21 lipca 1820 r. opisał, jaki kierunek przybiera igła magnesowa pod wpływem prądu elektrycznego (t.j. siły magnetycznej przezeń wywołanej), przebiegającego równoległe do osi magnetycznej igły*). Składa się

*) Patrz o tem w „Journal of the Society of Telegraph Engineers for 1876” str. 459—469, gdzie obok tekstu łacińskiego znajduje się przekład oryginalny rozprawy prof. Oersted'a o odkryciu elektromagnetyzmu, z d. 21 lipca 1820 r.

on ze sztywnego drutu miedzianego, zgiętego nakształt załączonej figury, którego końce przymocowane są do płaskiej podstawy drewnianej. Każdy z końców tego zgiętego drutu połączony został paskiem lub drutem miedzianym ze

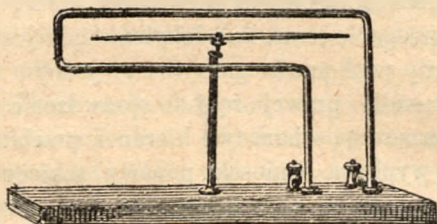


Fig. 114. Prosty przyrząd Oersteda.

śrubą łączącą albo końcówką, również przymocowaną do tej samej podstawy drewnianej. Pośrodku słup mosiężny, miedziany lub drewniany, zakończony dobrze zaostrzoną igłą stalową, podpira poziomą igłę kontrolującą, która leży pośrodku, między górną a dolną częścią poziomą grubego drutu miedzianego.

Przyrząd tego kształtu nie nadaje się do następnej, pouczającej odmiany powyższych doświadczeń, którą teraz opiszemy, korzystając z poprzednich diagramów. Połącz końcówki T_1 i T_4 dosyć długim drutem miedzianym, który połóż wzdłuż stołu tak, żeby prąd, przebiegający po tym drucie, nie oddziaływał na igłę. Uważaj, by igła leżała pośrodku między w_1 a w_2 , i przesun przyrząd, aż druty staną się równoległymi do magnetycznej osi igły. Teraz połącz końcówki T_1 i T_2 z waszą baterią, a znajdziesz,

że prąd, który przebiega od T_1 do T_2 i równocześnie w tym samym kierunku od T_4 do T_2 (albo w obu jednocześnie w kierunku odwrotnym) nie wywołuje żadnego odchylenia igły, bo kierunek pola prądu naokoło w_1 pod względem działania swojego na igłę jest przeciwny do pola naokoło w_2 . Z tego powodu, działania obu tych pól prądu na pole igły znoszą się wzajemnie. Atoli gdyby igła była choć trochę bliższa jednego z drutów (w_1 lub w_2), niż drugiego, wtedy igła odchyliłaby się o pewną niewielką wartość, będącą wynikiem różnicy w natężeniu obu pól prądu w miejscu, zajmowanem przez igłę.

Proste galwanoskopy, czyli przyrządy, służące do wykrywania prądu, pionowe i poziome. Jeżeli do celów wykładowych wymagamy znajomości kierunku albo, w przybliże-

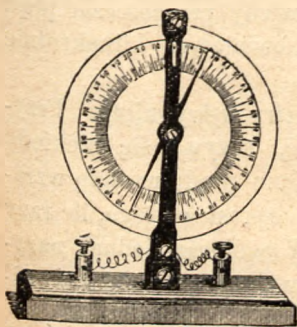


Fig. 115. Galwanoskop pionowy albo wykrywacz prądu.

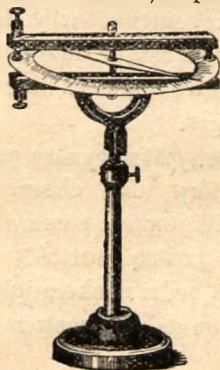


Fig. 116. Galwanoskop poziomy czyli wykrywacz prądu.

niu, względnego natężenia potężnych prądów, przesyłanych po obwodzie, wtedy możemy użyć galwanoskopu pionowe-

go lub poziomego w rodzaju tych, jakie widzimy na zamieszczonych na str. 193 figurach. Wychylenia igły odczytują się na skali, podzielonej na stopnie i umieszczonej równoległe do płaszczyzny, w której obraca się igła, i jeżeli tylko przyrząd posiada wielkość wystarczającą, bieguny zaś igły pomalowane zostały — północny na kolor jaskrawo-czerwony i południowy na jaskrawo-niebieski, naówczas ruchy igły pod wpływem prądu ujawnią się zupełnie wyraźnie znacznemu gronu słuchaczy. Prąd w tych przyrządach raz tylko przechodzi wzdłuż przedniej strony igły i raz tylko wzdłuż tylnej strony. Zaznaczyliśmy już, że siła magnetyczna, wywierana przez każdy z tych odłamków prądu, działa w tym samym kierunku na igłę. Gdybyśmy jednak potrzebowali przyrządu czulszego, któryby pozwolił osiągnąć większe odchylenie igły przy pomocy prądów słabszych, musielibyśmy wtedy przepuszczać prąd po przewodniku izolowanym, obwiniętym kilkakrotnie około igły.

Mułyplikatory albo galwanometry wykrywające. Przyrząd, który tutaj chcemy opisać, nazywa się niekiedy mułyplikatorem, ponieważ działanie prądu na igłę wzrasta tu o pewną wartość zależną wprost od tego, ile razy prąd obchodzi naokoło igły*). W ogólności jednak nazywa się on galwanometrem wykrywającym, nazwę zaś gal-

*) Pole magnetyczne, wytwarzane przez prąd, który raz tylko przebiega równoległe do magnetycznej osi igły, swobodnie zawieszonej, posiada tylko połowę tego „momentu obrotowego” albo działania skrećającego igłę, które wywiera prąd, wracający zarazem z drugiej strony igły, równoległe do jej osi magnetycznej.

wanometr rezerwujemy dla przyrządu o wiele jeszcze czulszego i dokładniejszego, który używa się do mierzenia natężenia prądu w miarach elektromagnetycznych.

Istnieje wiele rodzajów galwanometrów, jakoto astatyczne, galwanometry stycznych, wstaw, różnicowe, balistyczne, zwierciadełkowe Sir Williama Thomsona, galwanometry morskie i mianowane o stałym magnesie i cewce ruchomej Deprez — d'Arsonval'a*). Ważniejsze z nich, lub częściej napotykanne, będą opisane w niniejszym podręczniku.

Nazwa galwanometr pochodzi od nazwiska znakomitego fizyka Galvaniego z Bolonii, (który pierwszy r. 1786, robiąc doświadczenia z żabami, odkrył obecność prądów elektrycznych), tudzież od greckiego wyrazu μέτρον (metron), miara. Otrzymujemy przeto

Definicję: Galwanometr jestto przyrząd do mierzenia natężenia prądów galwanicznych (lub elektrycznych).

Figura 117 przedstawia w perspektywie galwanometr wykładowy z rodzaju tych, jakie zwykle bywają robione i sprzedawane przez fabrykantów i handlujących przyrządami elektrycznymi. Składa się on z wąskiej, czworokątnej ramy drewnianej, na której znajduje się ze sto zwojów drutu miedzianego, obwiniętego bawełną Nr. 20 (0,9 mm) w celu zapobieżenia krótkiemu łączeniu się pomiędzy jednym zwojem a drugim; oba końce drutów połączone są również z końcówkami, przytwierdzonymi do

*) objaśnienie części i wskazówki, dotyczące sposobu wykonywania tych galwanometrów podamy w dodatku do części II.

podstawy drewnianej. Tarcza podzielona jest, podobnie jak w kompasie morskim, igła zaś spoczywa na cienkim

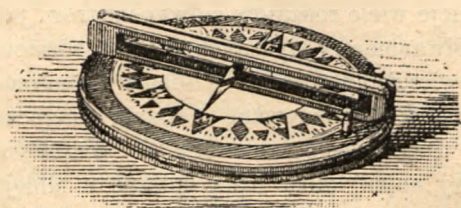


Fig. 117. Galwanometr wykładowy.

ostrzu pomiędzy górną a dolną warstwą drutów przewodnich izolowanych.

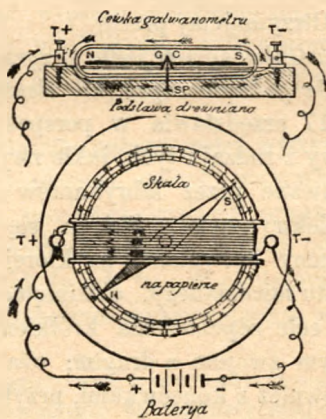


Fig. 118. Galwanometr — wykrywacz.

Następne dwie figury 118 przedstawiają przekrój pionowy i poziomy przyrządu tej samej formy, który

uczniowie sami powinni wykonać*). Oprócz przyrządu samego, przedstawiono tutaj i baterię, druty przewodzące, tudzież kierunek prądu przepływającego po izolowanym przewodniku miedzianym i odpowiedni kierunek, w którym igła doznaje odchylenia.

Na następnej figurze 119 podaliśmy umyślnie wygląd zewnętrzny odmiany tego przyrządu, przeznaczonej do użytku monterów linii telegraficznych i telefonicznych lub elektrotechników; jest-to prosty wykrywacz przenośny albo gruby przyrząd mierniczy, pozwalający w sposób przybliżony i szybki oceniać natężenie prądów elektrycznych; pragnęlibyśmy bowiem, by uczeń kursu początkowego od jednego rzutu oka umiał wskazać nazwę i użytek nietylko przyrządów używanych na wykładach i w pracowni, ale

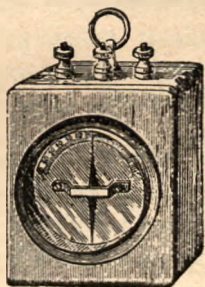


Fig. 119, Wykrywacz do montażu. pp. Woodhouse, Rawson & Co **).

i tych, które są odpowiednie dla praktyki elektrotechnicznej. Całe zadanie robotnika, który używa takiego przy-

*) Spis części i wskazówki, jak się taki galwanoskop robi, czytaj w Dodatku do cz. II.

***) Trzy końcówki tego przyrządu połączone są dwiema oddzielnymi szpulami, z których jedna składa się z drutu grubego i krótkiego, druga z cienkiego i długiego, ażeby dać możliwość stosowania obwodów prądu o rozmaitej długości.

rzędu, zasadza się na przyłączeniu wystających jego końcówek do obu końców obwodu prądu (albo jednego końca drutu przewodniego lub linii telegraficznej z jedną końcówką, drugiej zaś końcówki z „ziemią”^{*)}), aby wykryć, czy prąd przebiega lub też czy obwód jest zamknięty. Z zauważonego odchylenia igły (na prawo lub na lewo) według zrobionej uprzednio próby, poznaje on kierunek prądu, z liczby zaś stopni, o które się igła odchyła, otrzymuje przybliżone wyobrażenie o natężeniu prądu.

Pytanie próbne i odpowiedź.

Pytanie. Dajmy na to, jesteś samotnikiem na bardzo odległej stacyi telegraficznej i nie masz żadnego przyrządu właściwego do oznaczania miejsc, w których znajdują się błędy w przewodnikach; naprawdę posiadasz jedynie igłę kompasową, wiszącą przy łańcuszku do zegarka i kawałek cienkiego izolowanego drutu miedzianego. Przypuśćmy dalej, że jedyna linia telegraficzna pomiędzy twoją a najbliższą stacyą została przerwana i widzisz, iż prąd wcale nie przebiega po linii, skoro na czas dłuższy połączysz biegun + twojej bateryi z linią, zaś biegun — z ziemią. Jak sobie postąpisz, ażeby wynaleźć błąd?

^{*)} Znaczenie techniczne wyrazu „ziemia,” używanego przez elektryków, zostanie w zupełności objaśnione dopiero później. Tymczasem przyjmujemy, iż oznacza on połączenie pomiędzy galwanometrem a rurą wodociągową lub gazową albo płytą zanurzoną w gruncie wilgotnym lub w stawie.

Odpowiedź. Zabierz swoją igłę kompasową oraz izolowany drut miedziany i przejdź albo przejeźdź się na kawałku drogi wzdłuż linii, upatrując uważnie przerwy w drucie. Dajmy na to, że jej w ten sposób nie możesz znaleźć. Wtedy obnaż jeden koniec cienkiego drutu, wejdź na jeden ze słupów telegraficznych i połącz ten koniec drutu mocno z drutem telegraficznym. Wówczas zejdź na ziemię i połącz drugi obnażony koniec cienkiego drutu z drutem, który prowadzi po słupie do ziemi. Teraz obwiń środkową częścią cienkiego drutu izolowanego dwa lub trzy palce twojej lewej ręki tak, jakbyś robił szpulę albo cewę w galwanometrze wykrywającym. Umieść tę improvizowaną cewę na długość w południku magnetycznym, płaskie części trzymając pionowo, potem wprowadź swoją igłę kompasową do wnętrza tej cewki. Jeżeli igła odchyli się, poznasz ztąd, iż błędu lub przerwania jeszcze nie znalazłeś, gdyż twoja bateria stacyjna przesyła prąd po linii i przez twój zaimprovizowany wykrywacz albo multiplikator do ziemi. Wobec tego proste to doświadczenie powinieneś znowu powtórzyć dalej na linii, dopóki nie otrzymasz już żadnego odchylenia; ztąd dowiadujesz się, iż ominęłeś już miejsce przerwane i przeto ostrożnie możesz powracać wzdłuż linii, aż natrafisz na przerwę w drucie.

Pytania do wykładu XI.

1. Przypuść, że posiadasz baterię galwaniczną albo jakie inne źródło energii elektrycznej zamknięte w pewnym po-koju, i mogące dawać mocne prądy elektryczne, i że masz przy-

stęp wyłącznie do wolnych końców dwu drutów przewodzących, połączonych z biegunami + i — baterii lub innego generatora. Naszkicuj teraz i treściwie objaśnij, jak się przekonasz za pomocą igły kompasowej, który drut połączony jest z biegunem + a który, dajmy na to, z biegunem — baterii.

2. Naszkicuj i opisz prosty przyrząd Oersteda, służący do przedstawienia działania prądu magnetycznego na igłę magnesową. Oznacz na twoim rysunku strzałkami kierunek prądu linii siły magnetycznej, wywołanych w każdej części drutu i kierunek pola igły przed i po odchyleniu igły. Również oznacz bieguny + i — baterii.

3. Prąd, który przebiega po długim drucie, jest tak słaby, że skoro drut ten wyciągnięto równoległe nad zawieszoną igłą magnesową, ta ostatnia widocznie nie odchyła się. Opisz i objaśnij pewne urządzenie, które ci jeonak pozwoli otrzymać ruch igły przez działanie prądu.

4. Druty dwóch oddzielnych baterii voltaicznych zostały wyciągnięte jeden nad drugim od północy ku południowi (magnetycznemu) i prądy jednakowe przebiegają przez oba druty. W środku pomiędzy drutami zawieszono igłę, która może się swobodnie obracać w kierunku poziomym lecz nie pionowym. Jakie jest na nią działanie:

a) skoro prądy biegą w tym samym kierunku?

b) skoro kierunki prądów są odwrotne?

5. Naszkicuj i opisz zwięźle za pomocą „spisu części” budowę i działanie moltiplikatora galwanometru wykładowego.

6. Naszkicuj i opisz przez zestawienie części pojedynczych „galwanoskop pionowy” dla monterów telegraficznych. Jak i do jakich celów jest on używany?

7. Przewodzący drut szpuli lub cewy z cienkiego drutu izolowanego został przerwany, lecz przy nawijaniu przerwa ta nie jest widoczną. Jak odszukasz miejsce tej przerwy za pomocą małej igły kompasowej i baterii?

8. Dwa długie druty zostały umieszczone równoległe do siebie w tej samej płaszczyźnie poziomej i w południku magne-

tycznym. Iгла magnetyczna, mogąca obracać się naokoło swojego punktu zawieszenia w każdym kierunku, mieści się dokładnie w środku między nimi. Jak się ona zachowa, jeśli ten sam prąd elektryczny przebiega po drucie wschodnim od południa na północ i po drucie zachodnim od północy na południe? (Działanie ziemi na igłę magnesową przytem może być pominięte).

WYKŁAD XII.

Treść: Pole magnetyczne i jego kierunek pod wpływem prądu kołowego. — Natężenie lub moc pola magnetycznego w punkcie środkowym prądu kołowego. — Prosty galwanometr stycznych. — Galwanometr wstaw. — Tablica naturalnych wstaw i stycznych. — Pytania.

Pole magnetyczne i kierunek jego pod wpływem prądu kołowego. Doświadczenie VIII. Weź wyprostowany drut miedziany, mający blisko 2,5 cm w średnicy, i zegnij go w obręcz naprz. o średnicy 2,5 cm.

2. Przymocuj ten drut pionowo w płaszczyźnie południka magnetycznego.

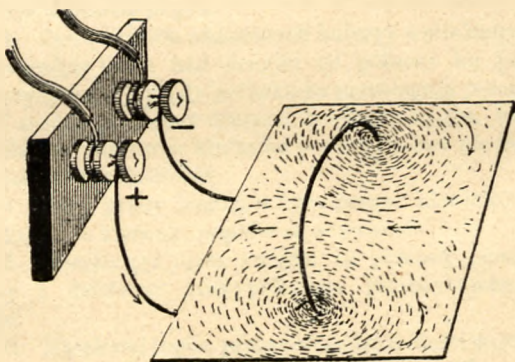


Fig. 120. Graficzny obraz pola magnetycznego, wywołanego przez prąd kołowy, za pośrednictwem opiek żelaznych*).

*) Powyższą figurę, podobnie jak fig. 108 na lewo u dołu, fig. 121, 122, 127—130 i 152 autor zapożyczył z dzieła H. D. Wilkinsona „Listy do nauczycieli i do czytelników niefachowych,” które były również zamieszczone w r. 1889 w piśmie „The Electrician.”

3. Przymocujmy kawałek sztywnej tektury, pociągniętej papierem parafinowym lub drzewem w płaszczyźnie poziomej, która zawiera poziomą średnicę koła, jak to wskazuje powyższa 120.

4. Łączymy wolne końce drutu kołowego z baterią albo deską połączeń, aby przepuścić mocny prąd po drucie.

5. W chwili gdy prąd przebiega po drucie, wysiewamy na papier parafinowany drobne opilki z miękkiego żelaza.

6. Utrwalamy opilki podczas przebiegu prądu za pomocą sposobu, wyłożonego w części pierwszej wykładu III.

Widzimy, iż kierunek opilek w sąsiedztwie środkowego punktu koła z drutu jest prostoliniorny i równoległy do osi tegoż koła, podczas gdy na prawo i na lewo od tej osi albo linii środkowej opilki tworzą figury krzywe nokoło po obu stronach drutu.

Bierzemy małą igłę magesową*), swobodnie zawieszoną, i wprowadzamy ją, podczas gdy prąd przebiega po drucie, w rozmaite miejsca wewnątrz i nazewnątrz koła z drutu; z rozmaitych położeń igły znajdziemy ten sam kierunek pola magnetycznego, który dopiero co otrzymaliśmy za pomocą opilek. Jeżeli zastosujemy próbę prawej ręki (podług tego co powiedziano na wykładach X i XI),

*) Do tego celu nadaje się krótki kawałek namagnesowanego drutu stalowego, zawieszzonego w punkcie środkowym na cienkiej nici, albo igła magesowa o podwójnem łożysku dla osi, którą po kolei zwracamy równoległe do każdej strony drutu wyciągniętego.

tedy zawsze da nam ona kierunek, w którym porusza się północny biegun igły, gdziekolwiek ten ostatni będzie położony względem drutu przewodniego.

Odwróćmy kierunek prądu w drucie, a postrzeżemy wnet, że igła magnesowa zmienia kierunek, gdziekolwiek bądź ją umieścimy w obrębie pola prądu.

Natężenie albo moc pola magnetycznego w środkowym punkcie prądu kołowego. W ciągu ostatniego wykładu dowiedliśmy, że jeżeli prąd najpierw przebiegał nad albo przed igłą magnesową a potem wracał pod nią lub za nią, wówczas natężenie pola, wytworzonego w środku między tymi dwoma prądami, było dwa razy większe od natężenia

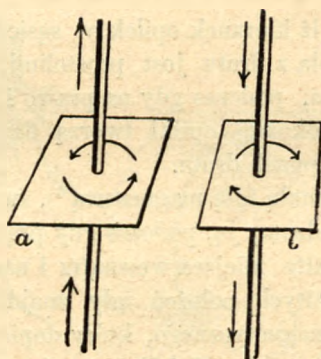


Fig. 121. Pole magnetyczne, wywołane przez prądy prostolinijne, biegnące do góry i na dół.

pola, wywołanego przez prąd, przebiegający po jednym tyldrucie; skutkiem tego odchylenie igły, zawieszanej w środku między tymi dwoma długimi i przeciwnie zwróconymi prądami, było większe od odchylenia igły, wywołanego

przez jeden z tych prądów, działający pojedynczo na igłę. Obecnie porównyując ten wypadek z prądem kołowym, przebiegającym naokoło igły, musimy zauważyć, iż natężenie prądu i odpowiednie odchylenie igły jeszcze rośnie dalej, bo każda część prądu biegnącego naokoło igły stara się wytworzyć w środku koła pole magnetyczne o tym samym kierunku.

Na następnej figurze 122 prąd, który tam biegnie, mógłby odciągnąć biegun Pn magnesu, położony przed pa-

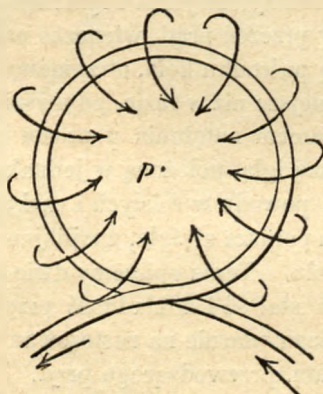


Fig. 122. Pole magnetyczne, wywołane przez prąd kołowy.

pierem i na osi koła, od badacza i wpędzić go do punktu środkowego p koła siłą pola magnetycznego, wytworzonego przez każdą część prądu kołowego; tymczasem na fig. 121 biegun Pn, umieszczony w środku pomiędzy drutami prostymi, byłby wciągnięty wyłącznie przez prostolinijne części prądu, działające w każdym drucie. Matematycznie

dowiedziano i doświadczalnie sprawdzono, że jeżeli r jest promień koła, utworzonego z drutu przewodzącego prąd, $2r$ jest odległość pomiędzy dwoma *bardzo długimi* drutami prostolinijnymi, które przewodzą prąd o *tem samym* natężeniu, wtedy

natężenie pola w punkcie środkowym prądu kołowego
 natężenie pola pośrodku, między prądami prostolinijnymi

$$= \frac{2\pi r^1)}{4r} = \frac{6,28}{4} = \frac{1,57}{1}$$

Z tego widzimy, że jeżeli zegniemy drut nakształt koła i prześlemy przezeń prąd, wtenczas na igłę magnesową, umieszczoną pośrodku koła, otrzymamy działanie przeszło $1\frac{1}{2}$ raza silniejsze niż w razie, gdybyśmy przepuszczali prąd o takim samym natężeniu poprostu nad i pod, albo przed i za tą samą igłą, położoną w jednakowej odległości od nich. Z tego powodu w ścisłych i czułych galwanometrach, w których porusza się igła, znajdujemy szpulę z drutu w kształcie koła. Teraz opiszemy dwie formy galwanometrów, których stałość i dokładność przy pomiarach natężeń prądu polega właśnie na zastosowaniu do nich cewki kołowej z drutu, przewodzącego prąd.

Prosty galwanometr stycznych, albo busola stycznych.
 Z załączonej fig. 123, (na str. 207), widać, że szpula tego przyrządu, składa się z jednego tylko zwoju drutu grubege lub cienkiego paska miedzianego, zgiętego w kształcie koła, o średnicy 25 lub więcej cm. Wolne końce przy-

¹⁾ $2\pi r$ jest obwodem koła o promieniu r , π jest stosunkiem obwodu koła do jego średnicy; albo $\pi=3,1416$, $2\pi=6,2832$, albo w przybliżeniu 6,28.

łączone są do dwóch końcówek T_1 i T_2 , wkręconych w słupki okrągły z suchego drzewa, naprz. z polerowanego mahoniu, centralnie umieszczony do koła. Dolny koniec tego słupa opiera się na trójnogu, którego nóżki za-

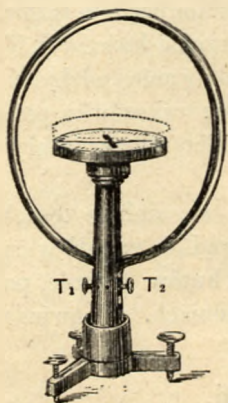


Fig. 123. Prosty galwanometr stycznych.

opatrzone są w śrubki do ustawiania przyrządu, górny zaś koniec podpira okrągłą miedziczkę z drzewa lub mosiądzu, ze skalą poziomą, podzieloną na stopnie i przykrytą daszkiem szklanym. W środku miedziczki umocowane jest cienkie ostrze stalowe, na którym spoczywa bardzo krótka (długość 2,5 cm lub mniej) i gruba igła magnetyczna, opatrzona w lekką wskazówkę glinową lub szklaną, przymocowaną do igły szelakiem pod kątem prostym do

niej, tak, że końce wskazówki sięgają aż do podziałek skali, podzielonej na stopnie.

Ponieważ igła jest mała, promień zaś cewy duży, przeto bieguny igły poruszają się w pewnej części pola, (wytworzonego przez prąd biegnący po kole), którego kierunek i natężenie są prawie jednostajne lub stałe. Gdy teraz płaszczyznę cewy umieścimy w południku magnetycznym, wówczas oś magnetyczna igły znajdzie się w płaszczyźnie cewy, i skutkiem tego siła magnetyczna, wywierana przez prąd w środku cewy, działać będzie pod

kątem prostym do osi biegunowej igły i odchyli ją z tego położenia wbrew odpychającej poziomej sile magnetyzmu ziemskiego. Ponieważ dla każdej pojedynczej miejscowości owa siła pozioma ziemi może być uważana za stałą (przynajmniej wobec uczniów początkujących), przeto cała czynność polega na przesyłaniu prądów rozmaitego natężenia po okręgu drutu, przez łączenie końcówek T_1 i T_2 z biegunami $+$ i $-$ baterji, i notowaniu odchyłeń igły w stopniach odczytywanych, o które wskazówka przesuwa się na prawo lub na lewo od O , albo od położenia pierwotnego.

Doświadczenie IX. Chcąc się dobrze przekonać o względnych natężeniach tych prądów, znajdź w następnej tabelce stycznych *) dla tych kątów stycznych, poczem jeżeli d_1 , d_2 są odchyleniami w stopniach, odpowiadającymi prądom, i_1 , i_2 , znajdziesz

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{\operatorname{tg} d_1}{\operatorname{tg} d_2}$$

albo:

$$\operatorname{tg} d_1 : \operatorname{tg} d_2 = i_1 : i_2$$

Znaczy to, iż stycznych kątów odchyłeń są wprost proporcjonalne do natężeń prądów, przebiegających po cewie.

*) Dokładniejsze tabelki, zawierające obok stopni jeszcze minuty, znajdziesz na ostatnich stronach „Podręcznika kieszonkowego prawideł i tablic elektrycznych” pp. Munro i Jamiesona (albo w zwykłych tablicach logarytmów, naprzykład u Schlämilcha i t. p.).

Tablica naturalnych wstaw *) i stycznych.

∠	sin	tang	∠	sin	tang	∠	sin	tang	∠	sin	tang	∠	sin	tang
0°	0000	.0000	18°	3090	.3249	36°	5878	.7265	54°	8090	1.3764	72°	9511	3.0777
1	0175	.0175	19	3256	.3443	37	6018	.7536	55	8192	1.4281	73	9563	3.2709
2	0349	.0349	20	3420	.3640	38	6157	.7813	56	8290	1.4826	74	9613	3.4874
3	0523	.0524	21	3584	.3839	39	6293	.8098	57	8387	1.5399	75	9659	3.7321
4	0698	.0699	22	2746	.4040	40	6428	.8391	58	8480	1.6003	76	9703	4.0108
5	0871	.0875	23	3907	.4245	41	6561	.8693	59	8572	1.6643	77	9744	4.3315
6	1045	.1051	24	4067	.4452	42	6691	.9004	60	8660	1.7321	78	9781	4.7046
7	1219	.1228	25	4226	.4663	43	6820	.9325	61	8746	1.8040	79	9816	5.1446
8	1392	.1405	26	4384	.4877	44	6947	.9657	62	8829	1.8807	80	9848	5.6713
9	1564	.1564	27	4540	.5095	45	7071	1.0000	63	8910	1.9626	81	9877	6.3138
10	1736	.1763	28	4695	.5317	46	7193	1.0355	64	8988	2.0503	82	9903	7.1154
11	1908	.1944	29	4848	.5543	47	7314	1.0724	65	9063	2.1445	83	9925	8.1443
12	2079	.2126	30	5000	.5774	48	7431	1.1106	66	9135	2.2460	84	9945	9.5144
13	2250	.2309	31	5150	.6009	49	7547	1.1504	67	9205	2.3559	85	9962	11.43
14	2419	.2493	32	5299	.6249	50	7660	1.1918	68	9272	2.4751	86	9976	14.30
15	2588	.2679	33	5446	.6494	51	7771	1.2349	69	9339	2.6051	87	9986	19.08
16	2756	.2867	34	5592	.6775	52	7880	1.2799	70	9397	2.7475	88	9994	28.64
17	2924	.3057	35	5736	.7002	53	7986	1.3270	71	9455	2.9042	89	9998	57.29

*) Każda wartość wstawy jest ułamkiem dziesiętnym, naprz. $\sin 71^\circ = 0,9455$.

Przykład. Niechaj odchylenie na galwanometrze stycznych, wywołane przez jedną baterię, połączoną z galwanometrem, będzie $d = 17^\circ$ i — przez drugą baterią $d_2 = 31^\circ$. Wtedy prądy i_1, i_2 nie są proporcjonalne do 17° i 31° , lecz do ich stycznych. Tym sposobem

$$\operatorname{tg} d_1 : \operatorname{tg} d_2 = i_1 : i_2$$

albo

$$\operatorname{tg} 17^\circ : \operatorname{tg} 31^\circ = i_1 : i_2$$

czyli

$$0,3 : 0,6 = i_1 : i_2$$

a zatem

$$i_2 = 2 i_1,$$

przeto prąd w drugim wypadku jest dwa razy mocniejszy niż w pierwszym.

Przypuśćmy, iż wybieramy dla naszego galwanometru stycznych cewkę tej wielkości, że, skoro mamy odchylenie 45° , wtedy prąd jest praktyczną jednostką prądu, czyli tak zwanym *amperem*. A w takim razie ponieważ $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$, przeto naturalne styczne wszelkich innych odchyleń będą przedstawiały odpowiednie wartości w amperach, naprz. w wypadku powyższym $\operatorname{tg} 17^\circ = 0,3$ ampera, $\operatorname{tg} 31^\circ = 0,6$ ampera i $\operatorname{tg} 64^\circ = 2$ amperom i t. d., co się daje widzieć z tablic poprzednich *).

*) Uczeń może sprawdzić swoje wyniki teoretyczne, przy pomocy tablic naturalnych stycznych, według sposobu następującego:

1. Niechaj na arkuszu papieru narysuje on koło tej samej średnicy co skala galwanometru.

2. W kole tym wyznaczmy promień i zauważmy punkt, w którym promień przecina obwód, odpowiadający punktowi 0 albo początkowemu skali.

Wynika ztąd

Definicya. *Galwanometr stycznych jest przyrządem mierniczym o bardzo krótkiej igle magnesowej, którą ustawia się w polu jednej lub kilku cewek o znacznym promieniu tak, iż pole magnetyczne, wywołane przez prąd w miejscu gdzie igła wisi, w przybliżeniu jest jednostajne, styczne zaś kątów odchyień proporcjonalne są do natężeń prądów, które wywołują odchylenia.*

Galwanometr wstaw albo busola wstaw. Wadą galwanometru stycznych jest brak czułości, spowodowany przez konieczność zastosowania szpuli o znacznym pro-

3. W punkcie tego niechaj uczeń pociągnie styczną do koła.

4. Na obwodzie, poczynając od 0, wyznaczy rozmaite kąty odchylenia igły i pociągnie, w każdym z punktów przecięcia obwodu przez odpowiednie promienie, styczne do koła.

5. Wtedy uczeń niechaj jakąkolwiek miarką stosowną np. skalą albo linijką zmierzy na stycznych, poczynając od 0, rozmaite odległości, w których przedłużone promienie kątów je przecinają; odległości te stają się wtedy wprost proporcjonalne do i stycznych kątów ztąd do prądów, które wywołały te same katowe odchylenia igły magnesowej.

Umyślnie unikamy tu zaznajamiania ucznia tej kategorii z dokładniejszymi wywodami i wzorami, potrzebnymi do tego, ażeby znajdować za pomocą galwanometru stycznych natężenie prądów w mierze absolutnej albo w praktycznych jednostkach prądu, czyli amperach (patrz o tem u Munro i Jamiesona „Podręcznik kieszonkowy tablic i prawideł elektrycznych” str. 74). Umyślnie też pomijamy tymczasem sposób budowania skali stycznych i opis innych rodzajów galwanometrów stycznych, naprz. Gauguin'a i Helmholtz'a, które dają pole jednostajne w miejscach, gdzie igła się zatrzymuje.

mieniu wewnętrznym, w celu otrzymania wyników dokładniejszych. Następstwem tego jest stosunkowo niewielkie wychylanie się igły wobec poszczególnych natężeń prądów, które przebiegają przez szpulę. Tymczasem, jeżeli cewkę ustawimy tak, żeby się mogła obracać naokoło osi pionowej w kierunku wychyleń igły aż do wychylenia największego, kiedy szpula i igła znajdują się w jednej i tej samej płaszczyźnie, wtedy możemy zastosować cewkę o wiele mniejszą i igłę o wiele dłuższą, można też zbliżać cewkę do igły wedle upodobania a pomimo to znajdujemy, iż wartości prądu przy rozmaitych wychyleniach podlegają stałemu prawu.

