

Magnes pływający

przez

Prof. Dra T. Staneckiego.

(Rzecz przedstawiona na posiedzeniu Wydziału matem.-przyrodn.
Akad. Umiej. dnia 20 Października 1879 r.)

(Tabl. VIII, IX, X, XI, XII i XIII).

Że magnes, który będąc zdala od ciał magnetycznych swobodnie obracać się może, ustawia się w pewnym kierunku względem stron świata, wiadano w Europie już w jedénastym wieku, a może i piérwój, jak świadczy ARE FRODE w dziele swém o odkryciu Islandyi. Z téj własności magnesu robimy nieoceniony użytek, zapewniwszy mu dostateczną swobodę obrotów na płaszczyźnie poziomój.

U kompasu żeglarskiego i u zwyczajnej busoli strzałka magnesowa ma w środku otwór, nad którym utwierdzony jest kapelusik o denku z twardego materiału, np. ze stali lub z agatu. Denko to wspiera się na ostrzu kolca mosiężnego pionowo stérczącego. Tym sposobem tarcie ogranicza się do bardzo małej powierzchni zetknięcia.

W wielu innych przyrządach fizycznych słupek magnesu graniasty lub obły, w stósowném strzemionku

poziomo położony, wisi na włóknie jedwabnym lub na cienkim druciku. W tym razie doznaje on w obrotach swych oporu wynikającego ze skręcania się nitki lub drutu.

W średnich wiekach posługiwano się często magnesem pływającym na wodzie za pomocą pławki zrobionej ze słomy, z korka lub drewna. GUYOT de PROVINS ¹⁾ wspomina w swym poemacie „*Bible Guyot*“ w r. 1203 o igle, którą żeglarze pocierają „ciemno-barwym kamieniem“, a potem kładą na ździebełkach puszczonej na wodę. Prawdopodobnie robiono to w celu oryjentowania się według jej kierunku. Takim sposobem uruchomiony magnes służył także do innych experymentów, np. do okazania, jak działają na siebie bieguny równoimienne, a jak różnoimienne dwóch magnesów, i t. p. JERZY HARTMANN ²⁾ w Norymberdze opisuje w liście z 4 marca 1544 do księcia pruskiego Albrechta wystósowanym doświadczenia, w których robił użytek z magnesów pływających po wodzie zapomocą czółenka. Na rtęci pływa wprawdzie magnes jako ciało gatunkowo od niej lżejsze, ale zato ruchy jego są bardzo utrudnione, skoro rtęć pokryje się powłoką tlenku. Podobnież bez podkładki utrzymuje się na powierzchni wody otłuszczona igła magnesowa, jeżeli puszczać ją przestrzegamy tej ostrożności, by nie zetrzeć tłustości i ostrzem nie przebić wierzchniej warstewki wody. Ruchy takiej igły są swobodniejsze, aniżeli podtrzymywanej pławką.

¹⁾ FAUCHET. *Les antiquités de la France*. — Dr. J. LAMONT. *Handbuch des Magnetismus*.

²⁾ DOVE *Repertorium der Physik* II. Bd.

BOISGIRAUD AÎNÉ ¹⁾ śledził działanie prądu galwanicznego, płynącego w drucie prostym, bądź poziomo położonym, bądź pionowo ustawionym, wywierane na igłę magnesową, która skutkiem otłuszczenia pływała po wodzie. Poprzednio obserwował rzeczony działanie na igłę kompasową, potem na igłę poziomo zawieszoną. O tych trzech odmiennych przyrządach powiada „*Jusqu'ici je m'étais servi d'une petite aiguille de boussole suspendue horizontalement sur un pivot vertical de laiton. Pour rendre plus sensible les phénomènes d'inclinaison . . . j'ai suspendu cette petite aiguille par un fil de soie très-fin, de manière qu'elle fût horizontale. Les oscillations du fil de suspension étant modifiées par l'action de la pesanteur, qui tendait à ramener l'aiguille vers un point d'équilibre dont une autre force l'éloignait, j'imaginai de poser sur l'eau cette petite aiguille légèrement enduite d'un corps gras, parce qu'alors l'action de la pesanteur étant équilibrée, celle du fil conducteur aurait tout son effet. Cela me réussit parfaitement*“.

Robiąc doświadczenie wykazujące wpływ wirującego kręgu metalowego na magnes ruchomy w pobliżu umieszczony, zadałem sobie pytanie, jakby się ujawniało oddziaływanie prądów indukowanych w krążku poziomo wirującym na magnes, gdyby tenże nie wspierał się na wrzecionku, ani nie wisiał na nitce, lecz

¹⁾ *Annales de chimie et de physique* tome quinzième. De l'action de la pile sur l'aiguille aimantée 1820.

mógł się swobodnie poruszać na płaszczyźnie poziomej. Pytanie to naprowadziło mnie do użycia pływającego magnesu. Ciekawe spostrzeżenia stały się zachętą do dalszych doświadczeń, mianowicie w zakresie działania prądów galwanicznych na magnes ruchomy.

Chodziło o to, aby usunąć niedogodności połączone z użyciem igieł, które mimo otłuszczenia dość często toną, i wymiarami swými ograniczają experymenta do słabych magnesów, tam, gdzie zachodzi potrzeba dzielniejszych.

Owóż przekonałem się, że pasek stalowy, otrzymany z wyprostowanej sprężynki, daje się bardzo łatwo położyć na wodzie, i pływa choć wcale nie jest powleczoney tłustością, a co ważniejsza, przez długi czas utrzymuje się na wodzie. Ująwszy go poziomo między wielki i wskazujący palec, puszczam z małej odległości od wody, a prawie w każdym razie zostaje na powierzchni cieczy. Takie paseczki stalowe 0.5 do 5 milimetrów szerokie, 2 do 5 centymetrów długie, na obu końcach zaokrąglone lub strzałkowato ścięte, i aż do stopnia nasycenia namagnesowane, służyły mi w doświadczeniach, o których poniżej będzie mowa.

Ażeby ciecz, po której magnes ma pływać, nie doznawała wstrząśnień i nie zmieniała jego ruchów odbywanych skutkiem działania prądów galwanicznych, urządziłem aparat następujący. Tab. VIII. Fig. 1.

Dwie podpórki drewniane, takiemiż kołeczkami przybite do muru, opatrzone są, każda dwiema śrubami drewnianymi, które wedle potrzeby obrotami podnosić i zniżać można w kierunku pionowym. Na zaokrąglonych końcach tych śrub kładę szybę szkła-

ną, i nadaję jęj zapomocą libelli oraz śrub, położenie poziome. Wzdłuż brzegów szyby jest grobelka z kitu; mogę więc nalać cieńszą lub grubszą warstwę wody lub innęj cieczy. Pod szybą, albo ponad powierzchnią cieczy utwierdzam drut miedziany, którego jeden koniec jest w związku z biegunem stosu, a drugi z komutatorem. Ten łączę drutem izolowanym z galwanometrem, a galwanometr takimże drutem z drugim biegunem stosu. Urządzenie to dozwala w każdęj chwili zmienić kierunek prądu na przeciwny, i powziąć wiadomość o mocy prądu. Celem uzyskania wydatniejszych skutków używam w niektórych doświadczeniach bateryi z kilku elementów złożonęj. Wspomnieć wypada, że woda okazała się najodpowiedniejszą cieczą do doświadczeń tego rodzaju.

I. Pod szybą lub ponad wodą nastawiony jest magnes stalowy albo też elektromagnes.

Gdy wyż opisany pasek stalowy, namagnesowany znanym sposobem pocierania, puścimy na wodę, obaczmy, jak w miarę dzielności swego magnetyzmu powolnym lub rażnym obrotem ustawi się w południku magnetycznym. Zapomocą patyczka można go bardzo łatwo przeprowadzić na inne miejsce, popychając ostrożnie, aby go nie pogrążyć i wodą nie oblać. Małe przesunięcia dają się uskutecznić lekkimi poruszeniami wody podle niego przecikiem sprawionemi. Wrazie gdy się zanadto zbliży ku grobelce, przylega zaraz do nięj całą długością boku.

