

p. 5316

K S I A Ź N I C A

Lwów, ul. Czarnieckiego 12 — Warszawa

poleca jako lekturę z zakresu fizyki
i nauk pokrewnych:

- Burdecki F.: **Budowa wszechświata**. Z 17 ryc. i 12 tabl. 2,—
Popularne przedstawienie zdobyczy astronomii w ostatnich dziesięcioleciach.
- Burdecki F.: **Podróże międzyplanetarne**. Z 22 ilustr. 1,40
Przedstawia w przystępny sposób zagadnienia międzyplanetarnych podróży z punktu
widzenia współczesnej epoki.
- Burdecki F.: **Tajemnice Marsa**. Z 24 ryc. i 6 tabl. 2,60
Omawia wszystkie stosunki kosmiczne panujące na Marsie, uwzględniając dotych-
czasowe badania nad tą planetą.
- Burdecki F.: **Życie maszyn**. Z 21 ilustr. 4,40
Książka kreśli drogi rozwojowe nauk technicznych w przeszłości i teraźniejszości,
odkrywając nowe horyzonty przed człowiekiem przyszłości.
- Fournier d'Albe E.: **Cuda fizyki**. Z 75 ryc. 2,—
Popularna historia rozwoju nauk fizycznych w ciągu wieków.
- Fuchs Z.: **Budowa materii** 0,50
Zwięzłe wprowadzenie w aktualne dla nauki dzisiejszej zagadnienia struktury
materii.
- Malarski T.: **Prądy termoelektronowe**. Lampy katodowe.
Ilustr. 1,50
Krótka i treściwa broszurka, traktująca o zasadniczym dla radiotechniki zagadnie-
niu prądów termoelektronowych.
- Malec St.: **Harce elektronów**. Z 70 ryc. 2,—
Książka ta zestawia w przystępny sposób wszystkie wiadomości niezbędne do zro-
zumienia podstaw radiofonii i telewizji.

*

LEKTURA Z FIZYKI

Wydawnictwo zbiorowe, omawiające w popularnej a zarazem na-
ukowo poprawnej formie najrozmaitsze tematy z zakresu fizyki.

Zesz.

Dotychczas ukazały się:

1. Sadzewiczowa M.: **Chłodnictwo**. Ilustr. 0,90
2. Łastowiecki A.: **Promienie Roentgena i ich zastoso-
wanie**. Ilustr. 2,80
3. Jeżewski M.: **Przenoszenie obrazów na drodze elek-
trycznej i telewizja**. Ilustr. 3,40

Dalsze zeszyty w przygotowaniu.

*

ŚWIAT i ŻYCIE

Zarys encyklopedyczny współczesnej wiedzy i kultury. Nacz. redaktor
dr Z. Lempicki. Zawiera liczne artykuły z zakresu fizyki i nauk
pokrewnych, opracowane przez najwybitniejszych uczonych i specja-
listów polskich.

Prosimy żądać prospektów w Admin. Świata i Życia
Lwów, Czarnieckiego 12

ST. MALEC i W. WERNER

F I Z Y K A

DLA IV KL. GIMNAZJALNEJ

K S I A Ź N I C A - A T L A S

ST. MALEC i W. WERNER

CZYTELNIA

FIZYKA

DLA IV KL. GIMNAZJALNEJ

CENA WRAZ ZE ZNACZKIEM
NA TOWARZYSTWO POPIERANIA BUDOWY
PUBLICZNYCH SZKÓŁ POWSZECHNYCH
WYNOSI zł 2,50

Henryk Horodeński
BIAŁYSTOK
ul. Szosa Wschodnia № 32



KSIĄŻNICA - ATLAS

S. A. ZJEDN. ZAKŁADY KARTOGRAF. I WYDAWNICZE T. N. S. W.

LWÓW-WARSZAWA

1936

Część I

O SIŁACH, PRACY I RUCHU

Rozdział I

O RÓWNOWADZE SIŁ

Wstępne wiadomości o siłach.

W otoczeniu naszym odbywają się rozmaite zjawiska. Gdy chcemy niektóre z nich opisać, wyjaśnić, wytłumaczyć, posługujemy się często takimi wyrazami, jak siła, wysiłek, silny i t. p., albo też używamy wprawdzie innych słów, ale mamy na myśli działanie jakiejś siły.

Naprzykład, gdy mówimy „robotnik podnosi cegłę...”, koń ciągnie pług..., wiatr popycha żagłówkę..., woźnica hamuje rozpędzony wóz..., chłopak napręża gumę u procy..., para, sprężona w kotle, ciśnie na membranę manometru...”, wówczas w słowach „podnosi, ciągnie, popycha, hamuje, napręża, ciśnie” wyrażamy nie co innego, jak zauważone przez nas objawy działania rozmaitych sił. W przytoczonych przykładach mamy do czynienia z siłami, wywieranymi przez mięśnie człowieka i zwierzęcia, przez wiatr, oraz przez parę, sprężoną w kotle maszyny parowej.

Rozważmy, na jakiej to podstawie w zjawiskach tych dopatrujemy się działania sił. Co jest tym sprawdzianem, który upewnia nas, że w pewnych wypadkach działa jakaś siła?

Po odpowiedź na to pytanie zwróćmy się najlepiej do doświadczeń, wykonanych przy użyciu siły naszych własnych mięśni. Albowiem siła, wywierana przez nasze mięśnie, stanowi jedyny wypadek, kiedy jej działanie odczuwamy bezpośrednio (jako wysiłek mięśni); we wszystkich innych wypadkach o działaniu siły możemy tylko wnioskować, jej istnienia możemy się tylko domyślać.

Doświadczenie. A) Kulę, leżącą na stole, popychamy ręką. — Kula pod działaniem wywieranej na nią siły przechodzi ze spoczynku w ruch.



Podręcznik dozwolony przez Ministerstwo W. R. i O. P.
do użytku w szkołach średnich ogólnokształcących.

B) Tę samą kulę, wprowadzoną uprzednio w ruch, popychamy kolejno a) w kierunku jej ruchu, b) prostopadle do kierunku ruchu, c) w kierunku przeciwnym ruchowi. — Kula pod działaniem tych sił: a) przyśpiesza swój ruch, b) zbacza z pierwotnego toru, c) zwalnia swój ruch, wzgl. zatrzymuje się.

Doświadczenie. Naciągamy obiema rękami w przeciwnych kierunkach kawał gumy, ściskamy spiralną sprężynę stalową, zginamy elastyczny pręt. — Doświadczenie to wskazuje, że ciała pod wpływem tych sił wydłużają się, skracają, uginają, czyli ulegają odkształceniom.

Jak widzimy, siły wywierane na jakieś ciało, wywołują albo zmianę jego ruchu, albo jego odkształcenie. Każdy z tych objawów stanowi dla nas wystarczającą podstawę do wnioskowania, że na dane ciała działają jakieś siły. Innymi słowy, działania siły dopatrujemy się zawsze tam, gdzie zaobserwujemy zmianę ruchu lub odkształcenie ciała.¹ W pierwszym wypadku, gdy siła wywołuje zmiany ruchu ciała, mówimy o dynamicznym działaniu siły, a dział fizyki, zajmujący się temi zagadnieniami, nazywamy **dynamiką**.

W drugim wypadku mamy coś innego. Tu siły, wywierane na ciało, nie wprowadzają go w ruch; mówimy, że siły te równoważą się wzajemnie. Dział fizyki, zajmujący się zagadnieniem równowagi sił, nazywa się **statyką**. Najprostszym przykładem, wchodzącym w zakres statyki, to równowaga dwóch sił, działających na ciało w dwu przeciwnych kierunkach; takie dwie siły uważamy za równe.

Doświadczenia wykazują, że zarówno zmiany ruchu, jak i odkształcenia ciał, mogą być rozmaite: mogą być większe lub mniejsze, mogą iść w tym lub innym kierunku. To wskazuje, że i siły, wywołujące te zmiany, mogą być większe lub mniejsze, a przytem mogą mieć taki lub inny kierunek. Każda siła ma pewne cechy, które poznajemy na podstawie zmian, wywołanych jej działaniem. Rozpatrzmy po kolei owe cechy czyli znamiona siły:

Doświadczenie. Ściskając sprężynę rękami raz mocniej, to znowu słabiej, widzimy, że odkształcenie sprężyny jest tem większe, im silniej ją ściskamy.

Obserwator, porównawszy wielkość tych odkształceń, może z nich wnioskować o wielkości działającej siły. Może na tej podstawie porównać dwie siły, oceniając jedną z nich jako większą od drugiej.

Analogicznie można ocenić wielkość siły na podstawie ruchu ciała. Np. gdy rzucamy kolejno tym samym kamieniem raz na małą wyso-

¹ Niekiedy odkształcenie jest tak małe, że gołym okiem trudno je dostrzec, np. spłaszczenie ściśniętej cegły. Można je jednak stwierdzić zapomocą dostatecznie czułych przyrządów.

kość, drugi raz na większą, powiadamy, że za drugim razem działaliśmy nań większą siłą, niż za pierwszym razem.

Innymi słowy siła jest wielkością fizyczną, którą można zmierzyć i wyrazić jej wartość odpowiednią liczbą. Jak mierzyć siły, dowiemy się niebawem.

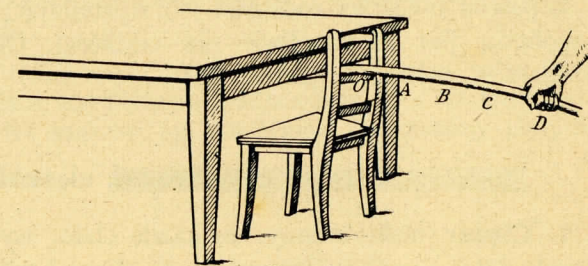
Doświadczenie. Popychając kulę, toczącą się po stole lub wahającą się na sznurku, najpierw zgodnie z jej ruchem, następnie wpoprzek i wkońcu wbrew jej ruchowi, obserwujemy za każdym razem inne zachowanie się kuli nawet wtedy, gdy każde pchnięcie jest jednakowo silne; w pierwszym wypadku kula przyśpiesza, w drugim zbacza, w trzecim zwalnia swój ruch.

Podobnie odmienne wyniki zauważymy w odkształceniu spiralnej sprężyny, jeśli będziemy ją rękami rozciągali lub zginali: W pierwszym wypadku, gdy siły są skierowane na zewnątrz względem końcówek sprężyny, sprężyna wydłuża się; w drugim, gdy siły skierowane są ku środkowi, sprężyna skracą się.

Widać stąd, że objawy działania siły zależą nie tylko od jej wielkości, ale i od kierunku jej działania. Z objawów tych można wnioskować o kierunku działania siły. Kierunek działania jest więc drugą znaną cechą siły.

Doświadczenie. Opieramy kij o krzesło i stół, jak na ryc. 1, i, posuwając rękę wzdłuż kija kolejno przez punkty *A*, *B*, *C*, *D*, naciskamy go ciągle w tym samym kierunku, t. j. pionowo w dół, ciągle z jednakową siłą.

Przekonywamy się, że kij przełamie się dopiero wtedy, gdy miejsce np. *D*, w którym wywieramy nacisk na kij, jest dostatecznie odległe od punktu podparcia *O*.