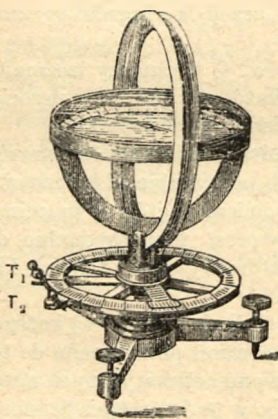


Fig. 124. Galwanometr wstaw. *czyźnie.*

Galwanometr tego rodzaju jak na załączonej figurze, zowie się galwanometrem wstaw, *ponieważ prądy przesyłane przez cewkę kołową proporcjonalne są do wstaw kątów, o które cewkę należy wyprowadzić z południka magnetycznego, ażeby pomiędzy działaniami pola prądu a ziemi na igłę* *wytworzyła się równowaga w owej chwili, kiedy szpula i igła leżą w jednej płasz-*

czynie. Galwanometr ten, rzecz prosta, daje się użyć jako galwanometr stycznych przez proste ustawienie jego cewy w południku magnetycznym, ale, jak to z poprzednich naszych doświadczeń wynika, na-

tężenia prądu nie będą wtedy ściśle proporcjonalne do stycznych kątów wychyleń, dopóki igła jest bardzo krótka. Skoro się go używa jako galwanometru wstaw, tedy najpierw cewa pionowa ustawia się w południku magnetycznym, czyli obraca się ją, aż ustawi się ściśle równoległe do osi magnetycznej igły. Wtedy wskazówka powinna stać na dolnej poziomej podziałce 0. Gdy końcówki połączone zostały z baterią i prąd przepływa przez szpulę, igła magnesowa odchyła się na prawo lub na lewo. Wtedy szpula pionowa obraca się w tym samym kierunku co odchylenia igły, dopóki nie dogoni igły i nie stanie się znowu równoległą do niej. Kąt obrotu szpuli odczytuje się na dolnej skali i notuje się. W położeniu tym pole prądu wywiera największe działanie obrotowe na igłę; w ten sposób bardzo słabe prądy dają się dokładnie zmierzyć przyrządem, który może być wykonany przez samego ucznia z najprostszych i najtańszych materiałów.

Skoro d_1 i d_2 są kątami obrotu cewy względem południka magnetycznego, kiedy pod wpływem odpowiednich prądów i_1 , i_2 nastąpiła równowaga, wtenczas

$$i_1 i_2 = \sin d_1^\circ \sin d_2^\circ$$

albo

$$\sin d_1^\circ : \sin d_2^\circ = i_1 : i_2$$

Przykład. Przypuśćmy, iż cewa galwanometru obróciła się pod wpływem prądu i_1 , przebiegającego z baterji przez szpulę o kąt $d_1 = 18^\circ$, tudzież pod wpływem prądu i_2 , przebiegającego przez nią z innej baterji, o kąt $d_2 = 37^\circ$. Wtedy prądy nie są proporcjonalne do tych kątów, lecz do ich wstaw odpowiednich (patrz tabelkę na str. 209). A zatem

$$\begin{aligned}\sin d_1 : \sin d_2 &= i_1 : i_2 \\ \sin 18^\circ : \sin 37^\circ &= i_1 : i_2 \\ 0,3 : 0,6 &= i_1 : i_2 \\ i_2 &= i_1 \frac{0,6}{0,3} = 2 i_1\end{aligned}$$

czyli prąd w drugim przypadku jest dwa razy mocniejszy niż w pierwszym.

Pytania do wykładu XII.

1. Naskicuj i opisz doświadczenie, zapomocą którego możesz wskazać kierunki pola magnetycznego, powstającego wewnątrz i nazewnątrz drutu kołowego przewodniego.

2. Krótką igłę, poziomą, zawieszoną swobodnie, umieszczono pomiędzy dwoma długimi (pionowymi), prostymi i równoległymi drutami, po których prąd przebiega, po jednym do góry, po drugim na dół*). Jak się igła zachowa?

Tę samą igłę umieszczono później w środku pojedynczego zwoju drutu zgiętego naksztalt koła, pionowo stojącego*): jak się zachowa teraz igła, kiedy po tym drucie prześlemy prąd o tym samym natężeniu co po drutach prostych? Porównaj natężenie pól magnetycznych, wywołanych przez prąd w środku pomiędzy drutami równoległymi i w punkcie środkowym drutu kołowego.

3. Naskicuj kierunek linii sił magnetycznych, które otaczają kołowy przewodnik prądu, połączony z baterią, kiedy prąd przebiega 1) od prawej ręki ku lewej 2) od lewej ku prawej. Wprowadź prawą rękę, stosownie umieszczoną nazewnątrz i wewnątrz drutu, mając wielki palec wyciągnięty i inne palce zwrócone w należytym kierunku.

*) Płaszczyzna drutów znajduje się w południku magnetycznym.

4. Naskicuj i opisz prosty galwanometr stycznych o pojedynczym zwoju drutu. Dlaczego przyrząd ten nazywa się galwanometrem stycznych?

5. Porównaj stosunkowe natężenia prądów, przechodzących przez cewę galwanometru stycznych, gdy postrzeżone odchylenia odpowiednio są równe 27° i 45° .

6. Dlaczego w galwanometrze stycznych igła powinna być stosunkowo niewielka i szpula powinna mieć znaczną średnicę?

7. Naskicuj i opisz zwykły galwanometr wstaw. Dlaczego galwanometr ten nazywa się galwanometrem wstaw? Jak się go używa do porównywania natężeń prądów?

8. Dlaczego długa igła nadaje się do galwanometru wstaw, nie zaś do galwanometru stycznych?

9. Porównaj stosunkowe natężenia prądów, przebiegających przez szpulę galwanometru wstaw, kiedy kąty obrotu szpuli, zanim igła nanowo zatrzymała się na zerze, są odpowiednio 30° i 45° .

WYKŁAD XIII.

Treść: Solenoid elektromagnetyczny. — Pole magnetyczne i jego kierunek wewnątrz solenoidu. — Pole magnetyczne i jego kierunek nazewnątrz solenoidu. — Połączone działanie pola magnetycznego, wywołanego przez magnes trwały i przez solenoid elektromagnetyczny. — Galwanometry stycznych z podziałkami Sir Williama Thomsona. — Prosty galwanometr astatyczny. — Pytania.

Solenoid elektromagnetyczny. Na ostatnim wykładzie objaśniliśmy ogólny układ i kierunek linii sił pola magnetycznego, wywołanego przez prąd kołowy, przebiegający po jednym lub więcej zwojach cewki, której długość jest stosunkowo zmała do średnicy, tamże podaliśmy dwa przykłady na zastosowania praktyczne, w postaci galwanometrów stycznych i wstaw.

Obecnie zajmiemy się własnościami solenoidów elektromagnetycznych, oraz ich zastosowaniami praktycznymi.

Definicja solenoidu. *Jeżeli izolowany drut nawinięto na cewę cylindryczną (zupełnie jak nić bawełniana nawija się na szpulę lub motowidło tak, że rozmaite zwoje leżą tuż obok siebie, ułożone warstwami jedna nad drugą, po dwie lub więcej), taki układ*

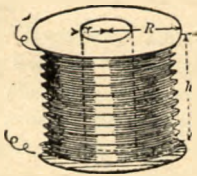


Fig. 125. Solenoid albo cewa z drutu izolowanego.

zwie się solenoidem, jeżeli tylko długość szpuli nie jest małą w porównaniu ze średnicą. Załączona figura przedstawia solenoid, który staje się solenoidem elektro-

magnetycznym, skoro przez zwoje jego drutu przebiega prąd elektryczny*).

Pole magnetyczne wewnątrz solenoidu tudzież kierunek pola. Z tego, co powiedziane było na ostatnim wykładzie o kierunku pola magnetycznego, wywołanego przez prąd kołowy, i z prostego wejrzenia na figury 126 i 127 odrazu

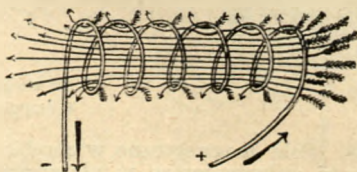


Fig. 126. Pole magnetyczne wewnątrz helicy albo solenoidu.

pozna uczeń, że gdy prąd przebiega po bardzo długim przewodniku, nawiniętym w postaci kręgów, tuż obok siebie ułożonych, tedy kierunek pola magnetycznego wzdłuż osi wewnątrz solenoidu i równoległe do niej jest prosty, natężenie zaś prawie do końców solenoidu jest dosyć jednostajne. Pole prądu, wywołane przez każdy zwój drutu, po którym prąd przebiega, wzmacnia przyległy skręt prądu, ostatecznie więc otrzymujemy (zgodnie

*) Jak się oblicza długość drutu każdej wielkości, jaką chcesz nawinąć na szpulę kołową, patrz u Rankina „Pożyteczne prawidła i tablice” wyd. 7, str. 437, lub u Munro i Jamiesona „Podręcznik kieszonkowy prawideł i tablic elektrycznych” wyd. 6, str. 402. Patrz o tem Dodatek do cz. II.

fig. 126*) zbiorowisko linii magnetycznych siły, z postacią swoją przypominające strzały łucznika, ułożone w kołowanie.

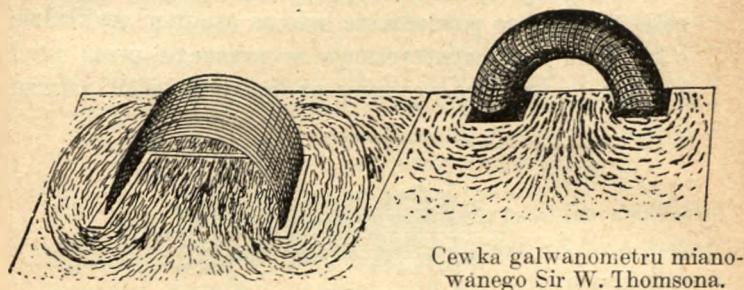


Fig. 127 i 128. Pole magnetyczne w obrębie i po za obrębem solenoidu i cewki galwanometru w płaszczyźnie ich osi, przedstawione za pomocą opilek żelaznych.

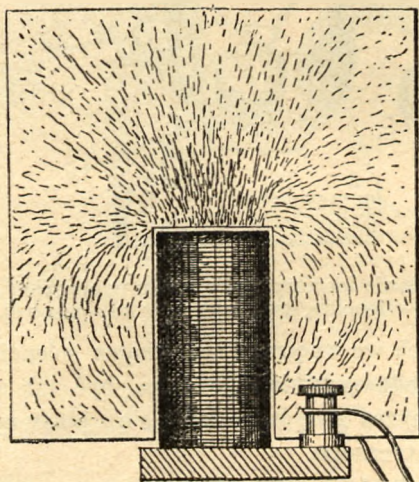
Doświadczenie X. Słuszność powyższego rozumowania student sam może z łatwością sprawdzić (można też doświadczenie to pokazać całej klasie), biorąc kawałek tektury, pokrytej papierem parafinowanym, i wprowadzając do wnętrza solenoidu lub naokoło niego podczas przebiegu prądu po drucie opilki żelazne, rosproszone na papierze**). Kierunek pola w każdym wypadku wskazują strzałki.

*) Na figurze powyższej umyślnie wyrysowaliśmy spiralną albo helicę z drutu rozwartą, a na figurze następnej jedną tylko warstwę, ażeby uwydatnić kierunki rozmaitych linii siły magnetycznej.

***) Patrz cz. I, wykład III, str. 35—36, jak się utrwalają opilki żelazne i ztąd, jak się wytwarza obraz pola magnetycznego.

Pole magnetyczne po za obrębem solenoidu i jego kierunku. Ostatnie dwie figury przedstawiają również kierunek pola magnetycznego nazewnątrz solenoidu.

Doświadczenie XI. W celu utrwalenia w umyśle ucznia, że zarys pola na zewnątrz solenoidu elektromagnetycznego jest identyczny z zarysem trwałej cylindrycznej sztaby magnesowej tej samej długości i szerokości, radzimy uczniowi umieścić tylko kawałek tektury, pokrytej papierem parafinowanym po za obrębem solenoidu i wytworzyć



Do balery

Fig. 129. Pole magnetyczne po za obrębem solenoidu przedstawione zapomocą opilek żelaznych.

na nim sposobem już nam znanym za pośrednictwem opilek żelaznych trwały obraz, przypominający załączoną fig. 129.

Aby to uskutecznić, należy przytwierdzić solenoid osią poziomą, płaszczyzna zaś tektury powinna przechodzić przez oś poziomą tego solenoidu.

Doświadczenie XII. W sposób wystarczający dowieść można dwóch ostatnich zasad, biorąc poprostu małą igłę kompasową do sprawdzenia i ustawiając ją w rozma-

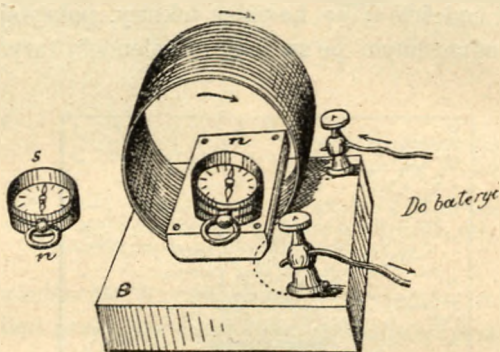


Fig. 130. Zbadanie kierunku pola prądu w obrębie i poza obrębem solenoidu, zapomoć igły kompasowej.

tych miejscach we wnętrzu i nazewnątrz solenoidu, który jednakże przedewszystkiem powinien być tak ustawiony, ażeby płaszczyzny zwojów zlewały się z płaszczyzną południka magnetycznego.

Łączne działanie pola magnetycznego, wywołanego przez magnes trwały i solenoid elektromagnetyczny. Doświadczenie XIII. 1. Umieść trwały magnes półkolisty, nad krótkim solenoidem, przedstawionym na fig. 131 i uważaj, by linia, łącząca bieguny magnesu, przypadła dokładnie w kierunku południka magnetycznego.

2. Przymocuj kawałek tektury, pokrytej papierem parafinowanym, wewnątrz i nazewnątrz cewy jak wyżej.

3. Zanim przesłemy prąd przez cewę, zdejmij obraz pola magnetycznego zapomocą opilek żelaznych, tudzież zanotuj kierunek linii sił zapomocą twojej igielki kompasowej kontrolującej. Pole skierowane jest pomiędzy biegunami magnesu, ściśle od lewej strony ku prawej, jak to wskazuje pierwsza z załączonych figur 131.

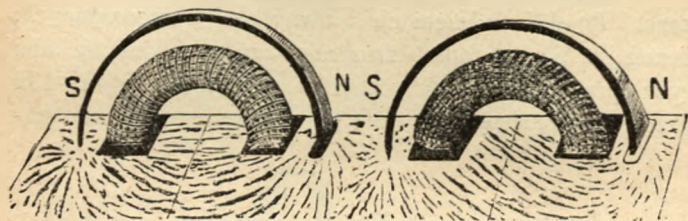


Fig. 131. Pole magnetyczne, wywołane wyłącznie przez magnes zakrzywiony, ujawnione zapomocą opilek żelaznych.

Fig. 131a. Pole magnetyczne, wywołane przez łączne działanie magnesu zakrzywionego i prądu, przebiegającego przez szpulę, ujawnione zapomocą opilek żelaznych.

4. Po włożeniu świeżej kartki papieru parafinowanego, prześlij prąd przez cewę i wykonaj zdjęcie powtórne.

Zarys pola znacznie się teraz zmienił, przytem nie tylko w porównaniu z ostatnią figurą, lecz i z fig. 128. W rzeczy samej teraz pole jest kombinacją dwu pól — jednego, wywołanego przez trwały magnes, i drugiego — przez prąd. Opilki układają się od lewej strony ku prawej. Gdybyście włożyli świeżą kartkę papieru i odwrócili

prąd w cewce, tedy opilki przybrałyby kierunek od prawej strony ku lewej. Swobodnie zawieszona igła magnesowa, przesuwana wzdłuż osi albo środkowej linii szpuli, przyjęłaby kierunek, zlewający się z kierunkiem opilek żelaznych. W miarę oddalania igły od cewki zmniejsza się jej wychylenie od południka magnesowego, albo od płaszczyzny cewy.

Galwanometry stycznych mianowane Sir Williama Thomsona. Po doświadczeniach i uwagach poprzedzających, uczeń już bez trudności zrozumie zasadę i działanie obu tych przyrządów praktycznych. Pierwsza figura 132 przedstawia formę, stosowaną do mierzenia natężenia prą-

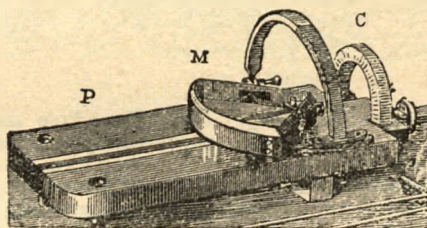


Fig. 132. Galwanometr stycznych Sir Williama Thomsona, mianowany w amperach do prądów mocnych.

dów mocnych, druga (fig. 133, str. 222) formę do prądów słabych, lub potencjałów, t. j. do napięcia elektrycznego albo do różnicy potencjału pomiędzy jakimikolwiek dwoma punktami obwodu elektrycznego, naprz. napięcia pomiędzy biegunem + a — baterji lub dynamomaszyny, lub napięcia pomiędzy końcówkami lampy elektrycznej. Cała różnica pomiędzy tymi dwoma przyrządami, o któ-

rych tu wspominaemy, polega na tem, iż pierwszy posiada cewkę C, złożoną z kilku zwojów albo z jednego tylko, grubego paska miedzi, gdy w drugim przyrządzie cewka C składa się z wielu zwojów (6000—10000) cienkiego dru-

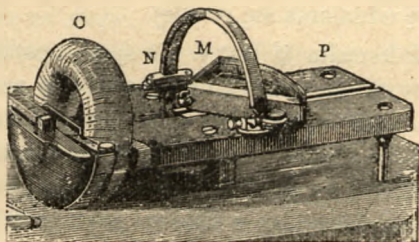


Fig. 133. Tenże galwanometr, mianowany w voltach do prądów słabych lub potencjałów.

tu nejzylbrowego, izolowanego jedwabiem. W każdym z tych przyrządów cewę można uważać jako bardzo krótki solenoid, przymocowany do jednego końca płyty drewnianej P. Na środkowej linii płyty wycięty jest żłobek, kształtu ∇ (dokładnie poniżej osi cewy C) tak, że domek kształtu kwadransowego albo pudełko mosiężne M (magnetometr), zawierające swobodnie obracający się na ostrzu magnes wraz z przymocowanym do niego indeksem albo lekką wskazówką glinową i skalą pod nią, może być przesuwany na każdą żądaną odległość od środka cewy C. Półkolisty magnes trwały NS opiera się wygodnie na częściach wystających domku magnetometru M i skutkiem tego posiada ruch tam i napowrót wraz z igłą i domkiem.

Z tego, co powiedzieliśmy wyżej, uczeń mógł się przekonać, że największe odchylenie igły nastąpi dla jakiegokolwiek danego natężenia prądu wtedy, gdy igła magnetometru dokładnie mieści się w środku cewy C, że im bardziej igła jest ztąd oddaloną, tem mniejszem jest jej odchylenie, ponieważ pole cewy, przewodzącej prąd, słabnie w miarę oddalania się od niej.

Żłobek kształtu V jest w ten sposób podzielony albo skalibrowany, że dla każdego położenia igły wzdłuż niego *dokładną wartość odchylenia**) w obu przyrządach dostajemy przez proste dzielenie arytmetyczne odchylenia, wyrażonego w stopniach, przez liczbę umieszczoną wprost na przedzie pudła magnetometru u dołu na skali podstawy, a potem przez pomnożenie tej liczby przez natężenie pola magnetycznego igły**).

Owóż taka skala podzielona zapewnia w przyrządach tych badaniom zakres o wiele rozleglejszy niż gdyby położenie igły magnesowej było stałe.

*) W pierwszym przyrządzie żłobek V podzielony jest w ten sposób, iż zastosowanie powyższego prawidła daje jednostki praktyczne prądu czyli *ampery*, zaś w drugim przyrządzie jednostki praktyczne siły elektromotorycznej czyli napięcia elektrycznego albo potencyału t. j. *volly*.

**). Czyli przez liczbę podawaną przez fabrykanta na półkolistym magnesie + pole ziemi, które dla Niemiec Środkowych można uważać jako = 0,20, dla Północnych = 0,18, dla Południowych = 0,22, na wyspach Brytańskich 0,17 (patrz o tem szczegółową tablicę w Uppenborna, „Kalendarzu dla elektrotechników na rok 1896,” str. 51—52.

Tutaj zwrócić musimy uwagę na dwa ważne względy, jeżeli pomiary nasze, wykonane tymi przyrządami, mają być dokładne:

1) Przyrząd (w chwili gdy żaden prąd przeni nie przechodzi i gdy nie ma *żadnego magnesu* w pobliżu magnetometru) powinien być tak ustawiony, by wskazówka glinowa stała na zerze.

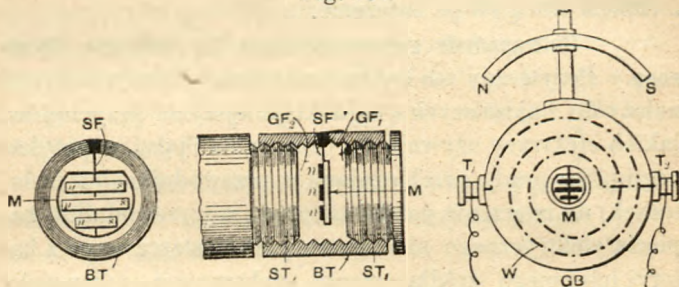
1) Trzeba przekonać się, jaka jest dokładna wartość natężenia magnesu półkolistego w danej chwili, gdyż sztaby magnesowe (jak o tem nadmieniono w części I) z czasem tracą swoje natężenie.

Galwanometr zwierciadełkowy Sir Williama Thomsona. Pożyteczny ten i wielce rozpowszechniony przyrząd należy do najczulszych i najdokładniejszych przyrządów, jakich elektrycy używają do oznaczania oporu, napotykanego przez prąd, przebiegający w przewodnikach i izolatorach, do mierzenia natężenia prądu w przewodniku, napięcia elektrycznego albo potencjału dostarczanego z baterji lub innego źródła energii elektrycznej, pojemności przewodnika izolowanego albo ładunku jego. Przez swojego wynalazcę był on zastosowany do wywoływania przez stację wysyłającą sygnałów telegraficznych w końcu odbierającym długich lin (kabli) podmorskich w rodzaju tej, która przecina ocean Atlantycki. I dotąd jeszcze bywa on używany do tego celu za każdym razem, gdy zajdzie przerwa w działaniu zapisywacza syfonowego (Siphon recorder)*), który dotąd ze wszystkich innych przyrządów

*) Opis przyrządu zamieszczamy w końcu książki (Przyp. tłumacza).

najlepiej pełni tę czynność, wymagającą znacznej czułości i dokładności. Figury 134 i 135 wyobrażają ten galwanometr, który składa się z solenoidu, albo pustej cewki mosiężnej, obwiniętej całkowicie drutem miedzianym, izolowanym dwiema warstwami jedwabiu. Jeden koniec drutu przylutowany jest do wystającej końcówki T_1 , drugi do końcówki T_2 . W pewnych warunkach na przykład przy sprawdzaniu i sygnalizacji telegraficznej, ten galwanometr może zawierać dwie lub więcej szpułek

Fig. 134.



Przekrój poprzeczny rurki mosiężnej, okazujący tylną stronę zwierciadła.

Przekrój podłużny rurki mosiężnej, okazujący zwierciadło w komorze aperyodycznej.

Widok tylny zwierciadła galwanometru, okazujący zwoje etc.

pojedynczych, złożonych z drutu rozmaitej długości i liczby zwojów rozmaitej, nawiniętych na jedną i tę samą cewę; przytem końce każdej szpulki wyprowadzone są na zewnątrz do właściwych końcówek, przytwierdzonych do zewnętrznej strony cewy galwanometru; w rzeczy samej cewki tego przyrządu nawinięte są tak, żeby mogły pełni

szczególony rodzaj pracy, do jakiej są przeznaczone. Do prądów mocnych i mierzenia oporów niewielkich, używany jest drut gruby o małej liczbie zwojów; do prądów słabych i mierzenia dużych oporów potrzeba wielu tysięcy zwojów drutu cienkiego. W pustym wnętrzu cewy znaj-

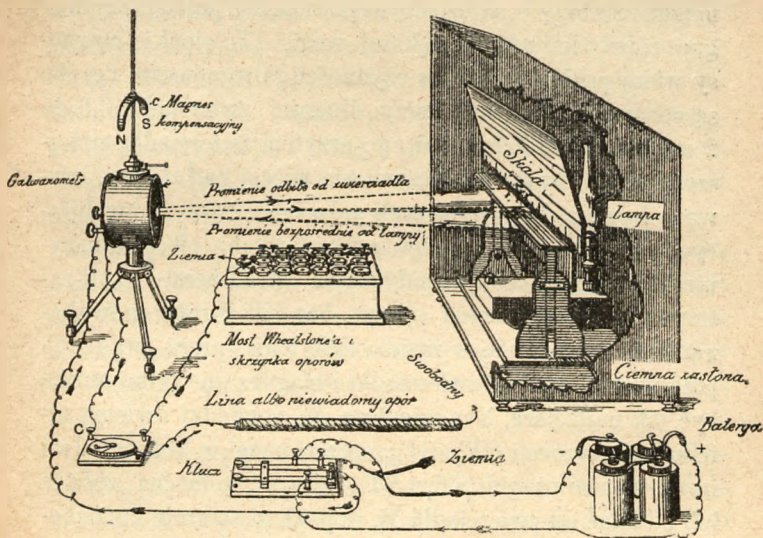


Fig. 13b. Galwanometr zwierciadełkowy Sir Williama Thomsona wraz z połączeniami etc., potrzebnymi do sprawdzania oporu izolacji.

duje się rurka mosiężna BT, zawierająca bardzo lekkie, dobrze szlifowane, okrągłe i posrebrzane zwierciadelko M, ze szkła pokrywkowego, używanego do mikroskopów; wi-si ono na bardzo cienkiej nici kokonowej SF, przyczepio-nej do BT szellakiem i wychodzącej z małego otworka

w górnej części rurki. Do tylnej strony zwierciadła przyklejone są (lakierem szellakowym przed zawieszeniem zwierciadła w rurce) trzy lub cztery małe magnesy równoległe i zwrócone biegunem północnym w jedną stronę. W ten sposób te trzy lub cztery magnesy tworzą magnes złożony o natężeniu większem, niż pojedynczy magnes równy lub nawet większej wagi. Te cienkie magnesy wiszą poziomo podczas czynności galwanometru i grube są conajwyżej 0,4 mm, przy długości zwierciadeł 0,6 do 2 cm i średnicy 0,9 do 2,5 cm; przytem zwierciadła mniejsze, ważące wraz z magnesami nie więcej nad 0,13 g, używane bywają do najczulszych galwanometrów kontrolujących, większe zaś do celów wykładowych. W celu uczynienia zwierciadła aperyodycznym (dead-beat), czyli zatrzymującym się niemal odrazu, bez kilkakrotnego wachania tam i napowrót, w razie odchylenia przez prąd lub przerwania prądu, zwierciadło i magnes nie tylko muszą być jak najlżejsze, lecz mieszczą się pomiędzy dwiema tafelkami szklanymi GF_1 i GF_2 , oprawionemi w końcach dwu rurek wśrubowanych ST_1 i ST_2 . Rurki te można zbliżać lub oddalać od zwierciadła M, dopóki to ostatnie nie nabędzie ruchu pożądanego i działania aperyodycznego. Skoro zwierciadło wychyla się z położenia równowagi, przyciska powietrze zawarte we wnętrzu rurki mosiężnej BT do każdej z tafelek szklanych GF_1 i GF_2 ; z kolei rzeczy powietrze, działając jakby parą sił na zwierciadło, przywraca stan równowagi prędzej lub wolniej, odpowiednio do tego, czy tafelki znajdują się od niego blisko lub daleko. Przez to ruchy zwierciadła stają się bardziej określonymi, a zarazem czułość wzrasta i elektryk zyskuje na czasie; niema

bowiem nie przykrzejszego nad pracę z przyrządem, którego magnes waha się tam i napowrót wiele razy, zanim dozwoli na jedno porządne odczytanie.

Załączona figura w perspektywie wskazuje, że odchylenia zwierciadła stają się tu widzialnymi zapomocą lampy naftowej i skali. Lampa i skala, w razie potrzeby, ustawiane są przed ciemną zasłoną w odległości blisko metra od zwierciadła. Promienie od lampy idą wprost do zwierciadła przez szparę pionową w ramie drewnianej, która zawiera lampę i skalę, i przez zwierciadło rzucane są na skalę. Często w szparze znajduje się cieniutki drucik pionowy a przed nim soczewka, która sprawia, iż po znalezieniu pewnej właściwej odległości pomiędzy soczewką a skalą, ostra, czarna linia pionowa (obraz tego cieniutkiego drucika) od zwierciadła rysuje się na skali, co pozwala z łatwością i najpewniej odczytywać odchylenia *smugi świetlnej* na lewo i na prawo od środka albo od kreski 0 skali.

Nad cewą galwanometru znajduje się magnes *kompensacyjny* (zowią go także *kontrolującym*) NS, który daje się obracać w płaszczyźnie poziomej (zapomocą lub bez pomocy śruby bez końca, umieszczonej u góry galwanometru) i przez indukcję magnetyczną oddziaływa na magnes złożony, zajmujący tylną stronę zwierciadła, obraca go przez to, a wraz z nim zwierciadło i doprowadza do pożądanego położenia. Może naprzykład zająć potrzeba skierowania „smugi świetlnej” na punkt 0 skali lub na inną podziałkę na prawo lub na lewo od zera. Magnes ów daje się również podnosić i zniżać na słupie pionowym, w tym celu, by jego pole magnetyczne powstrzymywało z większą

lub mniejszą siłą magnes zwierciadelkowy, który przeto staje się więcej lub mniej czułym na pole prądu. Najczulszy stan dla całego układu następuje wtedy, gdy zwoje galwanometru leżą w południku magnetycznym i magnes kompensacyjny N znajduje się tak wysoko, iż jego oddziaływanie na magnes zwierciadelkowy równoważy działanie pola ziemi na magnes*), słowem, gdy magnes staje się astatycznym a więc swobodnie i wyłącznie ulega działaniu pola prądu. Ponieważ kąt odchylenia smugi świetlnej na skali jest dwa razy większy od kąta odchylenia zwierciadła (według prawa o promieniach padających i odbitych), przeto znajdujemy, iż odchylenia smugi na skali praktycznie są proporcjonalne do natężeń prądów, przebiegających przez zwoje galwanometru w granicach wskazanych przez skalę tych przyrządów. Ważna to korzyść, przemawiająca na rzecz tego przyrządu, gdyż uwalnia od wielu obliczeń.

Nie będziemy dłużej rozwodzili się nad opisem pozostałych części aparatu, zamieszczonego na ostatniej figurze, powiemy tylko, że połączone tu zostały w jedno, zapomocą rozmaitych drutów: bateria, klucz K, komutator S, galwanometr, most Wheatstone'a wraz ze skrzynką oporową i część liny o niewiadomym oporze, który zapomocą tego urządzenia wypada znaleźć, a to w celu zmierzenia oporu izolacyi zapomocą straty prądu, spowodowanej przez

*) Tutaj niechaj uczeń uprzytomni sobie doświadczenie XXIV cz. I, Wykład IX, tudzież figurę 87, gdy magnetyzm ziemi i sztaby magnesowej równoważyły się wzajemnie wobec igły magnesowej.

materyał dielektryczny albo izolujący, używany do lin podmorskich lub podziemnych albo przez izolatory linii napowietrznej, służącej do oświetlenia elektrycznego i przesyłania siły. Tymczasem z powodu trudności naturalnych tego pięknego zadania, zajęcie się niem z konieczności zniewoleni jesteśmy odłożyć do wyższego kursu elektryczności i magnetyzmu. Uczniom, którzy zapragnęliby dowiedzieć się o tym przedmiocie nieco więcej nad to co tu podane, polecić możemy „Kieszonkowy podręcznik elektryczności,” str. 146, gdzie znajduje się szczegółowe objaśnienie wraz z przykładem (porównaj również Uppenborna „Kalendarz i t. d.” 1897, str. 131—132, oraz wykład XXIV tego dzieła).

Zwykły galwanometr astatyczny. Wskazaliśmy przy galwanometrze zwierciadłkowym, w jaki sposób można osłabić lub nawet ściśle wyrównać kierownicze działanie magnetyzmu ziemskiego, zapomocą magnesu kompensacyjnego albo kierowniczego, umieszczonego w pewnej określonej odległości w kierunku pionowym nad lub przed

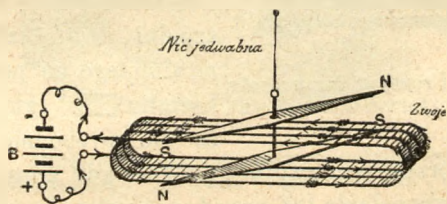


Fig. 136. Schematyczny wzór prostego galwanometru astatycznego.

igłą. Wszakże jest jeszcze inny sposób, który pozwala osiągnąć to samo i w praktyce częściej bywa stosowany;

polega on na użyciu astatycznej pary igieł magnesowych, w rodzaju tej, którą opisaliśmy i przedstawiliśmy na str. 114 wykładu IX, cz. I, wraz z jedną lub dwiema cewkami drutu przewodniego. Układ taki zowie się galwanometrem astatycznym.