Dwa paski magnesowe sprowadzone do takiej odległości, w której wzajemne ich działanie uwidocznić się może ruchem, płyną ku sobie, aż się zetkną końcami różnoimiennymi. Dzielniejszym magnesem łatwo je zdjąć z wody.

Stalkę zdjętą z wody albo z niej wydobytą, w razie gdy się zanurzyła, trzeba należycie obetrzeć i wyczekać, aż zupełnie obeschnie, nim się ją ponownie puści na wodę, inaczej zaraz się zatopi.

Ażeby magnes podstawiony pod szybę nie ściągnął pływającego na dno, trzeba umiarkować odstęp między niemi. Podobnież odległość magnesu z góry nastawionego, stósuje się do jego siły.

Że magnes mający kształt słupa o podstawie bądź okrągłej, bądź prostokątnej krajem téjże największą wywiiera siłę, okazuje pływający przez to, iż pomknąwszy się ku miejscu, które rzut podstawy działającego nań magnesu na powierzchnię wody wyznacza, zatrzymuje się biegunem swym różnoimiennym nad rzutem krawędzi téj podstawy. Z kilku stalek magnesowych, tworzy się ostęp promienisty.

Gdy obie podstawy magnesu podkowiastego są równo odległe od powierzchni wody, pływak nasz podąży zaraz pomiędzy rzuty jego biegunów, i ustawia się w kierunku ich łącznicy; a że najczęściej jednym końcem więcej jest zbliżony do jednej z podstaw, przysuwa się ku niej, aż jego biegun różnoimienny stanie na rzucie jéj krawędzi. Jeżeli to położenie zajął był pod wpływem elektromagnesu, to gdy zmienimy tegoż bieguny, nadawszy prądowi magnesującemu kierunek przeciwny, wykona natychmiast zwrot na miejscu. Na elektromagnesie o płaskich podsta-

wach daje się szyba ogroblona wygodnie położyć, trzeba ją jednak stósownym słupkiem podeprzeć, żeby leżała niejako na trójnogu.

II. Prąd galwaniczny prostolinijny równoległy do powierzchni wody.

A) Płynie w kierunku południka magnetycznego.

Utwierdźmy drut miedziany prosty w trzymadłach tak, żeby był równoległy do poziomu wody i równoległy do południka magnetycznego. Niech będzie raz nad wodą, a drugi raz pod szybą umieszczony. Puśćmy stalkę namagnesowaną na wodę, najprzód po stronie np. wschodniej, potem po stronie zachodniej, albo robiąc użytek z dwóch takich pływaków, jeden po wschodniej a drugi po zachodniej stronie.

Skoro zamkniemy stos galwaniczny, magnes odchyła się od południka magnetycznego; w miarę siły prądu, stósownie do prawidła AMPÈRA, jeżeli odległość jego od drutu nie przechodzi zasięgu skutecznego działania prądu, i podąża ku linii, która jest rzutem prostokątnym osi drutu na powierzchnię wody.

W zapędzie przestępuje on wprawdzie tę granicę, ale potem cofa się, i po kilku wahaniach staje ostatecznie na niej linią przedziałową, czyli tak zwaną linią obojętności. To położenie odpowiada równowadze stałej, i potwierdza wynik z prawa BIOTA i SAVARTA.

B) Prąd poziomy płynie w kierunku nachylnym do południka magnetycznego.

Umieściwszy drut pod szybą równoległe do niej nadajmy mu najprzód kierunek prostopadły do płaszczyzny południka magnetycznego.

Gdy prąd galwaniczny (dodatny) płynie w drucie od wschodu na zachód, magnes pływający przysuwa się ku rzutowi drutu; a gdy prąd płynie od zachodu na wschód, magnes oddala się od niego, w obu przypadkach zbaczając odpowiednio od południka magnetycznego.

Skierujmy drut przewodni od północo-zachodu na południo-wschód.

Gdy prąd elektryczny płynie od południo-wschodu ku północo-zachodowi, magnes zbliża się ku rzutowi drutu, aż go dosięgnie, a wtedy staje na nim swą linią przedziałową. Gdy zaś prąd ma kierunek od strony północo-zachodniej ku południo-wschodniej, magnes oddala się od niego, bez względu na to, czy był zbliżony doń biegunem północnym, czy południowym.

Położmy nakoniec drut przewodni tak, żeby z poprzednim kierunkiem tworzył kąt prosty.

Gdy prąd płynie od południo-zachodu, na północo-wschód, magnes oddala się od projekcyi drutu; dąży zaś ku niej, gdy prąd zmierza od północo-wschodu ku południo-zachodowi.

We wszystkich sześciu przypadkach odbywa magnes ruchy odwrotne, jeżeli prąd galwaniczny płynie nad wodą w drucie poziomo położonym.

Zjawiska pod *A*) i *B*) poszczególńione dają się łatwo wytłómaczyć na podstawie prawa BIOTA i SAVARTA. Tab. VIII. *Fig 2*. Prosta *PQ* przedstawia drut bardzo długi, równoległy do poziomemu *FEgS*, na którym magnes *NS* leży; δ oznacza kąt nachylenia linii *PQ* do płaszczyzny południka magnetycznego, a więc kąt zawarty między linią *bf* równoległą do *PQ*, i śladem poziomym południka magnetycznego *SN*. Punkt środkowy osi magnetycznej pływaka niech będzie *C*, biegun południowy *S*, biegun północny *N*.

Położmy przez linię *PQ* płaszczyznę *ABEF* prostopadłą do *FEgS*, a przez punkty *S*, *C*, *N* płaszczyzny prostopadłe do *ABEF* i wyrażmy *SC = CN* przez *l*, odległość *NB* przez *L_n*, odległość *SA* przez *L_s*, kąt *NBE* przez α , kąt *SAF* przez β . Kąt δ uważajmy za dodatny, gdy *CN* leży, jak w założonym przypadku, po lewej stronie linii *Cf*, a za ujemny, gdy *CN* znajduje się po prawej stronie linii *Cf*.

Odległość drutu od płaszczyzny *FEgS*, względnie od powierzchni wody, niech będzie *a*; odległość środka magnesu od płaszczyzny *ABEF*, tj. *CI* niech będzie *D*.

$$\text{W trójkącie } NBE, \text{tg } \alpha = \frac{NE}{BE} = \frac{CI - Cd}{HI} = \frac{D - l \sin \delta}{a},$$

$$\text{w trójkącie } SAF, \text{tg } \beta = \frac{SF}{AF} = \frac{CI + Ce}{HI} = \frac{D + l \sin \delta}{a};$$

$$\text{zatem } \sin \alpha = \frac{D - l \sin \delta}{\sqrt{a^2 + (D - l \sin \delta)^2}},$$

$$\cos \alpha = \frac{a}{\sqrt{a^2 + (D - l \sin \delta)^2}},$$

$$\sin \beta = \frac{D + l \sin \delta}{\sqrt{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}},$$

$$\cos \beta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}};$$

$$L_n = \sqrt{a^2 + (D - l \sin \delta)^2};$$

$$L_s = \sqrt{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}.$$

Siła K_n , jaką prąd prostoliniowy i bardzo długi wywiera na biegun N , jest według teorii opartej na twierdzeniu LAPLACE'A o działaniu elementu prądu na biegun magnesowy, tudzież według doświadczeń BIOTA i SAVARTA ¹⁾ jakoteż SCHMIDTA ²⁾, odwrotnie proporcjonalna odległości L_n , a jej kierunek jest prostopadły do płaszczyzny $ABNa$ przez prąd AB i biegun N przesuniętej: leży zatem na płaszczyźnie NBE .