Ryc. 1.

W tym wypadku o rezultacie działania siły decyduje nie tylko wielkość i kierunek siły, ale także jej punkt przyłożenia. To samo odnosi się do wielu innych zjawisk. Np. przy odlamywaniu gałęzi od pnia, przy wiezieniu obciążonych tacek, przy zakręcaniu śruby kluczem i t. p. wynik działania naszej siły zależy w wybitnym stopniu od tego, w którym miejscu chwycimy taczki, gałąź, klucz i t. d. Bywają co prawda przypadki, gdzie wybór punktu przyłożenia siły nie wpływa na wywołany ruch. Jako przykład takiego wypadku może tu posłużyć ruch wozu, ciągniętego za dyszel: ruch ten będzie zawsze jednakowy niezależnie od tego, w którym miejscu chwycimy za dyszel.

Doszliliśmy zatem do wniosku, że działanie siły cechują w każdym wypadku 3 charakterystyczne znamiona: 1) wielkość siły, 2) kierunek jej działania, 3) punkt przyłożenia (zaczepienia) siły. Znając te 3 cechy, potrafimy przewidzieć naprzd, jakie będą skutki działania danej siły.

Na zakończenie tych wstępnych rozważań wypada jeszcze zwrócić uwagę na wielką rozmaitość sił pod względem ich pochodzenia. Pojęciem „siła” obejmujemy te wszystkie czynniki, których działanie zdolne jest wywołać takie objawy, jak zmiana ruchu lub odkształcenie ciała.¹ Wiemy z doświadczenia, że objawy takie można wywołać zapomocą rozmaitych sił, a więc działaniem mięśni ludzi i zwierząt, działaniem ciężaru jakiegoś ciała (np. na ryc. 1, zamiast naciskać kij siłą mięśni, można to samo osiągnąć, zawieszając na kiju odpowiedni ciężar), dalej działaniem wiatru, sprężonej pary wodnej, magnesu i t. d. Źródłem tych wszystkich sił są zawsze jakieś ciała, a więc mięśnie człowieka, sprężyna, magnes i t. d. Siła, wywierana na jakiekolwiek ciało, pochodzi zawsze od jakiegoś innego ciała. Np. w doświadczeniu na ryc. 1. występują dwa ciała: ręka i sprężysty kij. Siła, wywierana na kij, pochodzi od naszej ręki. Ale i naodwrot: naciskając kij, odczuwamy wyraźnie, że i on jednocześnie ciśnie na rękę w kierunku przeciwnym. Działaniu (*akcji*) ręki na kij odpowiada przeciwdziałanie (*reakcja*) kija na rękę.

Z pośród mnóstwa rodzajów sił, występujących w przyrodzie, najpospolitszą jest niewątpliwie siła ciężkości. Objawy jej spotykamy wszędzie w postaci „ciężaru” ciał.

Ciężar ciała. Środek ciężkości.

1. Ciężar ciała. Wiemy, że każde ciało, nawet „najlżejszy gaz”, posiada jakiś ciężar. Trzymając na dłoni bryłkę żelaza, odczuwamy jej nacisk, skierowany pionowo w dół. By zapobiec upadkowi bryłki, działamy na nią siłą ręki w kierunku do góry; przeciwstawiamy w ten sposób ciężarowi żelaza równą mu, lecz przeciwnie skierowaną siłę naszych mięśni. Inny kawał żelaza, np. większy od poprzedniego, ciśnie na rękę silniej, niż poprzedni; do utrzymania go na dłoni potrzebny jest większy wysiłek mięśni, niż przedtem.

Ciężar ciała może w wielu wypadkach zastąpić działanie siły naszych mięśni, może wywołać odkształcenie innego ciała, może przełamać

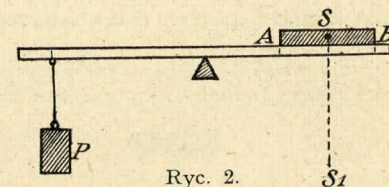
¹ Wynika stąd, że takie terminy (używane często w mowie potocznej), jak „siła woli”, „siła przyzwyczajenia” i t. p. nie mają w fizyce żadnego znaczenia.

kij, może wprowadzać w ruch inne ciała (np. wiadro, wpadające do studni, rozwija łańcuch na wale i wprowadza wał w ruch obrotowy), słowem ciężar ciała jest siłą o określonej wielkości, skierowaną zawsze pionowo w dół.

Mówiąc o „ciężarze” jako o wielkości, która posiada cechy charakterystyczne dla pojęcia siły, zapytajmy, czy posiada on także trzecią cechę: punkt przyłożenia siły?

Odpowiedź na to pytanie znajdziemy niebawem.

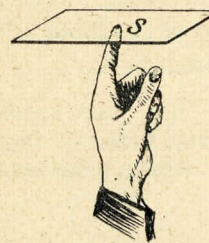
2. Środek ciężkości. Doświadczenie. Na dźwigni, jak na ryc. 2, zawieszamy na jednym ramieniu dowolny ciężar P , a na drugim kładziemy prostokątną płytę drewnianą w takim miejscu, aby nastąpiła równowaga dźwigni. Znaczymy kredą na listwie krańce A i B , do których sięgały brzoگی płyty. Następnie zdejmujemy płytę i zawieszamy ją na temże ramieniu zapomocą sznurka tak, by znowu nastąpiła równowaga.



Ryc. 2.

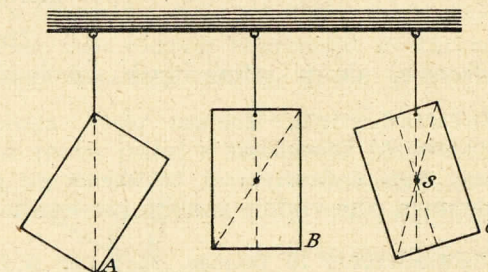
Okazuje się, że sznurek trzeba było zawiesić na linii SS_1 , która przecina się z listwą dokładnie w połowie odcinka AB . A zatem płyta, aczkolwiek zajmowała na listwie miejsce od A do B , wywierała takie same działanie, jak gdyby całym swym ciężarem cisnęła w S , czyli jak gdyby cały jej ciężar był skupiony w jej środku. Jest to zastanawiające. Zróbmy w związku z tem, jeszcze kilka doświadczeń.

Ćwiczenie 1. Kładziemy naszą płytę poziomo na końcu palca, podpierając ją w takim miejscu, aby płyta nie spadała z palca (ryc. 3). Oznaczmy to miejsce jakimkolwiek znakiem, np. krzyżykiem, zawieszamy płytę na



Ryc. 3.

Równowaga płytki.



Ryc. 4. Sposób wyznaczania środka ciężkości.

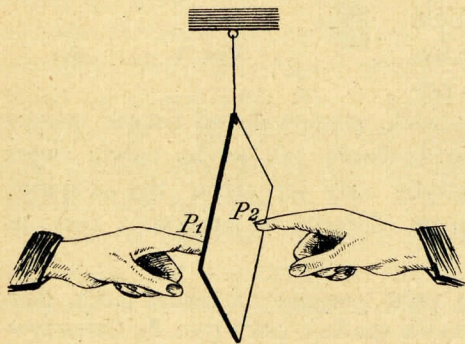
nitce kolejno w pozycjach A , B , C (ryc. 4) i wykreślamy na płycie za każdym razem prostą stanowiącą przedłużenie nitki. Stwierdzamy, że wszystkie te proste przecinają się w jednym punkcie S i to tym samym, w którym należało płytę podeprzeć, aby utrzymać ją w równowadze. Można to zresztą sprawdzić ponownie.

Doświadczeń takich możemy wykonać więcej z rozmaitymi ciałami. Pouczają nas one, że z każdym ciałem związany jest pewien osobliwy punkt, mający tę własność, iż zachowuje się tak, jak gdyby w nim właśnie był skupiony ciężar całego ciała. Nazywamy go **środkiem ciężkości** danego ciała.

Nietrudno sprawdzić, że każde ciało posiada tylko jeden środek ciężkości. Jest nim punkt geometryczny (a nie cząstka materji); leży on bądź w obrębie materji, z której wykonane jest dane ciało (np. w środku płyty, cegły i t. p.), bądź poza obrębem samego ciała (np. środek ciężkości obręczy, sierpa). Punkt ten łatwo znaleźć doświadczalnie sposobem, przedstawionym na ryc. 4.

Aby zrozumieć głębiej, jaki sens fizyczny posiada ten punkt, zrobimy jeszcze pewne doświadczenia.

Doświadczenie. Zawieszamy naszą płytkę na nitce i, przyłożywszy palce do jej brzegów w punktach P_1 i P_2 (jak na ryc. 5), popychamy ją palcami w przeciwnych kierunkach; płytka wykonywa obrót.



Ryc. 5. Para sił, wywołująca ruch obrotowy ciała.

Powtarzamy doświadczenie, ustawiając palce ściśle naprzeciw siebie; jeśli siły, wywierane przez oba palce, będą jednakowe, płytka pozostanie w spoczynku.

A zatem dwie równe i w odwrotne strony skierowane siły równoważą się tylko wtedy, jeśli ich punkty przyłożenia leżą na tej samej prostej, stanowiącej kierunek działania siły.

Zróbmy jeszcze podobne doświadczenie, ale w odmiennych cokolwiek warunkach.

Doświadczenie. Zamiast płyty, zawieszamy w taki sam sposób lekki kartonik. Dmuchaając z jednej strony na płaszczyznę kartonu, zapobiegamy jego ruchowi przez naciskanie go palcem od strony przeciwnej w dobranym odpowiednio punkcie przyłożenia.

Doświadczenie to poucza, że także w tym wypadku można mówić o punkcie przyłożenia siły, wywieranej przez wiatr, choć w rzeczywistości dmuchaliśmy nie na jeden punkt, lecz na całą powierzchnię kartonu. Punkt ten wskazaliśmy palcem w chwili, gdy udało się nam zrównoważyć działanie wiatru.

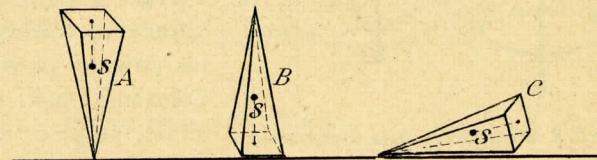
Teraz wróćmy do zjawiska, przedstawionego na ryc. 3. Jeśli usuniemy palec, podtrzymujący płytkę, płytka zacznie spadać na ziemię.

Spadanie to odbywa się pod działaniem siły ciężkości, wywieranej na nią przez ziemię. Aby spadaniu zapobiec, przeciwstawiamy tej sile równą jej, lecz przeciwnie skierowaną siłę, wywieraną przez palec. Doświadczenie wykazuje przytem, że siłę tę należy przyłożyć nie gdzieindziej, tylko w punkcie S . Możemy więc stąd wnosić, że ten właśnie punkt jest punktem przyłożenia siły ciężkości, wywieranej przez ziemię na płytkę. Ściślej rzecz biorąc, leży on nie na powierzchni, lecz wewnątrz płytki, w połowie jej grubości. Wprawdzie działaniu siły ciężkości podlega każda cząstka ciała (podobnie, jak każdy punkt powierzchni kartonu pod działaniem wiatru), ale wynik tego działania jest taki, jak gdyby na ciało działała jedna tylko siła, przyłożona do punktu S .