Figury 136—137 służą do tego, aby ów galwanometr przedstawić w formie najprostszej. Pierwsza figura jest schematem cewki, pary astatycznej, zawieszonej na nici kokonowej i baterji. Wskazuje ona kierunek prądu

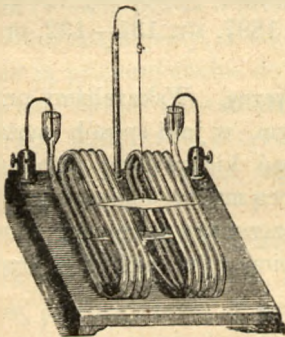


Fig. 137. Prosty galwanometr astatyczny (forma wykładowa).

od bieguna + baterji przez rozmaite zwoje szpulki i do bieguna — baterji. Druga figura przedstawia, w jaki sposób wyrabia się przyrząd do doświadczeń wykładowych, trzecia zaś—rzeczywisty przyrząd w postaci zwykle stosowanej w pracowniach lub urzędach sprawdzających. Galwanometr składa się z jednej szpulki drutu izolowanego, nawiniętego na pustą cewkę

kształtu \square . Igła dolna może się swobodnie poruszać w pustej przestrzeni zwojów, podczas gdy górna igła porusza się równolegle tuż ponad najwyższą warstwę drutu. Do górnego końca drutu, który łączy sztywno ze sobą obie pomienione igły, przymocowana jest lekka wskazówka szklana lub glinowa, równoległa (lub prostopadła) do

magnetycznej osi igiel. Pomiedzy tą wskazówką a górną igłą osadzona jest pozioma tarcza tekturowa, podzielona na stopnie. Podstawa przyrządu spoczywa na trzech nóżkach, opatrzonych w śrubki do poziomowania przyrządu, zaś części najdelikatniejsze okryte są kloszem szkła-

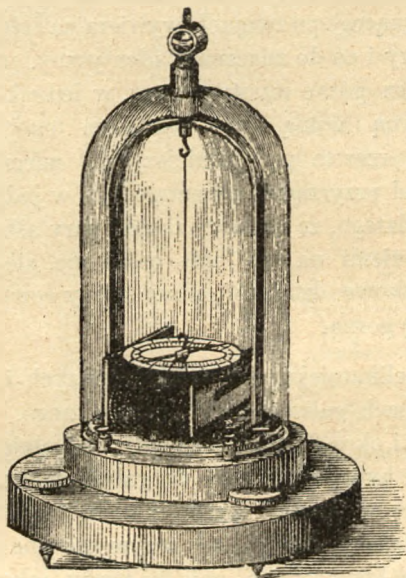


Fig. 138. Praktyczna forma prostego galwanometru astatycznego, używana w pracowniach.

nym, chroniącym je od kurzu i wilgoci a igłę od przeciągu powietrza. Górny koniec nici kokonowej, na której wisi igła, przyczepiony jest do małego haczyka, wpuszczonego w śrubę z mutrą, — co pozwala igłę dowoli po-

dnosić i obniżać. Gdy galwanometr nie jest w użyciu, obniżamy nić, na której igły wiszą, aż wskazówka spocznie na tekturowym kole i przez to uwolni nić od wszelkiego wysiłku (skutkiem ciężaru igieł i t. d.); nić powinna być bardzo cienka, ażeby błąd ze skręcenia był najmniejszy. Patrząc na fig. 136, wyraźnie postrzegamy, jak każda część prądu biegnącego po zwojach, wywiera na igłę dolną wpływ kierowniczy i co do znaczenia identyczny, przytem prąd, idący przez górne warstwy cewy, w jednaki sposób działa na górną i dolną igłę. Skutkiem tego przyrząd jest czulszy (i przez to przydatniejszy do mierzenia słabych prądów od przyrządu, zaopatrzonego w jedną tylko igłę) nie tylko dlatego, że na mocy zasady pary astatycznej działanie pola ziemi na igłę jest osłabione, ale że zjawia się owo dodatkowe działanie jednej strony cewki przewodzącej na igłę górną.

W delikatniejszych, dokładniejszych i kosztowniejszych formach galwanometru astatycznego, znajdują się dwie cewki okrągłe, albo solenoidy, zupełnie podobne do tych, jakie bywają używane do galwanometrów zwierciadkowych; w środku każdej z nich znajduje się cienki magnes złożony, a do górnej przymocowane jest zwierciadło; szczegółowy jednak opis tej formy, jako dosyć złożonej, odkładamy na później.

Za to damy tu krótki opis galwanometru bardzo rozpowszechnionego, który nosi miano *galwanometru skręcenia* i używany bywa w elektrotechnice do sprawdzania i kalibrowania innych przyrządów mierniczych.

Galwanometr skręceń Siemens'a i Halskego*). Przyrząd ten (patrz fig. 140) posiada t. zw. *magnes dzwonkowy* (Glockenmagnet), który otrzymuje się w taki sposób, iż w okrągłym kawałku stali robi się wyżłobienie w kierunku osi, poczem z obu stron tyle się odpiłowywa, by rurka tak

otrzymana przyjęła kształt widełek stroikowych (kameron-ton) (fig. 139), zawieszonych pomiędzy dwiema prostokątnymi ramami drewnianymi, obwiniętymi drutem. Od spodu magnesu, pomiędzy

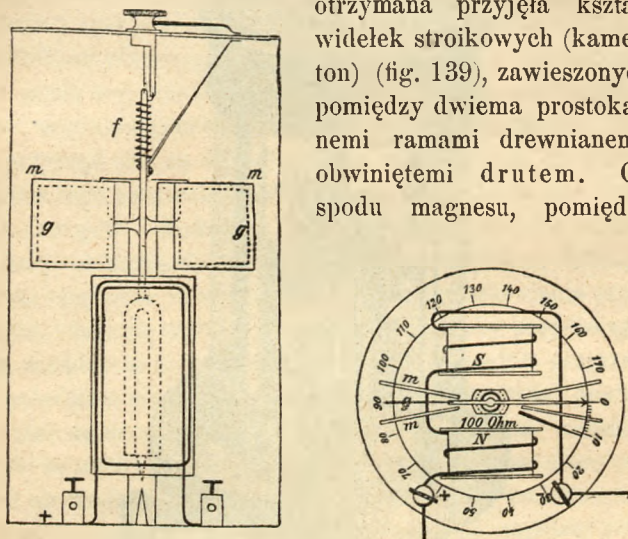


Fig. 139. Magnes dzwonkowy.

biegunami wprowadzony jest kawałek mosiądzu, zakończony u dołu ostrzem; u góry magnes trzyma się na wkrębowanym wewnątrz śrubowym wężu miedzianym. Ten ostatni wisi na wiązce

*.) Przy opisie tego przyrządu, posilkowałem się dziełem E. Kittler'a „Handbuch der Elektrotechnik” 1892, str. 154 do 156, z kąd też wzięte są figury 139 i 140 (Przyp. tł.).

nieskręconych nici kokonowych; nadto do niego przymocowane są dwa skrzydła glinowe, wtrącone pomiędzy dwie nieruchome blachy mosiężne, przysrubowane do słupa mo-

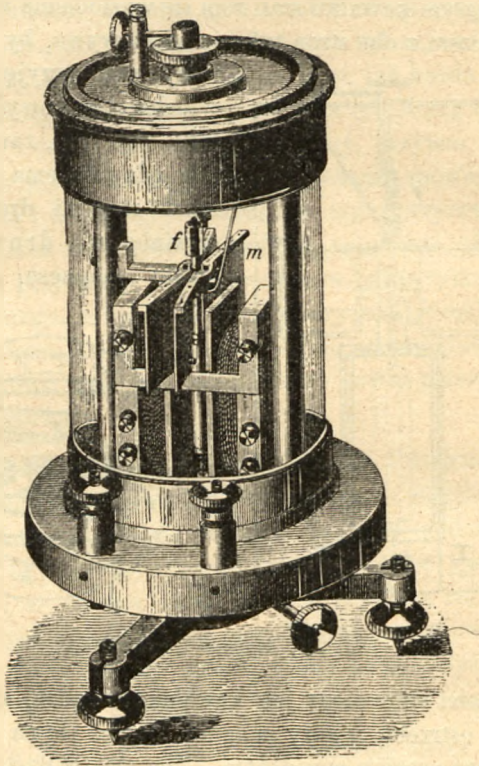


Fig. 140. Galwanometr skręceń Siemensa i Halskego. siężnego, co pozwala na bardzo prędkie hamowanie powietrzne wahnięć (3 do 4 wahnięć) magnesu. Do owego

pręcika mosiężnego przytwierdzona jest lekka wskazówka glinowa, która powinna stać na 0 skali w stanie równowagi magnesu, t. j. wtedy, gdy linia, łącząca jego bieguny, leży w południku magnetycznym i równoległą jest do płaszczyzn cewek z drutu. Nakoniec u góry do pręcika mosiężnego przyśrubowany jest dolny koniec cienkiej, cylindrycznej sprężyny spiralnej, której górny koniec łączy się z guzikiem skręcającym, obracającym naokoło osi przyrządu; guzik ten posiada wskazówkę zwróconą ku podziałkom, wytrawionym na szklanej pokrywie przyrządu. Cały przyrząd stoi na okrągłej desce mahoniowej, do której oprócz tego przyśrubowane są końcówki, połączone z końcami zwojów. Podstawa przymocowana jest do osi mosiężnej, obracającej się na trójnogu mosiężnym, którego nóżki opatrzone są w śrubki do poziomego ustawienia przyrządu, i daje się zatrzymywać zapomocą śruby przyciskającej; urządzenie to pozwala z łatwością ustawiać przyrząd w południku magnetycznym. Wtedy wskazówki powinny stać na zerze skali. O położeniu poziomym wnosimy ztąd, że wtedy dolne ostrze mosiężne magnesu, zwrócone jest na środkowy punkt krzyżyka, pod niem umieszczonego, atoli słupek mosiężny powinien przytem zupełnie swobodnie przechodzić w otworze środkowym, pomiędzy blachami mosiężnymi. Jeżeli wtedy prześlemy prąd przez zwoje, magnes wychyli się z południka, lecz nie o wiele, gdyż skrzydełka glinowe oprą się o blachy mosiężne. Teraz obracamy guzik skręcający w stronę przeciwną dopóty, aż magnes nanowo ustawi się w południku magnetycznym czyli wskazówka z nim złączona

wskaże nam nanowo zero. Wtedy *nateżenie prądu jest proporcjonalne do kąta kręcenia przyrządu.*

Zwoje galwanometru skręceń stosowane są do nateżenia prądu, który ma być mierzony. Do mierzenia prądów słabszych opór jego wynosi 100 omów i składa się z wielu zwojów drutu cienkiego izolowanego; wtedy prąd 0,0001 ampera odpowiada kątowni skręcenia 1° na skali. Ponieważ liczba podziałek wynosi 170, przeto największy prąd w tym przyrządzie wynosić może 0,017 ampera. Do mocnych prądów opór galwanometru składa się z niewielu zwojów drutu grubego o oporze ledwie 1 oma; wedle tego prąd najwyższy dojść może do 0,17 ampera, jedna zaś podziałka skali odpowiada prądowi 0,001 ampera.

Oba przyrządy posiadają nadto osobne opory dodatkowe z drutu nejzylbrowego, służące do powiększenia zakresu mierzenia. Do każdego galwanometru skręceń dodawana jest tabelka, pozwalająca obliczać możliwe zmiany proporcjonalności siły sprężyny i kątów skręcenia.

Ponieważ wskazówki tego przyrządu, podobnie jak świeżo opisanego galwanometru zwierciadelkowego Thomson'a, zależą od nateżenia magnesu trwałego, przeto dokładność jego powinna być od czasu do czasu sprawdzana. Unikać też należy sąsiedztwa potężnych pól magnetycznych. Oprócz tego sprężynę skręcającą należy utrzymywać w stanie skręcenia tylko tak długo, dopóki trwa odczytywanie, poczem zaraz wskazówkę należy cofnąć napowrót do zera, by sprężynę wszelkimi sposobami zabezpieczyć od odkształcenia. Budowę przyrządu, szczegóły hamowania i ustawienia dostatecznie tłumaczy figura 140.

Pytania do wykładu XIII.

1. Co to jest solenoid? Kiedy solenoid staje się solenoidem elektromagnetycznym? Naskicuj solenoid w połączeniu z baterią i wskaż znakami i strzałkami biegunowość baterii i kierunek prądu w drucie.

2. Wykonaj szkic, objaśniający rodzaj i kierunek pola magnetycznego wewnątrz i zewnątrz solenoidu elektromagnetycznego zapomocą opilek z miękkiego żelaza i igły kompasowej.

3. Wykonaj szkic, tłumaczący łączne działania pola magnetycznego, wywołanego przez pole elektromagnetyczne i przez umieszczony nad nim pólkolisty trwały magnes sztabowy.

4. Naskicuj i opisz galwanometr mianowany stycznych Sir Williama Thomsona do mierzenia prądów mocnych i napięć elektrycznych. Skoro otrzymaliśmy wychylenia w tym lub owym z pomienionych przyrządów, jak znajdziemy wartość prądu lub napięcia elektrycznego w jednostkach praktycznych?

5. Narysuj przekrój i opisz w zupełności budowę i działanie każdej części galwanometru zwierciadelkowego Sir Williama Thomsona. Jak się postrzegają wychylenia zwierciadła? Czy wychylenia zauważone są proporcjonalne do natężeń prądu, przebiegającego przez cewę galwanometru i skoro tak, to dlaczego?

6. Opisz budowę, działanie i użytek zwykłego czyli prostego galwanometru astatycznego.

7. Dlaczego galwanometr o igłach astatycznych czulszy jest od galwanometru, posiadającego jedną tylko igłę pojedynczą?

8. Dlaczego galwanometr astatyczny lepiej się nadaje do mierzenia prądów słabych od galwanometru o jednej igle pojedynczej?

9. Wytłumacz zalety galwanometru astatycznego, użytego do wykrywania prądów słabych?

10. Po długim przewodniku z drutu nawiniętego przebiegł prąd elektryczny. Daj diagram kształtu i kierunków linii siły wewnątrz i zewnątrz cewy.

11. Naskicuj i opisz urządzenie i użytek galwanometru skręceń Siemens'a i Halskiego? Jak wygląda magnes dzwonkowy do niego zastosowany?

WYKŁAD XIV.

Treść: Biegunowość magnetyczna, wywołana przez prąd prostoliniowy. — Biegunowość magnetyczna, wywołana przez prąd kołowy. — Biegunowość magnetyczna solenoidu elektromagnetycznego. — Dany jest kierunek prądu w solenoidzie; znaleźć biegun Pn i Pd solenoidu i odwrotnie. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania.

Biegunowość magnetyczna, wywołana przez prąd prostoliniowy. W doświadczeniu III wykładu X zastanowiliśmy się nad kierunkiem pola magnetycznego, wywołanego przez prąd prostoliniowy. Znaleźliśmy tam doświadczalnie kierunek swobodnie zawieszonyj igły magnesowej, pod wpływem działania pola prądu na pole igły.

Doświadczenie XIV. Patrząc na obie załączone figury, (prąd do góry i prąd na dół) i mając na uwadze to, co przed tem niejednokrotnie stwierdziliśmy doświadczalnie, przesuwamy igłę kompasową do góry i na dół

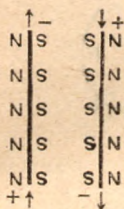


Fig. 141.

wzdłuż strony dalszej (od czytelnika odwróconej) drutów przewodzących, co do których przypuszczamy, iż leżą w płaszczyźnie papieru. Wtedy bieguny Pn i Pd igły zajmują położenie, wskazane przez litery N i S. To samo możemy w ten sposób pojmować, iż prąd elektryczny wytwarza biegunowość północną i południową wzdłuż całej strony drutu przewodzącego*).

*) Jestto tylko dowolny środek, ułatwiający zrozumienie wypadków takich jak powyższy, atoli uczeń nie powinien z tego powodu tracić z oczu rzeczywistego, zamkniętego i zakrzywionego układu pola prądu, na co już nieraz zwracaliśmy uwagę.

Biegunowość magnetyczna, wywołana przez prąd kołowy. Doświadczenie XV. Zegnij teraz drut w ostatniem doświadczeniu nakształt koła i przesuwaj swobodnie zawieszoną igłę nachyleną wzdłuż dalszej strony przewodników prądu, przypuszczając, jak poprzednio, że przewodniki te leżą w płaszczyźnie papieru. Postrzegamy, że bieguny P_n i P_d igły zajmują położenia, wskazane przez litery N i S. Możemy więc sądzić, iż prąd w drucie kołowym, zgodnie z załączonemi dwiema figurami, wzdłuż każdego obwodu wytwarza biegunowość północną i południową.

Doświadczenie XVI. Dowiedz tego ważnego faktu na drodze innej (fig. 143).

1. Weź sztywny drut miedziany i zegnij go w obęcz.

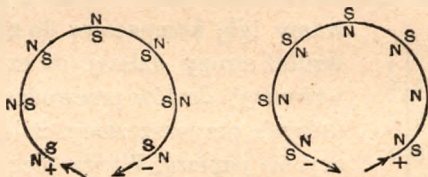


Fig. 142.

2. Połącz wolne końce tego drutu z końcówkami +T i — T ogniwa pływającego, czyli jeden koniec drutu połącz z jednym końcem paska miedzianego, blisko 2,5 cm szerokiego, zgiętego w kształcie U (na załączonym rysunku oznaczonego przez Cu—od cuprum po łacinie miedź), zaś drugi koniec drutu połącz z kawałkiem cynku tej samej szerokości (oznaczonego przez Zn — od zincum po łacinie

cynk); obie płytki zawieszono są w roztworze kwasu siarczanego na korku albo na pływaku drewnianym.

3. Teraz potrzymaj, dajmy na to, biegun Pd sztabki magesowej wprost środka północnej strony drutu przewodzącego prąd. Natychmiast drut przyciąga się do magesu (ciągnąc ze sobą pływak z baterją) i porusza się

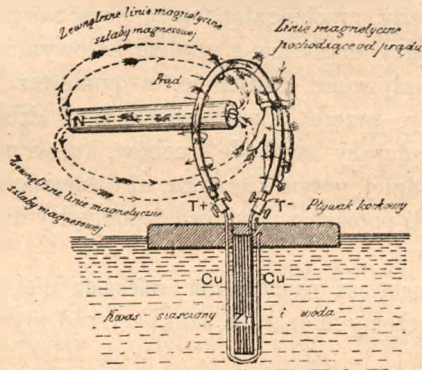


Fig. 143. Biegunowość prądu kołowego oraz przyciąganie pomiędzy nim a sztabką magesową.

wzdłuż niego, aż dosięgnie środka czyli równika magesu. Przysuń biegun Pn magesu do tejże strony północnej drutu: wnet pomiędzy nimi zachodzi odpychanie. Drut porusza się dalej jeszcze cokolwiek, poczem obraca się wraz z pływakiem i ogniwnem, aż strona południowa drutu zwróci się do bieguna północnego magesu, poczem działanie przyciągania będzie zupełnie takie, jak w wypadku poprzednim, dopóki drut porusza się wzdłuż magesu aż do jego środka.

Na figurze tej strzałki wskazują nietylko kierunek prądu wzdłuż drutu, ale i kierunek kołowego pola prądu naokoło drutu i kierunek pola sztaby magnesowej; prawa ręka leży na drucie tak, iż wystający wielki palec wskazuje stronę albo biegunowość północną linii magnetycznych siły prądu. Z oznak tych niewątpliwie wnosimy, iż kierunek pola prądu jest ten sam co kierunek magnetycznych linii siły, przebiegających *w owym magnesie*. A zatem pomiędzy magnesem a prądem kołowym zachodzi pewne oddziaływanie wzajemne, a ponieważ magnes jest nieruchomy, przeto przesuwając się musi drut przewodni, jako posiadający swobodę ruchów, ku osi magnetycznej magnesu i dalej, w tym kierunku, aż osiągnie równika magnesu, czyli położenia równowagi pomiędzy dwiema siłami działającymi.

Biegunowość magnetyczna solenoidu elektromagnetycznego. Bierzemy znowu ten sam przyrząd pływający z ba-

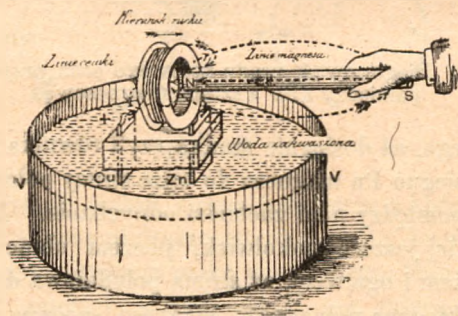


Fig. 144. Biegunowość solenoidu i przyciąganie pomiędzy nim a sztabą magnesową.

teryą, co w ostatniem doświadczeniu, zastępujemy jednak

zwoj pojedynczy krótkim solenoidem lub szpulą z drutu izolowanego; widzimy te same działania a mianowicie przyciąganie bieguna Pn sztaby magnesowej, gdy znajduje się wprost środka strony południowej solenoidu, i odpychanie, kiedy biegun Pn znajduje się wprost środka strony północnej. Ogólnie mówiąc, dowodzimy tem, że solenoid, przez który prąd przebiega, posiada taką samą bieguność jak magnes, tudzież, że *bieguny niejednakowe przyciągają się, bieguny jednakowe odpychają się.*

Doświadczenie XVIII. 1. Możemy odmieniać to doświadczenie, zastępując krótką cewkę długim drutem, zwinętym nakształt spiralnej lub śruby, która albo wisi na nici (jak na fig. 145) albo unoszona jest przez pływającą baterję (jak na fig. 146). Spiralne te, pod względem swojego działania magnetycznego, równowarte są prądom kołowym, których jest tyle, ile zwojów w drucie, ponieważ osi ich leżą na jednej i tej samej linii prostej. Jeśli zbliżymy biegun N sztaby magnesowej do jednego z końców spiralnej, widzimy odpychanie. Ztąd wnosimy, iż musi to być biegun N spiralnej.

Jeżeli zbliżymy ten sam biegun sztaby magnesowej do drugiego końca spiralnej, następuje przyciąganie; tymczasem zbliżony biegun S sztaby daje tutaj odpychanie. Oczywiście dowodzi to, że jestto biegun S spiralnej.

2. Dajmy na to, że oddaliliśmy wszystko żelazo z pobliza tych solenoidów lub spiralnych i przepuszczamy przez nie prąd; w takim razie postrzegamy, iż bardzo prędko zajmują położenie takie, że osi ich leżą w południku magnetycznym, jak to czyni igła kompasowa lub zawieszony

magnes sztabowy pod wpływem wzajemnego oddziaływania własnego pola prądu i pola magnetycznego ziemi.

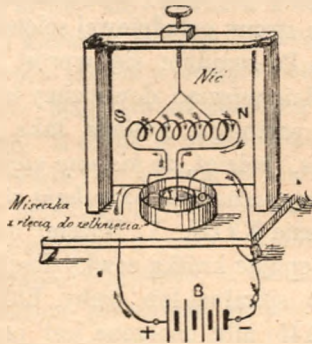


Fig. 145. Spiralna z drutu, albo solenoid zawieszona.

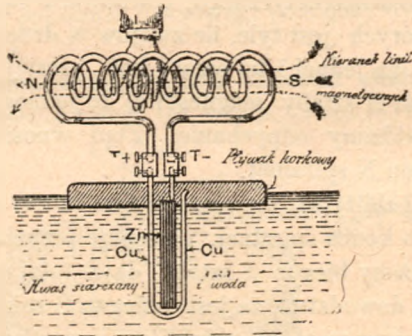


Fig. 146. Spiralna z drutu, albo solenoid pływająca.

Legenda:

- N,S oznaczają bieguny północny i południowy solenoidów.
 J,O oznacza wewnętrzne i zewnętrzne naczynie z rtęcią.
 B " " baterię.
 Cu " " płytkę miedzianą w ogniwie.
 Zn " " cynkową
 T+, T- " " końcówki (dodatnią i ujemną) ogniwa.

3. Jeżeli do tego samego naczynia szklanego lub porcelanowego, zawierającego kwas siarczany i wodę, wprowadzimy długą, pływającą spiralną o małej średnicy, (taką jak na fig. 146), oraz krótką i szeroką cewę (fig. 144), tedy zauważymy, iż obie te szpule przewodzące prąd, działają na siebie w pierwszej chwili tak jak magnesy pływające; obracają się bowiem w ten sposób, że bieguny ich różnoimienne zwracają się ku sobie i przyciągają się.

Ostatecznie długa spiralna wejdzie tak głęboko w szeroką cewę, jak tylko na to pozwala pływak korkowy. A zatem spiralne elektromagnetyczne albo solenoidy posiadają biegunowość magnetyczną i działają jak magnesy.

Dany jest kierunek prądu w solenoidzie; znaleźć biegun Pn i Pd solenoidu i naodwrót*). Prawidło pierwsze. Jeżeli znamy kierunek prądu w zwojach, *tedy wielki palec w położeniu prawej ręki na fig. 147 wskazuje kierunek bieguna północnego solenoidu lub spiralnej.*

Prawidło drugie. Oznaczcie biegun Pn spiralnej lub solenoidu, zapomocą igły kompasowej, poczem trzymajcie prawą rękę obok solenoidu tak, aby wielki palec wyciągnięty wskazywał biegun północny (czyli tę stronę, z którą

*) Dwa te prawidła podane przez autora, wydają się o wiele praktyczniejszemi i dla uczniów łatwiejszemi do zapamiętania | zwykle od podawanego przez podręczniki prawidła, by eksperymentator wystawił sobie, iż płynie z prądem po drucie lub patrzy w kierunku normalnym na koniec solenoidu i wtedy rozważał, czy prąd biegnie w tym samym kierunku czy w przeciwnym, do wskazówek zegara ściennego lub kieszonkowego. (Patrz Dodatek do części II).

magnetyczne linie sił wybiegają ze spiralnej); wtedy palce wskażą kierunek prądu, przebiegającego przez zwoje.

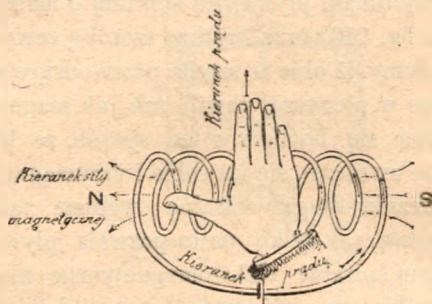


Fig. 147.

Pytanie próbne i odpowiedź.

Pytanie. Drut miedziany, powleczony gutaperką, nawinięto na walec drewniany AB (fig. 148) od A do B. Jak go należy nawinąć w kierunku odwrotnym, od B do A, ażeby najpierw wzmocnić a powtóre osłabić działania ma-



Fig. 148.

gnetyczne, wywołane wtedy, gdy prąd po nim przebiega? Odpowiedź swoją wyjaśnij zapomocą diagramu, wykonanego w przypuszczeniu, że patrzysz na jeden koniec drutu.

Odpowiedź. 1. Nawijamy w dalszym ciągu drut od B do A tak samo, jak się nawija nici na motek t. j. obracamy walec w tym samym kierunku co przy nawijaniu drutu od A do B.

2. Zanim rozpoczniemy powtórne nawijanie drutu od B do A, przywiązujemy mocno ostatni zwój do walca drewnianego i wtedy obracamy walec w kierunku odwrotnym do obracania przy nawijaniu od A do B.

NB. Obie figury 145 i 146 przedstawiają spiralne lewo i prawoskrętne. Podczas przesyłania prądu przez zwoje w obie rozmaite dane strony wzbudza on w obu cewkach odwrotną biegunowość, chociaż wychodzi od tego samego końca. Skutkiem tego w razie (2), gdybyśmy od B do A ułożyli tę *samą liczbę* zwojów drutu, lecz w kierunku *przecíwnym* do kierunku A do B, nie mielibyśmy żadnego działania elektromagnetycznego, ponieważ pole, wytworzone przez jedną warstwę spiralnej, przewodzącej prąd, niweczyłoby pole drugiej; widać bowiem z powyższej figury 148 (wyobraża ona dwie spiralne prawoskrętne, równoległe do siebie o przebiegu prądu przeciwnym), że prąd powraca tu wzdłuż tej samej drogi.

Pytania do wykładu XIV.

1. Co rozumiesz przez wyraz „biegunowość magnetyczna prądu prostolinijnego?”
2. Po drucie kołowym, położonym na stole, przebiega prąd w kierunku ruchu wskazówek zegarka. Wykonaj szkic, wyobrażający biegunowość po obu stronach prądu kołowego.
3. Zwracasz biegun Pn sztaby magesowej ku środkowi pływającego pierścienia miedzianego, po którym przebiega prąd elektryczny w kierunku wskazówek zegarka, jeśli patrzemy od strony, do której się zbliża sztaba. Narysuj i objaśnij, co wtedy nastąpi. Oznacz pola prądu i magesu i umieść prawą rękę przy drucie, aby pokazać kierunek pola prądu. Co się

stanie, skoro do tej samej strony drutu zbliżymy biegun południowy sztabki magnesowej zamiast jej bieguna północnego?

4. Naszkicuj i objaśnij zapomocą opisu solenoid pływający z baterią. Wskaż jak się on zachowuje, gdy się do niego zbliża biegun magnesu. Co nastąpi, gdy tuż obok umieścimy inny pływający solenoid wraz z baterią?

5. Czy solenoidy podobne są do magnesów i skoro tak, to dlaczego? Wykonaj szkice, któreby wykazały, jak się znajduje biegun północny solenoidu (1) zapomocą igły kompasowej, (2) zapomocą sztabki magnesowej, oraz (3) zapomocą jednej tylko prawej ręki, skoro wiadomo, jaką drogą prąd biegnie przez zwoje.

6. Kawalek drutu miedzianego został spiralnie obwinięty naokoło sztabki od końca do końca; sztabka wisi poziomo, tak, iż może obracać się naokoło swojego środka, podczas gdy prąd przebiega po drucie. Wskaż (1) zapomocą sztabki magnesowej (2) zapomocą tylko prawej ręki, w jakim kierunku prąd przebiega.

WYKŁAD XV.

Treść: Magnesowanie żelaza i stali przez prąd elektryczny. — Określenie elektromagnesu. — Pole magnetyczne elektromagnesu. — Działanie przyciągające solenoidu elektromagnetycznego na jądro żelazne. — Miernik prądu Blyth'a. — Podkowy elektromagnetyczne wraz z przykładami praktycznymi. — Zmiany w długości żelaza magnesowanego. — Pytania.

Magnesowanie żelaza i stali przez prąd elektryczny.

W r. 1820, wkrótce po ogłoszeniu odkrycia Oersteda o wpływie magnetycznym prądu elektrycznego na igłę magnesową, Sir Humphrey Davy znalazł, iż kawałki żelaza i stali mocno się magnesują, skoro nad nimi albo, jeszcze lepiej, naokoło nich przebiega kilkakrotnie prąd elektryczny*).

Doświadczenie XIX. 1) Weź miękką sztabę żelazną (zwykły pogrzebacz jest dobry do tego celu).

2. Okręć sztabę drutem miedzianym izolowanym, zwiniętym nakształt spiralnej, jak to wskazują dwie następujące figury.

3. Zawieś sztabę na dwóch drutach miedzianych albo szpulkach.

4. Przymocuj koniec drutu miedzianego izolowanego do baterji, jak na figurze, a potem prześlij mocny prąd elektryczny przez zwoje spiralnej.

5. Przybliź do końców sztaby miękkie opiłki żelazne. Przez indukcję elektromagnetyczną opiłki magnesują

*) Przed Davym Arago wykrył magnesowanie igieł stalowych przez przewodniki prądu i ogłosił o tem.

ją się mocno i wrazie potężnego prądu zwieszają się z obu końców sztaby.

6. Następnie do obu końców sztaby zbliżamy igłę kompasową i postrzegamy wnet silne odpychanie pomię-

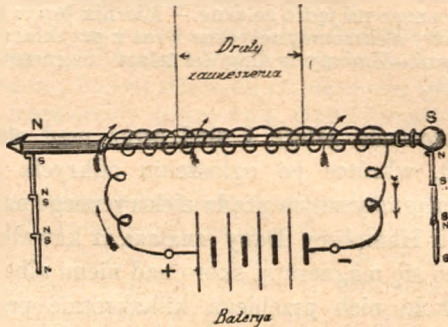


Fig. 149. Magnesowanie pogrzebacza przez prąd.

dzy końcem sztaby a biegunem północnym igły. A zatem koniec ten sztaby jest biegunem Pn. Pomiędzy drugim końcem sztaby a biegunem Pn igły widać również mocne przyciąganie.

7. Trzymając igłę kompasową w lewej ręce, tuż przy biegunie Pn sztaby, położmy prawą rękę na drucie spiralnym, stosownie do prawidła 2, podanego na str. 247; tym sposobem przekonamy się, w jaką stronę przebiega prąd po drucie przewodnim.

8. Usuwamy sztabę ze spiralnej (patrz fig. 148) i sprawdzamy znowu tak samo. Znajdujemy zaraz, iż bieguny Pn i Pd spiralnej położone są w tych samych końcach co odpowiednie bieguny sztaby, wprowadzonej do

wnętrza spiralnej; innemi słowy, spiralna i sztaba żelazna, którą tamta otacza, w jednakowy sposób przez prąd magnesują się. Zauważycie przytem napewno, iż natężenie biegunów sztaby jest o wiele większe od natężenia biegunów spiralnej bez sztaby *).

9. Jeżeli zawiesimy spiralną wraz z jej sztabą, jak na fig. 145, tedy zauważymy, iż obie obracają się i zatrzy-

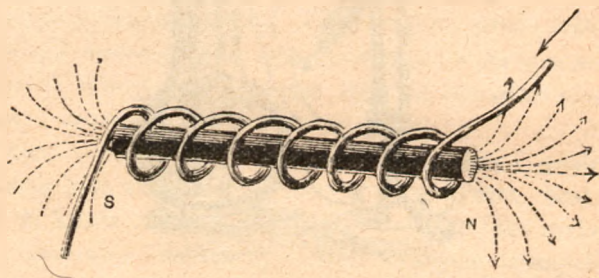


Fig. 150. Magnesowanie sztaby żelaznej przez prąd.

mują się, mając wspólną oś magnetyczną w płaszczyźnie południka magnetycznego ziemi. Albo można wprawić

*) Nie możemy oczekiwać, by uczeń na tym szczeblu rozwoju mógł rozumieć wzory, które pozwalają elektrykowi dokładnie obliczać natężenie prądu, przebiegającego przez solenoid pola magnetycznego, lub natężenie magnetyzmu, wzbudzonego w żelazie lub stali, wprowadzonych do solenoidu. Prawidła te znajdzie on u Rankina. „Rules and Tables” wyd. 7, str. 308 i 309; u Munro i Jamiesona „Pocket Book etc.” str. 379 do 380^b i 433 do 436; dalej u Uppenborna „Kalender f. Elektrotechniker” 1897, str. 59—61; i wreszcie w wykładzie XVIII.

elektromagnes w wahanie, jak na fig. 151, i przesłać prąd z baterji przez solenoid, otaczający jego miękkie jądro żelazne. Elektromagnes będzie działał jak igła nachyleń,

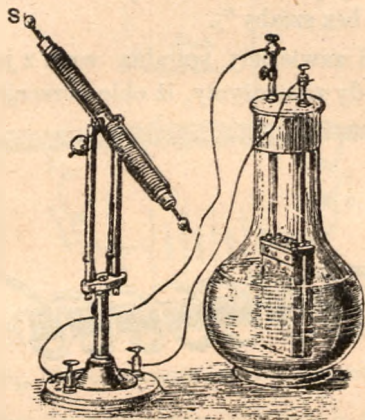


Fig. 151. Wahanie elektromagnesu, oraz ogniwo z dwuchromianem*).

jeżeli jego oś magnetyczna będzie umieszczona w płaszczyźnie południka magnetycznego.