Wyrażmy wielkość rzeczonyj siły w razie gdy odległość bieguna od drutu przewodniego jest równa jedności przez k , tedy w rozważanym przypadku

$$K_n = \frac{k}{L_n} = \frac{k}{\sqrt{a^2 + (D - l \sin \delta)^2}}.$$

Podobnie otrzymujemy na wielkość siły K_s , jaką prąd wywiera na biegun S

$$K_s = \frac{k}{L_s} = \frac{k}{\sqrt{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}}.$$

Wystawmy sobie według instrukcyi AMPÈRA w prądzie, którego kierunek na figurze strzałką jest wskazany, leżącego obserwatora, obróconego stopami w tę stronę, z której prąd płynie, a twarzą ku biegunowi. Owóż siła K_n jest skierowana na lewo, tj.

¹⁾ *Experimentalphysik von BIOT übersetzt von FECHNER.*

²⁾ *Gilbert Ann. 71.*

względem płaszczyzny $ABNa$, do której jak wiadomo jest prostopadła, na dół; a siła K_s na prawo, tj. względem płaszczyzny $ABsg$ do góry.

Rozłóżmy tak K_n jak i K_s na dwie składowe, na prostopadłą do płaszczyzny $FEGS$, i na poziomą tj. leżącą na téjże płaszczyźnie, znajdziemy, naznaczając prostopadłe przez $K_{n,v}$, $K_{s,v}$, a poziome przez $K_{n,h}$, $K_{s,h}$,

$$\begin{aligned} K_{n,v} &= K_n \sin \alpha, & K_{s,v} &= K_s \sin \beta, \\ K_{n,h} &= K_n \cos \alpha, & K_{s,h} &= K_s \cos \beta; \text{ czyli} \\ K_{n,v} &= \frac{k(D - l \sin \delta)}{a^2 + (D - l \sin \delta)^2}, & K_{s,v} &= \frac{k(D + l \sin \delta)}{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}, \\ K_{n,h} &= \frac{ka}{a^2 + (D - l \sin \delta)^2}, & K_{s,h} &= \frac{ka}{a^2 + (D + l \sin \delta)^2}. \end{aligned}$$

Siły $K_{n,v}$ i $K_{s,v}$ są w przeciwne strony skierowane; uważajmy kierunek siły $K_{s,v}$ za dodatny, a więc kierunek siły $K_{n,v}$ za ujemny. W założonym przypadku siła $K_{n,v}$ jest większa od $K_{s,v}$. Gdy kąt δ jest ujemny, a co do wielkości równy dodatnemu, siła $K_{s,v}$ jest wtedy większa od $K_{n,v}$. Dla $\delta = 0$ bezwzględne wielkości sił $K_{n,v}$ i $K_{s,v}$ są sobie równe.

Działanie tych sił, z których jedna usiłuje podnieść, a druga zniżyć biegun odpowiedni, znajduje opór w adhezyi i spójności cieczy; w niektórych przypadkach skutek jest dostrzegalny zapomocą lupy.

Co się tyczy składowych poziomych, siła $K_{n,h}$ ciągnie biegun N ku płaszczyźnie $ABEF$, podczas gdy $K_{s,h}$ ciągnie biegun S w przeciwnym kierunku. W powyższym przypadku $K_{n,h} > K_{s,h}$; gdyby kąt β był równy założonemu ale ujemny, mielibyśmy $K_{s,h} > K_{n,h}$. Oznaczmy kierunek siły, która ciągnie

biegun jęj działaniu podległy ku płaszczyźnie $ABEF$ znakiem $-$, kierunek zaś siły przeciwnie działającęj znakiem $+$. Dla $\delta=0$ wypada bez względu na znaki $K_{n,h}=K_{s,h}$.

Gdy poziome składowe są nierównęj wielkości, gdy np. $K_{n,h} > K_{s,h}$, możemy za $K_{n,h}$ podstawić $K_{s,h} + S$, a wtedy otrzymujemy parę sił obracającęj i siłę S ciągnącą. Oznaczmy wynikłe zboczenie magnesu przez φ , i rozłóżmy rzeczone siły obracające na składowe prostopadłe do osi magnetycznej pływaka, i na równoległe do nięj, wtedy moment obrotu składowych pięrwszych jest równy momentowi obrotu siły magnetyzmu ziemi. Zboczenie φ musi się zmieniać, podczas gdy magnes za działaniem siły zmiennęj S postępuje ku płaszczyźnie $ABEF$, gdyż siły $K_{n,h}$ i $K_{s,h}$ rosna, gdy odległość D maleje.

Weźmy teraz pod rozwagę wyzopisane skutki działania prądu prostolinijnego na magnes pływający.

1) Drut leży nad szybą równoległe do płaszczyzny południka magnetycznego (Tabl. IX. Fig. 3). W tym razie początkowe $\delta=0$. Gdy puścimy prąd zmierzający od południa na północ, siły $K_{n,h}$ i $K_{s,h}$ obróca magnes ns A tak, że n zbliży się ku rzutowi drutu, zaczęm siła S ciągnie biegun n , a tém samém i magnes ku rzeczonęj linii. Skoro D stanie się zerem, siła S także jest zerem, gdyż wtedy $K_{n,h}=K_{s,h}$.

Znajdując się w położeniu B obróci się magnes tak, że przybliży biegun s ku rzutowi drutu. Ponieważ siła K_n ze względu na płaszczyznę położoną przez drut i biegun n jest do góry skierowana, siła zaś K_s ze względu na płaszczyznę przez drut i biegun s wyznaczoną na dół jest skierowana, przeto

składowa $K_{n,h}$ jest dodatna, a $K_{s,h}$ jest odjemna i oczywiście większa od $K_{n,h}$; za działaniem przewyżki S magnes sunie się ku rzutowi drutu, aż D stanie się zerem.

2) Drut leży nad szybą prostopadle do płaszczyzny południka magnetycznego. Prąd płynie od wschodu na zachód. (Tabl. IX, Fig 4).

Siła K_n działająca na biegun n jest ze względu na płaszczyznę przez drut i n położoną skierowana na dół; siła K_s względem płaszczyzny przez drut i biegun s przesuniętej do góry. Pierwsza daje składową poziomą $-K_{n,h}$, druga daje $+K_{s,h}$; a że $K_{s,h} > K_{n,h}$, więc siła $S = K_{s,h} - K_{n,h}$ oddala magnes od projekcji drutu. Gdy magnes leży po stronie południowej B , siła K_n jest skierowana do góry, siła K_s na dół; pozioma składowa pierwszej $+K_{s,h}$ jest większa od poziomej składowej $-K_{n,h}$, zatem magnes oddala się od drutu.

Łatwo wyrozumieć, że w razie gdy prąd galwaniczny płynie pod szybą od wschodu na zachód, magnes przysuwać się musi ku rzutowi drutu, czy jest na polu A czy na polu B .

Za odwróceniem prądu w drucie nad wodą położonym magnes dąży ku rzutowi drutu; oddala się zaś od niego, gdy prąd zmierza od zachodu na wschód w drucie leżącym pod szybą.

3) Drut jest nachylony do płaszczyzny południka magnetycznego pod kątem 45° . Prąd elektryczny płynie nad wodą od południo-wschodu. (Tabl. IX, Fig. 5) W tym razie siła K_n względem płaszczyzny przez prąd i biegun n poprowadzonej jest skierowana na dół; siła K_s względem przynależnej płaszczyzny jest skierowana na dół.

rowana do góry. Składowa pozioma $+K_{s,h}$ jest większa od $-K_{n,h}$; a więc magnes oddala się od drutu.

Takiż ruch odbywa on na polu B , bo tam siła K_n daje składową poziomą $+K_{n,h}$ większą od $-K_{s,h}$.