3. Rola środka ciężkości w równowadze ciał podpartych lub zawieszonych. Ćwiczenie 2. Wyznaczamy (sposobem, przedstawionym na ryc. 4) środki ciężkości kilku brył o różnych kształtach. Następnie ustawiamy te bryły kolejno w rozmaitych pozycjach; odchylamy je od tych pozycji, badając warunki wywrotności tych ciał w zależności od położenia ich środków ciężkości względem punktów podparcia.

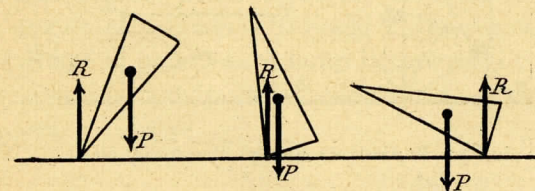
Doświadczenia takie pouczają nas, że położenie środka ciężkości względem podstawy, na której spoczywa ciało, decyduje o trwałości równowagi tego ciała.

Oto na ryc. 6 widzimy trzy jednakowe ostrosłupy, spoczywające na podstawach w trzech różnych położeniach. Ich środki ciężkości oznaczono literą S . Bez



Ryc. 6. Równowaga ciał podpartych.

wahania powiemy, że z tych trzech położen, położenie A jest najmniej trwałe, ponieważ do zburzenia tego rodzaju równowagi wystarcza najmniejsze odchylenie ostrosłupa, wywołane choćby drobnym wstrząsem.



Ryc. 7. Ostrosłupy, wytrącone z położenia równowagi.

Natomiast takie same, a nawet większe odchylenie ostrosłupa z pozycji B , a tembardziej z C , niczem nie grozi, bo ostrosłup wróci samorzutnie do położenia pierwotnego.

Ostrosłup, postawiony w pozycjach, jak na ryc. 7, musi dokonać obrotu — podobnie, jak musiała się obracać zawieszona na nici płytka drewniana, czy kartonowa, gdyśmy działali na nią siłami z dwóch

przeciwnych stron, ale nie wzdłuż tej samej prostej. Tu każdy ostrosłup znajduje się pod działaniem takiej właśnie niezrównoważonej pary sił: jedna z nich to ciężar graniastosłupa czyli siła P , skierowana do dołu, druga to oddziaływanie czyli reakcja podstawy R , skierowana do góry. Jak nastąpi skutek tego kierunku obrotu w każdym z tych wypadków, widać od razu z ryciny.

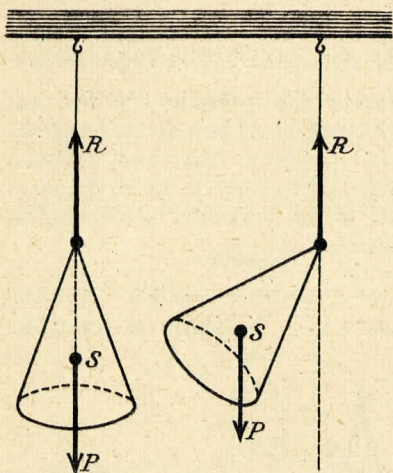
Z powyższego wynika, że ciało podparte pozostaje tylko wtedy w równowadze, gdy linia pionowa, poprowadzona przez jego środek ciężkości, przechodzi albo przez sam punkt oparcia albo przez powierzchnię pomiędzy punktami podparcia.

Podobne warunki równowagi mamy i przy zawieszeniu ciała; wyjaśnia to dostatecznie ryc. 8.

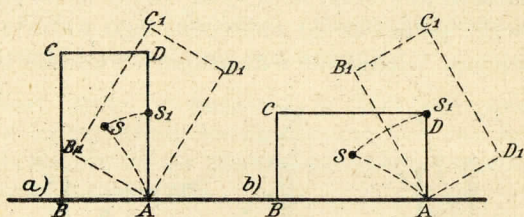
Rozpatrzmy jeszcze zachowanie się jednolitego prostopadłościanu $ABCD$, jak na ryc. 9 a. Jeśli ustawimy go na węższej podstawie AB , i będziemy go oddychać o niewielkie kąty, obracając dookoła krawędzi A , będzie on zawsze powracał do pierwotnego położenia, póki nie odchyłimy go tak silnie, że pion, opuszczony z S , znajdzie się poza krawędzią A . Jeśli na-

stępnie prostopadłościan ułożymy na szerszej podstawie, to — jak widać na ryc. 9 b — musimy go obrócić o kąt większy niż przedtem, aby osiągnąć położenie graniczne, poza którym nie powróci już do położenia pierwotnego. Mówimy, że w tym drugim przypadku równowaga ciała jest trwalsza, czyli bardziej statyczna, niż w poprzednim. Stałość równowagi jest więc tem większa, im szersza jest podstawa ciała oraz im niżej znajduje się jego środek ciężkości.

Stałość równowagi możemy zwiększyć, obniżając środek ciężkości przez obciążenie dolnej części ciała materiałem o ciężarze właściwym większym od części górnej (np. przez wykonanie dolnej części prosto-



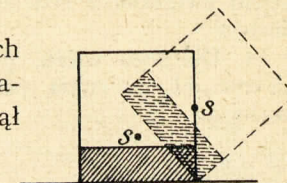
Ryc. 8. Równowaga ciała zawieszonego.



Ryc. 9. Badanie stałości równowagi ciał.

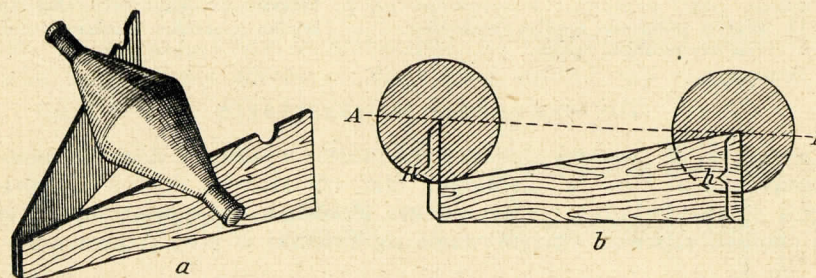
padłościanu $ABCD$ z metalu, a górnej z drewna — ryc. 10). Z porównania ryciny 9 z ryciną 10 widać od razu, jak wpływa to na zwiększenie stałości równowagi.

We wszystkich przytoczonych wypadkach ciało, podparte lub zawieszone, dąży do ustalenia się tak, by jego środek ciężkości zajął możliwie najniższe położenie.



Ryc. 10. Wpływ obniżenia środka ciężkości na stałość równowagi ciał.

Ilustruje to dosadnie doświadczenie, jak na ryc. 11a. Oto stożek (wzg. dwustozek), położony na zwężonym końcu pochylni, potoczy się natychmiast „w górę” ku rozwartej jej stronie. Oczywiście nietrudno zauważyć, że owo wznośzenie się stożka jest tylko złudzeniem. Porównawszy bowiem jego położenie początkowe i końcowe, widzimy, że w położeniu początkowym odległość H jego środka ciężkości od podstawy jest większa od odległości h w położeniu końcowym. W rzeczywistości więc środek ciężkości stożka zsuwa się po prostej pochyłej AB , jak to wyjaśnia ryc. 11b.



Ryc. 11. Stożek toczący się w górę.

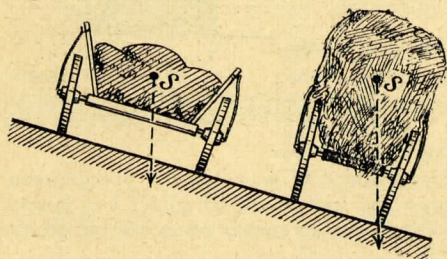
Świadomi warunków równowagi, uwzględniamy je przy wyrobie naczyń (np. czajniki, dzbanki), przy konstrukcji wozów, samochodów, mebli i t. p., nadając tym przedmiotom takie kształty, aby miały szerokie podstawy, a ich środki ciężkości leżały możliwie najniżej. Oprócz tego obciążamy je często u dołu dodatkowo, wykonując celowo dolne części z materiałów ciężkich, jak np. masywne i szeroko rozstawione trójnogi statywów szkolnych, płyty żelazne lub ołowiane w podstawach lamp biurowych i t. p. To samo stosujemy przy ładowaniu statków, łodzi, wozów i t. p., umieszczając na dnie przedmioty najcięższe.

Pytania.

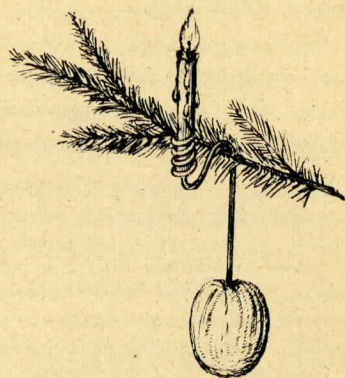
1. Na ryc. 12 widzimy dwa naładowane wozy, znajdujące się na pochyłych terenach. Wyjaśnij stany równowagi obu tych wozów.
2. W którą stronę i dlaczego, pochyla się człowiek, niosący ciężar: a) na plecach, b) w prawej ręce, c) w lewej? Jak porusza tułowiem w czasie chodzenia?

3. Czy wszystkie zwierzęta czworonożne chodzą w jednakowy sposób? Zwróć uwagę na kolejność podnoszenia nóg u różnych czworonogów i uzasadnij związane z tem ruchy ich ka-
dłubów.

4. Dlaczego wieża, przedstawiona na ryc. 71, nie runie, pomimo że jest pochyla?



Ryc. 12. Wpływ położenia środka ciężkości na wywrótność wozu.



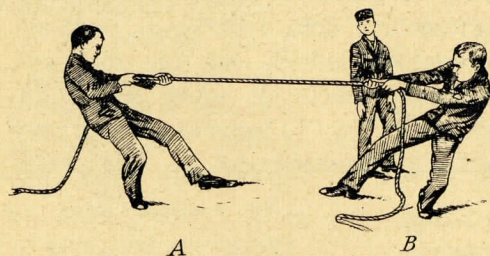
Ryc. 13. Stałość równowagi lichtarzyka, uzyskana przez obniżenie środka ciężkości poniżej punktu zawieszenia.

Do wykonania w warsztacie.

Lichtarzyki do świeczek choinkowych możesz wykonać z drutu w sposób, przedstawiony na ryc. 13. Lichtarzyk taki, obciążony u dołu (celem przesunięcia środka ciężkości poniżej punktu zawieszenia) i zawieszony na gałązce choinki, zapewnia utrzymywanie się świeczki w pozycji pionowej.

Mierzenie sił (statyczne).

4. Porównywanie sił na podstawie ich równowagi. Rycina 14 przedstawia dwu zapaśników A i B, ciągnących mocną linę wzdłuż tej samej prostej w dwu przeciwnych kierunkach. Każdy z zapaśników



Ryc. 14. Równowaga sił.