10. Bierzemy mocną sztabę magnesową i przysuwamy ją do bieguna pogrzebacza albo elektromagnesu jak w obu poprzednich wypadkach; wtedy otrzymujemy albo potężne odpychanie albo przyciąganie pomiędzy nimi stosownie do tego, czy bieguny zwrócone do siebie są jednoimienne, czy różnoimienne.

*) Potasu lub sodu. Przep. tłum.

11. Gdybyśmy w spiralnej zastąpili sztabę żelazną sztabą stalową, zahartowaną, wtedy otrzymalibyśmy z niej mocny magnes trwały. Byłby to jeden z najlepszych sposobów magnesowania hartowanych sztab stalowych, o jakim wspomniano w wykładzie I.

A zatem prąd elektryczny posiada własność przekształcania sztaby żelaznej w magnes, razem zaś tworzą to, co się w technice zowie *elektromagnesem*; na tej zasadzie powstaje następująca

Definicja elektromagnesu. *Jeżeli miękka sztaba żelazna zostanie wprowadzona do solenoidu, przez który przebiega prąd elektryczny, wówczas staje się ona silnie magnetyczną i otrzymuje miano elektromagnesu.*

Skoro cofniemy się do wykładu IV części I, gdzie rostrzasaną była molekularna teoria magnetyzmu, znajdziemy, że każda cząsteczka była tam uważana jako mały magnes naturalny i całkowity. Atoli wykrycie łącznych działań cząsteczek magnetycznych możebne jest dopiero wtedy, gdy układ ich jest taki, że ich obwody magnetyczne nie tworzą obwodów krótkich pomiędzy sobą i tym sposobem wytwarzają pole zewnętrzne. Z tego punktu widzenia, niema zgoła nic dziwnego w zjawiskach, które teraz obserwowaliśmy. Siła bowiem magnetyczna prądu z natury swej działa na rozmaite cząsteczki sztaby żelaznej przez indukcję magnetyczną (która zmusza je do zajęcia względem siebie stanu napiętego, sprzyjającego pojawieniu się pola zewnętrznego) zupełnie tak, jakby na nie działał trwały magnes. *Innemi słowy, pole prądu ujawnia w prosty sposób magnetyzm przyrodzony cząsteczek w sztabach żelaznych i stalowych.*

Pole magnetyczne elektromagnesu. Wracając do doświadczenia XI w wykładzie XIII, widzimy, iż zarys magnetycznego pola solenoidu, wyobrażony zapomocą opilek żelaznych, wielce jest podobny do zarysu pola sztaby magnesowej. Jeżeli do solenoidu wprowadzicie miękką sztabę żelazną wtedy, gdy po jego zwojach przebiega prąd, wówczas połączone pola będą posiadały tę samą bieguność, lecz w stopniu dużo wyższym niż w wypadku poprzednim. Skutkiem tego, przyleganie opilek będzie te-

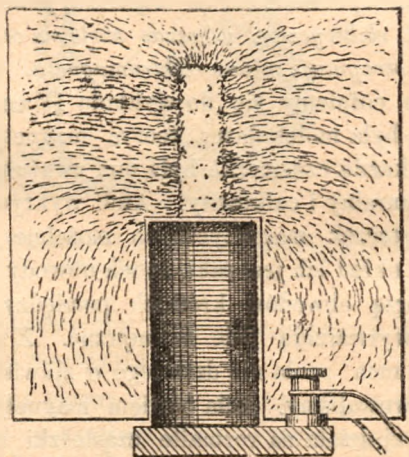


Fig. 152. Złożone pole magnetyczne solenoidu i jądra żelaznego, zeń wystającego.

raz o wiele gęstsze. Innemi słowy, natężenie pola staje się wyższe i bardziej określone. Gdybyśmy teraz wysunęli cokolwiek sztabę żelazną w technice zwaną, *jądrem*

żelaznym z cewy solenoidalnej, pole przyjąłoby kształt wskazany na fig. 152, str. 256. Sztaba wciąż jeszcze zachowywałaby swoją biegunowość, ale natężenie jej biegunów zmniejszyłoby się znacznie.

Działanie przyciągające solenoidu elektromagnetycznego na jądro żelazne. Wciąganie sztaby żelaznej pod wpływem przyciągającego działania pola prądu potwierdza się przez następujące zajmujące doświadczenie.

Doświadczenie XX. Solenoid, przez który prąd przebiega, ustawiamy tuż pod miękkim walcem żelaznym, przyczepionym do ramienia zwykłej wagi, zaś na szalkę

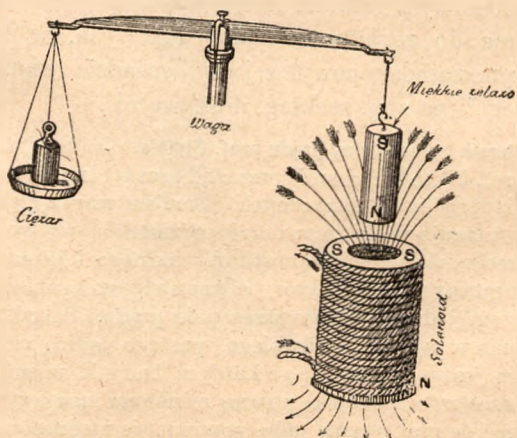


Fig. 153. Wazenie siły indukcyjnej, występującej pomiędzy solenoidem elektromagnetycznym a miękką sztabą żelazną.

z drugiej strony wagi kładziemy ciężarki tak długo, aż siła pola prądu, przyciągająca żelazo, będzie zrównoważona.

Po sprawdzeniu końców sztaby żelaznej w tym jej położeniu zapomocą zbliżonej igły kompasowej, sztaba okaże się mocno spolaryzowaną, koniec zaś jej, położony w pobliżu solenoidu, będzie miał znak inny niż sąsiedni koniec solenoidu (patrz diagram załączony). Doświadczenie to można odmieniać, zbliżając lub oddalając solenoid od sztaby żelaznej a potem wpuszczając sztabę dalej lub bliżej w solenoid i zapisując rozmaite ciężary, potrzebne do otrzymania równowagi w każdym położeniu. Największe wciąganie zjawia się wtedy, gdy środek sztaby zlewa się prawie ze środkiem solenoidu, bo wtedy w środku i w pobliżu sztaby żelaznej skupia się najwięcej linii siły prądu.

Solenoidy z jądrami żelaznymi częstokroć bywają stosowane do regulowania lamp łukowych, w których działają na zasadzie powyższej czyli zasadzie „szpuli wciągającej” (po ang. sucking, dosł. ssącej).

Miernik solenoidalny prądu prof. Blyth'a. Na powyższej zasadzie prof. Blyth oparł swój przyrząd praktyczny do mierzenia natężenia prądów elektrycznych. Zamiast wagi z ciężarkami, które wymagają wiele czasu do równoważenia, używa on jako siły przeciwdziałającej poprostu naturalnego i jednostajnego oporu sprężyny spiralnej, który równoważy wciąganie cienkiego i pustego jądra żelaznego przez pole prądu. Pobudką do zastosowania w tym razie cienkiego, pustego jądra, zamiast jednolitego, jestto właśnie, że po każdym badaniu w jądrze żelaznym pozostawać ma tylko pewne minimum magnetyzmu pozostałego i że praktycznie jądro powinno się magnesować aż do stopnia nasycenia już od prądu bardzo słabego. Skutkiem tego wciąganie cienkiego jądra żelaznego przez pole prądu staje się proporcjonalnem do natężenia prądu, przebiegającego przez solenoid, i z tego powodu wyraża się wprost przez wyciąganie opierającej się sprężyny stalowej.

Na fig. 154 T+ i T- są końcówkami dodatnią i ujemną, które łączą przyrząd z obwodem prądu baterji lub dynamomaszyny. Prąd przechodzi od T+ do T- przez szpulę solenoidalną SC, która wciąga jądro żelazne JC wbrew działaniu sprężyny spiralnej SS, przymocowanej haczykiem 1, do JC i haczykiem 1₂ do śruby AN, służącej do nastawiania punktu zero, oznaczonego na JC przez strzałkę. Do rurki miedzianej BT przymo-

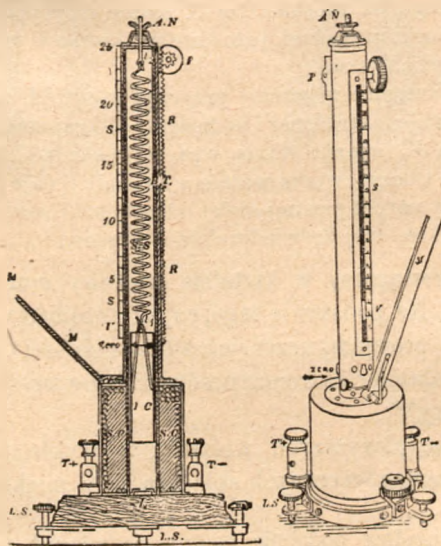


Fig. 154. Miernik solenoidalny prądu prof. Blyth'a.

cowany jest drążek zębaty R, który może się ślizgać swobodnie we wnętrzu zewnętrznej rurki miedzianej; do tej ostatniej przytwierdzony jest tryb P, służący do przesuwania drążka. Do BT przymocowany jest noniusz albo wernier V, wskazujący na linijce podzielonej S, umieszczonej na rurce wewnętrznej, natęże-

nie prądu albo liczbę amperów, przebiegających przez SC. Zwierciadło M jednocześnie wskazuje położenie O na JC, oraz stan werniera na skali S. L jest libelką napełnioną spirytusem winnym, zaś LS są trzema śrubami, przeznaczonemi do poziomowania przyrządu *).

Wykonanie pomiaru. 1) Ustawia się galwanometr poziomo. 2) Uwalnia się jądro JC przez zlizowanie trzech śrub niewidocznych na rysunku. 3) Zapomocą AN, R i P manipuluje się tak długo, aż kreska O na JC stanie na wskazówce O zewnętrznej rurki mosiężnej; jednocześnie kreska O werniera zlewa się z kreską O skali.

4. Następnie włączamy przyrząd w obwód, zawierający źródło energii elektrycznej i podnosimy JC zapomocą R i P, aż kreska O na JC znowu stanie wprost wskazówki O na rurce mosiężnej. Odczytywanie werniera na skali S daje prąd w amperach, przy użyciu pewnej stałej (albo tabelki, starannie oznaczonej i wykreślonej doświadczalnie w pracowni).

Elektromagnes w kształcie podkowy oraz przykłady praktyczne. Na podstawie tego, co już ustaliliśmy o elektromagnesach prostych, uczeń teraz bez trudności ogarnie budowę i działanie elektromagnesów, zbudowanych w kształcie podkowy **).

Z figur powyższych widzimy, iż zwykle formy podków elektromagnetycznych składają się z miękkiej sztaby

*) Zupełnie podobnie buduje się miernik solenoidalny prądu firmy Hartmanna i Brauna w Bockenheim pod Frankfurtem nad Menem; ale jądro żelazne wraca tutaj nanowo do położenia początkowego, nie naciągając sprężyny, co sprawia, że pomiary odbywają się prędzej.

**) O rysunkach warsztatowych lub szkicach laboratoryjnych podków elektromagnetycznych i o użytku ich do magnesowania sztab stalowych i igieł — patrz wykład I część I; o tem, jak się robi elektromagnes, patrz w dodatku do cz. II.

żelaznej, zgiętej w kształcie \cap i następnie starannie wypalonej, a to w celu możliwego zmniejszenia oporu magnetycznego i koercyi magnetycznej. Sztaba albo obwija się od końca do końca jedną lub więcej warstwami drutu miedzianego izolowanego (jak na figurze pierwszej) tak gru-

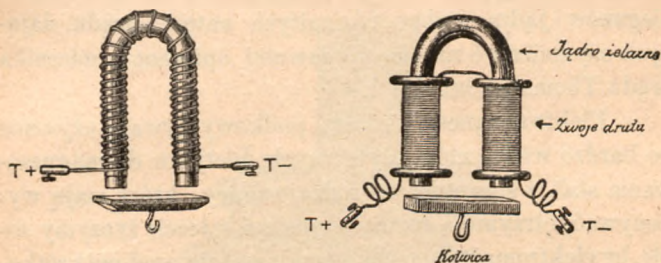


Fig. 155. Proste elektromagnesy w kształcie podkowy.

bego, ażeby prąd przebiegający nie rozgrzewał go nadmiernie, albo też na ramiona jądra żelaznego (patrz figurę drugą) nasadzają się dwie cewki solenoidalne mosiężne lub drewniane, całkowicie obwinięte drutem izolowanym. Do końców drutu przytwierdzają się wtedy końcówki lub śruby mosiężne, które służą do łączenia ich z przewodnikami prądu, idącymi od bateryi lub dynamomaszyny.

Gdy prąd przebiega przez szpulę drutu izolowanego, wywołuje przez indukcyę, w jądrze żelaznym magnetyzm, który to magnetyzm wzbudzony oddziałuje na pole prądu, koncentrując magnetyczne linie siły wewnątrz jądra, tak, iż pomiędzy biegunami elektromagnesu powstaje potężne pole równe sumie pola prądu i pola wzbudzonego w jądrze żelaznem.

Chcąc sprawdzić siłę podnoszącą elektromagnesu, potrzebujemy tylko umieścić pod biegunami magnesu miękką kotwicę żelazną (o przekroju, wyrównyującym przynajmniej przekrojowi jądra), zaopatrzoną w hak, do którego moglibyśmy przyczepiać ciężary. W ten sposób oznaczamy siłę potrzebną do tego, by oderwać kotwicę od biegunów jądra wobec rozmaitych natężeń prądu, dających się zmierzyć zapomocą dawniej opisanego miernika prądu Thomsona lub Blyth'a.

Elektromagnesy kształtu podkowy bywają używane do bardzo wielu celów użytecznych, nie tylko do magnesowania stali, i stosownie do rodzaju pracy, którą mają wykonywać, otrzymują rozmaite postaci. Jeżeli życzymy sobie, by elektromagnes szybko poddawał się prądowi krótkotrwałemu a potem również prędko odmagnesowywał się, skoro tylko prąd bieżący przestanie, naprz. w telegrafie Morse'a, natenczas zwoje cewy i jądro robią się możliwie krótkie. Gdy wciąganie elektromagnesu ma być długie, równe, nieprzerwane, naprz. w przyrządzie, używanym do poruszania

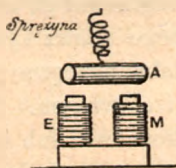


Fig. 156. Elektromagnes w przyrządzie telegraficznym Morse'a.

aparatów kolejowych sygnalizujących, korzystnymi są długie solenoidy i jądra. W zapisywaczu syfonowym (siphon recorder) Sir Williama Thomsona, przeznaczonym do rysowania na ruchomej wstędze papieru znaków telegraficznych, przesyłanych przez długie liny elektryczne (kable) podmorskie, zwoje ruchome powinny wytwarzać pole magnetyczne stałe i potężne. Kiedy Edi-

son budował po raz pierwszy swoją powszechnie znaną maszynę dynamoelektryczną do celów oświetlenia, użył on wtedy bardzo długich magnesów, był to jednak, jak dowiódł dr. John Hopkinson, błąd, ponieważ opór magnetyczny przez to w obwodzie magnetycznym niezmiernie

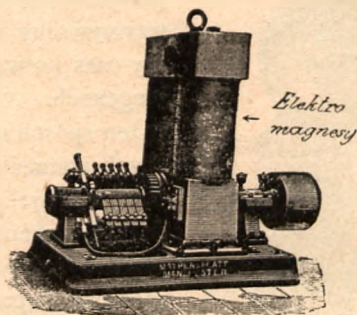


Fig. 157. Dynamomaszyna Edisona-Hopkinsona o elektromagnesie krótkim.

wzrósł. Przez skrócenie jąder elektromagnesu przeszło o połowę, przez powiększenie przekroju i liczby warstw drutu w solenoidzie, podniósł on sprawność dynamomaszyny Edisona o pełne 25 odsetek. Wszystkie dobre dynamomaszyny budowane są dzisiaj z elektromagnesami krótkimi i grubymi.

Zwykły dzwonek elektryczny domowy również jest nowym przykładem tych korzyści praktycznych, jakie płyną z użycia krótkich elektromagnesów. Tutaj prąd, wysyłany z baterii przez przycisk i zwoje solenoidu elektromagnetycznego przerywa się, skoro tylko kotwica zostaje przyciągnięta do samych biegunów jąder, i w tejsze

chwili przerywa się zetknięcie pomiędzy tylną stroną kotwicy a płaską zakrzywioną sprężyną. Gdyby elektromagnes prawie natychmiastowo nie ulegał działaniu prądu i w tejże chwili, gdy prąd ustaje, nie tracił prawie natychmiastowo swojego magnetyzmu, w takim razie za-
 trzymywałby on przez dłuższy czas kotwicę przy swoich biegunach. Otrzymalibyśmy w ten sposób szereg pojedynczych uderzeń młotka w dzwonek zamiast owego dobrze znanego drgania, wywołanego przez szybko po sobie następujące przyciągania przy zamykaniu obwodu i odskakiwania

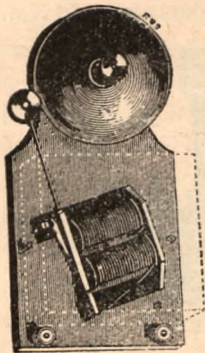


Fig. 158. Zwykła forma domowego dzwonka elektrycznego wraz z rysunkiem elektromagnesu etc.

przez działanie sprężyny w chwili przerywania obwodu.

Zmiana długości żelaza podczas magnesowania. Zmarły dr. Joule z Manchesteru, odkrywca (obok Roberta Mayera z Heilbronn) mechanicznego równoważnika ciepła, był pierwszym, który dostrzegł, iż sztaba żelazna wydłuża się podczas magnesowania. Tymczasem zupełnie niedawno p. Shelford Bidwell dowiódł, że skoro magnesowanie dosięgło prawie stopnia nasycenia, sztaba nie tylko już się nie wydłuża, ale naprawdę długość jej spada poniżej zwykłej wartości normalnej. Podobnie wykonał on doświadczenia z innymi ciałami magnetycznymi i otrzymał dla ni-

ku większe skrócenie niż dla żelaza nawet przy stosunkowo słabej sile magnesującej.

Aby stwierdzić to ciekawe zjawisko, ustawiamy pionowo sztabę żelazną i otaczamy ją przewodnikiem z drutu miedzianego izolowanego, skręconym w kształcie spiralnej, który za pomocą klucza łączymy z baterią podług załączonej fig. 159. Dolny koniec sztaby żelaznej przy-

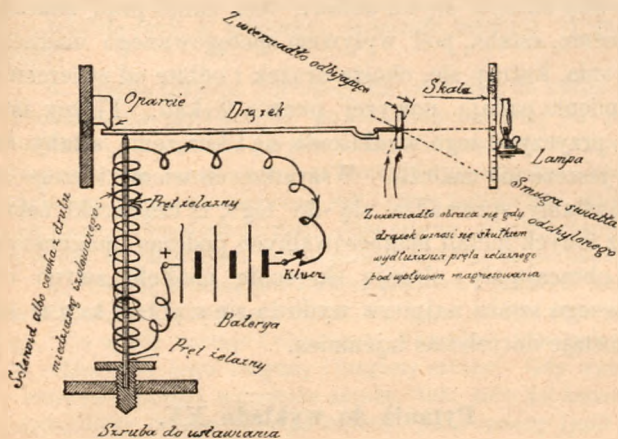


Fig. 159. Doświadczenie Shelforda Bidwella, dowodzące zmian długości w żelazie oraz innych metalach magnesowalnych podczas magnesowania.

mocujemy do podstawy ruchomej, górny zaś opieramy o lekki drążek mosiężny w niewielkiej odległości od jego punktu oparcia. Drugi koniec drążka działa na pewien występ, umieszczony od strony tylnej okrągłego zwierciadła, obracającego się naokoło osi poziomej albo zawieszono na nici wyprężonej. Przed zwierciadłem ustawiamy

lampę i skalę, albo jeszcze lepiej, rzucamy na nie promienie świetlne od lampy łukowej lub od światła wapiennego (Drumonda), które odbijają się od zwierciadła, w postaci smugi świetlnej na ścianę przeciwległą lub biały ekran. Gdy sztaba żelazna wydłuża się pod wpływem magnesującym prądu, przebiegającego przez cewę z drutu, wtedy podnosi ona drążek i obraca zwierciadło tak, iż smuga świetlna odchyła się ku dołowi; lecz skoro prąd znacznie wzrośnie, sztaba, pod wpływem spotęgowanego magnesowania, kurczy się, obniża drążek i odbite od zwierciadła promienie padają powyżej punktu 0 skali. Fizycy istotnej przyczyny tego wydłużenia się i kurczenia sztaby dotąd jeszcze nie znaleźli. Wszystko, co wiemy i czego się domyślamy, sprowadza się do tego, iż cząsteczki żelaza oraz innych metali magnesowalnych podczas magnesowania obracają się i ulegają skręceniu naokoło swych osi. Dlaczego sztaba najpierw wydłuża się a potem kurczy się, pozostaje dotychczas tajemnicą.

Pytania do wykładu XV.

1. Co się stanie z miękką sztabą żelazną, skoro potężny prąd zostanie przepuszczony po drucie, położonym tuż nad sztabą pod kątem prostym do niej? Co się stanie teraz, skoro odwrócimy kierunek prądu?

2. Przypuśćmy, że po drucie izolowanym obwiniętym naokoło pogrzebacza, przebiega potężny prąd elektryczny; co wtedy nastąpi? Jaka będzie różnica w zachowaniu się obu końców sztaby? Do odpowiedzi wykonaj szkic, wskazujący kierunek prądu, przebiegającego po drucie etc.

3. Masz ogniwo, drut izolowany i miękką sztabę żelazną o jednym końcu oznaczonym; powiedz dokładnie, jakie urzą-

dzenie powinieneś zastosować, by żelazo zostało namagnesowane w taki sposób, ażeby koniec naznaczony stał się biegunem północnym.

4. Sztabę żelazną okręcono kilkakrotnie długim drutem miedzianym, powleczonym jedwabiem. Przez połączenie końców drutu z odpowiednimi końcówkami bateryi, sztaba żelazna staje się magnesem. W jaki to sposób kierunek magnesowania w żelazie (albo położenie jego bieguna północnego i południowego), zależy od tego, który koniec drutu połączony został z miedzią czyli z biegunem dodatnim bateryi? Wykonaj rysunek.

5. Rurkę szklaną AB okręcono od końca do końca drutem miedzianym izolowanym, po którym przesyłany jest prąd; człowiekowi patrzącemu na jeden koniec A prąd ten wydaje się zwrócony w tę samą stronę co wskazówki zegarka. Sztaba z miękkiego żelaza umieszczona jest 1) wewnątrz rurki, 2) poza jej obrębem, równolegle do niej. Jaki biegun magnetyczny będzie w obu wypadkach w końcu sztaby, zbliżonym do badacza?

6. Sztabę żelazną postawiono pionowo i przytem dokładnie w kierunku osi pustego solenoidu, przez który prąd przebiega. Co wtedy nastąpi i dlaczego? Naszkicuj kierunek prądu w solenoidzie, jego bieguny i bieguny sztaby. Gdy wpuścimy teraz do wnętrza solenoidu sztabę, tak, żeby jej końce jednakowo były odległe od jego końców, jakie zmiany (jeśli tylko będą) zajdą w biegunowości i natężeniu magnetycznym?

7. Sztabę z miękkiego żelaza umieszczono prostopadle do powierzchni stołu. Górny jej koniec otoczony jest cewką z drutu izolowanego, tak jednak, że go nie dotyka. Skoro po drucie przebiega potężny prąd, żelazo wznosi się w cewce. Objasnij to zapomocą rysunku i legendy.

8. Zrób szkic i objaśnij części jego, w celu pokazania, jak się robi elektromagnes w kształcie podkowy. Oznacz wyraźnie strzałkami kierunek zwojów i prądu, potrzebnych do wytworzenia żądanej biegunowości.

9. Naszkicuj i objaśnij działanie zwykłego domowego dzwonka elektrycznego. Dlaczego wolisz do niego zastosować krótki elektromagnes, jeśli chcesz, aby bił prędko?

10. Jeżeli proszą cię, byś zaprojektował elektromagnes do wielkiego dzwonu (gong), który ma dawać określone, oddzielne sygnały, jaką formę nadasz elektromagnesowi i dlaczego?

11. Znaleziono, iż jeden koniec cewy drucianej, po której prąd przebiega, przyciąga biegun północny igły kompasowej, umieszczonej w pewnej odległości od tego końca. Czy działanie będzie to samo, jeżeli do wnętrza cewy wprowadzimy sztabę z nienamagnesowanego żelaza miękkiego?

12. Opisz i narysuj dzwonek elektryczny, który ma być bez przerwy, tak długo, dopóki obwód jest zamknięty.

WYKŁAD XVI.

Treść: Działanie siły i przeciwdziałanie jej zawsze są równe i co do kierunku przeciwne. — Ruch obrotowy bieguna magnetycznego naokoło prądu i prądu naokoło bieguna. — Przyrząd Faradaya do okazania obrotu przewodnika, po którym prąd przebiega, naokoło bieguna magnesu. — Samoistne zwijanie się drutu, po którym prąd przebiega, naokoło magnesu. — Pytania.

Działanie siły i przeciwdziałanie jej zawsze są równe i co do kierunku przeciwne. Wiemy ze zwykłego codziennego doświadczenia, że, jeżeli zawiesimy ciężar na haku wagi sprężynowej, sprężyna oddziaływa z taką samą mocą wbrew sile, wywieranej przez ciężar i przytem w kierunku ściśle odwrotnym. Jeżeli położymy ciężar na stole albo na wadze sprężynowej, jeżeli puścimy na wodę statek i w ogólności skoro tylko w jakimkolwiek kierunku i miejscu zastosujemy pewną siłę, zawsze natrafimy na powszechne prawo przyrody, które głosi, iż *„Działanie i przeciwdziałanie zawsze są równe i przeciwne.”* Prawo to obecnie zastosujemy do naszych poprzednich doświadczeń, dotyczących działania prądu na biegun magnesu.

Ruch obrotowy bieguna magnetycznego naokoło prądu i prądu naokoło bieguna. Z doświadczeń na wykładach IX i X nauczyliśmy się, że północny biegun magnesu objawia stałą dążność do obracania się w określonym kierunku naokoło wyprostowanego drutu, przewodzącego prąd i że południowy biegun również dąży do obracania się naokoło tego samego drutu w kierunku przeciwnym.

Teraz wychodząc z pewnika dopiero co ustalonego, że „Działanie i przeciwdziałanie są równe i odwrotne”, oczywiście dochodzimy do wniosku, że podczas gdy bieguny magnesu dążą do obracania się naokoło prądu, ów ze swej strony koniecznie musi posiadać dążność do obracania się naokoło biegunów magnesu; a dalej, że jedynie od układu przyrządu zależy, który z nich obraca się, magnes czy drut, lub też czy oba jednocześnie się poruszają.

Najpierw i przede wszystkim opiszemy budowę i działanie przyrządu Faraday'a do okazania obrotu przewodnika naokoło bieguna.

Doświadczenie XXI. 1. Ustawiamy przyrząd, jak wskazuje pierwsza z dwóch figur następnych, i przepuszczamy mocny prąd z baterji przez obwód, w kierunkach wskazanych przez strzałki.

Znajdujemy niezwłocznie, iż pionowy przewodnik prądu obraca się w kierunku, wytkniętym przez strzałkę zakrzywioną. Skoro użyjemy prądu o dostatecznym natężeniu i sztaby potężnej, wówczas bez żadnej trudności będziemy mogli otrzymać prędkości, przekraczające 100 obrotów na minutę. Zmieńmy teraz kierunek prądu albo położenia biegunów sztaby magnesowej, a drut pocznie obracać się w kierunku przeciwnym. Spytasz, rzecz prosta: „Jak oznaczyć dokładnie kierunek obrotowy prądu dla każdego kierunku prądu, względem biegunów Pn i Pd magnesu?” Bez trudności da się to wykonać najpierw, skoro przygotujemy duży rysunek przyrządu, a potem na nim liniami przerywanemi i strzałami wytkniemy kierunek pola sztaby magnesowej, oraz kołowego magnetycznego pola prądu naokoło drutu przewodniego. Przypominacie

sobie—to co już nieraz pokazywaliśmy—że jeżeli magnes, ma swobodę poruszania się tak, jak tego wymaga pole

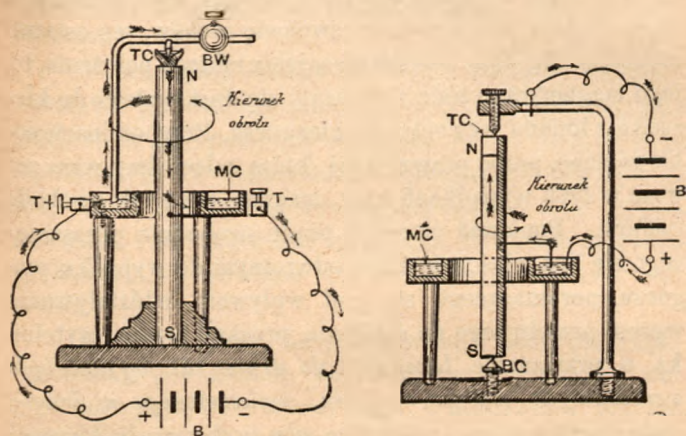


Fig. 160. Przyrząd Faraday'a do okazania obrotu przewodnika prądu naokoło bieguna magnesu.

Objaśnienie części:

NS	oznacza bieguny Pn i Pd magnesu poziomego.
B	" baterję dającą potężny prąd.
MC	" naczynie drewniane obrączkowe do rtęci.
T+, T—	" końcówki, przez które prąd wchodzi i opuszcza przyrząd.
TC	" zagłębienie w środku górnego końca, napełnione rtęcią.
BW	" przeciwwagę dla drutu przewodzącego prąd.
A	" ramię z drutu miedzianego, przylutowane do pionowego magnesu. W pierwszym wypadku jest ono stałe, w drugim wolne, tak, że może obracać się razem z magnesem.
BC	" ruchome dolne ostrze osi na figurze drugiej.
→, ←	" kierunek prądu i obrotu w każdym wypadku.

prądu, tedy dąży do takiego ustawienia się, aby jaknajwię-

ksza liczba magnetycznych linii sił prądu przechodziła przezeń, w tym samym kierunku, w jakim przebiegają własne linie magnesu. Wskutek tego, gdy magnes jest nieruchomy, a przewodnik prądu posiada swobodę ruchów, ten ostatni, obracając się, dąży zawsze do zajęcia takiego położenia, by jego magnetyczne linie sił zlewały się doskonale co do kierunku z liniami wewnętrznymi magnesu. Przypominacie sobie również próbę prawej ręki, którą zaleciliśmy wam zawsze w tych wypadkach, gdy magnes posiadał swobodę ruchów. Ponieważ wypadek prądu swobodnie poruszającego się jest właściwie ściśle odwrotnym do wypadku magnesu, poruszającego się pod wpływem oddziaływania wprost przeciwnego do działania, prosimy przeto czytelnika o przyłożenie *lewej ręki do drutu, tak by dłoń była zwrócona do stałego magnesu, umieszczonego z drugiej strony drutu, cztery zaś palce aby wskazywały kierunek przepływu prądu po drucie; wtenczas wielki palec wyciągnięty wskaże nam kierunek obracania się drutu przewodniego*. Narysuj lewą rękę w kierunku podanym na figurze przyrządu, a przekonasz się, że wnioski znowuż nasze będą podobne do powyższych, otrzymanych przez rozważanie kierunków obu sił działających — siły magnetyzmu sztaby i siły pola prądu.

2. Ustawcie przyrząd tak, jak wskazuje druga z powyższych figur. W tym razie pionowa szeroka sztaba magnesowa, poprzednio nieruchoma, posiada swobodę ruchów naokoło własnej osi magnetycznej. Prąd teraz wychodzi od środka po bokach magnesu do góry ku biegunowi Pn i za nim. Stosujemy naszą próbę lewej ręki do każdego brzegu magnesu, zwracając palce w kierunku prze-

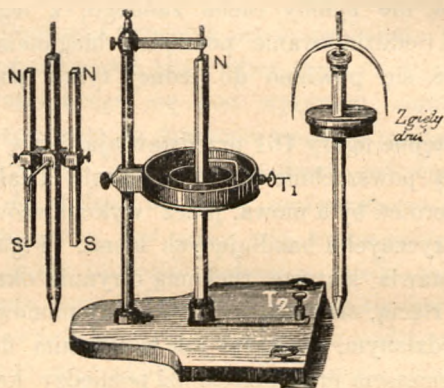
biegu prądu i dłoń do bieguna północnego; wtedy nasz wielki palec wyciągnięty odrazu wskaże kierunek obrotu. Odwracamy magnes albo kierunek prądu i wnet ruch się odwraca*).

Uczeń pojmie odrazu, dlaczego w ostatnim doświadczeniu nie przesłaliśmy prądu przez całą długość magnesu, jeżeli sobie przypomni, iż wtenczas, wobec jednakowego i przeciwnego co do kierunku działania obu biegunów na pole prądu, nie byłoby ruchu żadnego; z tego powodu działanie i oddziaływanie pomiędzy biegunem a prądem ograniczyć się powinno do jednej tylko połowy magnesu.

Następne figury 161 przedstawiają formę przyrządu, wyrabianą powszechnie do okazywania działań, o których dopiero co była mowa, przez wykonawców przyrządów elektrycznych i handlujących niemi. Figura środkowa przedstawia statywę ruchomą o rynnę okrągłej, napełnionej rtęcią, oraz magnes ustawiony pionowo, z drucikiem miedzianym, zagiętym jak w ostatnim doświadczeniu. Tymczasem prąd przechodzi pomiędzy końcówkami T_1 i T_2 wzdłuż dolnej połowy magnesu zamiast górnej. Magnes ten może być z łatwością usunięty i zastąpiony

*) Przyrząd przedstawiony na powyższej figurze jest dziełem dwóch uczniów autora pp. Eadie i Nicol. Zapomocą magnesu 0,6 cm grubego, 5,4 cm szerokiego i 35 cm długiego i prądu prawie 30 amperów otrzymywali oni 39 obrotów na minutę. Na wierzchu magnesu przymocowywali oni miseczkę z rtęcią w kształcie V, spód zaś magnesu opierał się na śrubie z główką Λ , przez co zbytecznem było wiercenie dziur w końcach sztaby.

przez dwie sztaby magnesowe z osią pośrodku, jak to wskazuje lewa figura, wtedy, gdy pragniemy okazać obrót biegunów magnesu naokoło prądu. Oba te magnesy kręcą się w środkowej pustej przestrzeni rynny z rtęcią i mogą być ustawione albo dwoma biegunami Pd lub Pn, albo wreszcie biegunami przeciwnymi na dół, w którym to ostatnim wypadku niema żadnego ruchu, jeżeli bieguny są jednakowej mocy i prąd biegnie w jednakowej od nich



Do obracania biegunów naokoło prądu.