Umieścimy drut pod szybą w tym samym kierunku i puścimy prąd od południo-wschodu; magnes ciągniony przez siłę S zbliżać się musi ku rzutowi drutu.

4) W każdym innym przypadku, jakkolwiek jest kąt nachylenia drutu poziomo leżącego do płaszczyzny południka magnetycznego, czy drut znajduje się pod szybą czy nad wodą, dość jest wymiarkować jak siły K_n i K_s są skierowane względem płaszczyzn wyznaczonych przez drut i odpowiedni biegun, czy do góry czy na dół, jaką zatem dają składową poziomą, czy ujemną czy dodatnią, aby odgadnąć wypadek działania prądu na magnes; a ruchy tegoż, jeżeli siła prądu zdoła je przywieść do skutku, będą się zgadzały z przewidzianiami.

III. Prąd galwaniczny prostolinijny nachylony do powierzchni wody.

Nachylmy drut do poziomu o tyle, żeby część prądu najwięcej oddalona od powierzchni wody mogła skutecznie działać na magnes, co się ziści pod warunkiem, że użyjemy prądu o dostatecznej mocy, tedy spostrzeżemy, że magnes w owych przypadkach, w których przysuwa się ku rzutowi drutu, aż na nim ustawi swą linię obojętności, tam się wcale nie za-

trzymuje, lecz postępuje w kierunku wspomnianego rzutu ku miejscu gdzie odległość prądu od wody jest najmniejsza. Oczywiście doznaje on w tym ruchu nie małego oporu, ileże płynie bokiem t. j. zachowuje zboczenie, jakie mu prąd nadał, podczas gdy jego środek sunie się dalej po rzeczonyj drodze. Z tém wszystkiém przyspiesza się bieg jego, gdyż działanie prądu wzmacnia się w miarę malejącej odległości drutu od wody.

Gdy za pomocą girotropu zmienimy kierunek prądu na przeciwny, magnes przystanie na chwilę i obróci się stósownie do prawidła AMPÈRA, a potem dalej popłynie jak przedtém.

Tabl. IX. Fig. 6. Przypuśćmy, że drut leży poziomo nad wodą równolegle do płaszczyzny południka magnetycznego, i że nasz magnes ustawił środek swój na rzucie drutu, podlegając działaniu prądu płynącego od południa na północ.

Przesuńmy przez drut i biegun s płaszczyznę. Siłę K_s , która do téj płaszczyzny normalnie jest skierowana, a więc działa ukośnie do góry na płaszczyźnie prostopadłej do drutu i jego rzutu, rozłóżmy na składowe $K_{s,v}$ i $K_{s,h}$ t. j. na prostopadłą do powierzchni wody i na poziomą. Tożsamo uczynimy z siłą K_n , która także działa ukośnie do góry na płaszczyźnie prostopadłej do drutu i jego projekcyi.

Gdy teraz drut końcem N nachylimy ku wodzie o kąt i , bacząc na to, aby pozostał w południku magnetycznym, składowe $K_{n,v}$, $K_{s,v}$ obróca się o tenże sam kąt tak, że ich nachylenie do poziomu od strony północnej wynosić będzie $90^\circ - i$. Rozłóżmy te siły znowu na składowe normalne do powierzchni wody

i na poziome równoległe do projekcyi drutu, $K_{n,v} \cos(90-i) = K_{n,v} \sin i$, $K_{s,v} \sin i$, $K_{n,v} \cos i$, $K_{s,v} \cos i$. Jasną jest rzeczą, że siły $K_{n,v} \sin i$, $K_{s,v} \sin i$, zależne w równych innych okolicznościach od kąta nachylenia drutu i , sprawiają wyżopisany ruch postępowy magnesu, podczas gdy siły $K_{n,v} \cos i$ i $K_{s,v} \cos i$ ułatwiają takowy poniekąd, usiłując podnieść magnes.

Zbyteczną byłoby powtarzać rozumowanie, aby wytłómaczyć posuwanie się magnesu po rzucie drutu nachylonego do poziomemu w innych przypadkach, t. j. gdy drut nie jest równoległy do płaszczyzny południka magnetycznego.

IV. Prąd galwaniczny kołowy.

1) Płynie na płaszczyźnie równoległej do powierzchni wody.

Umieścimy pod szybą równoległe do powierzchni wody drut tak wygięty, że tworzy pierścień nie zamknięty; położmy stawkę magnesową gdziekolwiek na polu rzutu koła i puścimy prąd galwaniczny, żeby (uważany z góry) płynął od lewej ku prawej, tj. tak, jak skazówka na zegarze postępuje. Jeżeli prąd ma dostateczną siłę, spostrzeżemy następujące zjawiska.

Tabl. X, Fig. 7. Magnes ulegając działaniu prądu dąży najpierw w stronę południową ku obwodowi koła; aż środkiem swym stanie ponad drutem; następnie pomyka się ku miejscu, gdzie prąd ma kierunek normalny do płaszczyzny południka magnetycznego, w ten sposób, iż środek jego sunie się po okręgu koła czyli

po rzucie drutu, bez względu na to, czy postępuje zgodnie z biegiem prądu, czy w przeciwnym kierunku, i dopiero w nadmienioném miejscu, jako odpowiadającém stałej równowadze, zatrzymuje się w takiém położeniu, iż połowa osi magnetycznej z biegunem północnym leży na polu koła, druga zaś połowa z biegunem południowym znajduje się za okręgiem. Oznaczmy to miejsce stałej równowagi literą *A*. Punkt średnicy przeciwległy *B* odpowiada równowadze nie-stałej; jakoż magnes oddala się od tego miejsca, skoro środek jego zostanie wyruszony z punktu *B*, płynąc bądź w stronę północną poza obwód, bądź w stronę południową na pole koła.

Otwórzmy stos i umieścmy magnes zewnątrz koła na linii prostej przez punkty *A* i *B* przechodzącej, naprowadziwszy go na tę linię za pomocą patyczka, ale w takiej odległości od *A*, żeby go dosięgało skuteczne działanie prądu. Skoro puścimy prąd w kierunku biegu skazówki na zegarze, magnes podąży zaraz ku punktowi *A*, i usadowi w nim swój środek. Jeżeli go przed zamknięciem stosu umieścimy zewnątrz koła na linii *AB* w pobliżu punktu *B*, natenczas pod wpływem prądu krążącego jak skazówka na zegarze oddali się od koła w kierunku prostej *AB*.

Położony środkiem na obwodzie koła, czy po stronie wschodniej czy po zachodniej ze względu na średnicę *AB*, sunie się, gdy prąd puścimy, tak że środek jego opisuje rzut drutu, aż dojdzie do punktu *A*, stosując w ciągu téj podróży zboczenie swe do zakrętu prądu. Tam gdzie pierścień jest przerwany, potrzebuje naturalnie pomocy mechanicznej, aby się przez to miejsce przeprawił.

Będąc zewnątrz koła, ale nie na linii AB , przybięra zboczenie, gdy stos zamkniemy, stósownie do kierunku najbliższej części prądu, i albo się ku nięj przymyka, albo od nięj odstepuje, według tego, który z jego biegunów jest bliższy koła.

Nie trudno przewidzieć wypadki, jakie pociąga za sobą zmiana kierunku prądu na przeciwny. Gdy prąd (uważany z góry) płynie odwrotnie w porównaniu z biegiem skazówki na zegarze, wtedy punkt B jest miejscem odpowiadającym stałej równowadze magnesu, ku któremu on dąży znajdując się na polu lub na obwodzie koła, i gdzie zatrzymuje się jego środek; punkt A zaś odznacza się wtedy tém, że magnes za najmniejszym wyruszeniem (rozumie się jego środka) z tego miejsca w kierunku linii AB na zewnątrz, oddala się od koła, dopokąd go dosięga skuteczne działanie prądu; a za wyruszeniem na wewnątrz płynie ku punktowi B , zwalniając widocznie bieg swój na przeprawie przez środek koła.