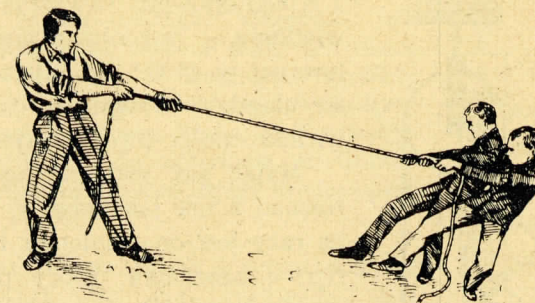
usiłuje przyciągnąć linę do siebie; jeśli mimo to lina pozostaje w równowadze, powi-
damy, że wywierane przez nich siły równoważą się, a więc są sobie równe.

Niech następnie ci sami dwaj zapaśnicy ciągną linę zgodnie w jednym kierunku, a ktoś trzeci silniejszy od

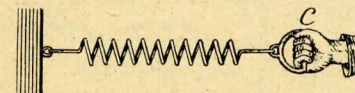
nich, np. atleta, niech ciągnie ją w kierunku przeciwnym (ryc. 15). Gdyby okazało się, że mimo działania tych sił lina pozostaje w spoczynku, powiemy, że atleta jest dwa razy silniejszy od każdego z za-

paśników, albo, że siła, wywierana przez atletę, jest dwa razy większa od siły jednego zapaśnika. Analogicznie — gdyby lina była ciągniona z jednej strony np. przez konia, a z drugiej np. aż przez 5 ludzi — powiedzielibyśmy, że siła konia jest 5 razy większa od siły człowieka.

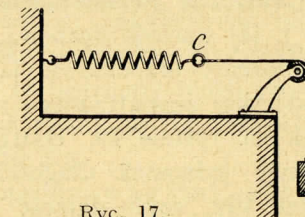
W przytoczonych przykładach mówiliśmy o równoważeniu się sił, wywieranych przez mięśnie ludzi i zwierząt. Ale przecież siły mogą być też innego pochodzenia. Np. na ryc. 16 na pierścień C działają dwie równoważące się siły, z których jedna jest wywierana przez mięśnie człowieka, druga przez sprężynę. Na rycinie zaś 17, po zastąpieniu siły



Ryc. 15. Porównywanie sił na podstawie ich równowagi.



Ryc. 16.



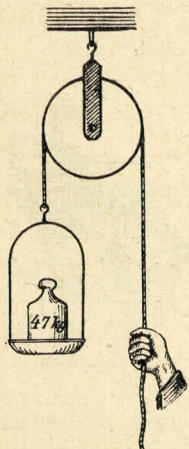
Ryc. 17.

człowieka odpowiednim ciężarem, pierścień znajduje się pod działaniem dwu równych sił: z jednej strony działa nań siła sprężyny, z drugiej ciężarek zawieszony na sznurku.

Jak widać z tego, na podstawie równowagi sił, działających na jakieś ciało w przeciwnych kierunkach wzdłuż tej samej prostej, możemy te siły porównywać pod względem ich wielkości, czyli możemy je mierzyc. Wystarczy w tym celu obrać jedną z tych sił za jednostkę, by każdej z pozostałych przypisać odpowiednią liczbę, wyrażającą, ile razy każda z nich jest większa lub mniejsza od siły przyjętej za jednostkę.

W naszych przykładach taką, dorywczo przyjętą siłą jednostkową była siła zapaśnika. Jednostka taka byłaby oczywiście dla celów praktycznych wielce niedogodna, chociażby z tego względu, że, chcąc mieć wzorce takich jednostek, musielibyśmy mieć do dyspozycji mnóstwo jednakowo silnych zapaśników, a to jest przecież rzeczą niemożliwą. Dlatego za jednostkę obrano inną siłę, która jest wszędzie i zawsze do dyspozycji, a sporządzenie jej wzorców nie sprawia żadnego kłopotu.

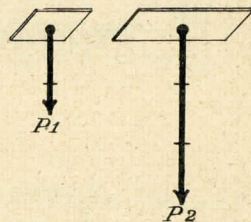
5. Ciężarowe jednostki siły. Za jednostkę siły dla celów praktycznych przyjęto ciężar 1 Kg. Jego wzorcem jest ciężar każdego 1-Kilogramowego odważnika wagowego, który — jak wiadomo — jest równy ciężarowi 1 dm³ wody dystylowanej w 4^o C.¹ Do mierzenia sił mniejszych używa się ułamków Kilograma (G i Mg), do większych jego wielokrotności (np. Tonny).



Ryc. 18.

Mając już ustaloną jednostkę siły, możemy porównać z nią jakąkolwiek inną siłę i wyrazić liczbą, ile razy jest ona mniejsza lub większa od siły 1 Kg. Np. o zapaśniku, który potrafi utrzymać w równowadze zapomocą sznurka szalkę, obciążoną ciężarem 47 Kg (ryc. 18), powiemy, że ciągnie on sznurek z siłą 47 Kg. Jeśli z taką samą siłą ciągnął on linę na ryc. 14, to wynika stąd, że siła drugiego zapaśnika wynosiła również 47 Kg., siła zaś atlety, jako dwa razy większa, 94 Kg.

6. Graficzne przedstawienie siły. Gdy znamy wszystkie cechy siły, t. j. jej wartość liczbową, jej kierunek działania i punkt przyłożenia, możemy przedstawić ją graficznie w postaci odcinka, zaopatrzonego w strzałkę, w sposób, jak na rycinie 19. Długość odcinka zawiera tyle jednostek długości, ile siła zawiera jednostek siły, czyli długość jest proporcjonalna do wielkości siły; kierunek odcinka i jego zwrot, wskazany strzałką, jest zgodny z kierunkiem działania siły; wreszcie początek odcinka wskazuje punkt przyłożenia siły. Tak więc ciężary dwu płyt żelaznych o ciężarach $P_1 = 1\frac{1}{2}$ Kg i $P_2 = 3$ Kg, oznaczamy zapomocą odcinków $P_1 = 1\frac{1}{2}$ jednostek dług. i $P_2 = 3$ jednost. dług., przyczem oba odcinki wykreślamy ze środków ciężkości płyt i skierowujemy je pionowo w dół. Rycina 20 wyobraża znowu przypadek równowagi sił, wywieranych na pierścien C, o którym była mowa w ust. 4 (ryc. 16).



Ryc. 19.



Ryc. 20. Graficzne przedstawienie równowagi sił.

Taki sposób graficznego przedstawiania sił jest w wielu wypadkach bardzo wygodny; to też będziemy się nim nieraz posługiwali.

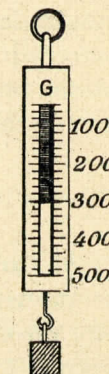
¹ Dla ścisłości należałoby jeszcze dodać, że chodzi o taki ciężar, jaki posiada ten odważnik pod 45^o szer. geogr. Jak wykazały bowiem badania fiz., odważnik taki, w miarę posuwania się ku biegunowi ziemi, staje się cokolwiek cięższy, ku równikowi — lżejszy. Różnica ta jest jednak tak drobna, że w praktyce można ją pominąć.

7. Dynamometr. Ćwiczenie 3. Na haczyku, przymocowanym do długiej listewki, zawieszamy sprężynkę stalową (ryc. 21) i obciążamy ją kolejno coraz większymi ciężarkami (np. 20 G, 40 G i t. d.), baczając pod koniec, by nie przeciążyć sprężynki. Jednocześnie sporządzamy na listewce skalę: Po obciążeniu sprężynki ciężarkiem 20-Gramowym kreślimy na listewce kreskę tuż obok najniższego zwoju sprężyny i piszemy przy tej kresce liczbę 20 G; następnie, obciążwszy sprężynkę ciężarkiem 40-Gramowym, kreślimy odpowiednio niżej drugą kreskę i przy niej liczbę 40 G i t. d.



Ryc. 21.

Wycechowany w ten sposób przyrząd nazywa się *dynamometrem*¹ albo siłomierzem. Wykończoną jego postać przedstawia rycina 22. Rzecz jasna, że przy użyciu silniejszej sprężyny można ją obciążać większymi ciężarkami; otrzymamy wtedy dynamometr, wycechowany nie w Gramach, lecz w Kilogramach.



Ryc. 22. Dynamometr.

Przyrząd taki odda nam znakomite usługi przy mierzeniu sił. Jeśli bowiem naciągniemy następnie dynamometr jakąkolwiek inną siłą, np. siłą naszych mięśni, i odczytamy, że wskazówka zatrzymała się na podziałce, oznaczonej liczbą np. 25 Kg, to będziemy mogli powiedzieć, że siła naszych mięśni działała tak, jak ciężar 25 Kg. Wyrażamy to krócej, mówiąc, że siła nasza wynosi 25 Kg.

Dynamometry nazywamy także poprostu wagami sprężynowymi. W życiu codziennem używane są często wagi sprężynowe, polegające nie na rozciąganiu, lecz na zginięciu sprężyny. Bywają też siłomierze, których działanie polega na zginaniu stalowego kabłąka i t. p.

8. Działanie i przeciwdziałanie. Rozpatrzmy jeszcze raz zjawisko, przedstawione na ryc. 16. Mamy tu człowieka i sprężynę, przymocowaną do ściany. Od chwili, gdy człowiek rozpoczyna ciągnąć sprężynę, odczuwa doskonale, że jednocześnie sprężyna ciągnie i jego i to w kierunku przeciwnym, niż on sprężynę. W miarę, jak naciąga sprężynę mocniej, także i jego mocniej ciągnie sprężyna. Działaniu mięśni odpowiada równe mu przeciwdziałanie sprężyny, lecz przeciwnie skierowane.

To samo spotykamy wszędzie, gdziekolwiek mamy do czynienia z siłami. Np. w zjawisku na ryc. 1 działaniu ręki na kij odpowiada przeciwdziałanie kija na rękę, wywołane jego sprężystością; ciężarowi bryły, spoczywającej na stole, odpowiada reakcja stołu; ciężarowi

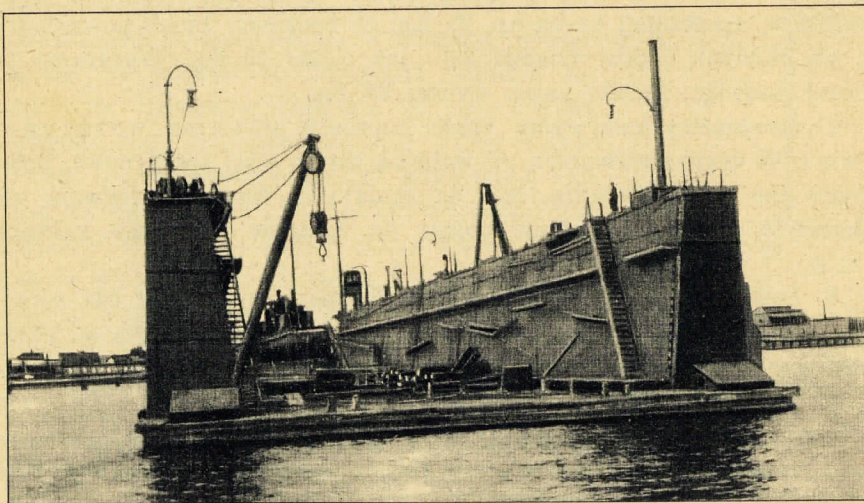
¹ Po grecku: dynamis = siła.

ciała, zawieszonego na sznurku, odpowiada reakcja sznurka (ob. ryc. 8) i t. d. Tak dzieje się zawsze. Działaniu jakiegokolwiek ciała A na inne ciało B towarzyszy zawsze równe mu, lecz przeciwnie skierowane przeciwdziałanie, wywierane przez ciało B na A . Owo powszechne prawo przyrody nazywamy w fizyce zasadą działania i przeciwdziałania (albo zasadą akcji i reakcji).