Do obracania prądów przez magnes naokoło jego bieguna Pn.

Do obracania prądu rozdzielonego naokoło bieguna.

Fig. 161.

odległości. Naprawo znajdujemy inną formę przyrządu, która daje się nieruchomo ustawić. Widzimy tu sztabę magnesową pionową, w środku umocowaną; w górnym jej końcu znajduje się przewódnik półokrągły, albo drut za-

krzywiony o ruchu swobodnym i końcach zanurzonych w obręczkowem naczyniu z rtęcią, skoro to ostatnie zostało dostatecznie podniesione i zamocowane na statywie. Prąd dzieli się w tym wypadku pomiędzy dwoma ramionami zgiętego drutu i wytwarza w ten sposób parę sił, która zmusza ramiona do kręcenia się wokół jednego bieguna magnesu.

Tego rodzaju urządzenia rotacyjne dają się odmieńnić na wiele sposobów. Wytwarzanie rozmaitych form tychże było ulubionem zajęciem Faraday'a, dawało mu bowiem możność sprawdzenia wyników długotrwałych swoich rozmyślań i badań. Najpożyteczniejszym bodaj, praktycznym ich zastosowaniem jest dynamomotor t. j. wszelka dobra dynamomaszyna, która służy do przekształcenia energii elektrycznej w mechaniczną.

Źródła pracy mechanicznej, jakoto wodospady i kopalnie węgla, położone zdala od ognisk przemysłowych dają się w ten sposób zużytkować, jeżeli najpierw przemienimy pracę mechaniczną (przez działanie kół wodnych lub maszyn parowych i dynamosazyn) w energię elektryczną, a potem prześlemy tę energię, skoro to potrzebne, o wiele mil dalej, wzdłuż dobrze izolowanych przewodników. W miejscu swojego przeznaczenia i w ilości żądanej, energia elektryczna może się dzielić nanowo i przestaczać w energię mechaniczną; pozwala to rzemieślnikom wszelkiego rodzaju oddawać się pracy specjalnej w domu, nie skupiając się w jednej wielkiej fabryce, gdzie praca mechaniczna wytwarza się wielkimi maszynami parowymi i dzieli się zapomocą nadzwyczaj długich i wiele pracy chłonnących wałów transmisyjnych. Ten rodzaj podziału pra-

cy mechanicznej w Anglii nie rozwinął się dotąd jeszcze należycie, za to na lądzie europejskim i w Ameryce znalazł wiele ciekawych zastosowań, które dowodzą wielostronności tej formy pracy.

Samoistne zwijanie się drutu przewodniego naokoło magnesu. Doświadczenie XXIV. Istnieje pewna odmiana poprzednich doświadczeń, wielce zajmująca, którą autor książki powziął niedawno a która dotąd nie była podawana w żadnym podręczniku. W obecności uczniów udawała się ona doskonale i sama przez się stanowiła wysoce uderzające doświadczenie.

W wypadku I, fig. 162 widzicie sztabę magnesową cylindryczną, zawieszoną pionowo na belce drewnianej,

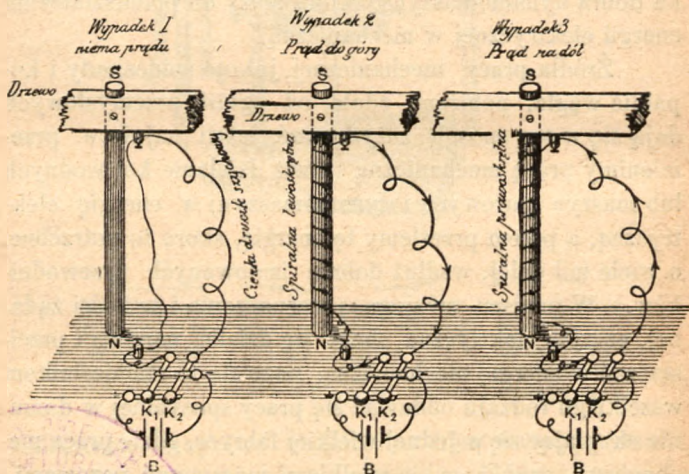


Fig. 162. Samoistne zwijanie się drutu przewodniego naokoło magnesu.

NB. — Dolny koniec magnesu odstaje swobodnie, prawie o 10 cm do powierzchni stołu.

albo innej jakiej podporze. Długi, cienki i bardzo giętki przewodnik (naprz. nitka z druciku walcowanego, używanego na wyrób szlif, galonów, i szychów) przytwierdzony jest do końcówki wśrubowanej w drzewo, dolny zaś koniec łączy się z inną końcówką, przymocowaną w pobliżu dolnego końca magnesu pionowego. Końce te łączą się z baterią zapomocą odpowiedniego klucza odwracającego*). Drucik szychowy w wypadku 1 zwiesza się zupełnie swobodnie wzdłuż magnesu; w rzeczy samej nitka jest tutaj jakby „martwą” tak długo, dopóki żaden prąd przez nią nie przechodzi.

Wypadek 2. Naciskamy klucz K, tak, aby prąd przebiegał po drucie do góry i w tejże chwili nić staje się jakby „żywą” i zwija się szybko naokoło magnesu w powabną linię spiralną, lewoskrętną.

Wypadek 3. Puszczamy teraz K_1 i naciskamy K_2 ; wnet nić odwija się z magnesu i przez się przyjmuje postać linii spiralnej, prawoskrętnej. Cały przebieg odbywa się tak prędko, że chcąc ruchy te uwidocznić, musimy do drutu przymocować kawałeczki białego papieru. Doświadczeniem tym można zająć liczne grono słuchaczy.

Aby przewidzieć, jaki kierunek obierze giętka nić szychu, zwijając się naokoło magnesu, wypada tylko lewą rękę potrzymać stroną wewnętrzną dłoni do drutu, w kierunku poprzednio zaznaczonym, mając palce zwrócone w stro-

*) Można się obyć bez klucza, gdy go niema pod ręką, i przyczepiać druty łączące wprost do końcówek baterii, zmieniając je wedle życzenia pomiędzy biegunami.

nę zamierzonego przebiegu prądu, jeżeli wyciągnięty wielki palec ma wskazywać ów kierunek; możecie też położyć waszą prawą rękę w poprzek magnesu, podług wskazówek w końcu wykładu XIV, gdyż pozwoli to wam przewidzieć drogę, jaką prąd obrać musi wzdłuż nici szychu, kiedy ta ostatnia tworzy naokoło magnesu spiralną, prawo lub lewoskrętną. Wszakże prąd przebiegać musi tak, aby potęgował magnetyzm w magnesie, a zatem linie sił przebiegające przez magnes i linie magnetyczne prądu zawsze dążą w jednym kierunku i przez to wzajemnie się wspierają.

Pytania do wykładu XVI.

1. Co rozumiesz przez wyrażenie „Działanie i oddziaływanie są równe i przeciwne” w zastosowaniu do sił? Objaśnij rzecz zapomocą rysunków.

2. Jak dowieść, że biegun północny magnesu będzie się obracał naokoło drutu przewodniego w jedną, zaś biegun południowy w drugą stronę? Jak dla każdego wypadku można przewidzieć kierunek. Wykonaj szkic zupełny.

3. Naszkicuj przyrząd Faraday'a, dowodzący, iż prąd trwały kręci się naokoło bieguna sztaby magnesowej i wskaż jego działanie zapomocą strzałek etc. Co nastąpi, skoro prąd odwrócimy i dlaczego?

4. Magnes pionowo umocowany, biegunem północnym do góry, dźwiga drut w kształcie Γ , który może się obracać równolegle do magnesu i zupełnie swobodnie. Co się stanie i z jakiego powodu, a) jeżeli dolny koniec drutu zanurzymy w naczyniu obrączkowym z rtęcią, umieszczonym na podstawie magnesu i prześlemy prąd wprost przez magnes do góry od bieguna P_d do F_n a potem na dół w ramię pionowe drutu Γ

b) jeżeli teraz odetniemy połowę ramienia pionowego kształtu Γ i rynienkę z rtęcią podniesiemy, aż dolny koniec drutu nanowo zanurzy się w rtęci i wtedy nanowo prześlemy prąd. Wykonaj szkice, objaśniające odpowiedź w każdym z tych wypadków.

5. Bardzo giętki drut wisi swobodnie wzdłuż pionowego magnesu. Na dół po drucie tym przesyłamy prąd. Co nastąpi i dlaczego? Przerzywamy prąd i odwracamy. Co się stanie i dlaczego? Wykonaj szkice.

6. Wzdłuż długiego, trwałego magnesu formy cylindrycznej przepuszczamy prąd. W jaki sposób uzasadnisz przypuszczenie, iż prąd obierze drogę spiralną wzdłuż sztaby? Robiąc szkic objaśniający do odpowiedzi, oznacz bieguny Pn i Pd magnesu oraz kierunek spiralnej, wskaż więc, czy będzie to spiralna prawo lub lewoskrętna.

7. Okrągła cewa została zawieszona w płaszczyźnie pionowej na dwóch długich i giętkich przewodnikach, połączonych z końcami zwojów. Sztaba magnesowa zbliża się a) poziomo, jednym końcem zwrócona ku środkowi cewy; b) poziomo, osią magnetyczną magnesu równoległe do pionowej średnicy cewy; c) pionowo, osią magnetyczną równoległe do pionowej średnicy cewy. Narysuj, co nastąpi w każdym z tych wypadków z cewką, gdy mocny prąd przechodzi przez nią.

8. Naszkicuj i opisz jak się ustawi pionowa cewka z drutu, swobodnie zawieszona, jeżeli się ją zawiesi pomiędzy biegunami podkowy magnesowej.

WYKŁAD XVII.

Treść: Elektrodynamika. — Prawa Ampère'a. — Działania pomiędzy prądami równoległymi i nachylnymi — Stolik Ampère'a. — Płaską spiralną oraz inne przyrządy, służące do udowodnienia praw Ampère'a. — Elektrodynamometr prof. Wilhelma Webera do prądów stałych. — Elektrodynamometr Siemens'a i Halskego do prądów mnych. — Pytania.

Elektrodynamika. Obecnie jesteśmy w stanie badać tę część naszej wiedzy, która zajmuje się siłą, wywieraną przez jeden prąd na drugi, a która nosi miano *Elektrodynamiki*. Ta część elektromagnetyzmu najpierw odkryta została i zbadana w r. 1821, przez uczonego francuskiego Ampère'a, wkrótce po odkryciu przez Oersteda działania prądu na magnes (1820). Zważywszy, iż prąd zawsze wytwarza naokoło swojego przewodnika pole magnetyczne kształtu kołowego o określonej biegunowości, bez trudności sprowadzamy prawo Ampère'a do prostych objawów przyciągania pomiędzy biegunami niejednakowemi i odpychania pomiędzy jednakowemi. Tutaj wypowiemy tylko własnymi słowami dwa prawa Ampère'a, poczem przystąpimy do sprawdzenia ich na drodze doświadczalnej.

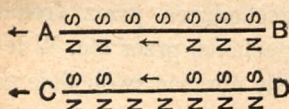
Prawa Ampère'a. — Działanie pomiędzy prądami równoległymi i nachylnymi:

Prawo I. *Prądy równoległe, skoro przebiegają w tym samym kierunku, przyciągają się, skoro zaś przebiegają w kierunku przeciwnym, odpychają się.*

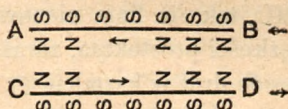
Prawo II. *Prądy, nachylone do siebie pod jakimkolwiek kątem, przyciągają się, jeśli oba przebiegają do lub od*

wierzchołka kąta (albo punktu przecięcia) i odpychają się, jeśli jeden z prądów biegnie ku wierzchołkowi, drugi od niego.

Fig. 163.



Przyciąganie pomiędzy
 \overline{AB} i \overline{CD} .



Odpychanie pomiędzy
 \overline{AB} i \overline{CD} .

Albo, dwa prądy, przecinające się, dążą do zajęcia położenia, w którym oba będą równoległe i jednego kierunku*).

Doświadczenie XXIII. W celu udowodnienia tych praw Ampère zbudował prosty przyrząd, nazwany stoli-

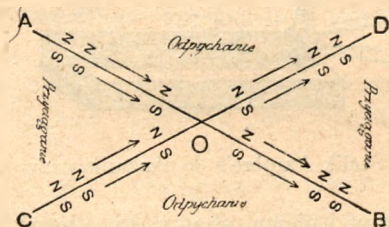


Fig. 164. Przyciąganie pomiędzy \overline{AO} i \overline{CO} oraz pomiędzy \overline{OB} i \overline{OD} . Odpychanie pomiędzy \overline{AO} i \overline{OD} , tudzież pomiędzy \overline{CO} i \overline{OB} .

*) Wtedy zgodnie z fig. 164, \overline{AB} lub \overline{CD} , albo oba razem, pod wpływem prądów, po nich przebiegających, stają się równo-

kiem *Ampère'a*, przedstawiony na fig. 165. Składa się on z drutu zgiętego w kształcie prostokąta, którego wolne końce przechodzą w cienkie ostrza, położone jedno nad drugim i zanurzone w szczególnych miseczkach z rtęcią MC_1 i MC_2 tak, iż linia pionowa, przechodząca przez środek ciężkości prostokąta, zarazem przechodzi przez nie. W ten sposób drut w kształcie \square może się obracać swobodnie na

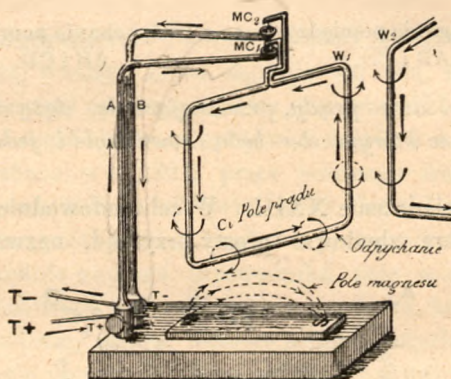


Fig. 165. Stolik *Ampère'a* do okazania praw *Ampère'a*.

lewo i na prawo i niema obawy, by obwód prądu elektrycznego mógł się przerwać, który przebiega od baterji do końcówki T+, potem do góry po pręcie pionowym A, ztąd do prostokąta przez MC_1 i dalej przez MC_2 , pręt pionowy B i końcówkę T— powraca do baterji.

ległemi, jeżeli mają swobodę ruchów. Aby dobrze zrozumieć biegunowość Pn i Pd, patrz uwagę na str. 241

Umyślnie narysowaliśmy sztabę magnesową w położeniu leżącym na podstawie przyrządu, ażeby uczniowi przedewszystkiem uprzytomnić działanie pomiędzy drutem ruchomym, przewodzącym prąd, a magnesem nieruchomym. Skoro prąd przebiega tak, jak na części dolnej, *poziomej* prostokąta, zmusza drut do obracania się, aż stanie prostopadle do osi magnesu pod wpływem działania i oddziaływania między polem prądu w tej części drutu a polem magnesu.

Teraz odsuwamy sztabę magnesową, ustawiamy płaszczyznę prostokąta tak, aby dokładnie przypadła na linii środkowej deski, służącej za podstawę, przybliżamy prostolinijny przewodnik prądu, trzymając go równoległe do prawej, pionowej strony prostokąta (jak na figurze). Wtenczas gdy prąd przebiega jak wyżej, postrzegamy, zgodnie z pierwszym prawem Ampère'a, *odpychanie*, wskazane przez kręcenie się prostokąta. Jeżeli jednak trzymać będziemy drut odwrotnie (albo odwrócimy kierunek prądu w tym drucie), tedy pomiędzy dwoma prądami równoległymi zjawia się *przyciąganie*, ponieważ oba biegną w tę samą stronę.

Załączona na str. 284 figura 166 przedstawia ulepszoną formę stolika Ampèrea, która służy do okazania jego pierwszego prawa, pozwala bowiem przewodnikowi prądu obrócić się w zupełności naokoło środkowego, pionowego słupa.

Jeżeli będziemy trzymali prawą rękę, jak na rysunku poprzednim (dłoń w obu rękach zwraca się do czytelnika), to odrazu zauważymy, że pomiędzy dwoma równoległymi przewodnikami prądu zachodzi ta sama bieguno-

wość elektromagnetyczna; słowem, że oba pola działają na siebie w kierunkach odwrrotnych. Tymczasem, skoro od-

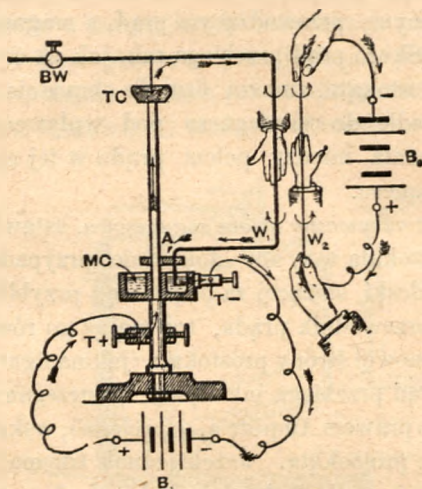



Fig. 166. Ulepszona forma stolika Ampère'a, dowodząca odpychania pomiędzy drutami równoległymi, w których przebiegają prądy odwrrotnie skierowane.

Objaśnienie figury:

- B_1, B_2 oznaczają baterie Nr. 1 i Nr. 2.
 T^+, T^- „ końcówki połączone z końcami $+$ i $-$ bat. B_1 .
 MC „ oznacza miseczkę drewnianą do rtęci.
 A „ ramię, które może się obracać swobodnie wraz z W_2 .
 W_1, W_2 przedstawia druty 1 i 2.
 TB „ miseczkę z rtęcią na szczycie słupa pionowego.
 BW „ przeciwagę dla drutu Nr. 1.
 \rightarrow „ kierunki prądów.
 \curvearrowright „ kierunki pola prądu.
 „ Sprawdzenie ręką biegunowości lub kierunku pola prądu.

wrócimy kierunek prądu w drucie W_2 , wnet otrzymamy przyciąganie, ponieważ pola teraz zwracają do siebie bieguny Pn i Pd. Jeżeli ponownie sprawdzimy to zapomocą ręki prawej, stosownie umieszczonej przy każdym z drutów, tedy przekonamy się znowu o słuszności naszego prawidła i przez to unikniemy w zupełności konieczności ciągłego pamiętania o pierwszym prawie Ampère'a.

Doświadczenie XXIV. Następna fig. 167 przedstawia godne uwagi, proste doświadczenie, które potwierdza część pierwszą pierwszego prawa.

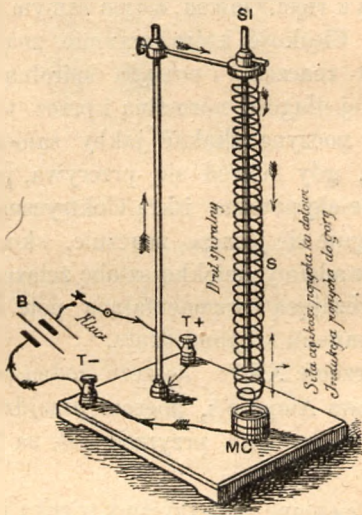


Fig. 167. Pierwsze prawo Ampère'a, dowiedzione zapomocą płasąjącej spiralnej Roget'a.

Figura sama przez się jest zrozumiała. Przy zamknięciu klucza K z baterji B, prąd biegnie do końcówki do-

datniej T+, potem do góry po słupie pionowym i ztąd na dół wzdłuż całej spiralnej ze stali lub z twardociągnionego drutu miedzianego do miseczki z rtęcią MC, zkąd przez poziomy łącznik w podstawie prąd dostaje się do końcówki odjemnej T— i wraca do baterji. Wszystkie zwoje kolejnej spiralnej przewodzą prądy równoległe do siebie i skierowane jednakowo. Skutkiem tego, rzecz prosta, pomiędzy każdymi dwoma zwojami wzbudzają się bieguny przeciwne Pn i Pd, które wywierają razem tak znaczne przyciąganie, iż cała spiralna kurczy się i dolny koniec drutu wychodzi z rtęci. Obwód, a tym samym i prąd zostaje przerwany. Ciężkość, która teraz nie znajduje oporu, znowu nabiera znaczenia i pociąga spiralną ku dołowi, przywracając jej długość normalną i przez to zamykając obwód. Drut poczyna skakać jakby samodzielnie i za każdym razem, gdy obwód się przerywa, przy miseczce z rtęcią ukazuje się potężna iskra elektryczna. Ten ruch płasający potęguje się jeszcze znacznie, skoro do środka spiralnej wprowadzimy miękką sztabę żelazną SJ (jak na figurze), zagęszczającą i wzmacniającą pole magnetyczne pomiędzy rozmaitemi kręgami drutu.

Doświadczenie XXV. Jeszcze jedno potwierdzenie pierwszego prawa Ampère'a, poczem przejdziemy do prawa drugiego. Ustawiamy przyrząd jak na figurze załączonej.

Ramię drewniane A_2 trzymamy w ręku i cewy C_3, C_4 zwracamy ściśle ku cewom C_1, C_2 . Pomiędzy C_2 a C_3 zjawia się *przyciąganie*, jednocześnie zaś między C_1 a C_2 *odpychanie*.

Na tej zasadzie Sir William Thomson zbudował cały szereg normalnych wag elektrycznych do bezpośredniego odczytywania, które pozwalają mierzyć od $\frac{1}{100}$ do 2,500 amperów*).

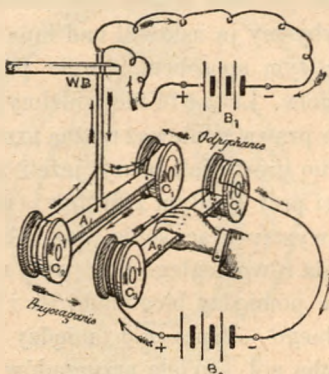


Fig. 168. Przyrząd do zbadania pierwszego prawa Ampère'a.

Objaśnienie części:

- B₁, B₂ oznacza baterye.
- C₁, C₂ „ cewki w obwodzie bateryi B₁.
- C₃, C₄ „ „ „ „ B₂.
- A₁, A₂ „ ramionka z drzewa.
- WB „ belkę drewnianą, unoszącą C₁, C₂ na dwóch giętkich drutach.
- „ kierunki prądów.

Powróćmy teraz do pierwszej formy przyrządu Ampère'a (por. fig. 165 do doświadczenia XXIII). Usuwamy

*) Opis tych przyrządów oraz użytek znajdziesz u Rankine'a „Rules and Tables“ wyd. 7, 1889, str. 398, oraz u Munro i Jamieson'a „Pocket-Book of Electrical Rules und Tables“ wyd. 6, 1889, str. 82.

sztabę magnesową z podstawy i trzymamy prosty kawałek drutu w_2 *poziomo* pod dolną poziomą stroną prostokąta w_1 , lecz pod pewnym do niej kątem. Zaraz też w_1 zaczyna się wahać, aż ustawi się równolegle do w_2 (zupełnie jakby to uczyniła pozioma sztaba magnesowa, swobodnie zawieszona, gdybyśmy ją ustawili nad inną poziomą sztabą magnesową); tym sposobem drugie prawo Ampère'a zostało dowiedzione. Lecz i tu nie widzimy potrzeby zapamiętywania tego prawa, ponieważ można przewidzieć wynik w sposób zarówno prosty jak łatwy, jeżeli umieścimy prawą rękę po kolei przy każdym z drutów (według przepisu poprzedniego), wystawiając sobie, jak oba przewodniki dążą do położenia równoległego pod wpływem naturalnego *przyciągania* pomiędzy biegunami Pn i Pd i równocześnie naturalnego *odpychania* między Pn \leftarrow \rightarrow Pn i Pd \leftarrow \rightarrow Pd obu pól. Wiele przyrządów praktycznych do mierzenia zbudowano na tej zasadzie, naprz. elektrodynamometr Siemens'a i t. d.

Drugie to prawo możemy uwidocznic za pomocą następnego, pomysłowego przyrządu, którego budowa bez dłuższych tłumaczeń jest zrozumiałą z samego rysunku, tudzież załączonego objaśnienia części. Działanie jego jest następujące:

Prąd idzie z baterji B niezależnie przez każdą z cewek OC i H. Końce cewki zewnętrznej OC zanurzone są odpowiednio w rynienkach, wewnętrznej J i zewnętrznej O, dolnego naczynia z rtęcią MC₁, przez co cewka ta otrzymuje prąd bez żadnej przerwy. Podobnie w J i O zanurzone są dwa druty, idące z górnej rtęciowej miseczki MC₂, służące jako kontakt; ta ostatnia przedzielona jest

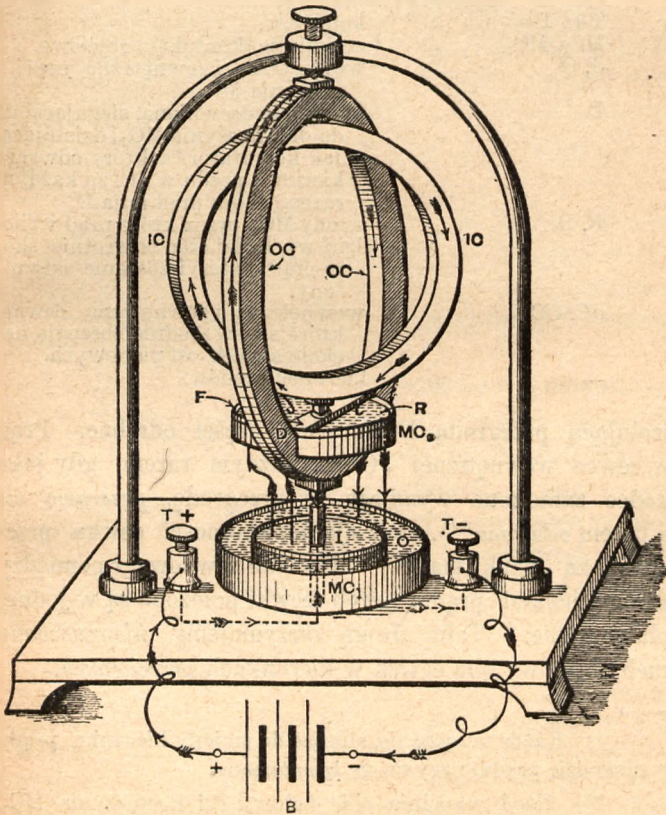


Fig. 169. Przyrząd do okazania drugiego prawa Ampère'a.

Objaśnienie figury 169.

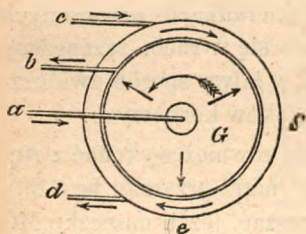
B	przedstawia baterję.
T ₊ , T ₋	" końcówki.
MC ₁ , MC ₂	" zetknięcie (kontakty) rtęciowe.
J, O	" wewnętrzną i zewnętrzną część naczynia MC ₁ .
D	" przegrodę drewnianą, sięgającą aż do dna naczynia MC ₂ i działającą, jak komutator*), który odwraca kierunek prądu w JC, za każdym razem, skoro prąd mija D.
F, R	" strony MC ₁ , przez które prąd wchodzi i wychodzi albo odwrotnie, skoro prąd baterji zostanie odwrócony.
JC, OC	" wewnętrzną i zewnętrzną cewkę, które się swobodnie obracają naokoło swoich osi pionowych.
—	" kierunek prądów.

izolującą przegrodą D na dwie części odrębne. Prąd w cewce wewnętrznej JC za każdym razem, gdy jego końce zanurzone wymijają tę przegrodę, *przerzywa się a potem odwraca**)*, atoli siłą bezwładności cewka przechodzi za „punkt martwy” albo stan równowagi pomiędzy dwoma polami prądu, jeżeli cewki położone są w jednej płaszczyźnie. Taką drogą otrzymujemy *nieprzerwany* ruch obrotowy obu cewek w kierunkach *przeciwnych*.

*) Każde urządzenie, służące do zmiany kierunku prądu w obwodzie prądu, nazywa się *komutatorem*.

***) Rtęć wypełnia obie połowy F i R naczynia MC₂, wychodząc nieco ponad przegrodę D. Na rysunku przegroda D sięga nieco ponad rtęć tylko w celu łatwiejszego zrozumienia budowy.

Tu uczeń powinien wykonać schematyczny rysunek cewek powyższych, wskazujący ich położenie w rozmaitych stadyach obrotów, tudzież zaznaczyć strzałkami i prawą ręką (odpowiednio umieszczoną) kierunki prądów, ich pola, oraz przyciąganie i odpychanie (jak w danym wypadku) pomiędzy siłami. Postępując w ten sposób, może on być śmiało zwolniony od recytowania na pamięć praw Ampère'a*).



Na fig. 170 podajemy inny, łatwo wykonalny przyrząd, zapożyczony z „Fizycznych demonstracyj” Weinholda.

Tutaj wewnętrzny okrąg podwójny oznacza pierścień z blachy miedzianej, blisko 10 cm szeroki i prawie 1,5 cm wysoki; do niego z obu stron przylutowane są pierścienie, prawie 1 cm szerokie, z mocnej blachy cynkowej;

Fig. 170. Przyrząd elektromagnetyczny rotacyjny.

tak utworzona cewka S obwinięta jest drutem miedzianym

*) Autor narysował powyższą figurę w skali dużej umyślnie, aby mogła służyć jako rysunek warsztatowy dla tych nauczycieli i uczniów, którzy pragnęliby przyrząd ten budować. Przy powiększeniu ośmiokrotnem lub dziesięciokrotnem byłby to wspaniały model do celów wykładowych. Pomysł i opis tego zajmującego modelu zawdzięczamy wykładom prof. Jerzego Forbesa o elektryczności r. 1886 w „Society of Arts” w Londynie, które następnie ukazały się w odbitej książkowej.

izolowanym, blisko 1 mm grubym, z końcami c i d. Cewka ta przymocowana jest lakiem do tafli szklanej, naczynie zaś płaskie cylindryczne w ten sposób utworzone, napelnia się skoncentrowanym roztworem siarczanu miedzi, zakwaszonym kilkoma kroplami kwasu siarczanego. W środku tego naczynia na statywie umieszcza się krążek z grubej blachy miedzianej (o średnicy blisko 1 cm), do którego przylutowywa się na twardo drut miedziany a, zaś do ściany naczynia drut b. Gdy teraz przez roztwór siarczanu miedzi i zwoje przepuścimy prądy w kierunkach oznaczonych przez strzałki, tedy płyn wprawia się w ruch, zaznaczony na rysunku strzałką pierzastą i w łatwy sposób uwidoczni ony za pomocą naprószonych ścinków korkowych.

Podobne urządzenia dają się również wykonać z rtęcią w ruch wprawioną. Nareszcie (patrz przyrząd fig. 166), drut w_1 może się nieustannie poruszać, jeżeli miseczkę MC otoczmy cewką z drutu miedzianego, obwiniętego, po którym przesyłamy potężny prąd. Przytem powierzchnia rtęci w rynience powinna być bardzo czysta, gdyż każda odrobina brudu zawadza ruchowi; należy więc rtęć przed samem użyciem przefiltrować przez bibułę, zwiniętą w trąbkę o wąziutkim otworze.

Elektrodynamometr prof. Wilhelma Webera do prądów słabych. Jeżeli przez cewy galwanometru przepuścimy prądy, których kierunek zmienia się szybko i peryodycznie, czyli t. zw. *prądy zmienne*, wtedy igła, skutkiem prędko następujących popędów o kierunku przeciwnym, zatrzymuje się. Aby takie prądy mógł mierzyć, prof W. Weber zbudował przyrząd, którego działanie opiera się na drugim prawie Ampère'a i który nazwano *elektrodynamometrem*. Zamiast igły magnesowej przyrządy te posiadają drugą cewkę z drutu, która się znajduje we-

wnątrz (lub nazewnętrz) pierwszej (multyplikatora) i której oś ustawiona jest prostopadle do pierwszej; przez tę cewkę we-

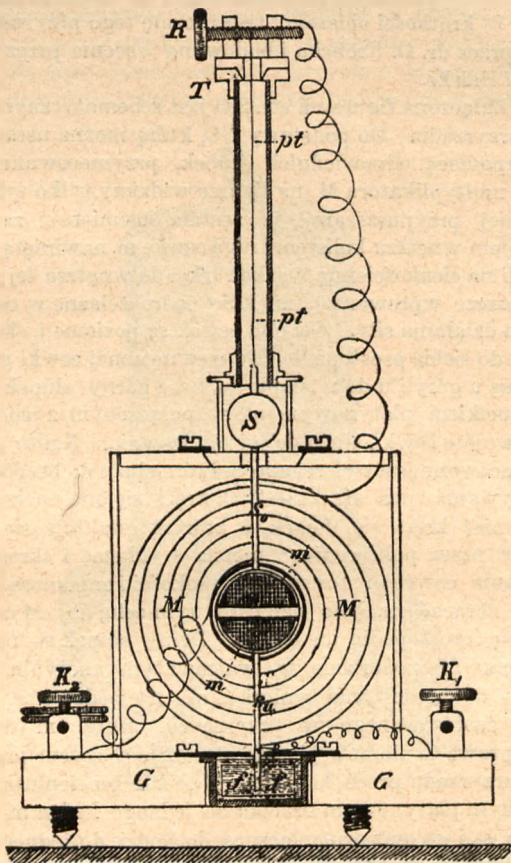


Fig. 171. Elektrodynamometr do prądów słabych podług O. Frölicha.

wnętrzną zawsze przebiega ten sam prąd co przez cewkę zewnętrzną tak, że w ten sposób siła działająca pomiędzy niemi, nawet przy zmiennym kierunku prądu nie ulega zmianie.

W krótkości opiszemy tutaj formę tego przyrządu, obmyśloną przez dr. O. Frölicha i budowaną obecnie przez firmę Siemens i Halske.