Wszystkie opisane ruchy odbywa magnes tém rażnięj, im mocnięj jest namagnesowany, im silniejszy prąd płynie w drucie, im prąd mniejsze opasuje pole.

Można także pierścień umieścić ponad wodą, wszelako w takim razie obserwowanie magnesu w miejscach A i B jest mnięj wygodne.

2) Prąd kołowy płynie na płaszczyźnie pionowej.

Działanie, jakie prąd kołowy na płaszczyźnie pionowej krążący wywięra na magnes pływający uwy-

datnia się znakomicie, gdy użyjemy stycznicy GAUGA-
NA. Usunąwszy w tym celu (Tabl. XI, Fig. 8) bussolę,
umieścmy na podstawku ogrobloną szybę tak, żeby ją
pierścienie opasały, i naléjmy tyle wody, iżby punkty
środkowe pierścieni leżały na jój powierzchni. Mo-
cnym prądem można robić doświadczenia tego rodzaju
za pomocą jednego pierścienia (Tabl. X, Fig. 9), z dru-
tu miedzianego. W obu przypadkach szerokość szyby
stósuje się do średnicy otworu, długość zaś może być
mniejsza lub większa. Rozumié się, że ani podpora,
ani trzymadła nie powinny zawierać w sobie żelaza.

a) Płaszczyzna koła jest prostopadła do
płaszczyzny południka magnetycznego.

Magnes niech leży np. po stronie północnej z da-
ła od płaszczyzny koła na osi tegoż. Puścmy prąd
najpiérw tak, żeby od strony północnej uważany krą-
żył jak skazówka na zegarze. Magnes wykona na
miejscu zwrot biegunów, i popłynie wzdłuż osi koła
do centrum, (gdzie się jednak środek jego rzadko kie-
dy zatrzymuje, ponieważ to położenie odpowiada nie-
stałej równowadze); ztąd posunie się bokiem ku dru-
towi i to w tę stronę, gdzie mu właśnie bliżej ku
niemu.

Umieścmy magnes jak poprzednio, i puścmy prąd
w kierunku przeciwnym. Magnes podąży zaraz ku środ-
kowi koła, a ztamtąd bokiem ku obwodowi. Znajdu-
jąc się po stronie południowej wykona w obu przy-
padkach analogiczne ruchy. Jeżeli był umieszczony

mimo osi koła, działanie prądu sprowadzi jego środek najkrótszą drogą na średnicę koła, a po niej ku drutowi.

W każdym razie środek magnesu zostaje na średnicy pierścienia, a biegun północny występuje na tę stronę, po której prąd w drucie płynie odwrotnie jak skazówka na zegarze, południowy zaś na drugą stronę, po której bieg prądu galwanicznego jest zgodny z biegiem skazówki na zegarze.

b) Płaszczyzna koła jest równoległa do płaszczyzny południka magnetycznego.

Gdy przed zamknięciem stosu wprowadzimy środek magnesu w centrum koła, działanie prądu puszczanego objawi się tem, że magnes zastosuje swe zboczenie do mocy prądu, i wychyli biegun południowy na tę stronę, po której prąd krąży jak skazówka na zegarze. Jeżeli siła prądu jest w stanie ubezwzględnić działanie kierujące magnetyzmu ziemi, magnes ustawi się normalnie do płaszczyzny koła. Ponieważ w centrum pierścienia jako w miejscu niestałej równowagi trudno mu się utrzymać, środek jego opuszcza zwykle to miejsce i przysuwa się ku drutowi.

Oddalmy nasz magnes, kiedy stos jest otwarty, od płaszczyzny koła, bacząc jednak na to, żeby odległość jego nie przekroczyła granicy, do której sięga skuteczne działanie prądu. Skoro stos zamkniemy, magnes wykręci się odpowiednio do kierunku prądu i wejdzie linią obojętności w otwór pierścienia t. j. nawdzieje pierścień na siebie,

Ruchy magnesu podlegającego działaniu prądu kołowego dają się wytłómaczyć działaniem sił składowych. HAEDENKAMP ¹⁾, SECCHI ²⁾ podali wyrazy na oznaczenie sił składowych czynnych w kierunkach trzech osi spórzędnych prostopadłych do siebie, jakie prąd kołowy wywiera na bieguny małego magnesu, pod warunkiem, że w biegunach skoncentrowany jest magnetyzm. Atoli i bez zastosowania wspomnianych wywodów analitycznych znajdziemy dostateczne wyjaśnienie w AMPÈRA teorii magnetyzmu i w prawach elektrodynamicznych.

Prąd kołowy działa na pobliski biegun magnesowy jak cieniutka blaszka, opatrzona na jednej stronie (gdzie bieg prądu jest zgodny z obrotem skazówki na zegarze) magnetyzmem południowym, a po drugiej stronie północnym. Najdzielniejszą częścią tego blaszkowego magnesu jest jego obwód.

Gdy drut przewodni w okrąg zgięty leży pod szybą równoległe do powierzchni wody, pływak magnesowy dąży ku rzutowi drutu jako ku miejscu najmocniejszego działania, a gdy go dosięgnie linią objętności, zostawia biegun różnoimienny (ze względu na biegun blaszki) na polu koła, drugim zaś biegunem wystaje poza obwód.

Ponieważ tylko w miejscu literą *A* naznaczonym nie zbacza od południka magnetycznego, a prądy, które według przypuszczenia AMPÈRA każdą jego warstewkę poprzeczną okrążają, w częściach dolnych

¹⁾ *Pogg. Ann. Bd. LXXVIII.*

²⁾ *Researches on electrical rheometry. Smithsonian Contr. III.*

t. j. najbliższych prądu galwanicznego w drucie płynącego mają w założonym przypadku kierunki zgodne z kierunkiem tego prądu, jasną więc rzeczą, dlaczego tylko w miejscu *A* utrzymać się może w równowadze stałej. W stanowisku *B* równowaga nie może być stała, bo kierunki dolnej części prądów Amperowskich są wprost przeciwne kierunkowi prądu galwanicznego. Odpychanie się prądów równoległych a w przeciwne strony płynących tłómaczy nam, dla czego magnes odsuwa się od *B*, skoro jego środek odwiedziemy nieco od tego punktu czyto na pole koła czy poza takowe.

Zastanówmy się teraz nad tém, jaki jest skutek działania prądu elektrycznego na magnes, gdy tegoż środek znajduje się na rzucie obwodu koła np. Tabl. XII, Fig. 10. w punkcie *D*. W tém miejscu oś magnetyczna jest nachylną do południka magnetycznego. Działanie części prądu leżącej pod magnesem nadaje mu moment obrotu, który się równoważy z momentem obrotu przez magnetyzm ziemi udzielonym. Atoli cząstki prądu przy *E* i *F* równemi łukami od *D* odległe, wywierają na biegun *n* nierówne siły, gdyż odstęp *En* jest mniejszy niż *Fn*; z téjże saméj przyczyny działa cząstka *F* na biegun *s* silniej aniżeli cząstka *E*. Przesuńmy przez styczną *Ee* i przez *n* płaszczyznę, i rozłożmy siłę K_n , którą cząstka *E* wywiera na *n*, a którato siła ma kierunek prostopadły do rzeczonej płaszczyzny i ukośnie na dół ciągnie, na trzy składowe prostopadłe do siebie, tak, żeby jedna z nich była równoległa do stycznój *Dd*, tedy okaże się, że ta składowa ciągnie w kierunku zgodnym z *Dd*. Z rozkładu siły K_n odnośnej do cząstki *F* i prostopadłej

do płaszczyzny wyznaczonej przez styczną Ff i przez biegun n wynika wprawdzie składowa wprost przeciwna tamtéj ale mniejsza od niéj; przeważa zatém działanie ciągnące n w kierunku równoległym do Dd ku miejscu bliższemu stanowiska A . Podobnie daje K_s odnośna do F składowę równoległą do Dd , która ciągnie s w kierunku zgodnym z Dd , a większa jest od składowéj wprost przeciwnie działającéj, jaką siła K_n odnośna od E wydaje. Biorąc na uwagę inne cząstki prądu galwanicznego równemi łukami od D odległe, łatwo zrozumiémy, że z ich działania na bieguny magnesu także wynikać musi ruch tegoż ku miejscu A , i to po rzucie prądu, gdyż od cząstki do cząstki obwodu powtarza się podobne położenie z odpowiedniami odmianami zboczenia; a tylko w stanowisku A magnes zajmuje takie położenie, że cząstki prądu symetrycznie względem południka magnetycznego leżące są w równéj odległości od n , względnie od s .