Równowaga sił w maszynach prostych.

9. Co nazywamy w fizyce maszynami prostymi? Wiadomo, że do wykonania jakiegokolwiek pracy niezbędne jest działanie siły. Siły tej mogą dostarczyć mięśnie człowieka lub zwierzęcia, wiatr, prąd wody i t. p.

Otóż zdarza się często, że siła, jaką mamy do dyspozycji, jest z tych lub innych względów nieodpowiednia, np. ma inny kierunek, albo jest za mała, aby zadaniu podołać. Np. jeśli chcemy wbić lub wyjąć gwóźdź ze ściany, lub rozłupać kawał drewna, wkręcić mocno jakąś śrubę, wówczas okazuje się, że bezpośrednio palcami uczynić tego nie możemy, bo siła naszych mięśni jest za mała do pokonania tak dużych oporów.



Ryc. 23. Dźwig portowy.

Używamy wówczas rozmaitych mniej lub więcej skomplikowanych narzędzi, jak obcęgi, klina, klucza do śrub i t. p., zapomocą których jakoś sobie już poradzimy.

Na czym polega rola tych narzędzi? Rozważmy to na przykładach: Oto np. próbujemy wyrwać korzeń z ziemi, ciągnąc go rękami pio-

nowo w górę; korzeń ani drgnie. Bierzymy długi, mocny drąg, podkładamy pod korzeń jeden jego koniec, opieramy go następnie w odpowiednim miejscu o jakiś kamień lub inną podpórkę i, naciskając rękami drugi koniec drąga, wyrwamy korzeń z łatwością.

Próbujemy podnieść w górę beczkę, by załadować ją na wóz; beczka za ciężka. Przystawiamy do wozu pochyły pomost i wtaczamy po nim beczkę bez wielkiego wysiłku.

Jak widać z tych przykładów, narzędzia takie pozwalają nam pokonać małym wysiłkiem duże opory.

Narzędzia tego rodzaju spotykamy często w różnych odmianach i postaciach, jak bloki, śruby i t. p. Nieraz kilka różnych narzędzi jest połączonych w jednej maszynie, np. w dźwigu (ryc. 23), w rowerze i t. d. Nietrudno jednak dostrzec, że każde takie narzędzie, choćby było najbardziej skomplikowane, składa się zawsze z pewnych elementów prostszych; z pośród nich najważniejsze, bo najpospolitsze i najczęściej używane, są dwa typy t. zw. maszyn prostych: dźwignia i równia pochyła. Inne to tylko odmiany jednego z tych typów lub zespoły, złożone z obu typów.

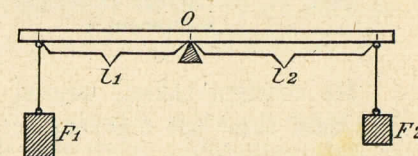
10. Równowaga sił przy użyciu dźwigni. Ćwiczenie 4. Na dźwigni, zaopatrzonej w podziałkę milimetrową, zawieszamy dwa dowolne ciężarki F_1 i F_2 w takich odległościach l_1 i l_2 od osi obrotu, aby dźwignia pozostała w równowadze (ryc. 24). Odczytujemy odległości l_1 i l_2 , t. zw. ramiona sił, następnie obliczamy iloczyny $F_1 l_1$ i $F_2 l_2$ i porównujemy otrzymane wyniki liczbowe.

Doświadczenie powtarzamy kilkakrotnie, zmieniając ciężarki F_1 i F_2 oraz odległości l_1 i l_2 .

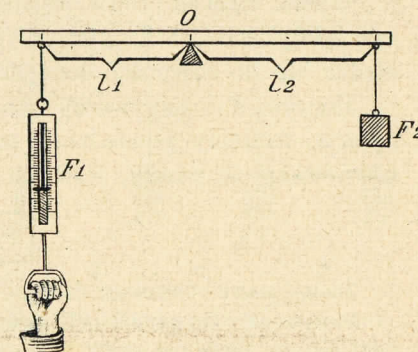
Przerabiamy to samo, posługując się także dynamometrem (ryc. 25).

Z doświadczeń tych okazuje się, że warunkiem równowagi dźwigni nie jest równość sił F_1 i F_2 , lecz równość iloczynów: $F_1 l_1 = F_2 l_2$. Oczywiście nie wyklucza to możliwości $F_1 = F_2$, ale będzie to szczególny przypadek, który zachodzi tylko wtedy, kiedy także $l_1 = l_2$; wypadek ten zachodzi np. przy wagach, których belka jest dźwignią równoramienną.

Dźwignie, przedstawione na rycinach 24 i 25, nazywamy dwu-



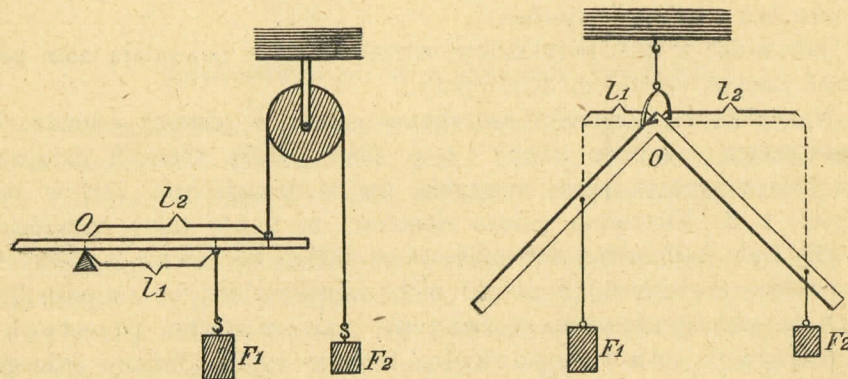
Ryc. 24. Równowaga na dźwigni dwustronnej.



Ryc. 25.

stronnemi (gdyż tu działały siły po obu stronach osi obrotu dźwigni). Obecnie postąpimy inaczej.

Ćwiczenie 5. Na dźwignię działamy siłami F_1 i F_2 , skierowanymi w przeciwne strony, jak na ryc. 26. Ciężarki F_1 i F_2 oraz ramiona sił l_1 i l_2 dobieramy tak, aby dźwignia pozostała w równowadze. Obliczamy i porównujemy iloczyny $F_1 l_1$ i $F_2 l_2$.



Ryc. 26. Równowaga na dźwigni jednostronnej.

Ryc. 27. Równowaga na dźwigni zgiętej.

Na dźwigni takiej, zwanej jednostronną, warunek równowagi jest taki sam, jak i przedtem: równość iloczynów $F_1 l_1 = F_2 l_2$.

Ćwiczenie 6. Powtarzamy to samo na dźwigni, zgiętej pod dowolnym kątem.

Wynik doświadczenia wskazuje, że, jeśli za ramiona sił przyjmujemy odległości l_1 i l_2 (ryc. 27), także i tu warunek równowagi sprowadza się do równości iloczynów $F_1 l_1 = F_2 l_2$.

Iloczyn $F \cdot l$ nazywamy *momentem siły*. Wprowadziliśmy to nowe pojęcie, możemy powiedzieć, że siły, wywierane na ramiona dźwigni, równoważą się wtedy, jeśli ich momenty są sobie równe:¹

$$F_1 l_1 = F_2 l_2$$

Znając prawo równowagi dźwigni, możemy stosować je w różnych przypadkach.

Przykład: Do podniesienia ciężaru $P=200$ Kg siłą $F=50$ Kg użyto drąga o długości 300 cm. Gdzie był punkt podparcia (oś obrotu) tego drąga, użytego do tego celu w roli dźwigni dwustronnej?

Odpowiedź na to pytanie możemy znaleźć w dwojaki sposób:

a) Z prawa równowagi dźwigni wynika, że skoro siła F jest 4 razy mniejsza od ciężaru P (gdyż $200 : 50 = 4$), to ramię siły po stronie P powinno być 4 razy mniejsze od ramienia po stronie F . Całą więc długość dźwigni dzielimy (w myśli) na 5 równych czę-

¹ Pod warunkiem, że kierunki tych sił są względem siebie równoległe.

ści, z czego jedna część przypadnie na krótsze ramię siły, a cztery pozostałe na dłuższe. Dzieląc $300 : 5 = 60$, mamy odpowiedź: ramię krótsze 60 cm, a więc dłuższe 240 cm.

b) To samo obliczymy z układu równań o dwu niewiadomych. Oznaczając ramię krótsze literą l_1 , dłuższe — l_2 , napiszemy dwa równania:

$$1) 200 l_1 = 50 l_2$$

$$2) l_1 + l_2 = 300$$

Z drugiego równania mamy

$$l_2 = 300 - l_1$$

Podstawiając to do równania pierwszego, otrzymamy

$$200 l_1 = 50(300 - l_1),$$

$$\text{skąd } l_1 = 60.$$

11. Inne maszyny, podlegające prawu dźwigni.

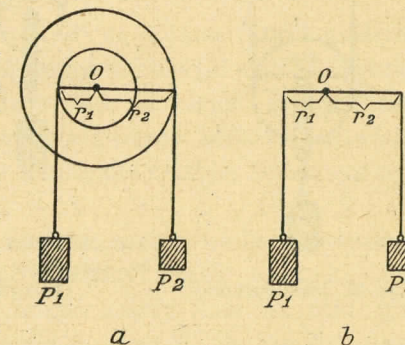
Blok nieruchomy. Gdy przez blok przerzucimy nitkę i obciążymy ją na obu końcach jednakowymi ciężarkami, blok pozostanie w równowadze.

Biorąc pod uwagę, że zwisające po obu stronach nitki znajdują się w równej odległości od osi obrotu bloku, możemy przyrównać ten wypadek do równowagi dźwigni dwustronnej o równych ramionach. Tu mamy również $l_1 = l_2$, więc — zgodnie z prawem równowagi dźwigni — także i siły po obu stronach bloku muszą być równe. Używając takiego bloku, nie zyskujemy nic na sile; blok taki służy wyłącznie do korzystniejszej zmiany kierunku siły czynnej, np. przy podnoszeniu materiałów na wyższe piętra budowli.

Kołowrót. Ćwiczenie 7. Na nitkach, z których jedna nawinięta jest na mniejszym, a druga na większym kole kołowrotu, zawieszamy ciężarki P_1 i P_2 , dobrane tak, aby kołowrót pozostał w równowadze (ryc. 28 a). Mierzimy promienie obu kół r_1 i r_2 , następnie obliczamy iloczyny $P_1 r_1$ i $P_2 r_2$ i porównujemy otrzymane wyniki liczbowe.