Załączona figura na str. 293 jest schematycznym obrazem tego przyrządu. Do podstawy GC, którą można ustawić poziomo zapomocą odpowiednich śrubek, przymocowane są dwie cewki moltiplikatora M (na figurze widzimy tylko tylną; co do przedniej przypuszczamy, iż została usunięta), zawierające w swoim wnętrzu kulistem drugą cewkę m , nawiniętą w kształcie kuli na cienkościenną wążką rurkę; do wnętrza tej rurki można jeszcze wprowadzać miękkie jądro żelazne w celu wzmożenia działania siły. Osi obu cewek są poziome i, skoro prądu niema, do siebie prostopadłe. Do wewnętrznej cewki przytwierdzone są u góry i u dołu słupki s_o i s_u ; górny słupek s_o z cienkim drucikiem platynowym pt , pt , połączonym z jednym końcem zwojów cewki, służy do jej zawieszenia. Nadto do słupka przymocowane jest zwierciadło S, które służy do bezpośredniego odczytywania (por. str. 226—227); kręci się ono naokoło słupka i podobnie kręci się domek, w którym znajduje się okienko. Drut pt przez pokręcenie R można wydłużać i skracać, w celu nadania cewce m stosownej wysokości i zapomocą główki T można obracać naokoło jego osi w tym celu, aby oś m nanowo stała się prostopadłą do osi M. Dolny słupek s_u ma u dołu skrzydełko f, f , zanurzone w walcowatym naczyniu z wodą, użytym do hamowania wahnięć m , na podobieństwo urządzenia, zastosowanego w przyrządzie, służącym do dowiedzenia prawa Coulomb'a (fig. 90, str. 128). A zatem prąd wchodzi do przyrządu przez końcówkę K_1 , idzie po cieniutkim i bardzo luźnym platynowym druciku do jednego końca m , a potem przez m , s_o i pt , oraz druty łączące, dochodzi do jednego końca moltiplikatora M, którego drugi koniec połączony jest z końcówką K_2 . Przez nadanie pustej wewnętrznej przestrzeni M i cewce m formy kulistej Frölich osiąga w tej formie przyrządu

wyższą czułość niż w danej formie Webera, w której zarówno pusta przestrzeń M jak cewka m były poprostu cylindryczne.

Elektrodynamometr Siemensa i Halskiego do prądów mocnych.
W praktyce do mierzenia potężnych prądów, zmiennych lub stałych, używany bywa przyrząd, specjalnie do tego celu zbudowany przez firmę Siemens i Halske, podany przez nas na fig.

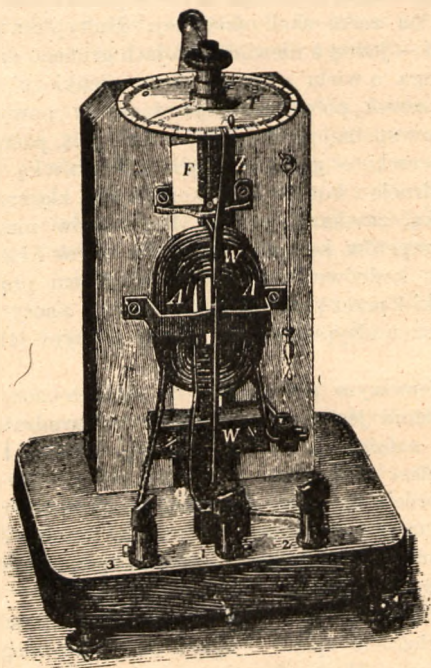


Fig. 172. Elektrodynamometr do prądów mocnych.

172. W przyrządzie tym cewka ruchoma składa się z jednego tylko zwoju prostokątnego WW z mocnego drutu miedzianego,

który wisi tu zupełnie tak samo jak magnes dzwonkowy w galvanometrze skrećen tejże formy; końce drutu amalgamowane spoczywają w dwóch miseczkach z rtęcią, położonych jedna nad drugą na osi przyrządu. Przez pokrećenie cienkiej sprężyny spiralnej F i tutaj doprowadzamy zawsze pałak WW do stanu równowagi, co następuje w chwili gdy jego płaszczyzna staje prostopadle do płaszczyzny moltiplikatora A; położenie to daje wskazówka Z, związana mocno z pałakiem WW, w chwili gdy staje na zerze skali dzielonej. Moltiplikator A zawiera dwie cewki — jedną o niewielu zwojach grubego drutu miedzianego i drugą o wielu zwojach drutu cienkiego izolowanego. Końce obu cewek, położone z prawej strony powyższej figury, wchodzą do wspólnej górnej miseczki z rtęcią, podczas gdy drugi koniec cewki o grubym drucie z końcówką 3, cewki zaś o cienkim drucie z końcówką 2; końcówka 1 złączona jest z dolną miseczką, zawierającą rtęć. Dla prądów mniej więcej od 5 do 15 amperów korzysta się z końcówek 1 i 2, od 15 do 50 amperów z końcówek 1, 3. Tym sposobem prąd przebiega od końcówki 1 przez pałak WW do górnego naczynka z rtęcią a ztąd przez moltiplikatory o drucie grubym lub cienkim do 3 lub 2.

W pierwszym przyrządzie do małych odchylen styczna kąta odchylenia jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu czyli *natężenie prądu jest proporcjonalne do $\sqrt{\tan \varphi}$, skoro φ jest kątem odchylenia*. W drugim przyrządzie kąt, o który potrzeba obrócić sprężynę spiralną, ażeby nanowo przywrócić mm do stanu początkowego, jest proporcjonalny do kwadratu natężenia prądu, czyli *natężenie prądu jest proporcjonalne do $|\varphi|$, jeżeli φ jest kątem skrećen*.

UWAGA. W razie prądów jednokierunkowych, należy jeszcze uwzględnić wpływ magnetyzmu ziemskiego na cewkę ruchomą. W drugim przyrządzie ów czynnik traci znaczenie, skoro płaszczyznę pałaka ruchomego ustawimy prostopadle do południka magnetycznego. W razie prądów zmiennych wpływ magnetyzmu ziemskiego zawsze równa się zeru.

Pytania do wykładu XVI.

1. Co znaczy wyraz „elektrodynamika”? Kto pierwszy i kiedy zbadał działania prądów na siebie?

2. Powiedz pierwsze prawo Ampère'a. Naszkicuj przekrój ulepszonej formy stolika Ampère'a i opowiedz, jak jej użyjesz, aby dowieść, że prądy równoległe, biegnące w tym samym kierunku, przyciągają się, zaś biegnące w kierunku przeciwnym, odpychają się.

3. Długa spiralna ze sztywnego drutu miedzianego wisi pionowo na statywie tak, że jej dolny koniec nurza się wprost w miseczce z rtęcią. Przez spiralną przesyłamy potężny prąd; co wtedy nastąpi i dlaczego? Wykonaj szkic całkowity.

4. Czy działanie, które opisałeś w odpowiedzi na pytanie 3, będzie trwało samoistnie przez cały czas, gdy prąd przebiega po obwodzie? Jakie byłoby następstwo odwrócenia prądu w spiralnej? Coby nastąpiło, gdybyśmy wprowadzili do wnętrza spiralnej od spodu, w kierunku osi sztabę żelazną? Zrób szkic całkowity.

5. Powiedz drugie prawo Ampère'a. Naszkicuj i opisz wiadome ci formy przyrządów, zapomocą których mógłbyś prawo to dobrze udowodnić.

6. Powiedz, w jaki sposób przez proste zastosowanie „prawidła prawej ręki” mógłbyś uniknąć zapamiętania prawidła Ampère'a, oraz wytłumacz i wskaż, w jakich kierunkach zachodzić musi przyciąganie lub odpychanie pomiędzy drutami, przewodzącymi prąd, jakkolwiek będą położone względem siebie i w jakimkolwiek kierunku przebiegać będą prądy po nich.

7. Cewka z drutu, obracająca się swobodnie naokoło osi pionowej, wisi wewnątrz cewki nieruchomej. Przez obie cewki przepuszczono prąd; jak będzie się obracać cewka wewnętrzna i dlaczego? Wykonaj szkic.

8. Jak się używa elektrodynamometru Webera-Frölicha do mierzenia prądów elektrycznych? Według jakiego prawa w przyrządzie tym natężenie prądu wiąże się z kątem odchylenia?

9. Opisz urządzenie i sposób działania elektrodynamometru Siemens'a i Halskego do prądów mocnych. Jak się używa tego przyrządu do oznaczania natężeń prądów?

WYKŁAD XVIII.

Treść. Prawo Biot-Savart'a. — Natężenie pola magnetycznego w punkcie środkowym prądu kołowego. — Absolutna i praktyczna jednostka elektromagnetyczna natężenia prądu elektrycznego oraz absolutne mierzenie natężenia prądu. — Natężenie pola magnetycznego prądu kołowego w punkcie położonym na jego osi, po za obrębem punktu środkowego. — Natężenie pola magnetycznego w pobliżu przewodników prostolinijnych. — Natężenie pola magnetycznego w punkcie położonym na osi solenoidu. — Obliczenie magnetyzmu, wzbudzonego przez solenoid w masach żelaza i stali. — Pewna metoda określenia \mathfrak{B} , J , μ i k . — Obliczenie natężenia prądu magnetycznego w elektromagnesach i dynamomaszynach. — Siły, działające pomiędzy prądami elektrycznymi a magnesami i pomiędzy samymi prądami elektrycznymi. — Pytania.

Prawo Biot-Savart'a. Zjawiska elektromagnetyczne, czyli działania, wywierane przez przewodniki prądu na magnesy i ciała namagnesowane, dają się sprowadzić do prostego, zasadniczego prawa, ustalonego (r. 1820) przez pp. Biot i Savarta, które to prawo wyrażamy w sposób następujący.

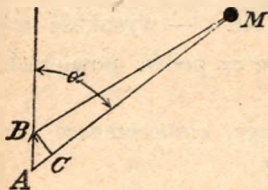


Fig. 173.

Niechaj \overline{AB} będzie (fig. 173) małym kawałkiem albo elementem drutu przewodzącego prąd, zresztą kształtu dowolnego; niechaj i będzie natężenie prądu po nim płynącego. Niechaj M będzie biegunem magnetycznym, którego natężenie, wyrażone w jednostkach poprzednio określonych ($\text{cm}^{3/2} \text{g}^{1/2} \text{s}^{-1} \text{cm}$ będzie \mathfrak{M}).

Kąt MAB oznaczamy przez α i \overline{AM} przyrównujemy do r , $\overline{AM} = r$. Wtenczas \overline{AB} wywiera na M siłę prostopadłą do płaszczyzny trójkąta MAB , której kierunek daje się znaleźć zapomocą prawidła prawej ręki, wielkość zaś jest proporcjonalną do wartości $\frac{\mathfrak{M} i \cdot \overline{AB} \sin \alpha}{r^2}$.

Obrawszy dla natężenia prądu stosowną jednostkę, możemy założyć $k = \frac{\mathfrak{M} i \cdot \overline{AB} \sin \alpha}{r^2}$; z tego wynika, że możemy, według definicyj wykładu IX, również powiedzieć:

Prąd \overline{AB} wytwarza pole magnetyczne, którego natężenie w punkcie M posiada wartość

$$\mathfrak{H} = \frac{i \cdot \overline{AB} \sin \alpha}{r^2}.$$

Jeżeli z B do \overline{AM} poprowadzimy prostopadłą \overline{BC} , wówczas otrzymamy: $\overline{BC} = \overline{AB} \sin \alpha$ — wysokość trójkąta MAB ; wedle tego $r \cdot \overline{AB} \sin \alpha =$ podw. powierzchni tego trójkąta, czyli

Natężenie pola magnetycznego, utworzonego przez \overline{AB} , posiada w punkcie M wartość

$$\mathfrak{H} = \frac{2 i f}{r^3},$$

gdzie f jest powierzchnią trójkąta, którego podstawą jest prąd \overline{AB} , wierzchołkiem punkt M .

Natężenie pola magnetycznego w punkcie środkowym prądu kołowego. W wypadku tym możemy sobie wystawić całkowity obwód prądu jako złożony z bardzo małych ka-

wałków prostoliniowych \overline{AB} (fig. 172), których działanie pojedyncze obliczamy na podstawie prawa Biot-Savart'a, a potem dodajemy. Jeśli R jest promień koła, tedy dla wszystkich prądów elementarnych $\overline{AB} : r = R$, a zatem otrzymujemy

$$\mathfrak{H} = \frac{2i}{R^3} \Sigma f.$$

Jednakże $\Sigma f = \pi R^2$ t. j. równa się powierzchni koła. Znajdujemy przeto dla punktu środkowego prądu kołowego:

Natężenie pola magnetycznego, wytworzonego w punkcie środkowym koła przez prąd kołowy o promieniu R , równa się

$$\mathfrak{H} = \frac{2\pi i}{R}.$$

Jeżeli, zamiast pojedynczego zwoju, będziemy ich mieli n , tworzących cewkę, której długość i grubość są małe w porównaniu ze średnicą przeciętną, w takim razie natężenie pola w środkowym punkcie tej cewki będzie

$$\mathfrak{H} = \frac{2\pi n i}{R},$$

gdzie za R należy wziąć średnią średnicę zwojów.

Absolutna i praktyczna jednostka elektromagnetyczna natężenia prądu elektrycznego, oraz absolutne mierzenie natężeń prądu.

Powiadamy, iż prąd posiada natężenie 1 w mie-

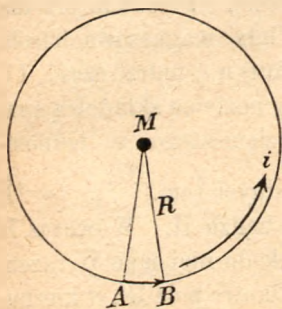


Fig. 174.

rze absolutnej, elektromagnetycznej, jeżeli przebiegając po kole o promieniu 1 cm, wytwarza w jego punkcie środkowym natężenie pola $\mathfrak{H} = 2\pi$ czyli tę wartość \mathfrak{H} , która wynika z wzoru powyższego, jeżeli jednocześnie założymy w nim $i = 1$ i $R = 1$.

W praktyce elektrotechnicznej praktyczną jednostką prądu elektrycznego jest 10^9 część jednostki absolutnej, która się zowie 1 amperem = 1 a.

Ponieważ wym. $i = \text{wym. } R \times \text{wym. } \mathfrak{H}$, przeto wym. i jest $\text{cm. cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} = \text{cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$.

Wedle tego absolutną jednostką jest $\text{cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$, czyli

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

Chcąc wymierzyć prąd w jednostkach absolutnych, przesyłamy go przez busolę stycznych o znacznym promieniu R (jeśli ta ostatnia ma więcej niż 1 zwój, w takim razie za R należy brać średnią wartość). Przedtem już dla miejsca, w którym znajduje się igła magnesowa busoli,

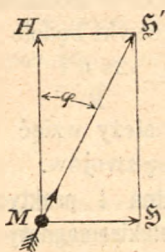


Fig. 175.

metodą Gauss'a (patrz część I), określiliśmy poziomą składową magnetyzmu ziemskiego w jednostkach absolutnych ($\text{cm.}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$); niechaj nią będzie H . Wówczas H i prostopadłe do niej pole \mathfrak{H} razem dają wypadkowe pole \mathfrak{H}' , w kierunku którego zwraca się oś magnetyczna igły busoli, przytem (patrz fig. 175) $\frac{\mathfrak{H}}{H} = \text{tang } \varphi$.

Gdy weźmiemy tutaj za H jego wartość powyższą, tedy otrzymujemy

$$\frac{2\pi \frac{i}{R}}{H} = \text{tang } \varphi$$

a ztąd $i = \frac{HR}{2\pi} \text{ tang } \varphi$. Przypuszczamy przytem, że odległość igły wobec promienia R jest mała; tymczasem błąd dla dowolnych kątów odchyień φ mniejszy jest od 1%, jeśli $l < \frac{1}{6} R$.

Ponieważ dla jednej i tej samej miejscowości i tego samego przyrządu wartość $\frac{HR}{2\pi}$ można uważać jako stałą (jeśli pominiemy chwilowe zmiany H), otrzymamy również

$$i = c \text{ tang } \varphi$$

t. j. stosunek przytoczony i zastosowany na str. 208—210, c jest t. zw. *spółczynnik zamiany (redukcji)** w busoli stycznych. *Oznacza on zatem w mierze absolutnej owo natężenie prądu, dla którego tang $\varphi = 1$ czyli $\varphi = 45^\circ$.*

By znaleźć i w amperach, prawą stronę należy jeszcze pomnożyć przez 10, a wtedy będziemy mieli

$$i = \frac{10 \cdot HR}{2\pi} \text{ tang } \varphi = 1,592 HR \text{ tang } \varphi \text{ amperów.}$$

Przykład: W busoli stycznych $R = 14,06$ cm; oprócz tego $H = 0,195 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$. Znaleziono dalej $\varphi = 50^\circ 16'$.

* Niekiedy zowią go także *stałą galwanometru stycznych*. (Uwaga tł.).

Jak wielkiem jest i w amperach?

$$i = 1,592 \cdot 0,195 \cdot 14,06 \cdot 1,2031 = 5,252 \text{ a.}$$

Spółczynnik redukcji (w amperach) wyraża się

$$c = 1,592 \cdot 0,195 \cdot 14,06 = 4,365 \text{ a.}$$

Natężenie magnetycznego pola prądu kołowego w punkcie położonym na jego osi nazewnątrz punktu środkowego. Dajmy na to, że punkt M leży na prostopadłej, wystawionej ze środka C prądu kołowego do jego płaszczyzny czyli na t . zw. jego osi.

Założmy $\overline{MA} = r$; wtedy pole, wytworzone w M przez element \overline{AB} prądu kołowego, $\overline{MH} \perp \overline{MAB}$. Roskładamy je na składową \overline{MH}_2 , równoległą

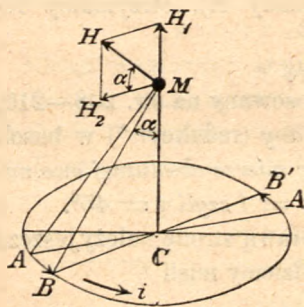


Fig. 176.

do płaszczyzny koła i na \overline{MH}_1 leżącą na przedłużeniu \overline{CM} . Dla całego koła wartości \overline{MH}_2 w sumie dają zero, ponieważ każdy element \overline{AB} zawsze znajduje diametralnie sobie przeciwny element $\overline{A'B'}$ o wartości równej i odwrotnej. Ale składniki \overline{MH}_1 dodają się i, ponieważ $\overline{MH}_1 = \overline{MH} \sin \alpha$, w sumie dają natężenie pola

$$\mathfrak{H} = \Sigma \overline{MH}_1 = 2 i \Sigma \frac{\overline{MAB}}{r^3} \sin \alpha.$$

Stosując zaś pewne prawo stereometrii, podług którego $\overline{MAB} \sin \alpha = \overline{CAB}$, otrzymujemy

$$\mathfrak{H} = \frac{2i}{r^3} \Sigma \text{CAB} = \frac{2i}{r^3} \pi R^2,$$

jeżeli R jest promień koła. Ponieważ dalej $\frac{R}{r} = \sin \alpha$,

przeto możemy również napisać

$$\mathfrak{H} = \frac{2\pi i}{R} \sin^3 \alpha.$$

α jest tym kątem, pod którym widzimy średnicę R koła z punktu M. Im dalej leży punkt M od środkowego punktu C koła, tem mniejszym jest α , a przez to $\sin \alpha$, zarazem tem słabszem jest pole.

Praktyczne zastosowanie fakt ten znalazł w mianowanym galwanometrze stycznych Sir Williama Thomsona (patrz str. 222).

Jeśli mamy cewkę o n zwojach, której długość i grubość są małe wobec średnicy, otrzymamy nanowo

$$\mathfrak{H} = \frac{2n\pi i}{R} \sin^3 \alpha.$$

Nareszcie, jeśli i wyrażone jest w amperach, prawą stronę wzoru należy jeszcze podzielić przez 10.

Natężenie pola magnetycznego w pobliżu przewodników prostolinijnych. Skoro tylko r nie jest stałe, jak w wypadkach świeżo rozważonych, obliczenie natężenia pola podług prawa Biot-Savart'a wymaga rachunku całkowego. Ażeby wyjaśnić dawniej omówione zjawiska, wprowadzimy jeszcze natężenie pola w następujących wypadkach przewodników prostolinijnych.

1. Niechaj drut \overline{AB} przewodzący prąd posiada długość l; punkt M leży wtedy na prostopadłej, wystawionej

do \overline{AB} w początkowym punkcie A i w odległości $AM = r$.
W takim razie

$$\mathfrak{H} = \frac{i}{r} \sin \alpha.$$

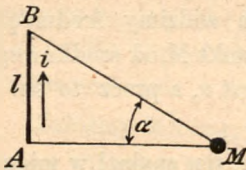


Fig. 177.

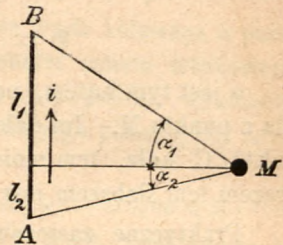


Fig. 178.

Gdy r jest małe i l bardzo duże, tedy $\alpha \approx 90^\circ$ a zatem $\sin \alpha = 1$

$$\mathfrak{H} = \frac{i}{r}.$$

2. Niechaj punkt M leży znowuż w odległości r od l . Teraz prostopadła \overline{CM} dzieli l na dwie części l_1 i l_2 (fig. 178). W takim razie

$$\mathfrak{H} = \frac{i}{r} (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2).$$

W wypadku szczególnym, gdy punkt leży w środku $\overline{AC} = l$, wówczas

$$\mathfrak{H} = \frac{2i}{r} \sin \alpha.$$

Jeżeli l jest bardzo wielkie wobec r , tedy $\sin \alpha = 1$ i $\mathfrak{H} = \frac{2i}{r}$. Gdy M leży pośrodku między dwoma bardzo

długimi prostymi przewodnikami, w których prąd przebiega w kierunkach odwrotnych, jak na fig. 121, str. 204, natenczas $\mathfrak{H} = \frac{4 i}{r}$. Wynika ztąd tudzież z tego, co znaleźliśmy wyżej dla prądu kołowego, że stosunek, ustalony pomiędzy natężeniami pól, jest słuszny.

3. Dalej otrzymujemy z łatwością natężenie pola w punkcie środkowym przewodnika prądu, zgiętego w prostokąt, którego boki posiadają długości $2a$ i $2b$. A mianowicie

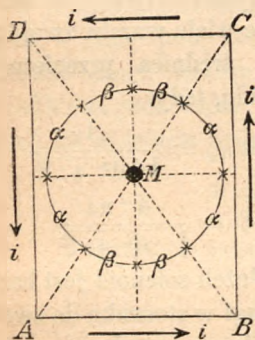


Fig. 179.

$$\mathfrak{H} = 2 \left(\frac{2 i}{b} \sin \alpha + \frac{2 i}{a} \sin \beta \right) =$$

$$4 i \left(\frac{1}{b} \cdot \frac{a}{d} + \frac{1}{a} \cdot \frac{b}{d} \right),$$
 jeżeli $2d$ oznacza przekątną prostokątu. Wynika ztąd

$$\mathfrak{H} = 4 i \frac{a^2 + b^2}{abd}$$

albo, ponieważ $a^2 + b^2 = d^2$,

$$\mathfrak{H} = \frac{4 i d}{a b}.$$

Jeśli i dane jest w amperach, wtedy prawą stronę należy zawsze podzielić przez 10.

Natężenie pola magnetycznego w punkcie położonym na osi solenoidu. Jeśli solenoid posiada jedną tylko warstwę zwojów n oraz długość l , w takim razie

$$\mathfrak{H} = \frac{2 \pi n i}{l} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2),$$

gdzie φ_1, φ_2 są kątami, pod którymi widzimy z M promień zwoju górnego i dolnego (patrz fig. 180).

Dla środkowego punktu solenoidu z powodu, że wtedy $\varphi_1 = \varphi_0$ i $\varphi_2 = 180^\circ - \varphi_0$, wyrażenie to przechodzi w

$$\mathfrak{H} = \frac{4 \pi n i}{l} \cdot \cos \varphi_0,$$

gdzie φ_0 jest kątem, pod którym widzimy promień końców solenoidu z punktu środkowego.

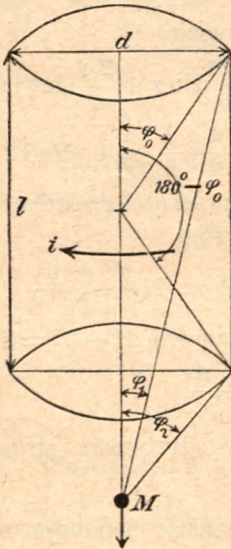


Fig. 180.

Jeżeli d jest średnicą (wrazie wielu warstw zwojów jest to średnica przeciętna) solenoidu, tedy

$$\cos \varphi_0 = \frac{d}{\sqrt{d^2 + l^2}}$$

$$\mathfrak{H} = \frac{4 \pi n i}{\sqrt{d^2 + l^2}}$$

Jeżeli solenoid jest bardzo długi w stosunku do swojej średnicy, wtedy φ_0 staje się bardzo bliskiem zera; możemy więc przyjąć $\cos \varphi_0 = 1$ i dla środka bardzo wydłużonego solenoidu o długości l będziemy mieli

$$\mathfrak{H} = \frac{4 \pi n i}{l}.$$

I tutaj również wypada prawą stronę podzielić przez 10, jeśli i ma być wyrażone w amperach.

Obliczenie magnetyzmu wzbudzonego przez solenoid w masach żelaza i stali. Jeśli do środka bardzo długiego solenoidu wprowadzimy kawałek cylindryczny lub pryzmatyczny żelaza lub stali o długości L i przekroju Q , tedy indukcya magnetyczna w tym żelazie będzie

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{H}\mu = \frac{4\pi ni}{l} \mu$$

jeśli μ posiada to samo znaczenie co na str. 148; a m . oznacza *przenikalność* żelaza przy natężeniu pola \mathfrak{H} . Ponieważ, w razie powyższego założenia, że solenoid ma być bardzo długi, możemy uważać pole w sąsiedztwie jego środka za jednorodne, przeto pole całkowite albo przepływ linii sił w żelazie będzie

$$\Phi = \mathfrak{B} Q = \frac{4\pi ni}{l} Q \mu.$$

Poprzednio oznaczyliśmy (str. 152) wielkość

$$w = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{L}{Q}$$

jako *opór magnetyczny* materiału i

$$F = \mathfrak{H} L = \frac{4\pi ni}{l} L$$

jako *siłę magnetomotoryczną* albo *różnicę potencjału magnetycznego* pomiędzy końcówkami sztaby. Możemy więc użyć teraz stosunku, który tam został ustalony, i napisać

$$\Phi = \frac{F}{w} = \frac{4\pi ni}{l} \cdot \frac{L}{w};$$

przytem prawą stronę należy jeszcze podzielić przez 10 skoro i podane jest w amperach.

Sztaba przemienia się w magnes, którego całkowite natężenie biegunów wyraża się jak poprzednio

$$\mathfrak{M} = \frac{\mathfrak{B} Q}{4\pi} = \frac{\Phi}{4\pi}.$$

\mathfrak{M} składa się z dwóch części \mathfrak{M}_1 i \mathfrak{M}_2 , z których \mathfrak{M}_1 powstało z linii sił istniejącego pola \mathfrak{H} i posiada wartość

$$\mathfrak{M}_1 = \frac{\mathfrak{H} Q}{4\pi},$$

\mathfrak{M}_2 powstało z linii sił, wytworzonych w samym żelazie i posiada wartość

$$\mathfrak{M}_2 = \frac{(\mathfrak{B} - \mathfrak{H}) Q}{4\pi} = \frac{\Phi - \mathfrak{H} Q}{4\pi} = J Q$$

jeśli wprowadzimy magnesowanie właściwe żelaza J , określone na str. 148.

Ponieważ za odległość biegunów, gdy długość L żelaza jest znaczną wobec wymiarów przekroju, możemy przyjąć $0,83 L$, przeto całkowity moment $= 0,83 \mathfrak{M}L$, moment zaś magnetyzmu powstałego w samym żelazie $= 0,83 \mathfrak{M}_2 L = 0,83 JQL$.

Przykład. Solenoid 30 cm długi składa się z 3 warstw złożonych razem z 270 zwojów. Przeciętna średnica wynosi 6 cm. Przez solenoid przebiega prąd 15 amperów.
 a) Jak wielkiem jest natężenie pola w środku solenoidu?
 b) Do środka solenoidu wprowadzamy sztabę żelazną 8 cm długą i o przekroju $0,5 \text{ cm}^2$. Jak wielkiem jest dla niej Φ , \mathfrak{M}_1 , \mathfrak{M}_2 a dalej całkowity moment i moment magnetyzmu powstałego w żelazie?

$$\text{a) } \mathfrak{H} = \frac{4\pi}{10} \cdot \frac{270 \cdot 15}{30} = 169,6 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

b) Wiemy, iż dla żelaza kutego $\mathfrak{H} = 100$, $\mu = 166$ i dla $\mathfrak{H} = 200$, $\mu = 89$.

Przypuśćmy, że spadek μ jest w tych granicach jednostajny, w takim razie będziemy mogli założyć dla $\mathfrak{H} = 169,6$:

$$\mu = 166 - \frac{166 - 89}{100} \cdot 69,6 = 112,4.$$

Wynika ztąd

$$w = \frac{8}{112,4 \cdot 0,5} = 0,142 \text{ cm}^{-1}.$$

A ponieważ

$$F = 169,6 \cdot 8 = 1356,8 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1},$$

przeto

$$\Phi = \frac{1356,8}{0,142} = 9555 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

$$\mathfrak{M} = \frac{9555}{4\pi} = 760 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

A potem

$$\mathfrak{M}_2 = \frac{9555 - 169,6 \cdot 0,5}{4\pi} = 753 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Nareszcie otrzymujemy

$$\text{Moment całkowity} = 760 \cdot 8 \cdot 0,83 = 5046 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

oraz

$$\text{Moment } \mathfrak{M}_2 = 753 \cdot 8 \cdot 0,83 = 5000 \text{ cm}^{5/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

UWAGA. Gdy solenoid nie jest tak długi, że jego średnica jest znikomą wobec długości, wówczas pole w środku nie jest jednorodnym. Wtedy nie możemy poprostu przyrównać $F = \mathfrak{H} L$, ale musimy wystawić sobie, że L zostało rozło-

żone na bardzo małe części d L , poczem utworzyć sumę ich albo całkę $\int \mathfrak{H} d L$ (patrz uwagę na str. 153). Musimy przytem zawsze założyć $\mathfrak{H} = \frac{2 \pi n i}{l} (\cos \varphi_1 - \varphi_2)$ (str. 307). Skoro obliczymy tę sumę na mocy prawideł rachunku całkowego, otrzymamy dla F wartość ściślejszą:

$$F = 2 \pi n i \left(\sqrt{\left(1 + \frac{L}{l}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{L}{l}\right)^2 + \left(\frac{d}{l}\right)^2} \right).$$

(Daje to zresztą, gdy przyjmiemy $\frac{d}{l} = 0$, znowu wartość przybliżoną, już przez nas używaną $F = \frac{4 \pi n i}{l} L$).

W powyższym przykładzie mielibyśmy podług formuły dokładniejszej.

$$F = \frac{2 \pi}{10} \cdot 270 \cdot 15 \left(\sqrt{(1,2667)^2 + (0,2)^2} - \sqrt{(0,7333)^2 + (0,2)^2} \right)$$

$$= 2544,7 (1,2824 - 0,7601) = 1329,1 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1} \text{ czyli}$$

mniej blisko o 20/0.

Metoda określenia \mathfrak{H} , J , μ i k . — Jeśli kawałek żelaza, znajdujący się we wnętrzu cewy magnesującej, wprawimy w słabe wahanie naokoło jego stanu równowagi, tak, że jego oś jest równoległą do linii sił pola i oznaczymy czas wahnięć, wtedy, ponieważ oprócz natężenia pola \mathfrak{H} znamy i moment bezwładności B sztaby, możemy oznaczyć dokładnie wielkość $\mathfrak{M}_2 L$ na zasadzie formuły, przytoczonej na str. 140:

$$t = 2 \pi \sqrt{\frac{B}{0,83 \mathfrak{M}_2 L \mathfrak{H}}}$$

Ztąd znajdujemy \mathfrak{M}_2 i wtedy

$$J = \frac{\mathfrak{M}_2}{Q} i \mathfrak{B} = \mathfrak{H} + 4\pi J,$$

skąd ostatecznie

$$k = \frac{J}{\mathfrak{H}} i \mu = \frac{\mathfrak{B}}{\mathfrak{H}}.$$

Zamiast \mathfrak{H} możnaby przyjąć dokładniejszą wartość przeciętną, równą $\frac{F}{L}$, gdzie F jest ściślejszą wartością siły magnetomotorycznej, jaką nadmieniliśmy w „uwadze” powyższej*).

*) Do badania i mierzenia hysterezy, o której nadmieniliśmy dawniej w części I, nie należy brać sztab krótkich. Bo jeśli postaramy się o to, by pole solenoidu \mathfrak{H} znikło, wtedy linie sił, pochodzące od J i zamykające się w bezpośrednim sąsiedztwie sztaby, w pewnej chwili utworzą pole przeciwne początkowym liniom siły \mathfrak{H} , pod wpływem którego szybko i niemal zupełnie zaniknie magnetyzm w żelazie. Z tego powodu hystereza ta (albo magnetyzm pozostały) zjawia się w małym stopniu w elektromagnesach krótkich, nie zamkniętych przez kotwicę, za to znacznie się wzmaga w sztabach dłuższych, w których owo przeciwdziałanie pola sztaby w częściach środkowych sztaby jest tylko małe. W najwyższym stopniu uwydatnia się ona w zamkniętych masach żelaza, zwłaszcza kształtu kołowego, i wtenczas nawet dla najmniejszego żelaza kutego, jak to poprzednio widzieliśmy, posiada wartości bardzo znaczne, gdyż dla formy pierścieniowej pole wewnętrzne znika całkowicie. Dlatego to powinniśmy stosować tę formę, jeśli chcemy badać hysterezę. Metodę do tego celu przydatną poznamy później przy „indukcyi.”