Że działanie cząstek równemi łukami od punktu G odległych na bieguny magnesu wyłania siły, które go ciągną ku A , chociaż prąd galwaniczny płynie od A , okazuje się jasno, skoro rozłożymy siły K_n i K_s na składowe tak, żeby jedna z nich była równoległa do stycznej Gg , i uwzględnimy zboczenie magnesu oraz kierunki rzeczonych sił K_n , K_s .

Co się tyczy objawów działania, jakie prąd galwaniczny na płaszczyźnie pionowéj kołujący wywiéra na magnes, tłumaczenie takowych na zasadzie praw elektrodynamicznych z przypuszczeniem prądów Amperowskich jest tak łatwe, iż zbyteczną byłoby rozwódzić się nad szczegółami. Zresztą i do roztrząsań

analitycznych utworowana jest droga, lubo BRAVAIS ¹⁾ w wywodzie miał na oku szczególny przypadek, gdy środek magnesu znajduje się na osi koła prądowego.

V. Prąd galwaniczny płynie w drucie wężykowatym poziomym.

W deszczulce prostokątnej Tabl. XIII, Fig. 11. tkwią dwoma równoległymi rzędami kołeczki drewniane w takich odstępach, że części drutu osnowanego prosto wyciągnięte są w równej odległości jedna od drugiej. Nad tém pasmem poziomo leżącym umieścimy szybę ogrobloną i nalejmy warstwę wody.

Ponieważ w sąsiednich częściach drutu prąd galwaniczny ma kierunki przeciwne, nie wpływa więc na ustawienie się magnesu, jeżeli tenże znajduje się w obrębie prostokąta obejmującego rzut drutu.

Najczęściej magnes nie zostaje na polu rzeczowego prostokąta, chyba, że przypadkiem bieguny jego są w równych odstępach od przeciwległych boków, lecz podąża ku bliższemu bokowi, t. j. ku rzutowi linii, na której leżą wierzchołki zakrętów drutu, i tam ustawia się tak, jak nad ciągłym prostoliniowym drutem.

W tym razie cząstki oddzielne prądu jednako-
wego kierunku działają społem na magnes, jakby prąd nieprzerwany, rozumie się, o tym samym kierunku.

¹⁾ BRAVAIS. *Ann. de ch. et de phys.* 1853.

VI Magnes pływa ponad kręgiem metalowym wirującym około osi pionowej.

Oddziaływanie prądów indukowanych w kręgu metalowym poziomo wirującym na magnes, który im daje początek, ujawnia się, jak wiadomo, zboczeniem tegoż lub nawet ciągłym kręceniem się w tę stronę, w którą krąg odbywa obroty. W doświadczeniach tego rodzaju robionych zapomocą aparatu, jaki ARAGO na ten cel obmyślił, magnes wspiera się na wrzecionku pionowym, ustawionym na szybie szklanej, która ponad kręgiem poziomo jest utwierdzona, albo także wisi na nitce kokonowej.

Tabl. XIII, Fig. 12. Wstawmy taki aparat, w którym niema nic żelaznego, bez nakrywy szklanej pomiędzy owe podpórki, o których na początku była mowa, i na tych położmy naszą szybę ogrobloną, bacząc na to, żeby krąg metalowy w bardzo małym odstępnie od niej poziomo wirował. Ponieważ według doświadczeń, jakimi BABBAGE, HERSCHEL, NOBILI, BACELLI robili dochodzenia, prądy indukowane w kręgu, *ceteris paribus*, są tém silniejsze, im metal większą posiada zdolność przewodzenia (wyjąwszy żelazo), przeto najlepiej użyć kręgu miedzianego. Grubość warstwy wody musi być umiarkowana, ażeby odległość magnesu pływającego od kręgu nie zrządzała zbytniej ujemny indukcji.

Rzut kręgu na powierzchnię wody nazwijmy dla krótszego wyrażania się polem indukcji, a średnicę równoległą do południka magnetycznego, która pole indukcji dzieli na półkole wschodnie i zachodnie,

średnicą południkową. W półkolu zachodniem bieg cząstek kręgu wirującego jest przeciwny w porównaniu z biegiem cząstek w półkolu wschodniem.

Dajmy na to, że krąg obraca się jak skazówka na zegarze, a magnes leży na wschodniem półkolu, tedy skutkiem oddziaływania indukowanych prądów dąży nasz pływak z mniejszą lub większą chyżością, stósownie do wartkości kręgu i do miejsca, w którym się właśnie znajduje, od północy na południe. Jeżeli zejdzie z pola indukcji, sprowadźmy go na nie, aby przynajmniej połową swój długości mógł indukować prądy, a obaczmy, że w pobliżu średnicy południkowej bokiem posuwać się będzie, aż przejdzie na półkole zachodnie; poczem zgodnie z biegiem téj części kręgu popłynie polem indukcji na północ. Ażeby się nie zapędził poza koło, gdy już jest blisko obwodu, dosyć jest zmniejszyć w miarę chyżość obrotu kręgu; pomału przeprawi się bokiem na drugą stronę średnicy południkowej, aby znowu dążyć w kierunku od północy na południe. .

Można tym sposobem dwa pływaki magnesowe jednocześnie utrzymywać w obiegu, umieściwszy początkowo jeden na wschodniem a drugi na zachodniem półkolu. W takim razie jeden z nich płynie od lewej ku prawej, podczas gdy drugi zmierza od prawej ku lewej. Im magnes bliżej środka pola indukcji, tém leniwiéj postępuje. Że niejednostajne wirowanie kręgu przeinacza jego chyżość, zbytęczną byłoby nadmieniać.

W celu wytłómaczenia opisanych przenoszeń się magnesu ponad kręgiem wirującym miejmy na uwadze dolne części Amperowskich prądów, okrążających poprzecznie magnes, i baczmy na to, że te czę-

ści jako najbliższe kręgu a więc jako najskuteczniej działające, głównie indukują prądy w metalu. Dowiedziona jest rzeczą, że w częściach przewodnika zbliżających się do prądów elektrycznych powstają prądy indukowane odwrotnego kierunku, w oddalających się zaś prądy zgodnego kierunku. Prądy te przebiegają dalsze części metalu i tworzą układy krzywych zamkniętych; rozumié się, że części ich najbliższe magnesu przeważnie nań oddziałują. Otóż w położeniu *A*, Tabl. XII, Fig. 13, magnes doznaje od nich popędu do biegu od północy na południe zgodnie z biegiem tego półkola kręgu; prądy bowiem *mm*, *mm*,... i *pp*, *pp*,... odpychają się nawzajem, podczas gdy *zz*, *zz*,... działają na *mm*, *mm*,... przyciągająco. W położeniu *B*, t. j. na kraju pola indukcji w pobliżu średnicy południkowej, gdzie cząstki metalu przemykają w kierunku omal prostopadłym do wspomnianej linii, prądy indukowane *pp*, *pp*,... i *zz*, *zz*,... sprawiają taki ruch magnesu, skutkiem którego tenże dostaje się bokiem płynąc na drugie półkole.