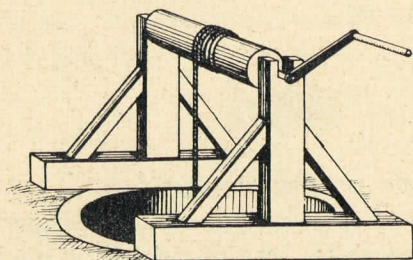
Okazuje się, że kołowrót podlega też prawu równowagi dźwigni. Należy go mianowicie traktować jako dźwignię dwustronną o nierównych ramionach r_1 i r_2 (ryc. 28 b); równowaga będzie tu wtedy, gdy stanie się zadość równości momentów $P_1 r_1 = P_2 r_2$.

Techniczne wykonanie kołowrotu bywa rozmaite. Najczęściej „koło” mniejsze ma postać długiego wału (o promieniu r_1), a zamiast koła większego daje się niekiedy samą tylko korbę (o ramieniu r_2). Kołowroty takie są np. stosowane do wyciągania wody ze studni (ryc. 29).

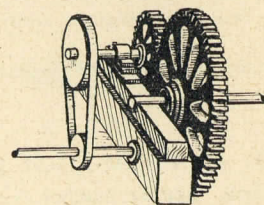


Ryc. 28. Równowaga na kołowrocie.

Niekiedy wygodnie jest połączyć dwa lub więcej kołowrotów za pomocą pasów lub kół zębatach; otrzymujemy wtedy t. zw. przekładnie pasowe, wzgl. trybowe, jak na ryc. 30.

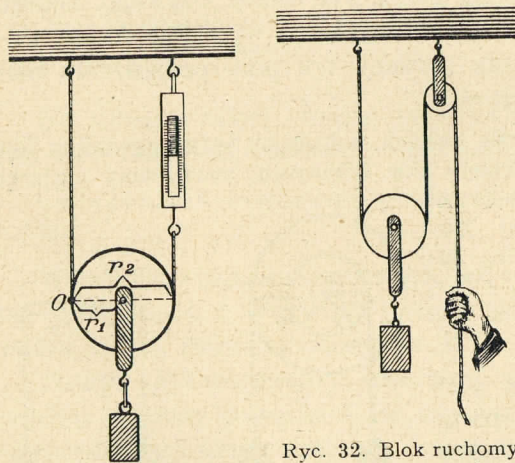


Ryc. 29. Kołowrót przy studni.



Ryc. 30. Przekładnia pasowa i trybowa.

Blok ruchomy. Ćwiczenie 8. Blok, zawieszony na sznurku (jak na ryc. 31), obciążamy dowolnym ciężarkiem, np. 200 G. Jeden koniec sznurka przymocowany jest do haka statywu, drugi ciągniemy do góry za pośrednictwem dynamometru. Doprowadziwszy ten układ do równowagi, stwierdzamy na skali dynamometru, że do zrównoważenia ciężaru 200 G za pomocą takiego bloku wystarcza siła dwa razy mniejsza, t. j. 100 G. (Należy tu uwzględnić także ciężar własny bloku).



Ryc. 31. Blok ruchomy.

Ryc. 32. Blok ruchomy w połączeniu z nieruchomym.

Jak widać, w bloku tego rodzaju mamy to samo, co w dźwigni jednostronnej o długości, równej średnicy bloku i o osi obrotu, położonej w punkcie 0; ramieniem jednej siły jest tu odległość, równa promieniowi bloku, ramieniem drugiej jest odległość, równa jego średnicy.

Zamiast ciągnąć wolny koniec sznura do góry, możemy przerzucić go przez dodatkowy blok nieruchomy, jak na ryc. 32; zabieg taki zmienia nam kierunek ciągnięcia na dogodniejszy, nie zakłócając układu pod względem stosunków ilościowych (pojawia się tylko dodatkowe tarcie, co oczywiście jest nieuniknione). Przyrząd w tej postaci znajduje szerokie zastosowanie.

Inne, bardziej skomplikowane „odmiany dźwigni”, poznamy jeszcze w dalszych rozdziałach tej książki.

12. Równia pochyła. Ćwiczenie 9. Zestawiamy na równi pochyłej urządzenie, jak na ryc. 33, t. j. wózek lub metalowy walec o ciężarze P , i równoważymy go za pośrednictwem nitki dobranym odpowiednio ciężarkiem F . Następnie mierzymy długość równi l i jej wysokość h , poczem obliczamy stosunki $\frac{F}{P}$ i $\frac{h}{l}$ i porównujemy otrzymane wyniki.

Ryc. 33. Równowaga sił na równi pochyłej.

Doświadczenie powtarzamy kilkakrotnie przy użyciu rozmaitych wartości P (obciążając w tym celu dodatkowo wózek) i przy różnych kątach nachylenia równi względem poziomu.

Wyniki powyższych doświadczeń są ciekawe: W miarę, jak zwiększa się wysokość h równi, zwiększa się również wartość ciężarka F , potrzebnego do zrównoważenia wózka. Co więcej: ciężarek F , potrzebny do każdorazowego zrównoważenia wózka, pozostaje zawsze w takim stosunku do ciężaru P wózka, jak każdorazowa wysokość h równi do jej długości l . Innymi słowy zachodzi tu związek

$$\frac{F}{P} = \frac{h}{l}$$

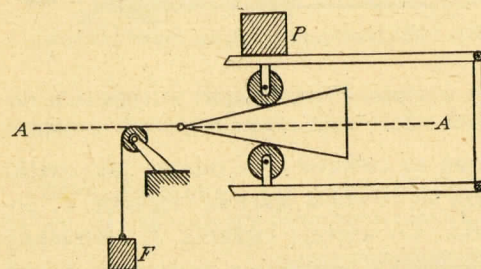
Oczywiście, zamiast wieszać ciężarek F na końcu nitki, możemy nitkę ciągnąć ręką z taką samą siłą. Możemy też obejść się bez bloczka i ciągnąć nitkę wprost równolegle do równi. Wreszcie, zamiast ciągnąć, można podpychać wózek wzdłuż równi; wtedy będzie to zjawisko takie samo, jak wspomniane przedtem wtaczanie ciężkiej beczki na wóz niewielkim wysiłkiem.

Równia pochyła posiada niemniej szerokie zastosowanie praktyczne, jak dźwignia. Zazwyczaj staramy się stworzyć takie warunki, aby stosunek h/l był niewielki, gdyż najczęściej zależy nam na tem, aby siła czynna F była mała w porównaniu z oporem P . Do zasady równi stosują się inżynierowie, gdy w falistym terenie budują drogi i tory kolejowe o spadku niewielkim, chociażby przytem długość toru była znacznie większa. Korzystają z niej także turyści, gdy wspinając się na szczyty górskie, nie idą wprost po stromym stoku, lecz wybierają drogi, wznoszące się łagodnymi serpentynami.

Często nie zdajemy sobie nawet sprawy, że, wykonywając tę czy inną pracę, posługujemy się równią pochyłą. To też, aby zrozumieć

lepiej szereg przyrządów, spokrewnionych z równią, zrobimy jeszcze doświadczenie z klinem. Klin, po przecięciu go wzdłuż prostej AA (ryc. 34), rozpadłby się na dwie części, z których każda byłaby normalną równią pochyłą; można go więc uważać za zespół dwu równi, złączonych z sobą sztywnie podstawami. Ponadto — w przeciwieństwie do poprzedniego doświadczenia, gdzie równia była nieruchoma — tu będziemy ją posuwać (popychać, wzgl. ciągnąć) w kierunku prostej AA .

Ćwiczenie 10. Wkładamy klin w kleszcze, jak na ryc. 34, ustawiamy na kleszczach dość duży ciężar P . Klin, ściskany kleszczami, wysuwa się z nich. Zapobiegamy temu, wciskając go palcem napowrót pomiędzy walce kleszczy; odczuwamy przytem, że wystarcza do tego celu siła niewielka, znacznie mniejsza od ciężaru P . Aby ją zmierzyć, zastępujemy ją ciężarkiem F , za pośrednictwem nitki i bloczka.



Ryc. 34. Doświadczenie z klinem.

Doświadczenia te wykazują, że za pomocą klina można niewielkim wysiłkiem rozwierać kleszcze, ściskane dużymi siłami, przyczem wysiłek ten jest tem mniejszy, im mniejsza jest grubość klina w stosunku do jego długości. Gdybyśmy szczęki naszego klina ściskali nie za pomocą ustawionego na nich ciężaru, lecz np. przez owinięcie i związanie ich sznurem, wówczas za pomocą klina możnaby te więzy z łatwością rozerwać. Na tem właśnie polega zaleta klinowato wykonanych ostrzy noża, siekiery, gwoźdźcia i wielu innych przedmiotów codziennego użytku, gdyż rozrywają one drewno czy inne materiały, w które je wciskamy. Kliny te, wbite w drewno lub w inny materiał, nie wysuwają się już stamtąd dzięki bardzo dużemu tarcu. (W naszym doświadczeniu zmniejszyliśmy tarcie przez zastosowanie obracalnych walców).

Do zagadnień tych wrócimy jeszcze niebawem, gdy będzie mowa o pracy sił.

13. Jeszcze o równowadze sił. Rozpatrując równowagę sił na dźwigni i równi, uwzględnialiśmy przy każdym z tych przyrządów tylko po dwie siły.

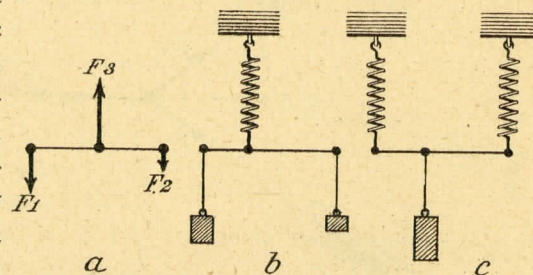
A czy innych sił tam niema?

Zbadajmy to najpierw u dźwigni. Oś obrotu dźwigni spoczywa przecież na podpórce, którą niewątpliwie uciska; można to zresztą

bezpośrednio sprawdzić, używając w roli podpórki swojej własnej ręki. W myśl zasady działania i przeciwdziałania siły tej, skierowanej pionowo w dół, przeciwstawia się równa jej, lecz przeciwnie skierowana siła, wywierana przez podpórkę na dźwignię. Na dźwignię działają więc 3 siły, równoległe względem siebie, z których dwie: F_1 i F_2 to ciężarki zawieszone na dźwigni, a trzecia F_3 — to reakcja podpórki (ryc. 35 a).

Wielkość siły F_3 można łatwo zmierzyć, zawieszając dźwignię nie na sztywnej podpórce, lecz na dynamometrze, jak na ryc. 35 b. Okaże się wówczas, że (jeśli pominąć ciężar własny dźwigni) siła F_3 jest równa sumie obu ciężarków F_1 i F_2 .

To samo będzie, jeśli kierunki tych trzech sił odwrócimy (ryc. 35 c).



Ryc. 35. Równowaga trzech sił, działających na dźwignię.