Obliczenie natężenia prądu magnetycznego w elektromagnesach i dynamoszybach. Ażeby obliczenie siły magnetomotorycznej nie nasuwało trudności zbyt wielkich, które mogłyby nawet w pewnych razach uniemożliwić rachunek, sztuka żelaza musi posiadać formę odpowiednią. Tak naprz. trudności potęgują się, jeśli przekrój masy żelaznej w porównaniu z przekrojem solenoidu nie jest tak mały, iż wartość \mathfrak{H} uważać możemy w całym przekroju żelaza, podobnie jak w punkcie na osi solenoidu, za jednakową. Oprócz tego kształty mas żelaza (zwłaszcza w dynamoszybach) po największej części są tak złożone, iż obliczenie F nie daje się już przeprowadzić. Tylko w tym wypadku, gdy całkowita siła magnetomotoryczna ma być obliczona dla linii *zamkniętej*, zresztą dowolnie ukształtowanej, możemy to wykonać z zupełną dokładnością i łatwością, podług pewnego, bardzo ogólnego prawa, głoszącego:

Jeśli utworzoną zostanie suma $\sum \mathfrak{H} dL$ dla wszystkich elementów dL krzywej zamkniętej, to albo posiada ona wartość zera, gdy przez płaszczyznę krzywej żaden prąd elektryczny nie przebiega, albo wartość $4\pi i$, gdy prąd o natężeniu i przecina raz jeden tę powierzchnię.

Jeśli zastosujemy je do solenoidu o liczbie n zwojów i prądzie i , wówczas dla każdej linii zamkniętej, która jak na fig. 181, str. 315, przebiega przez wnętrze solenoidu i powraca nazewnątrz jego, F posiada wartość $4\pi n i$, albo jeśli i dane jest w amperach, wartość $\frac{4\pi}{10} n i$. Przytem zwoje solenoidu mogą być dowolnie ukształtowane i wzdłuż krzywej dowolnie podzielone, jeśli tylko prąd w każdym

zwoju przebiega w taki sposób, iż każdy z nich w stosunku do krzywej wytwarza jednakową biegunowość magnetyczną. W pojedynczych częściach zwojów mogą też prze-

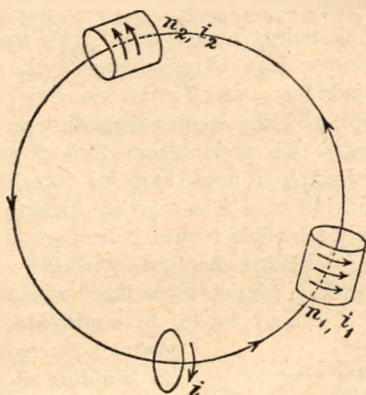


Fig. 181.

biegać prądy rozmaitej mocy i rozmaitego kierunku. W ogólności F posiada wtedy wartość

$$F = 4\pi \Sigma ni$$

albo dla i w amperach

$$F = \frac{4\pi}{10} \Sigma ni.$$

Suma to algebraiczna, czyli te jej składniki, dla których biegunowość magnetyczna byłaby odwrotną, należy opatrzyć znakiem odjemnym. Suma powyższa nazywa się, skoro i dane jest w amperach, całkowitą liczbą amperzwojów solenoidu. Możemy więc również powiedzieć:

Całkowita siła magnetomotoryczna jednego lub kilku solenoidów stanowi $\frac{4\pi}{10}$ albo 1,257 całkowitej sumy (w znaczeniu algebraicznym) istniejących amperzwojów.

Ażeby teraz dla jakiegokolwiek masy żelaza znaleźć „prąd magnetyczny” Φ , należy jeszcze znać „opór magnetyczny” w . Jednakże dokładne jego określenie jest tylko wtedy możliwe, gdy żelazo posiada formę pierścienia wszędzie jednakowo grubego i okrągłego, na który zwoje solenoidu wprost się nawijają. W tym razie wszystkie wytworzone linie sił przebiegają w samym żelazie. Jedyłą trudność stanowi to tylko, że przenikalność μ zależy od indukcji \mathcal{B} w żelazie. Zresztą dopiero co wymienionej formy solenoidu i jądra żelaznego używają zawsze, gdy chcą podjąć dokładne określenia wielkości μ i k .

We wszystkich innych wypadkach wartość „ w ” nie daje się ściśle określić a to z powodu, że naprzykład w dynamomaszynach pomiędzy masami żelaza znajdują się przestrzenie powietrzne, których przekrój i długość dają się oznaczyć tylko w przybliżeniu, a nadto rozmaite części mas żelaza złożone są z rozmaitych materiałów i posiadają rozmaite przekroje; ztąd wartości \mathcal{B} , a tem samem μ , możemy przyjmować za rozmaicie wielkie, jednakże prawdziwych wartości μ a priori nie możemy dokładnie określić; bo wszakże pewna część linii sił zamyka się również w przestrzeni zewnętrznej, powietrznej. Ta ostatnia, nie przechodząca przez zbroję część linii sił uwzględniana bywa, pod nazwą *linij sił rozproszonych*, w tem, iż na drodze doświad-

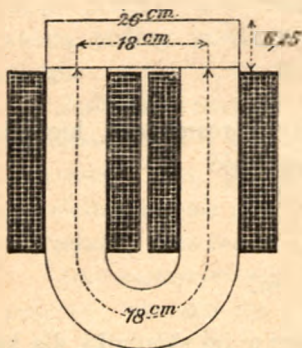


Fig. 182.

czalnej oznaczamy, jaki ułamek wszystkich wytworzonych linii sił stanowią owe *linie rosproszone*.

Przykład 1. Magnes z kutego żelaza w kształcie podkowy składa się z okrągłej sztaby żelaznej 78 cm długiej, o przekroju 50 cm² (średnica 8 cm); zamyka się on zapomocą kotwicy 26 cm długiej o jednakowym przekroju (8 × 6,25 cm) (patrz fig. 182). Obie cewki razem zawierają 790 zwojów, po których przebiega prąd 10 amp. Jak wielkiem jest Φ ?

Zgodnie z tem co mieliśmy

$$F = \frac{4\pi}{10} \cdot 790,10 = 9930 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$$

$$\text{Dalej } w = \frac{1}{\mu} \left(\frac{78}{50} + \frac{24}{50} = \frac{1}{\mu} \right) \cdot 2,04.$$

Tym sposobem

$$\Phi = \frac{9930}{\frac{1}{\mu} \cdot 2,04} = 4868 \mu \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

μ jest nam przedewszystkiem zupełnie nieznanem i zależy od również nieznaney wielkości $\mathfrak{B} = \frac{\Phi}{Q}$. Wobec tego dopiąć celu możemy jedynie na drodze przybliżonej, biorąc za μ wielkości dowolne, obliczając dla nich Φ i \mathfrak{B} i prowadząc rzecz dopóty, aż wartość μ przyjęta i ztąd obliczona \mathfrak{B} zgodzą się z tem i, jakie otrzymujemy z tabelki podanej na str. 149. Znajdujemy więc:

μ przyjęte	$\mathfrak{B} = \frac{\Phi}{Q} = 97,36 \mu$	μ według tablicy
100	9736	2338
200	19472	53
150	14604	1585
160	15578	830
170	16551	176
171	16648	154

Prawdziwa wartość μ według tego leży między 170 a 171. Aby ją znaleźć z dostatecznym przybliżeniem, zważmy, iż wartości 170 odpowiada różnica +6, wartości 171 różnica -17. Różnica przeto staje się zerem, skoro różnicę 1 podzielimy w stosunku 6 : 17 i mniejszą z tych części a więc $6/23 \approx 0,3$ dodamy do 170.

Tym sposobem ostatecznie dochodzimy do dokładnej wartości $\mu = 170,3$ i otrzymujemy

$$\Phi = 829000 \text{ oraz } \mathcal{B} = 16580.$$

Rozproszenie w danym wypadku jest nader małe; ale dla jądra żelaznego kształtu koła zamkniętego staje się ono dokładnie zerem. Rachunek gmatwa się jeszcze bardziej a nawet staje się całkiem niewykonalnym, gdy zwoje solenoidu nie leżą na samym żelazie, wtedy bowiem obwód magnetyczny przy jednakowym F już się nie składa wyłącznie z żelaza ale i z powietrza, dla którego $\mu = 1$. Wskutek tego w staje się większem, a tem samem Φ mniejszem. Szczególnego znaczenia nabiera ta okoliczność, jeżeli solenoid utworzony jest z jednej cewki drutu grubszego, bo wtedy część pustej przestrzeni wypełniona jest jeszcze przez ciało diamagnetyczne, drut miedziany zwojów, dla których $\mu < 1$ (str. 151). Dla powietrza $\mu = 1$ dla dowolnych wartości natężenia pola. Co do ciał diamagnetycznych, nie mamy żadnych bliższych danych o zachowaniu się μ . Dla żelaza μ zależy od \mathcal{B} . *Ztąd jednak wynika przedewszystkiem, że przy użyciu cew grubszych, obszerniejszych natężenie prądu magnetycznego, wytworzonego dla jednej i tej samej liczby amperzwojów, musi być mniejsze, niż przy użyciu cew o niewielu tylko warstwach zwojów, ale ściśle przylegających do żelaza.* Względ ten szczególnej nabiera wagi dla teorii dynamomaszyn.

Przykład 2. Dajmy, że elektromagnes w przykładzie poprzedzającym składa się z lanego żelaza. Przypuśćmy, że bieguny jego zaopatrzone są w nasady z żelaza kutego, o przekroju 48 cm^2 ($6 \times 8 \text{ cm}$), które wytwarzają między sobą przestrzeń cylindryczną (średnica cylindra 10 cm, porównaj fig. 183). Po między niemi znajduje się zbroja pierścieniowa, kuto-żelazna, o średnicy zewnętrznej 9 cm, wewnętrznej 5 cm (a zatem grubość 2 cm) przy długości 8 cm. Elektromagnes powinien wy-

tworząc w zbroi indukcję $\mathfrak{B} = 8000 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$, rozproszenie zaś przyjmujemy 8%. Jak wielką jest siła magnetometryczna F i liczba amperzwojów?

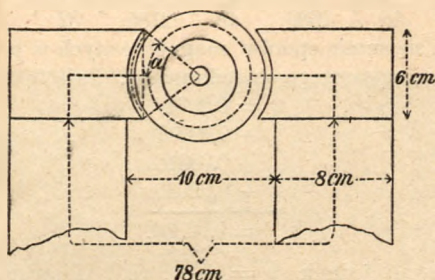


Fig. 183.

Ponieważ linie sił przebiegają przez obie połowy pierścienia równolegle, tedy prąd linii sił, przybywający z nasad biegunów do zbroi musi posiadać wartość

$$\Phi_1 = 2 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 8000 = 256000 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1};$$

a zatem, ponieważ Φ_1 wynosić ma 92% prądu całkowitego Φ w ramionach, tedy powinno być

$$\Phi = 256000 : 0,92 = 278300 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Mamy więc wartości następujące:

	Q w cm ²	L w cm ^{*)}	\mathfrak{B} w cm ^{-1/2} g ^{1/2} s ⁻¹	μ podług tablicy
Ramiona	50	78	5566	198,7
Nasady biegunów	48	2(3+4)=14	5330	1680
Przestrzeń powietrzna wewnętrzna	$\frac{1}{2} \cdot 9,5 \pi \cdot \frac{2\alpha}{180} \cdot 8 = 48,9$	$2 \cdot 0,5 = 1$		1
Zbroja	2 \cdot 2 \cdot 8	$\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7 = 11$	8000	2185

*) Rozumiemy tu przeciętne długości odpowiednich kałków, wyobrażone przez linie kropkowane na fig. 183.

$$(\sin \alpha = \frac{3}{5}, \text{ ztąd } 2 \alpha = 73^{\circ}44', \frac{2}{180} \alpha = 0,40963).$$

Zkąd wypływa

$$w = \frac{1}{198,7} \cdot \frac{78}{50} + \frac{1}{1680} \cdot \frac{14}{48} + \frac{1}{2185} \cdot \frac{11}{32} + \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{48,9},$$

bo w równa się sumie oporów magnetycznych w pojedynczych częściach magnetycznego obwodu prądu. Daje to

$$\begin{aligned} w &= 0,00785 \\ &+ 0,00017 \\ &+ 0,00016 \\ &+ 0,02045 \\ \hline &= 0,02863. \end{aligned}$$

Ponieważ jednak $\Phi = \frac{F}{w}$, tedy F wypływa z równania

$$278300 = \frac{F}{0,02863},$$

a zatem

$$F = 7968 \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}.$$

Że jednak $F = \frac{4\pi}{10}$ amperzwojów, przeto całkowita liczba amperzwojów wynosi 6340. Gdybyśmy skorzystali z tych samych cewek co w przykładzie 1, potrzebowalibyśmy natężenia prądu $\frac{6340}{790} \approx 8$ amp.

Siły działające pomiędzy prądami elektrycznymi a magnesami oraz pomiędzy samymi prądami elektrycznymi. W celu wyjaśnienia działań, jakimi zajmują się prawa Biot-Savart'a i Ampère'a, na podstawie teorii linii sił, wyjdziemy z poglądu, wypowiedzianego przez Faraday'a i przyobleczonego w szatę matematyczną przez Maxwell'a, że ośrodek, przez który przechodzą magnetyczne linie sił, znajduje się w stanie wysiłu, każda bowiem linia sił dąży do skracania się, co w kierunku linii sił wywołuje pewien po-

pęd, z drugiej zaś strony linie sił wzajemnie się odpychają, co wytwarza *pewne ciśnienie w kierunku prostopadłym do linii sił* (patrz objaśnienie odpychań magnetycznych na str. 151).

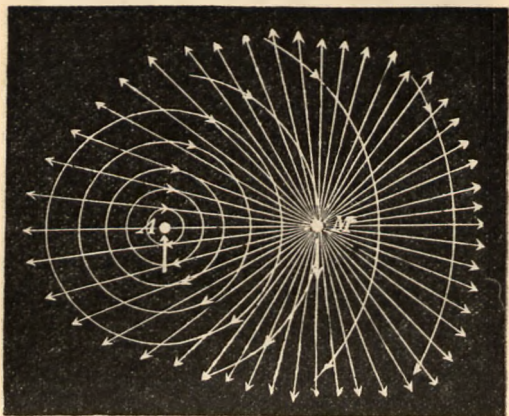


Fig. 184.

Pogląd ten wypada tylko skojarzyć z faktem, iż pola magnetyczne według prawa równoległoboku sił składają się w jedno pole wypadkowe, aby otrzymać wyjaśnienie zjawisk nas zajmujących.

1. Element prądu i biegun magnetyczny (prawo Biot-Savart'a). Niechaj w A znajduje się element prądu (fig. 184), umieszczony prostopadle do płaszczyzny rysunku, i przebiegany przez prąd od przodu do tyłu. Niechaj M będzie izolowany biegun północny. Wówczas linie sił przebiegają tak jak wskazuje figura. Otrzymujemy pole

wypadkowe, które u spodu M składa się z sumy, u góry z różnicy pola magnetycznego i pola prądu. Biegun M

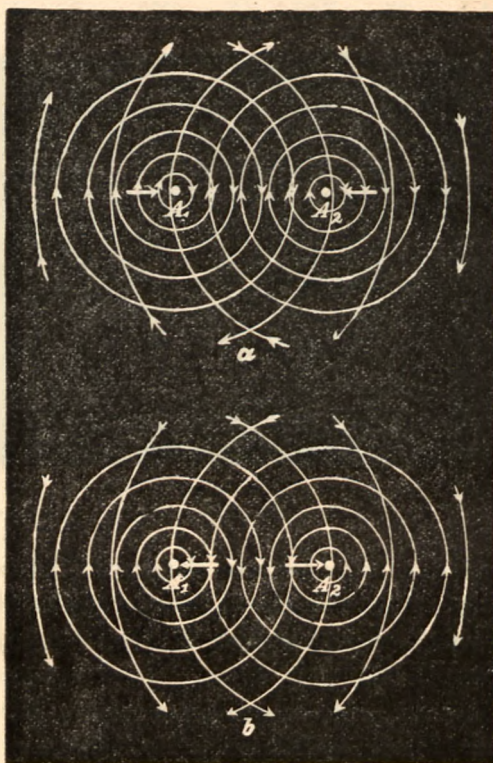


Fig. 185 a i b.

odpowiednio do tego podlega mocniejszemu popędowi ku dołowi, jak to wskazuje załączona strzałka ! .

W podobny sposób dodają się poniżej A pole prądu i pole M, podczas gdy powyżej A osłabiają się oba. Odpowiednio do gęstszych linii sił poniżej A, doznaje A nadciśnienia od dołu do góry w kierunku strzały \uparrow .

2. *Dwa równoległe elementy prądu* (Pierwsze prawo Ampère'a). a) Dla prądów jednokierunkowych pola wewnątrz A_1 i A_2 (fig. 185 a) odejmują się, natomiast na lewo nazewnątrz A_1 i naprawo nazewnątrz A_2 dodają się. Przez to powstają przeważające siły ciśnienia od zewnątrz do wnętrza, które popychają A_1 i A_2 w stronę strzał załączonych $\leftarrow \leftarrow$ ku sobie.

b) Skoro tylko prądy są przeciwne, tedy pola pomiędzy A_1 i A_2 dodają się, zaś odejmują się nazewnątrz zarówno na lewo od A_1 jak na prawo od A_2 . Wynikające ztąd nadciśnienie pędzi przewodniki A_1 i A_2 w stronę strzał $\leftarrow \rightarrow$ od siebie.

Pytania do wykładu XVIII.

1. Jakiesą rozmaite sposoby wyrażania prawa Biot-Savart'a?
2. Jak wielkiem jest podług prawa Biot-Savart'a natężenie pola w środku prądu kołowego?
3. Określ absolutną jednostkę elektromagnetyczną natężenia prądu elektrycznego i daj stosunek pomiędzy nią a jednostką praktyczną, amperem. Jakie wymiary posiada ta jednostka?
4. Jak zapomocą busoli stycznych można znaleźć natężenie prądu w amperach?
5. Co rozumiesz przez współczynnik zamiany busoli stycznych?

6. Jakie natężenie pola wytwarza prąd kołowy w dowolnym punkcie swojej osi?

7. Jaką wartość posiada natężenie pola w dowolnie położonym punkcie w pobliżu przewodnika prostoliniowego?

8. Wskaż natężenie pola w punkcie środkowym solenoidu bardzo wydłużonego w porównaniu z jego średnicą.

9. W środku solenoidu o długości bardzo znacznej w porównaniu z jego średnicą znajduje się kawałek żelaza o długości L i przekroju Q . Dane jest oprócz tego natężenie prądu w amperach. Jak zapomocą tabelki na str. 149 znajdziesz wartość indukcji \mathfrak{B} ? Jak wielkiem jest wtedy Φ , a potem jakie jest natężenie biegunów i moment magnetyczny magnetyzmu, wzbudzonego a samym żelazie przez działanie pola \mathfrak{H} ?

10. Wskaż sposób oznaczania wielkości k i u , w związku z odpowiedzią na pytanie poprzednie.

11. Jak się znajduje całkowita siła magnetomotoryczna solenoidu z liczby jego amperzwojów? Co rozumiemy przez tę ostatnią nazwę?

12. Wylicz główne trudności, które nie pozwalają dokładnie obliczyć „prądu magnetycznego” w elektromagnesach i dynamomaszynach? W jaki sposób można w pewnej mierze przewyciężyć trudności te zapomocą pewnego sposobu przybliżonego.

13. Jakie poglądy należy mieć za Faraday'em na stan wysiłu, panujący w środowisku, przez które przechodzą magnetyczne linie sił?

14. Jak na mocy tego zapatrywania dają się objaśnić działania sił, zachodzących pomiędzy prądami elektrycznymi a magnesami?

WYKŁAD XIX.

Treść: Indukcja elektromagnetyczna. — Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch magnesu w jego pobliżu albo odwrotnie. — Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch w jego pobliżu cewki z drutu przewodzącego prąd albo naodwrot. — Różne kierunki prądów wzbudzonych za zbliżeniem i oddaleniem obwodu wtórnego, poruszającego się w polu głównym. — Prądy wzbudzone w zamkniętym obwodzie wtórnym, w chwili zamykania czyli potęgownania i przerywania albo osłabiania prądu głównego. — Tabelka prądów indukcyjnych. — Prawo Faraday'a. — Prawo Lenza. — Siła elektromotoryczna, opór i natężenie, objaśnione zapomocą obwodów hydraulicznych i elektrycznych. — Prawo Ohma. — Pytania.

Indukcja elektromagnetyczna. Dokładnie w dziesięć lat po odkryciu wzajemnego działania prądów elektrycznych przez Ampère'a, odkrył Faraday (1831), że ruch magnesu albo przewodnika prądu w pobliżu obwodu zamkniętego wytwarza w tym ostatnim prądy elektryczne. Takie działanie magnesu lub prądu, wzbudzające prądy wtórne, otrzymało nazwę *indukcyi elektrycznej*. (*)

*) **Indukcja elektromagnetyczna.** Gdy przewodnik tworzący obwód zamknięty, zostanie umieszczony w polu magnetycznym, całkowicie lub częściowo, i gdy jakakolwiek część tego obwodu przesuwa się tak, że przecina lub krzyżuje linie siły magnetycznej, wtedy w obwodzie tym powstaje siła elektromagnetyczna. Działanie takie nazwane zostało *indukcją elektromagnetyczną*. Skoro przyczyną powstawania prądu jest ruch obwodu przewodzącego w polu magnetycznym, prąd taki otrzymuje nazwę *magnetoelektrycznego*. Dr. J. A. Fleming.

Zjawiska indukcji prądów przez magnesy i prądy stanowią niezmiernie ciekawą i ważną gałąź badań elektryczności pędzącej albo elektrocyntyki (elektryczności w ruchu); tu bowiem w ostatnich czasach dokonano wynalazku telefonu, dynamomaszyny, transformatora (albo cewki indukcyjnej) i wielu innych pożytecznych i praktycznych zastosowań elektryczności, które po największej części wypływają wprost z odkrycia Faraday'a.

Przedstawimy więc najpierw kilka doświadczeń Faraday'a, starając się objaśnić działania, które w nich występują, na podstawie wiadomości nabytych przez ucznia w ciągu wykładów poprzedzających; następnie sformułujemy prawo Faraday'a i nareszcie wyłożymy pojęcie „różnicy potencjału“ i „siły elektromotorycznej“, która jest przyczyną przebiegu elektryczności wzdłuż obwodu zamkniętego.

Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch magnesu w jego pobliżu i odwrotnie. Doświadczenie XXVI. Weźcie sztabkę magesową do prawej ręki oraz cewkę z drutu cienkiego izolowanego (o wieluset zwojach) do lewej. Cewkę tę łączymy w jeden obwód z czułym galwanometrem*) odległym przynajmniej o 3 m od magnesu,

*) Forma galwanometru, narysowana na figurze 186, należy do rodzaju zwykłych galwanoskopów, które opisaliśmy w wykładzie XI jako nieczułe; jeśli jednak zaopatrzymy go w znaczną liczbę zwojów drutu i długą, starannie zrównoważoną igłę, to, zdaniem autora, doświadczenie wykonane za jego pomocą staje się widzialnym dla całej dużej klasy. Rozumie się, iż galwanometr zwierciadełkowy Thomsona o znacznych wy-

tak iż ruch tego ostatniego *bezpośrednio* nie może wpływać na igłę.

Po pierwsze, zbliżamy i wprowadzamy naraz biegun magnesu do wnętrza cewki przez otwór środkowy. Widzimy natychmiastowe wychylenie igły galwanometru w jedną stronę, poczem następuje zaraz powrót do zera—oznaka, iż chwilowy prąd przebiegł przez obwód cewki i galwanometr.

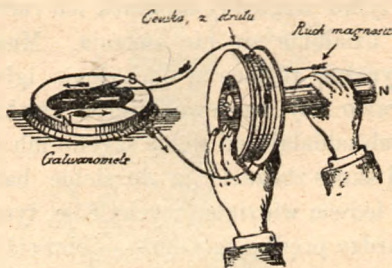


Fig. 186. Prąd wzbudzony w cewce zamkniętej przez ruch magnesu.

Powtóre, odsuwamy magnes znowu na znaczną odległość od cewki i postrzegamy, iż igła galwanometru waha się w inną stronę od zera, poczem do zera wraca—co dowodzi, że w cewce wzbudzony został drugi prąd krótkotrwały, ale tym razem w kierunku przeciwnym tamtemu, kiedy magnes zbliżał się i przechodził przez cewkę.

chyleniach i smudze świetlnej, rzucanej na ścianę pokoju szkolnego, wobec przytłumienia częściowego światła, daje lepsze wyniki.

Teraz ujmujemy magnes mocno prawą ręką i nasuwamy w jednej chwili cewkę na magnes albo jednocześnie zbliżamy je do siebie, a zauważymy zupełnie ten sam skutek co w pierwszym wypadku. Gdy oddalamy cewkę od magnesu lub jednocześnie odsuwamy je od siebie, uważamy ten sam zupełnie skutek co w drugim wypadku. Niema przeto najmniejszej różnicy w kierunku prądu wzbudzonego (indukcyjnego), gdy magnes zbliża się do cewki lub cewka do magnesu.

Skoro tylko względny kierunek ich ruchu pozostaje bez zmiany, działanie się nie zmienia. Musicie jednak postrzedz wyraźną różnicę w odchyleniu igły (wszystko jedno na prawo czy na lewo), jeżeli cewka i magnes zbliżają się lub oddalają od siebie szybko lub powoli. W rzeczy samej skoro zbliżacie je do siebie bardzo wolno, otrzymujecie ledwie widzialne wychylenie, tymczasem gdy to czynicie bardzo prędko, igła może się obrócić kilkakrotnie naokoło swojej osi. A więc *im prędzej cewka i magnes zbliżają się lub oddalają od siebie, tem mocniejszy prąd wzbudza się w cewce.*

Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch cewki przewodzącej prąd i odwrotnie. Doświadczenie XXVII. Ustawmy swój przyrząd, tak jak wskazuje załączona fig. 187, i zamknijmy obwód główny P przez naciśnięcie klucza. Zważmy, w jakim kierunku zwraca się igła kompasowa CN, po to, ażeby przekonać się, w którą stronę idzie prąd główny przez solenoid. Pamiętając teraz, że solenoid elektromagnetyczny lub drut przewodzący wytwarzają działanie magnetyczne równowarte działaniu magne-

su, bez trudności skojarzycie sobie w umyśle wyniki następujące z temi, które osiągnęliśmy w ostatniem doświadczeniu.

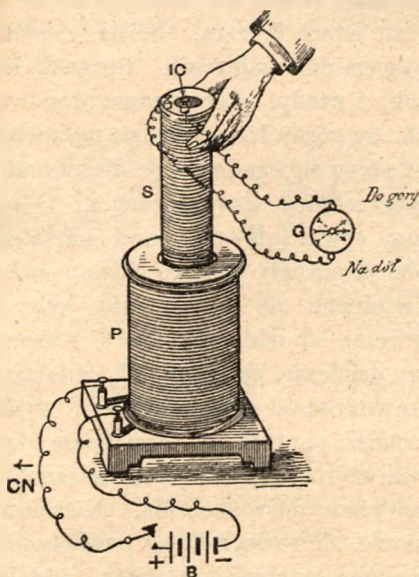


Fig. 187. Prądy wzbudzone w cewce zamkniętej przez ruch w pobliżu cewki, przewodzącej prąd.

Objaśnienie części:

- B bateria wraz z kluczem
- CN igła kompasowa pod drutem
- P główna cewka
- S wtórna cewka
- G galwanometr
- JC jądro żelazne

Najpierw zbliżmy w jednej chwili wtórna cewkę S do jednego końca głównej cewki P, a zauważymy, że igła

galwanometru odrazu wychyla się, naprz. na prawo lub na dół. Poczem wraca do zera.

Powtóre, odsuwamy szybko wtórną cewkę od głównej i postrzegamy, że igła odchyła się nalewo lub do góry, poczem odrazu wraca do zera. Ściśle te same wyniki co w poprzedzającym doświadczeniu. Sprawdź biegunowość głównej cewki i wtedy, skoro nadasz prądowi głównemu taki kierunek, że górny biegun będzie północnym, odchylenia również staną się zgodnymi co do kierunku z odchyleniami w poprzednim doświadczeniu. Odwróć biegunowość twojej cewki głównej przez odwrócenie prądu bateryi, a odchylenia igły naszego galwanometru staną się zupełnie odwrotnymi do tych, jakie były poprzednio w chwili zbliżenia lub oddalenia cewki wtórnej. Zbadaj teraz nanowo działanie, zbliżając lub oddalając nagle lub powoli cewkę wtórną od cewki głównej, a wyniki potwierdzą to, co miałeś poprzednio. Następnie wprowadź do wnętrza cewki wtórnej miękkie jądro żelazne JC i nanowo wykonaj powyższe doświadczenia. Kierunek odchylenia uległ zmianie, ale rozległość ich powiększyła się znacznie przy tej samej szybkości zbliżania i oddalania. Znać przyczynę tego, przekonaliście się bowiem z poprzednich doświadczeń z solenoidami i elektromagnesami, że miękkie jądro żelazne skupia linie magnetyczne sił i czyni pole wewnątrz i naokoło magnesu potężniejszym. Tak czy owak przyczyny lepiej zostaną zrozumiane, skoro przejdziecie następne doświadczenie i jego wyjaśnienie.

Rozmaite kierunki prądów wzbudzonych za zbliżeniem i oddaleniem obwodu wtórnego od pola głównego. Doświadczenie XXVIII. Patrząc na dwie następne figury, po-

strzegacie (co zresztą już nieraz obserwowaliście, rozpatrując krzywe magnetyczne magnesów i solenoidów), że linie sił układają się gęściej ku końcowi magnesu lub przewodnika prądu niżli u pewnej od nich odległości. Innymi słowy, pole staje się coraz gęstsze w miarę zbliżania się do biegunów.

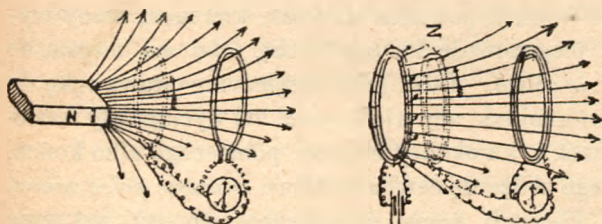


Fig. 188. Figury objaśniające kierunek prądów wzbudzonych za zbliżeniem.

Najpierw, przypuśćmy dla objaśnienia, że biegun stojący wprost cewki ruchomej albo wtórnej (na każdej z figur na prawo) jest północnym biegunem i że cewka wtórna zbliża się nagle do tego bieguna północnego. Nie tylko postrzegamy, że odchylenia igieł w naszych galwanometrach skierowane są w jedną stronę, ale doznajemy również większego oporu dla ruchu cewki niż w razie obwodu niezamkniętego albo gdybyśmy ją przesuwali z tą samą prędkością w powietrzu, wrażliwości w pobliżu magnesów lub cewek przewodzących prąd. A zatem siła jaką wywieramy, przesuwając cewkę w mocnym polu magnetycznym, tak jak wskazują powyższe diagramy, napotyka pewien opór. Zkąd to pochodzi? zapytacie, rzecz

prosta. Otóż pamiętacie, iż za zbliżeniem bieguna północnego jednego magnesu do bieguna Pn drugiego, albo biegunów południowych do siebie, lub też za zbliżeniem do siebie podobnych albo jednoimiennych biegunów solenoidów elektromagnetycznych, wysiłki wasze do sprawdzenia ich razem doznawały podobnej siły odpychającej. Skutkiem tego wnosimy, iż prąd wywołany przez indukcję w cewce wtórnej, powinien mieć taki kierunek, ażeby wytworzył biegunowość Pn *czyli taką, jaką ma biegun, do którego się zbliża*. Otóż jeśli przyłożymy prawą rękę do cewki wtórnej tak, aby wielki palec był wyciągnięty w stronę ruchu (t. j. ku okolicy bieguna północnego albo końca, do którego zbliża się cewka wtórna), *wówczas palce zawsze wskażą kierunek prądu wzbudzonego* (co też wskazują strzałki umieszczone przy cewkach wtórnych zaznaczonych kropkami na rysunku).

Powtóre, skoro cewki wtórne przysunięte zostały zupełnie do biegunów północnych magnesu respect. cewki głównej, nagle oddaliśmy je od nich. Ponownie doznajemy wtedy oporu większego niż gdybyśmy cewki wtórne przesuwali z tą samą prędkością przez powietrze albo z równą prędkością odsuwali od nich biegun, wobec obwodów prądu niezamkniętych albo niezupełnych. Jednakże przedtem już nieraz doświadczyliśmy podobnej siły przeciwdziałającej, gdy odsuwaliśmy biegun Pd magnesu albo solenoidu elektromagnetycznego od bieguna Pn innego magnesu lub solenoidu elektromagnetycznego.

Wnosimy przeto, że prąd, obecnie wytworzony przez indukcję w cewce wtórnej, powinien mieć taki kierunek, ażeby wytwarzał w cewce *biegunowość południową czyli od-*

mienną od strony najbliższej bieguna, od którego jest odciągana. Nanowo przyłożmy prawą rękę do cewki wtórnej tak, aby wyciągnięty wielki palec wskazywał kierunek ruchu (t. j. wstecz od strony północnej magnesu albo cewki głównej); wtedy palce zawsze będą wskazywały kierunek prądu wzbudzonego. Nie potrzebujemy tutaj powtarzać doświadczeń z biegunem Pd magnesu albo cewki głównej wobec cewki wtórnej, gdyż uczeń z tego co właśnie mówiliśmy, od razu będzie umiał określić zapomocą swojej prawej ręki kierunki prądów wzbudzonych w razie zbliżenia lub oddalenia od niego.

Powinniśmy pamiętać o jednym: skoro przesuwamy cewkę w ten sposób, że ilość magnetycznych linii przez nią przechodzących rośnie, wtedy prąd wzbudzony powinien mieć taki kierunek, aby wytwarzał względem tych linii biegun odpychający (czyli jednoimienny), ponieważ musimy cewkę przeciskać *wbrew* działaniu pola; gdy jednak przesuwacie cewkę tak, że liczba linii siły przez nią przechodzących zmniejsza się, wtedy wasz prąd wzbudzony powinien mieć taki kierunek, by wytwarzał biegun *przyciągający* (czyli różnoimienny) względem tych linii, ponieważ musimy cewkę siłą *wyciągać* z pola.

Prądy wzbudzone w zamkniętym obwodzie wtórnym w chwili zamykania albo potęgowania, oraz w chwili przerywania albo osłabiania prądu głównego. Doświadczenie XXIX. Po pierwsze, rozpatrzmy dwa wypadki prądów równoległych prostolinijnych, połączonych tak jak na dwóch załączonych figurach. *)

*) Niezbędny przytem galwanometr lub igła kompasowa zostały opuszczone w tym i poprzednim, tudzież w następ-

1) Zamykamy prąd główny P przez naciśnięcie klucza K. W obwodzie wtórnym S postrzegamy chwilowy prąd o kierunku przeciwnym.