We Lwowie dnia 20 Września 1879 r.

Fig. 1.

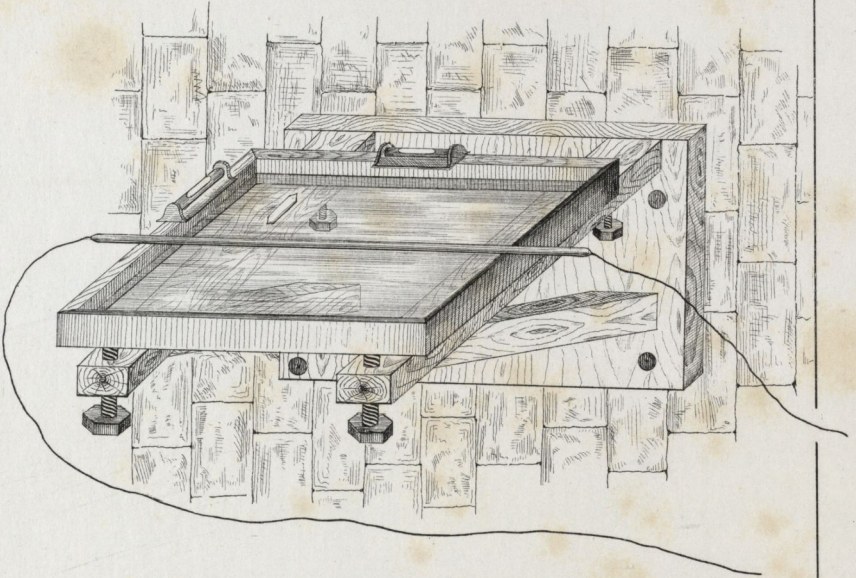


Fig. 2.

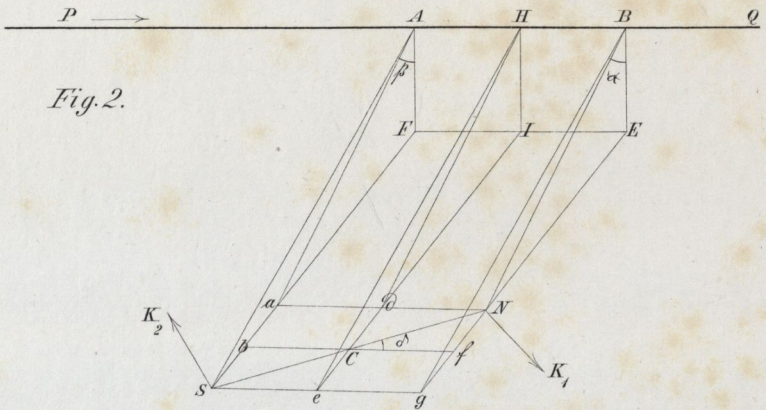


Fig. 4.

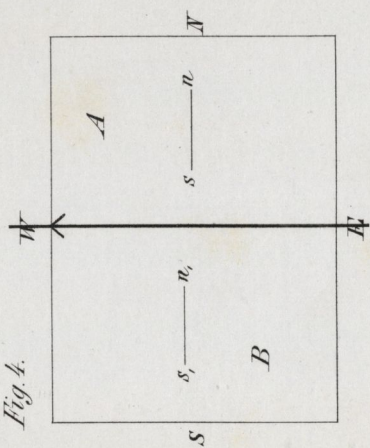


Fig. 6.

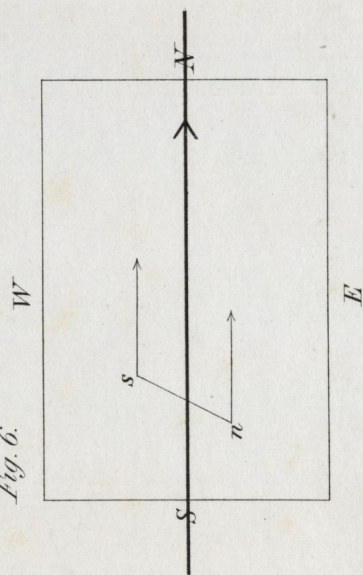


Fig. 3.

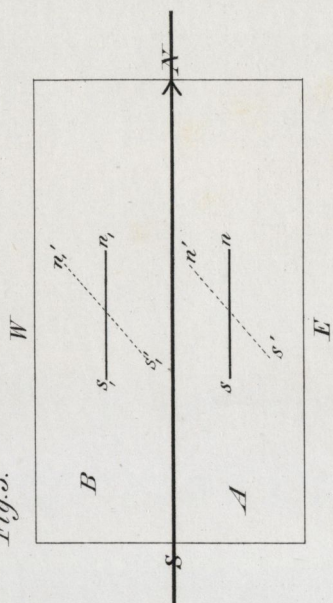


Fig. 5.

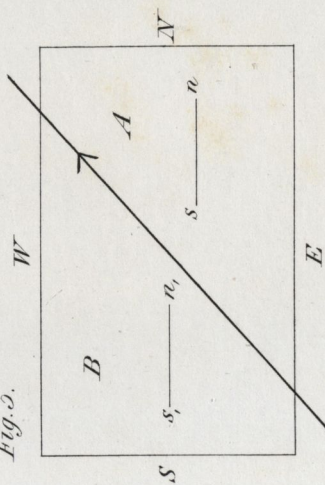


Fig. 7.

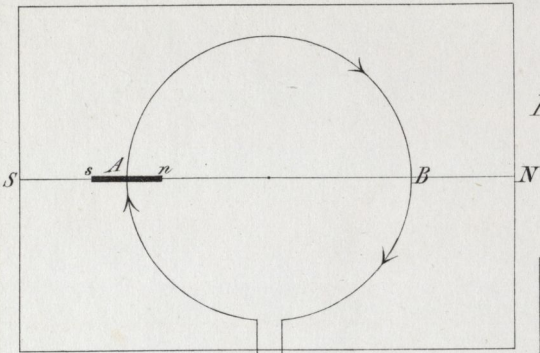


Fig. 9.