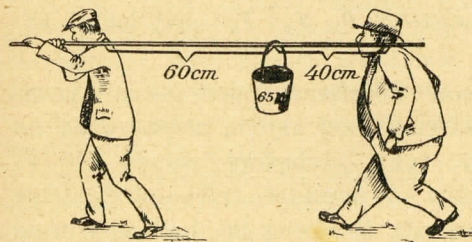
Przykład: Dwaj robotnicy niosą na drągu ciężar 65 Kg (ryc. 36). Długość drąga wynosi 1 m, a odległość punktu zawieszenia od jednego robotnika wynosi 40 cm. Ile ciężaru przypada na każdego z nich?

Odp. Mamy tutaj:

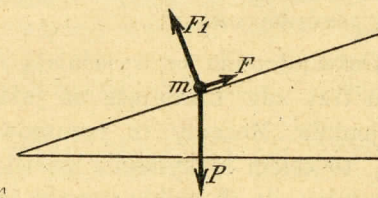
$$1) F_1 + F_2 = 65$$

$$2) F_1 l_1 = F_2 l_2 \text{ czyli } 40 F_1 = 60 F_2,$$

skąd po rozwiązaniu tych równań wypada $F_1 = 39$ Kg i $F_2 = 26$ Kg.



Ryc. 36.

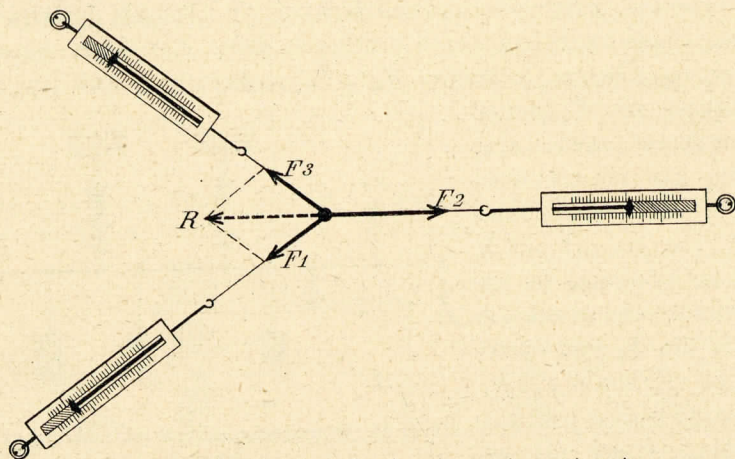


Ryc. 37. Rozkład sił na równi pochyłej.

A teraz równia pochyła. Niech punkt m na ryc. 37 oznacza wózek na równi pochyłej. Dotychczas braliśmy pod uwagę tylko ciężar wózka P i napięcie nitki F . Ale przecież wózek ciśnie na płaszczyznę równi, a równia oczywiście przeciwdziała. Na wózek działa więc, oprócz sił P i F , jeszcze reakcja równi F_1 wzdłuż prostej, prostopadłej do równi.

Jak widać, mamy tutaj do czynienia z działaniem trzech sił, skierowanych względem siebie nie równoległe (jak było u dźwigni), lecz pod kątem. Zbadajmy warunki równowagi takiego układu sił.

Ćwiczenie 11. Związujemy trzy nitki wspólnym węzłem i napinamy na stole zapomocą trzech dynamometrów (ryc. 38). Ciałem, na które działają te trzy siły, jest tutaj węzelek.



Ryc. 38. Siły F_1 , F_2 i F_3 równoważą się wzajemnie.

Podsuwamy pod napięte nitki arkusz papieru i kreślimy na nim tuż pod nitkami trzy odcinki F_1 , F_2 i F_3 , wychodzące ze wspólnego punktu m , o długościach proporcjonalnych do wielkości poszczególnych sił. Następnie wykreślamy na którejkolwiek parze odcinków, np. na F_1 i F_3 równoległobok i stwierdzamy, że jego przekątna R posiada taką samą długość, jak trzeci odcinek F_2 i że leży ona na tej samej prostej, co F_2 , lecz po przeciwnej stronie punktu m .

Powtarzamy to samo dla innych wartości F_1 , F_2 i F_3 i przy innych kątach pomiędzy nitkami.

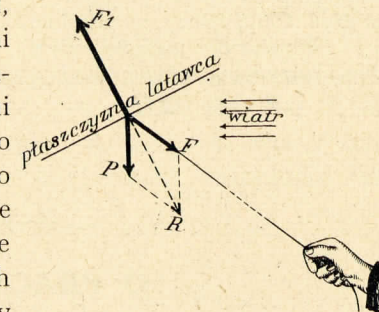
Doświadczenia te wyjaśniają nam dostatecznie, pod jakim warunkiem trzy siły, działające na jakieś ciało pod kątem, zrównoważą się wzajemnie. Możemy tu rozumować tak: Gdybyśmy usunęli siły F_1 i F_3 , to celem utrzymania węzła w równowadze, trzeba by działanie pozostałej siły F_2 zrównoważyć inną siłą R , równą jej, lecz przeciwnie skierowaną. Ale, jak wykazuje doświadczenie, taki sam skutek wywołują siły F_1 i F_3 . Innymi słowy, łączne działanie obu sił F_1 i F_3 możnaby tu zastąpić działaniem jednej tylko siły R i naodwrot.

Taki proces zastępowania jednej siły dwiema innymi lub naodwrot nazywamy składaniem, wzgl. rozkładaniem sił. Siła, zastępująca działanie dwu innych sił, nazywa się ich *wypadkową*; w naszym przykładzie siła R jest wypadkową sił F_1 i F_3 . Znajdujemy ją graficznie, kreśląc przekątną w równoległoboku, zbudowanym na siłach składowych F_1 i F_3 .

Zupełnie podobny układ sił mamy i na równi pochyłej na ryc. 37.

Siły P , F i F_1 , działające na wózek, równoważą się wzajemnie — wózek pozostaje w spoczynku. Gdybyśmy jedną z nich, np. F usunęli, równowaga zostałaby zakłócona — wózek zacząłby się staczać w dół równi.

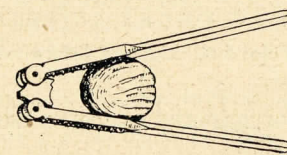
Poznawszy warunki równowagi sił, zrozumiemy szereg zjawisk, z którymi się nieraz spotykamy. Na przykład zasadę wznoszenia się latawca wyjaśnimy odrazu ryc. 39. Gdyby nie było wiatru, na latawiec działałyby tylko dwie siły: ciężar latawca P i napięcie sznura F ; latawiec runąłby oczywiście na ziemię, gdyż łączne działanie tych dwu sił jest takie same, jakiem byłoby działanie jednej tylko siły R (t. j. ich wypadkowej). Chcąc latawiec utrzymać w równowadze, trzeba przyłożyć doń jeszcze trzecią siłę F_1 , tak samo wielką jak R , lecz przeciwnie skierowaną; wywiera ją właśnie wiatr w postaci parcia w kierunku prostopadłym do płaszczyzny latawca.



Ryc. 39. Zasada wznoszenia się latawca.

Pytania.

1. Z ilu i z jakich elementów prostszych składają się obcęg do cięcia drutu? (Wskaż i wyjaśnij rolę występujących tu dźwigni i klinów).
2. Z ilu i z jakich dźwigni składa się t. zw. dziadek do tłuczenia orzechów (ryc. 40), szczęki ludzkie, szczypce, nożyce?
3. Czem różnią się nożyce do cięcia blachy od nożyc domowych (do cięcia płótna)? Wymień inne urządzenia, złożone z dwu lub więcej dźwigni, i uzasadnij ich kształt konstrukcyjny.
4. Ile i jakie rodzaje maszyn prostych można wyodrębnić w rowerze; w maszynie do szycia?
5. Jaką dźwignią (jednostronną, czy dwustronną, równo- czy nierównoramienną) jest wiosło, kłamka, belka wagi, pedał rowerowy? Wymień i wyjaśnij działanie innych dźwigni, spotykanych w najbliższym otoczeniu.



Ryc. 40.



Ryc. 41.

6. Oś obrotu przedramienia ludzkiego (ryc. 41) mieści się w stawie łokciowym O . Siły czynnej F_1 , niezbędnej do podniesienia trzymanego na dłoni ciężaru F_2 , dostarcza t. zw. mięsień dwugłowy M (biceps). Zmierz na ry-

sunku (ewent. na szkolnym modelu ciała ludzkiego) ramiona tych sił l_1 i l_2 i oblicz stosunek $\frac{F_1}{F_2}$. Jaki wniosek nasuwa nam wynik pomiaru? (Czy jest to zaletą, czy wadą dźwigni, którą obdarzyła nas przyroda?). Jakie jeszcze dźwignie znajdujemy w organizmie ludzkim?

7. Gimnastyk, ważący 60 Kg, zawisnął w powietrzu, chwyciwszy się rękami poziomego drąga. Znaleźć graficznie wysiłek jego, jeśli ramiona tworzą kąt: 0° , 30° , 60° , 120° .

Rozdział II

O PRACY I ENERGJI

14. Co uważamy w fizyce za pracę? Gdy robotnik podnosi ciężkie wiadro do góry, wykonywa pracę. Gdy je tylko trzyma w ręku i stoi przytem nieruchomo, wtedy nie pracuje; jego wysiłek możnaby wtedy skutecznie zastąpić w inny sposób, np. przez zawieszenie wiadra na haku. Zadaniem robotnika, jego pracą, jest nie samo zrównoważenie ciężaru wiadra siłą jego mięśni, ale jeszcze uniesienie tego ciężaru z poziomu ziemi na poziom pierwszego czy drugiego piętra rusztowania. Wówczas siła jego mięśni działa na wiadro w kierunku pionowym do góry i w tymże kierunku posuwa się wiadro.

Również pracuje koń, ciągnąc wóz i przesuwając go wzdłuż drogi; łucznik, odciągający z pewną siłą cięciwę od łuku; gimnastyk, unoszący swe ciało wysiłkiem mięśni. W każdym z tych wypadków mamy do czynienia z siłą i przesunięciem jej punktu przyłożenia wzdłuż kierunku działania siły. Oba te czynniki są potrzebne, aby praca była wykonana.

Podobnie, jak rozszerzyliśmy pojęcie wyrazu „siła“ z działania mięśni ludzkich i zwierzęcych na wszelkie czynniki, wywołujące zmianę ruchu i odkształcenie ciał, tak i obecnie rozszerzymy pojęcie pracy z czynności człowieka lub zwierzęcia na wynik działania jakiejkolwiek siły: Siła wykonywa wtedy pracę, gdy punkt jej przyłożenia ulega przesunięciu w kierunku działania tej siły.

15. Ciężarowe jednostki pracy. Aby móc mierzyć pracę, musimy oczywiście umówić się co do jej jednostki.

Otóż jako jednostkę pracy przyjmujemy taką pracę, jaką wykonywamy, podnosząc bardzo powoli ciężar 1 Kg pionowo w górę na wysokość 1 m. Pracę taką nazywamy Kilogramometrem (w skróć. 1 Kgm). Siła naszych mięśni wynosi wówczas 1 Kg

i działa pionowo w górę; przesunięcie jest skierowane tak samo i wynosi 1 m. Taką samą pracę wykonamy, przesuwając ciało siłą dowolnego pochodzenia w dowolnym kierunku, byleby droga wynosiła 1 m, a wartość siły, działającej w kierunku tej drogi — 1 Kg. (Zastrzeżenie o „bardzo powolnym podnoszeniu“ jest dlatego ważne, że tylko wtedy możemy zaniedbać pracę niezbędną do nadania ciału prędkości).