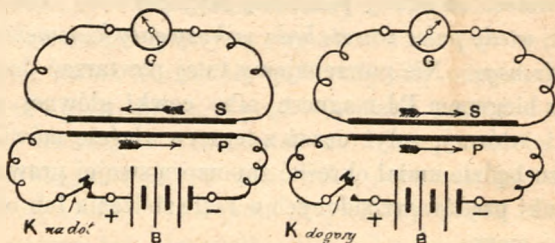


Fig. 189. Prądy wzbudzone w prostoliniowych i równoległych przewodnikach zamkniętych.

2) Wzmocnijmy naraz prąd w obwodzie głównym (przez wtrącenie większej liczby ogniw), a nanowo postrzeżemy odwrotny prąd chwilowy w obwodzie wtórnym.

3) *Przerywamy* prąd w głównym obwodzie przez puszczenie klucza. Postrzegamy w obwodzie wtórnym chwilowy *prosty* prąd, czyli przebiegający w tym samym kierunku.

4) Zamykamy klucz i *zmniejszamy* nagle prąd w obwodzie głównym (przez wyłączenie kilku ogniw), i znowu postrzegamy chwilowy *prosty* prąd w obwodzie wtórnym.

W wypadkach (1) i (2) przez stosowne umieszczenie prawej ręki przy drucie głównym P poznajecie, iż *głó-*

nym *głównym* obwodach. Korzystnem jest podczas tych doświadczeń pokazać, czy prąd (albo jego odchylenie) w obwodzie głównym idzie w tym samym kierunku, czy w odwrotnym do kierunku w obwodzie wtórnym.

wny prąd rozbudza jednostajną biegunowość Pn wzdłuż całej strony zwróconej do wtórnego drutu S. Jednakże jeżeli mamy wytworzyć w drucie S prąd indukcyjny, w takim razie prąd ten powinien przebiegać przez S w takim kierunku, aby wytwarzał od strony, zwróconej do drutu głównego, biegun jednoimienny albo Pn; należy bowiem zużywać energję na to, ażeby przeciwdziałać powstawaniu tego obwodu wtórnego. W wypadkach (3) i (4) należy również zużywać energję w celu przeciwdziałania znikaniu lub słabnięciu prądu głównego i jego pola; a co zatem idzie, prąd wzbudzony w obwodzie wtórnym powinien zdradzać biegunowość odmienną albo Pd wzdłuż strony zbliżonej do drutu głównego.

Doświadczenie XXX. Zamiast dwóch prostych

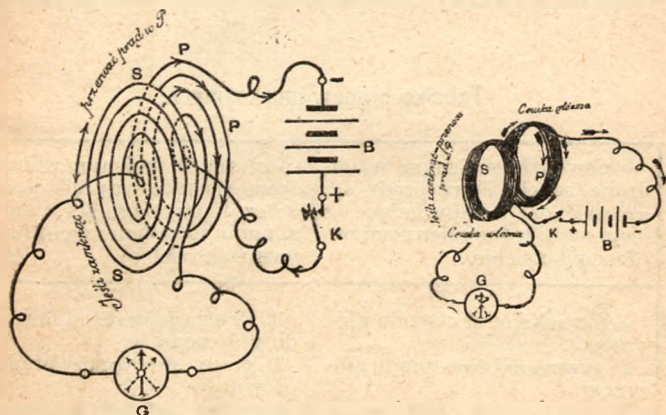


Fig. 190. Figury przedstawiające prądy wzbudzone w cewkach równoległych i płaskich, oraz cylindrycznych.

Zauważ kierunek prądu w głównym obwodzie, tudzież prądy wzbudzone we wtórnym, w chwili zamykania i przerywania prądu głównego.

i równoległych drutów weźmy dwie cewki płaskie, cylindryczne albo solenoidalne, takie jak na załączonych figurach 190 (str. 335) i wykonajmy z nimi nanowo te same cztery doświadczenia z prawą ręką, które wykonaliśmy przedtem z drutami prostymi.

Otrzymamy zupełnie te same wyniki, tylko prądy wzbudzone będą mocniejsze przy tem samym natężeniu prądu w obwodzie głównym i tej samej odległości między tym ostatnim a obwodem wtórnym. Wprowadźmy teraz kawałek miękkiego żelaza do wnętrza każdej cewki, a prądy indukcyjne spotężnią jeszcze bardziej, ponieważ pole w cewkach przez to wzmocniło się.

Wyniki doświadczeń wykonanych w ciągu tego wykładu zestawiamy poniżej w postaci tabelki następującej:

Tabelka prądów indukcyjnych.

<p>W obwodzie wtórnym wzbudzone są chwilowe prądy <i>odwrócone</i> (czyli odpychające, z biegunami jednoimiennymi naprzeciwko siebie).</p>	<p>W obwodzie wtórnym wzbudzone są chwilowe prądy <i>proste</i> (czyli przyciągające, z biegunami różnoimiennymi naprzeciwko siebie).</p>
<p>1) Za zbliżeniem obwodu głównego 2) przez zamknięcie prądu głównego 3) przez wzmocnienie prądu głównego.</p>	<p>1) Przez oddalenie od obwodu głównego 2) przez przerwanie prądu głównego 3) przez osłabienie prądu głównego.</p>

Teraz jesteśmy dostatecznie przygotowani do oceny i rozumienia praw Faraday'a i Lenz'a.

Prawo Faraday'a (1831). Jeżeli w polu magnetycznym magnesu trwałego lub prądu elektrycznego umieszczony zostanie jakikolwiek obwód przewodzący i jeżeli, zmieniając stosunkowe położenie albo napięcie prądu głównego, wywołamy zmianę w liczbie linii sił, przechodzących przez obwód wtórny, wówczas w obwodzie wtórnym powstaje siła elektromotoryczna, proporcjonalna do prędkości, z jaką zmienia się liczba zawartych linii sił.

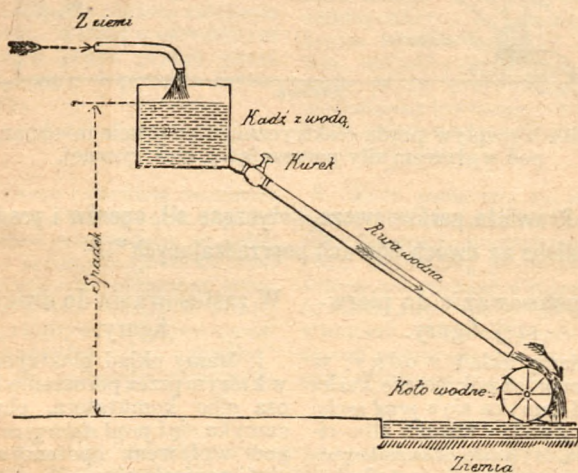


Fig. 191. Przepływ prądu wodnego w rurze pod wpływem siły poruszającej, wodnej.

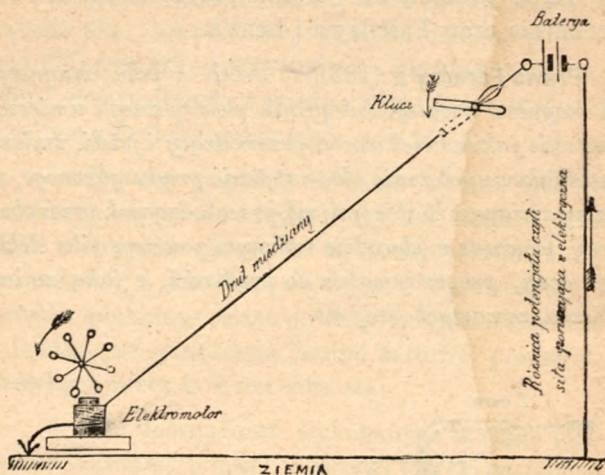


Fig. 192. Przepływ prądu elektrycznego po drucie miedzianym, pod wpływem siły poruszającej, elektrycznej.

Prawidła porównawcze, dotyczące sił, oporów i prądów, wyjaśnione na dwóch figurach poprzedzających*).

W zastosowaniu do pierwszej figury.

1. Mamy układ wodny, w którym przez pokręcenie kurka obwód zamyka się a *prąd wody*, pod wpływem spadku albo ciśnienia, czyli *siły akwamotorycznej* (hydraulicznej), posiadanej skutkiem wyniosłego położenia, wypływa z kadzi, czyli z

W zastosowaniu do drugiej figury.

1. Mamy układ elektryczny, w którym przez poruszenie klucza albo komutatora, obwód zamyka się i *prąd elektryczności*, pod wpływem „potencyału” czyli napięcia albo *siły elektromotorycznej*, posiadanej skutkiem tego górnego położenia,

*) Czytaj prawidła te po kolei, odpowiednio 1 i 1, 2 i 2, etc. etc.

mechanicznie wyniesionego źródła energii mechanicznej, (*) po wykonaniu zaś pracy w poruszonym przez się motorze wodnym, idzie z układu do ziemi.

2. Różnica pomiędzy poziomem swobodnej powierzchni wody w kadzi a poziomem wylotu wody w motorze określa *całkowitą* różnicę ciśnienia albo „siłę akwamotoryczną” (wynikającą z naturalnego działania energii grawitacyjnej). Ta właśnie *całkowita* różnica ciśnienia sprawia, iż ciecz o określonym *nateżeniu* prądu płynie przez kadź i rury i porusza motor wodny.

3. Skoro zostawimy na uboczu kwestyę oddziaływania motoru wodnego i przypuścimy, że płyn wodny przechodzi wprost do ziemi z dolnego albo odjemnego końca rurki, wtedy *nateżenie* prądu, albo przepływ wody, jest *wprost proporcjonalne* do „spadku” czyli do *całkowitej* różnicy ci-

wychodzi z dynamomaszyny, baterii albo elektrycznie wyniesionego źródła energii elektrycznej, (**) po wykonaniu zaś pracy w poruszonym przez się elektromotorze wychodzi z układu do ziemi.

2. Różnica pomiędzy poziomem elektrycznym dalekiej końcówki dynamomaszyny lub baterii a miejsca, gdzie elektryczność opuszcza motor elektryczny, określa *całkowitą* różnicę potencjału albo „siłę elektromotoryczną” (wynikającą z naturalnego działania energii elektrycznej). Ta właśnie *całkowita* różnica napięcia sprawia, iż fluid o określonym *nateżeniu* prądu przebywa dynamomaszynę lub baterię wzdłuż drutu miedzianego i obraca motor elektryczny.

3. Skoro zostawimy na uboczu kwestyę oddziaływania motoru elektrycznego i przypuścimy, iż fluid elektryczny przechodzi od dolnego albo odjemnego końca drutu miedzianego wprost do ziemi, wtenczas *nateżenie* prądu jest *wprost proporcjonalne* do *całkowitej* różnicy potencjału pomię-

(*) Czy energia mechaniczna pochodzi z wyniosłej kadzi z wodą, z pompy albo innego źródła, o to nam nie chodzi, z uwagi na cel teraźniejszego porównania sił i t. d.

(**) Czy owa energia elektryczna powstała z energii mechanicznej przez owes poruszanie obwodu przewodzącego w polu magnetycznym, jak to ma miejsce w dynamomaszynie, albo z energii chemicznej przez spalanie ciał chemicznych w baterii albo z innego jakiego źródła — o to nam nie chodzi, z uwagi na cel niniejszego porównania sił i t. d.

śnienia pomiędzy tym końcem a dalekim końcem źródła zasilającego i odwrotnie proporcjonalne do *oporu tarcia*, jakie owo ciśnienie pokonywa podczas przepływu w kadzi i rurze albo w przewodach prądu wodnego.

4. Nie masz tak dużej lub gładkiej rury, któraby nie stawała przez tarcie pewnego oporu przepływowi wody w niej i w ten sposób nie zmniejszała całkowitego „spadku” albo siły „akwamotorycznej”. Im chropowatszą i węższą jest rura, tem większą jest strata spadku.

dzy dalekim końcem źródła zasilającego i odwrotnie proporcjonalne do *oporu elektrycznego*, jaki ciśnienie owo pokonywa podczas przepływu przez dynamomaszynę lub baterję i drut miedziany albo przewodnik prądu elektrycznego.

4. Nie masz tak grubego i doskonałego przewodnika elektrycznego, któryby nie stawiał pewnego oporu przepływowi prężeń energii elektrycznej i tym sposobem nie zmniejszał całkowitej różnicy potencjału, albo siły elektromotorycznej. Im cieńszy i gorszy jest przewodnik, tem większą jest strata siły elektromotorycznej.

Prawo Lenza. (1834). *We wszystkich wypadkach indukcji elektromagnetycznej prądu wzbudzone (indukcyjne) posiadają taki kierunek, że oddziaływanie ich dąży do zatrzymania ruchu, który je wywołał.*

Siła elektromotoryczna, opór i prąd. Zauważyliście w prawie Faraday'a wyrażenie „w obwodzie wtórnym powstaje siła elektromotoryczna proporcjonalna do szybkości, z jaką zmienia się liczba zawartych linii sił.” Pragnieniem naszym jest, byście zrozumieli znaczenie nazwy „siła elektromotoryczna” i, jeżeli można, całkowite prawo, chociaż rostrząsanie w całej pełni tego ważnego przedmiotu do tak elementarnego podręcznika jak obecny należyć nie może. Pomimo to później nieraz jeszcze do niego wypadnie wrócić.

Nie mamy zamiaru przeciągać dłużej naszego zestawienia dwóch układów hydraulicznego i elektrycznego.

Widzimy jednak potrzebę sformułowania prawa Ohma, które wyraża poprzednio wymieniony stosunek pomiędzy *natężeniem prądu a siłą elektromotoryczną*, *) zmuszającą prąd do nieustannego przepływu przez *opór*, jaki znajduje w obwodzie elektrycznym.

Prawo Ohma:

$$\text{Natężenie prądu} = \frac{\text{Elektromotoryczna siła}}{\text{Całkowity opór}}$$

albo jeżeli i oznacza natężenie prądu, e siłę elektromotoryczną i w —opór całkowity w obwodzie prądu, wtedy

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

W następstwie znajdziemy sposobność do szczegółowego rozpatrzenia cewek indukcyjnych, dynamo-maszyn lub transformatorów, których działanie tak bezpośrednio opiera się na podstawowych doświadczeniach Oersteda, Ampère'a i Faraday'a. Obecnie zwrócić się musimy do budowy i działania bateryj.

Pytania do wykładu XIX.

1. Co rozumiesz przez *indukcję elektromagnetyczną*?
2. Naszkicuj i opisz doświadczenie, przedstawiające indukację prądów w cewce, połączonej z galwanometrem, skoro

*) Nazwy siła elektromotoryczna i *całkowita różnica potencjału* są synonimami. Bądź co bądź, jeśli mówimy o różnicy potencjału elektrycznego, rozumiemy wyłącznie różnicę ciśnienia elektrycznego, albo woltaż pomiędzy dwoma jakimikolwiek punktami obwodu, naprz. różnicę potencjału pomiędzy końcami przewodnika miedzianego, wskazanego na fig. 192. Nazwę „siła elektromotoryczna” zachowujemy dla *całkowitej różnicy potencjału* albo dla siły, zmuszającej prąd do przebiegania w *całym* obwodzie.

biegun magnesu zbliża się do niej lub oddala w kierunku osi cewki. Przypuśćmy, iż przepchnęliśmy magnes odrazu i całko-wicie przez środek cewki, — co wtedy nastąpi i dlaczego?

3. Masz obręcz metalową. Opisz i narysuj takie urządzenie, zapomocą którego mógłbyś, nie dotykając obręczy, wywoływać prądy elektryczne, przebiegające naokoło po niej najpierw w jednym, potem w drugim kierunku.

4. Narysuj i opisz doświadczenie, przedstawiające indukcję prądów w cewce wtórnej, skoro ta ostatnia porusza się ku końcowi albo od końca głównego solenoidu, przewodzącego prąd. Dlaczego kierunek prądu jest rozmaity za zbliżeniem i oddaleniem cewki wtórnej? Wskaż dla każdego wypadku kierunki prądów głównego i wzbudzonego.

5. Dlaczego liczba wahań igły kompasowej znacznie się zmniejsza, skoro się ją umieszcza w pudełku metalowym?

6. Kawalkiem obwiniętego drutu kilkakrotnie okręcono obręcz drewnianą; końce jego połączone z galwanometrem. Końce innego drutu izolowanego, okręconego naokoło takiej samej obręczy, połączone z baterią. Co będzie, jeśli dwie obręcze zostaną 1) szybko zbliżone do siebie, i 2) szybko oddalone od siebie.

7. W jaki sposób możesz na chwilę zatrzymać lub osłabić prąd w drucie, nie rozłączając go z baterią, za pośrednictwem innego drutu, po którym prąd przebiega?

8. Powiedz prawa Faraday'a i Lenz'a.

9. Porównaj (własnymi słowy) przepływ wody w rurze ze zbiornika z przepływem elektryczności po drucie ze źródła energii elektrycznej.

10. Wypowiedz prawo Ohma, oraz sąd swój o nazwach potencjał, siła elektromotoryczna, różnica potencjału, woltaż opór elektryczny i prąd.

DODATEK I.

Przyspieszenie ciężkości w ważniejszych stacyach metronomicznych.

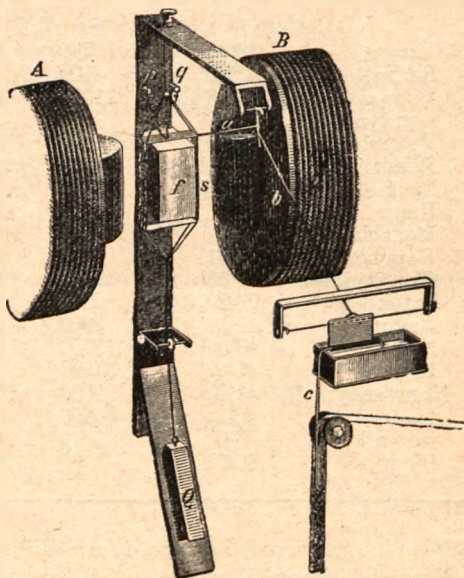
(L. Grunmach „Lehrb. d. magn. u. elektr. Maasseinh. Messmeth.
u. Messapp.” 1895, str. 28).

$G_{\varphi, H}$	Stacya	φ	H	$\frac{G_{\varphi, H}}{G_{45}}$
cm			cm	
980,96	Paryż ¹⁾	48°49'53"	6700	1,0003322
981,28	Berlin ²⁾	52°30'	4000	1,0006625
981,24	Warszawa	52°13'5,7"	11000	1,0006240
981,21	Londyn ³⁾	51°30'	550	1,0005815
981,89	Petersburg ⁴⁾	59°50'	1100	1,0012798
980,88	Wiedeń ⁵⁾	48°12'	18200	1,0002530
981,14	Bruksella ⁶⁾	50°50'	6500	1,0005110
981,25	Haga	52°5'	0	1,0006339
980,81	Monachium	48°8'	52500	1,0001798
981,55	Kopenhaga	55°41'	1000	1,0009417
981,89	Chrystyjania ⁷⁾	59°55'	2300	1,0012840
981,85	Sztokholm ⁸⁾	59°20'	2000	1,0012385
980,36	Rzym ⁹⁾	41°54'	2900	0,9997146
980,26	Neapol ¹⁰⁾	40°52'	5700	0,9996164
980,70	Bern ¹¹⁾	46°57'	54300	1,0000697
980,27	Konstantyno. ¹²⁾	41°0'	5000	0,9996297
980,10	Madryt ¹³⁾	40°24'	66300	0,9994560
978,10	Równik	0°0'	0	1,0024200
983,18	Biegun	90°0'	0	0,9976002

1) Bureau international, Pavillon du Bréteuil w parku St. Cloud. 2) Normal-Aichungs-Kommission. 3) Standards Office. 4) Obserwatorium Fizyczne. 5) Politechnika. 6) Pracownia Museum. 7) Obserwatorium. 8) Akademia. 9) Św. Piotr. 10) Obserwatorium uniwersytetu. 11) Urząd Związkowy do sprawdzeń. 12) Św. Zofia. 13) Obserwatorium.

DODATEK II.

Zapisywacz syfonowy (Siphon recorder) Sir Williama Thomson'a. Przyrząd ten używany jest do odbierania depesz w telegrafii podmorskiej. Schematycznie wyobraża go załączona figura. Opiera się na zasadzie cewki ruchomej, przez którą prąd przebiega w polu magnetycznym. Pomiędzy biegunami A i B



potężnego elektromagnesu wisi szpulka *s*, nawinięta na wąską, prostokątną ramę. Pustą przestrzeń ramy *s* wypełnia miękki kawałek żelaza (jądro) *f*; rama może się obracać swobodnie, nie dotykając ani jądra ani elektromagnesów. Cewka zawieszona

jest na nici podwójnej (bifilar) i u spodu dźwiga ciężarek Q, ślizgający się po deseczce mniej lub więcej pochylonej do poziomu, który służy jedynie do regulowania napięcia nici. Prąd dochodzi do cewki po dwóch bardzo giętkich sprężynach, połączonych z guzikami p i q. Hamowanie musi tu być potężne, gdyż indukcya, powstająca w cewce od przesuwania w polu, jest bardzo duża.

Ruchy ramy nic ab przenosi na rurkę szklaną dwa razy giętą, której jedno kolanko zanurzone jest w zbiorniku, zawierającym atrament bardzo rzadki, podczas gdy drugie kolanko wyciągnięte w kształcie rurki włoskowatej jest rodzajem lewarka (syfonu), ciągnącego płyn i wytwarzającego w miarę przesuwania się cewki końcem swoim znaki na pasku papieru, stopniowo wysuwanego przez motor.

Gdy prądu niema, rama jest równoległą do linii biegunów elektromagnesów, lecz skoro otrzyma prąd dodatni lub ujemny, odchyła się nalewo lub naprawo. Jeżeli rama jest nieruchoma, linia znaczone na papierze jest prostą, przypadającą w kierunku osi paska; odchylenia ramy nalewo lub naprawo wywołują odpowiednie wyniosłości z lewej lub prawej strony krzywej, z których jedne odpowiadają punktom, drugie kreskom w alfabecie Morse'a. W ten sposób nazwa *zapisywacz syfonowy* (siphon recorder) znajduje usprawiedliwienie.



SPIS RZECZY.

Przedmowa tłumacza	Str. 1
------------------------------	-----------

CZĘŚĆ PIERWSZA.

MAGNETYZM.

WYKŁAD I

Magnesy naturalne. — Magnesy sztuczne. — Jak się poznaje magnes. — Określenie magnesu. — Bieguny magnesu. — Sporządzenie magnesów sztucznych. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania	5—18
---	------

WYKŁAD II.

Magnesy trwałe. — Zwykłe formy magnesów trwałych, oraz ich zastosowania (prosta i złożona sztaba, prosta i złożona podkowa, magnes Jamin'a, igła pozioma, igła pionowa). — Przyciąganie i odpychanie. — Prawo pierwsze. — Biegunowość. — Próbne pytanie i odpowiedź. — Pytania	16—28
--	-------

WYKŁAD III.

Krzywe magnetyczne lub linie sił magnetycznych. — Pole magnetyczne zewnętrzne i wewnętrzne. — Prawo drugie. — Graficzne obrazy pól magnetycznych. — Różne przypadki krzywych magnetycznych. — Oś magnetyczna i równik magnetyczny sztaby magnezowej. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania	29—43
--	-------

WYKŁAD IV.

Molekularna teoria magnesowania. — Nasylenie magnetyczne. — Zdolność zatrzymywania i opór. — Wpływ wstrząśnienia na magnesowanie. — Wpływ temperatury na magnesowanie. — Pytania. 44—54

WYKŁAD V.

Rozmieszczenie wolnego magnetyzmu w sztabie magnesowej. — Inne potwierdzenie molekularnej teorii magnesowania przez rozłamywanie magnesu. — Zastony magnetyczne, ciała magnetyczne i niemagnetyczne. — Nasady biegunów, zbroje i kotwice. — Pytanie próbne i odpowiedź. — Pytania. 55—73

WYKŁAD VI.

Indukcja magnetyczna. — Określenie indukcji. — Indukcja wtórna. — W razie indukcji zawsze pomiędzy dwoma magnesami występuje przyciąganie. — Działanie i przeciwdziałanie są równe i przeciwne. — Indukcyjne działania biegunów jednoimiennych i różnoimiennych. — Odwrotność polaryzacji albo wytwarzanie biegunów następczych przez indukcję. — Hystereza. — Pytania 74—86

WYKŁAD VII.

Ziemia uważana jako magnes. — Bieguny i południki geograficzne i magnetyczne. — Prawdziwa biegunowość ziemi. — Zboczenie albo deklinacja. — Nachylenie albo inklinacja. — Oś magnetyczna i równik ziemi 87—99

WYKŁAD VIII.

Kompas okrętowy. — Magnesowanie przez działanie indukcyjne magnetyzmu ziemskiego. — Magnesowanie okrętów żelaznych i stalowych. — Wpływ ziemi na magnes jest kierowniczy, nie zaś posuwający. — Igła magnesowa posłuszna jest sile większej. — Para astatyczna. — Pytania. 100—118

WYKŁAD IX.

Absolutne jednostki mechaniczne miar. — Prawo Coulomb'a. — Jednostka natężenia bieguna magnetycz-

nego. — Linie jednostkowe. — Natężenie pola magnetycznego. — Proste wypadki pól magnetycznych. — Składanie kilku pól magnetycznych w jedno pole wypadkowe. — Moment magnetyczny sztaby magesowej. — Długość wahnięć igły magesowej w polu jednorodnym. — Określenie względnych natężeń pól magnetycznych. — Absolutne oznaczenie magnetyzmu ziemskiego i magnetyzmu sztabowego podług Gauss'a. — Indukcyja magnetyczna i magesowanie właściwe. — Przenikalność i podatność magnetyczna. — Paramagnetyzm i diamagnetyzm. — Prąd magnetyczny. — Praca magesowania i potencjał magnetyczny. — Pytania 119—162

Dodatek do części pierwszej.

Praktyczne wskazówki dla uczniów, dotyczące budowy przyrządów, potrzebnych do doświadczeń magnetycznych.

Uwagi wstępne. — Sporządzenie trwałego magesu. — Jak się robi igła kompasowa i statywa. — Jak się sporządza igła nachyleń wraz z kołem (inklinatorium). — Obserwacye niezbędne przy określeńiu średniego kąta nachyleń dla danej miejscowości i igły 163—175

CZEŚĆ DRUGA.

ELEKTROMAGNETYZM.

WYKŁAD X.

Elektromagnetyzm. — Prąd do naszych doświadczeń otrzymanąć można z bateryj lub dynamomaszyn. — Pole magnetyczne prądu prostoliniowego. — Kierunek pola magnetycznego prądu prostoliniowego. — Kierunek prądów w drutach przewodzących. — Zapytanie próbne i odpowiedź. — Pytania. 176—188

WYKŁAD XI.

Prosty przyrząd do badania działania magnetycznego i kierunku prądów elektrycznych. — Proste galwa-

noskopy albo proste wykrywacze prądu, pionowe i poziome. — Multyplikatory albo galwanometry wykrywające. — Próbné zapytanie i odpowiedź. — Pytania 189—201

WYKŁAD XII.

Pole magnetyczne i jego kierunek pod wpływem prądu kołowego. — Natężenie lub moc pola magnetycznego w punkcie środkowym prądu kołowego. — Prosty galwanometr stycznych. — Galwanometr wstaw. — Tablica naturalnych wstaw i stycznych. — Pytania 202—215

WYKŁAD XIII.

Solenoid elektromagnetyczny. — Pole magnetyczne i jego kierunek wewnątrz solenoidu. — Pole magnetyczne i jego kierunek nazewnątrz solenoidu. — Połączone działanie pola magnetycznego, wywołanego przez magnes trwały i przez solenoid elektromagnetyczny. — Galwanometry stycznych z podziałkami Sir Williama Thomsona. — Galwanometr zwierciadełkowy Sir Williama Thomsona. — Prosty galwanometr astatyczny. — Galwanometr skręceń Siemens'a i Halskego. — Pytania 216—240

WYKŁAD XIV.

Biegunowość magnetyczna, wytworzona przez prąd prostoliniowy. — Biegunowość magnetyczna, wywołana przez prąd kołowy. — Biegunowość magnetyczna solenoidu elektromagnetycznego. — Dany jest kierunek prądu w solenoidzie; znaleźć biegun Pn i Pd solenoidu i odwrotnie. — Pytanie próbné i odpowiedź. — Pytania 241—250

WYKŁAD XV.

Magnesowanie żelaza i stali przez prąd elektryczny. — Określenie elektromagnesu. — Pole magnetyczne elektromagnesu. — Działanie przyciągające solenoidu elektromagnetycznego na jądro żelazne. — Miernik prądu Blyth'a. — Elektromagnesy w kształcie podkowy, oraz przykłady praktyczne. — Zmiany w długości żelaza magnesowanego. — Pytania. 251—268

WYKŁAD XVI.

Działanie siły i przeciwdziałanie jej zawsze są równe i co do kierunku przeciwne. — Ruch obrotowy biegun na magnetycznego naokoło prądu i prądu naokoło biegun. — Przyrząd Faradaya do okazania obrotu przewodnika, po którym prąd przebiega, naokoło biegunu magnesu. — Samoistne zwijanie się drutu, po którym prąd przebiega, naokoło magnesu. — Pytania 269—279

WYKŁAD XVII.

Elektrodynamika. — Prawa Ampère'a. — Działania pomiędzy prądami równoległymi i nachylenymi. — Stolik Ampère'a. — Płaską spiralną oraz inne przyrządy, służące do udowodnienia praw Ampère'a. — Elektrodynamometr prof. Webera do prądów stałych. — Elektrodynamometr Siemens'a i Halske'go do prądów mocnych. — Pytania . . . 280—298

WYKŁAD XVIII.

Prawo Biot-Savart'a. — Natężenie pola magnetycznego w punkcie środkowym prądu kołowego. — Absolutna i praktyczna jednostka elektromagnetyczna natężenia prądu elektrycznego oraz absolutne mierzenie natężenia prądu. — Natężenie pola magnetycznego prądu kołowego w punkcie, położonym na jego osi, po za punktem środkowym. — Natężenie pola magnetycznego w pobliżu przewodników prostoliniowych. — Natężenie pola magnetycznego w punkcie położonym na osi solenoidu. — Obliczenie magnetyzmu, wzbudzonego przez solenoid w masach żelaza i stali. — Metoda określenia \mathfrak{B} , J , μ i k . — Obliczenie natężenia prądu magnetycznego w elektromagnesach i dynamomaszynach. — Siły działające pomiędzy prądami elektrycznymi a magnesami i pomiędzy samymi prądami elektrycznymi. — Pytania 299—324

WYKŁAD XIX.

Indukcja elektromagnetyczna. — Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch magnesu w jego pobliżu albo naodwrot. — Prądy wzbudzone w obwodzie zamkniętym przez ruch w jego pobliżu

cewki z drutu przewodzącego prąd albo naodwrot.—
Rozmaite kierunki prądów wzbudzonych za zbliże-
niem i oddaleniem obwodu wtórnego, poruszające-
go się w polu głównym. — Prądy wzbudzone w
zamkniętym obwodzie wtórnym w chwili zamyka-
nia czyli potęgowania i przerywania czyli osłabia-
nia prądu głównego. — Tabelka prądów indukcyj-
nych. — Prawo Faraday'a. — Prawo Lenz'a. — Si-
ła elektromotoryczna, opór i natężenie, objaśnione
zapomocą obwodów hydraulicznych i elektrycz-
nych. — Prawo Ohm'a. — Pytania 325—342

ERRATA.

UWAGA. Wszystkie poprawki czytelnik powinien odnotować niezbędnie, zanim przystąpi do czytania dzieła.

<i>Strona</i>	<i>wiersz</i>	<i>zamiast</i>	<i>powinno być</i>
23	2	wyższy	większy
28	24	pod biegunowością	przez biegunowość
29	treść w. 1	sił	sił magnetycznych
32	30	krzżyować	krzyżować
35	7	34	36
41	7	Sztaba	2) Sztaba
42	1	pod polem magnetycznym	przez pole magnetyczne
	23	pod osią i ... równikiem	przez oś i ... równik
49	2	cząsteczek	cząsteczki
	3	w podobnym stanie	w stanie nieprawidłowej
		nieprawidłowej mieszaniny, co	nieprawidłowej mieszaniny, podobnej do
		cząsteczki	cząsteczek
53	6 z dołu	pod biegunem	przez biegun
55	treść w. 3	:	przez
56	1 u dołu	to	tego
57	3 "	umieścić	umieść
60	6 "	obowiązujemy	obowiązujemy
65	5 "	kobalu	kobaltu
66	21	oraz i	oraz
	25	do grubej	grubej
90	6	geograficzny	geograficzny
	dopisek w. 1	Żeglarze	(*) Żeglarze
93	1	zбочzenie	zбочzenie
110	2	sprowadzone	prowadzone
	4	Gazeloch	Garelloch
	7	w drogę kontroler,	w drogę, kontroler

#19926.

II

Strona	wiersz	zamiast	powinno być
119	w tytule treść w. 1 dopisek w. 2	IX bezwzględne Messenheiten	X bezwzględne Maassenheiten
121	11	57,2958*)	57,2958 (**)
127	15	czy li albo	albo
128	3	n'z	n'
220	w podpisie figury w. 1	w obrębie 1 elektrycy załączonem, i	w obrębie i elektrycy załączonemi,
225	15		
242	9		
247	dopisek w. 3	zwykle od podawa- nego	od podawanego zwykle
276	NB u dołu w. 2	do Ampère'a.	od Ampère'a
280	6	XVII	XVI
297	w tytule	H'	H'
302	25		5' / popr.



Dzieła tymże nakładem wydane:

Rs. k.
w oprowie

1. **Podręcznik dla palaczy kotłowych** *P. Braussera i A. Spennratha*, przetłomaczył na polski i uzupełnił *D-r Felicyan Laszczyński*, 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 naukowem. 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 — 45
4. **Słownik polsko-rossyjsko-niemiecki terminów garbarskich**, ułożony przez *Felicjana Przyszychowskiego*, Inż. Chemika, czeladnika garbarskiego, for. 16-ki str. 30 . . — 15
5. **Przewodnik dla maszynistów** *E. F. Scholla*, tłomaczył *Aleksander Podworski*, Inż.-Technolog. Część 1-a, for. 16-ki, str. 282, 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

Dzieła te są do nabycia we wszystkich księgarniach
w Warszawie i na prowincyi.

1000072378



Biblioteka im. Hieronima
Łopacińskiego w Lublinie

| 324072 |

T 1