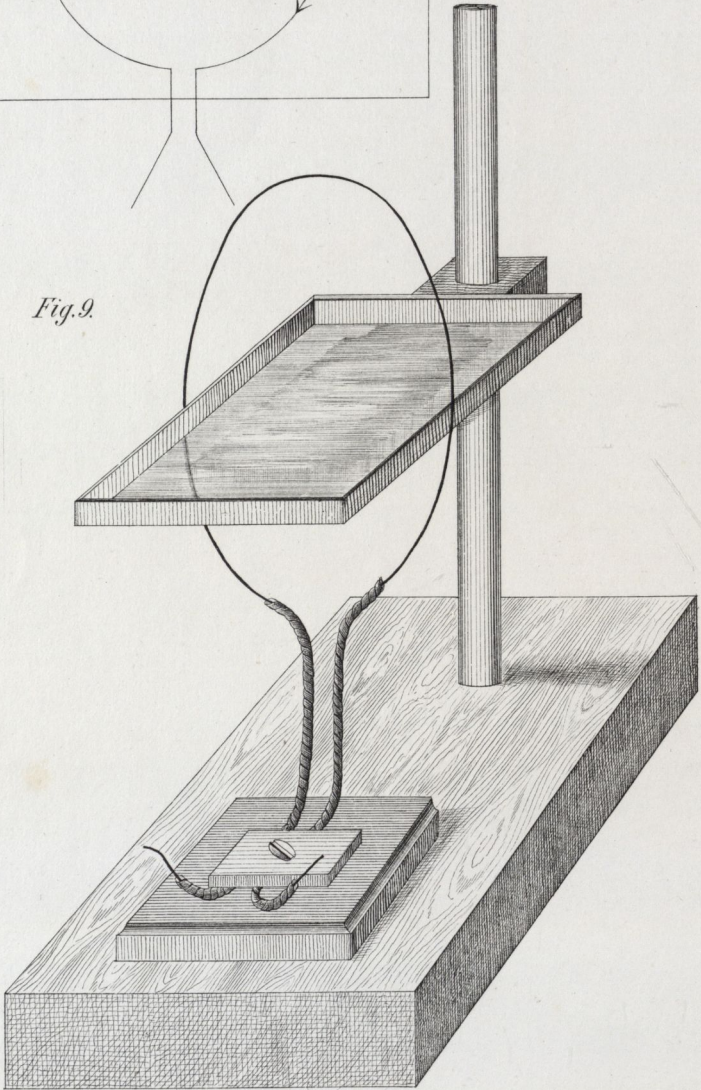
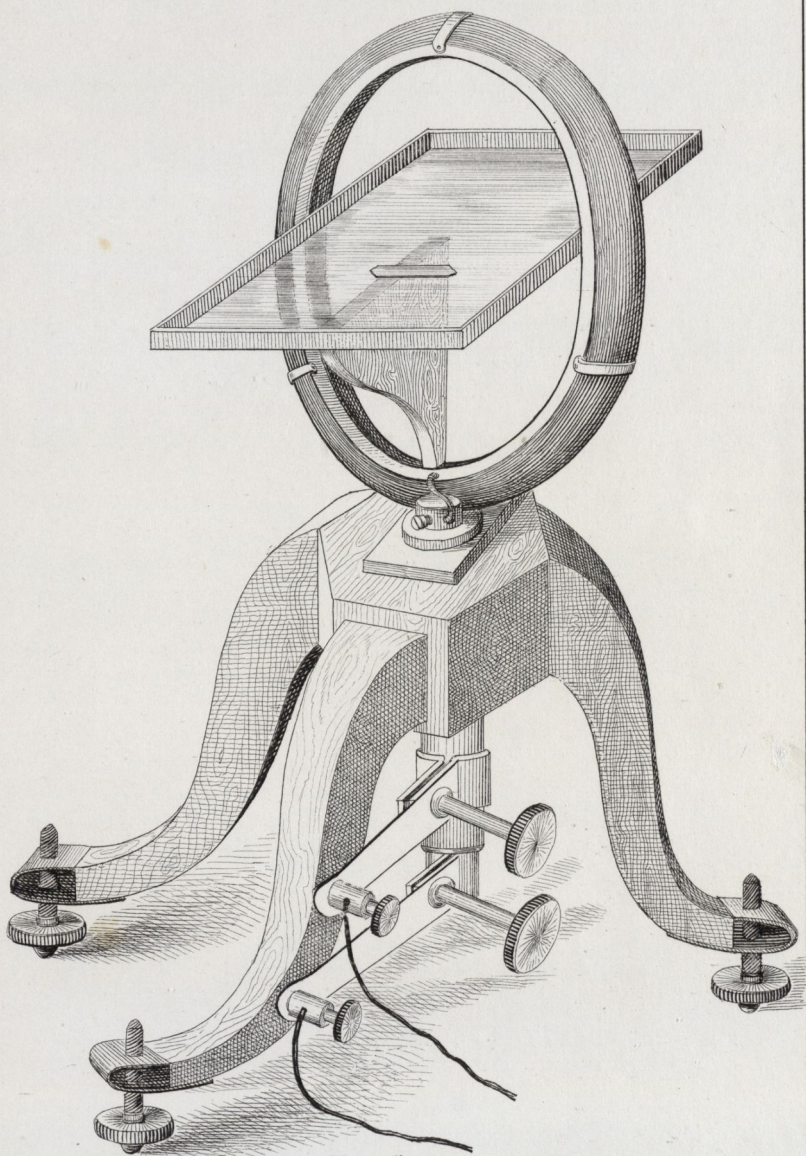


Fig. 8.



Litogr. M. Salba w Krakowie.

Fig. 10.

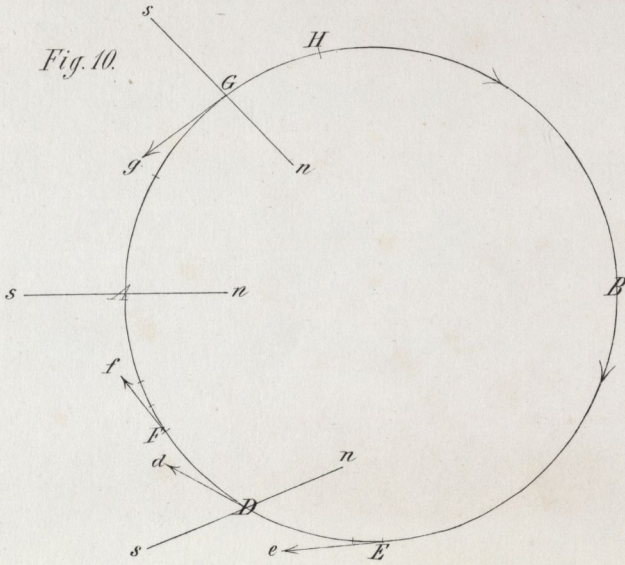


Fig. 13.

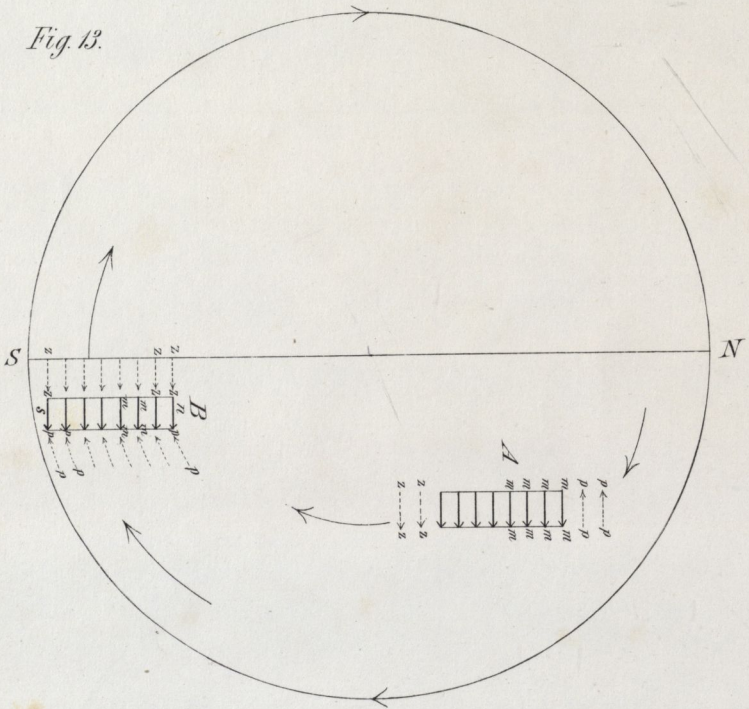


Fig. 11.

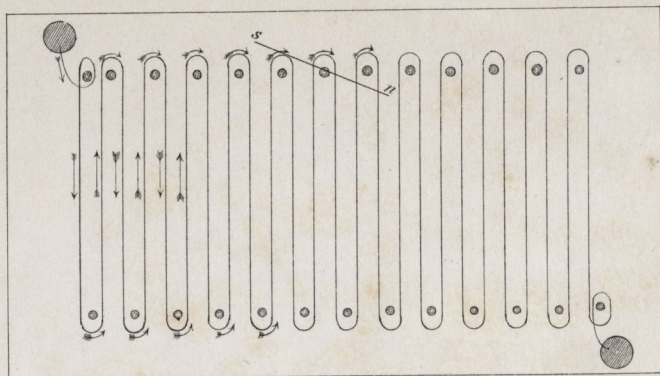


Fig. 12.