Gdybyśmy do wykonania pracy użyli siły nie 1 Kg, lecz F Kg, a przesunięcie (droga) gdyby wynosiło nie 1 m, lecz s m, wtedy oczywiście praca byłaby inna. Jej wartość znajdziemy, rozumując tak:

Siła 1 Kg na drodze 1 m wykonywa pracę 1 Kgm

„ F „	„ 1 „	„ „	„ F „
„ F „	„ s „	„ „	„ Fs „

Zatem praca L , wykonana siłą F Kg na drodze s m, wyrazi się wzorem

$$L = F \cdot s$$

Przykład: Jaką wykonywamy pracę, podnosząc blok kamienny o ciężarze 1,5 Tonna na wysokość 40 cm?

Odp. Mamy tutaj: $F=1500$ Kg, $s=0,4$ m. Zatem $L=Fs=1500 \cdot 0,4=600$ (Kgm).

Gdy chodzi o małe ilości pracy, używa się najczęściej jednostki 100 000 razy mniejszej od Kilogramometra, zwanej Gramocentymetrem (w skróć. 1 Gcm), t. j. takiej pracy, jaką wykonywa siła 1 G na drodze 1 cm.

Przykład I: Celem pokonania tarcia pudelka o powierzchnię stołu potrzeba użyć siły 25 G. Jak wielką wykonywamy pracę, przesuwając pudelko po stole na odległość 1 dm?

Odp. Mamy tutaj: $F=25$ G, $s=10$ cm. Zatem $L=Fs=25 \cdot 10=250$ (Gcm) czyli 0,0025 (Kgm).

Przykład II: Zakładając, że prostopadłościan, przedstawiony na ryc. 9a, waży $P=24$ G, jego boki $AB=3$ cm i $BC=4$ cm, obliczyć pracę, potrzebną na odchylenie go z położenia $ABCD$ do położenia $AB_1C_1D_1$.

Odp. Opierając się na znanych nam własnościach środka ciężkości, możemy powiedzieć, że, odchylając prostopadłościan z pozycji $ABCD$ do $AB_1C_1D_1$, wykonywamy taką samą pracę, jaką wykonalibyśmy, podnosząc go z poziomu S na poziom S_1 . Aby znaleźć różnicę tych poziomów s , obliczamy najpierw zapomocą twierdzenia Pitagorasa długość przekątnej AC ; wynosi ona: $AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$ cm.

Szukana różnica poziomów wynosi $s = \frac{AC}{2} - \frac{BC}{2} = 2,5 - 2 = 0,5$ cm. Mamy więc $L = P \cdot s = 24 \cdot 0,5 = 12$ (Gcm).

16. Moc (Dzielność). W wielu wypadkach bierzemy pod uwagę nie tylko wartość wykonanej pracy L , ale i czas t , zużyty na jej wykonanie. Postępujemy tak zwłaszcza wtedy, kiedy chodzi nam o ocenę sprawności robotnika, silnika i t. p. Np. pracę przeniesienia 100 Kg

jablek z parteru na piętro potrafi wykonać zarówno dorosły człowiek, jak i małe dziecko; jednakże dorosły człowiek wykona tę pracę w ciągu kilkunastu minut, dziecko zaś w ciągu paru godzin. Słusznie tedy powiemy, że człowiek dorosły wykazał tu moc większą, niż dziecko.

Gdyby czas, zużyty na wykonanie tej pracy, był u dziecka np. 12 razy dłuższy, niż u dorosłego, powiedzielibyśmy, że dziecko wykazało moc 12 razy mniejszą, niż człowiek dorosły. Przez *moc*, czyli *dzielność*, rozumiemy więc ilość pracy, przypadającą na jednostkę czasu. Obliczamy ją, dzieląc pracę L przez liczbę jednostek czasu t i wyrażamy to wzorem

$$M = \frac{L}{t}$$

Za jednostkę mocy przyjmujemy moc, przy której praca 1 Kgm zostaje wykonana w ciągu 1 sek., czyli 1 Kilogramometr na sekundę (w skróc. 1 Kgm/sek.). Wielokrotnością tej jednostki, używaną najczęściej w technice, jest moc 75 razy większa, zwana koniem mechanicznym (w skróc. 1 KM albo z angielska 1 HP)¹ czyli

$$1 \text{ KM} = 75 \text{ Kgm/sek.}$$

Wybór „konia mechanicznego” za jednostkę mocy pochodzi stąd, że, gdy pierwsze silniki parowe zaczęły wypierać konia jako siłę roboczą, moc tych maszyn porównywano z mocą prawdziwych koni; mówiono więc po prostu: „maszyna, zastępująca np. 2 konie, 5 koni it. d.”.

Przykład: Z wodospadu o wysokości 15 m spada w ciągu godziny 14400 Tonn wody. Jaka jest moc tego wodospadu?

Odp. Praca, jaką może wykonać wodospad w ciągu godziny, wynosi

$$L = 14\,400\,000 \cdot 15 = 216\,000\,000 \text{ (Kgm)}; \text{ zatem moc wodospadu } M = \frac{L}{t} = \frac{216\,000\,000}{3600} =$$

$$= 60\,000 \text{ (Kgm/sek)} \text{ albo } M = \frac{60\,000}{75} = 800 \text{ (KM.)}$$

17. Praca dodatnia i ujemna. Robotnik, podnosząc wiadro w górę, wykonywa pracę. Wiadro przesuwają się w tym samym kierunku, w jakim ciągnie je robotnik.

A jeśli teraz robotnik zacznie powoli opuszczać wiadro, czy też wykona pracę? Mamy tu znowu i działanie siły i przesuwanie się wiadra, ale pomiędzy obu czynnościami zachodzi istotna różnica: tam rozpatrywana siła wywoływała ruch, tu — tylko mu się sprzeciwia; tam praca była wykonywana dzięki sile, tu wbrew sile; tam kie-

runki siły i przesunięcia były zgodne, tu są przeciwne. W pierwszym wypadku pracę nazywamy dodatnią, w drugim — ujemną.

Taki wybór nazw jest zupełnie trafny; jeśli bowiem wiadro, uniesione w górę, zostanie opuszczone na pierwotny poziom, to zostanie wykonane tyle samo pracy dodatniej przy podnoszeniu, co ujemnej przy opuszczaniu. Suma obu prac jest równa zeru; wiadro powróciło na swoje miejsce, tak jakby go nikt nie poruszał.

Z takiego rozszerzenia pojęcia pracy wynika ciekawy wniosek. Przecież na wiadro działają dwie siły: napięcie mięśni i ciężar wiadra. Ta druga siła też wykonywa pracę — ale znak jej jest zawsze przeciwny, niż pracy wykonywanej przez mięśnie: jest ujemna podczas podnoszenia, dodatnia podczas opuszczania wiadra. W pierwszym wypadku praca była wykonana wbrew niej, w drugim — dzięki niej.

Jeśli będziemy brali pod uwagę pracę obu sił, to dojdziemy do ciekawego wniosku, że suma ich jest równa zeru, zarówno podczas podnoszenia, jak podczas opuszczania wiadra.

Tak jest wtedy, gdy siła ciągnąca i siła opierająca się ruchowi są podczas ruchu sobie równe (pomijając tarcie): wiadro posuwa się wtedy jednostajnie. Ale niech jedna z nich będzie większa, niechaj np. robotnik ciągnie z siłą, przewyższającą znacznie ciężar wiadra; wiadro zacznie się poruszać coraz prędzej, dodatnia praca robotnika będzie wtedy większa, niż ujemna praca siły ciężkości. Podobnie, jeśli siła robotnika jest zbyt mała, wiadro zaczyna opadać coraz prędzej; teraz praca dodatnia (ciężaru) jest większa, niż praca ujemna (robotnika). Dzięki pracy zyskujemy zwiększenie prędkości ruchu.

Tarcie zawsze powstrzymuje ruch; wnioskujemy z tego, że działa ono w kierunku przeciwnym ruchowi. Jego praca ujemna wywołuje zmniejszenie się prędkości ruchu. Powrócimy do tych zagadnień w nauce o ruchu.

18. Zachowanie pracy przy użyciu maszyn prostych.

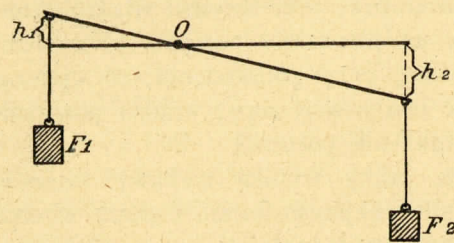
A) Wykonywanie pracy przy użyciu dźwigni.

W maszynach prostych poznaliśmy narzędzia, zapomocą których można utrzymywać w równowadze i podnosić w górę wielkie ciężary przy użyciu sił zazwyczaj mniejszych od podnoszonego ciężaru. Nasuwa się więc pytanie, czy nie zdobyliśmy dzięki temu środków, zapomocą których można zmniejszyć pracę, potrzebną do podniesienia ciężaru w górę.

Zbadamy tę rzecz bliżej najpierw na dźwigni, potem na innych maszynach prostych.

¹ Skrót od „horse power” (czyt. hors pauer).

Cwiczenie 12. Zawieszamy na dźwigni nierównoramiennej dwa równoważące się ciężarki F_1 i F_2 (ryc. 42). Pociągamy następnie ciężarek F_2 w dół o kilkanaście centymetrów i obserwujemy jednocześnie, o ile podniósł się wskutek tego ciężarek F_1 .



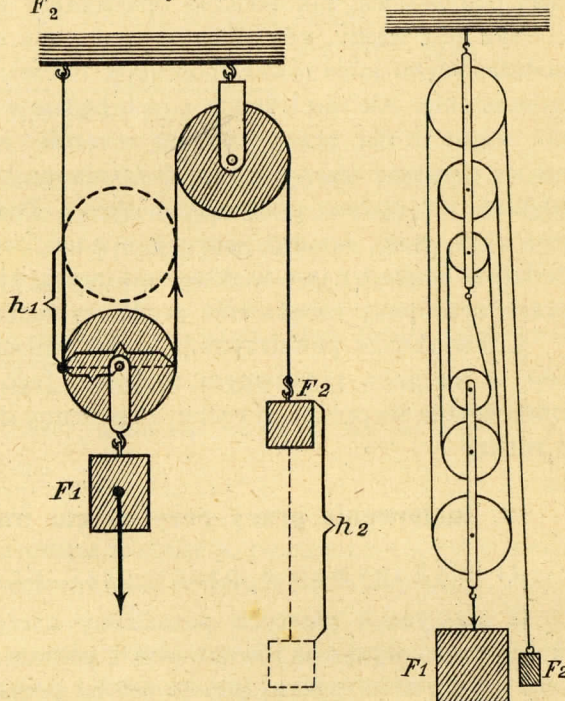
Ryc. 42. Doświadczenie, ilustrujące prawo zachowania pracy przy użyciu dźwigni.

Mierzmy dokładnie ich przesunięcia h_2 i h_1 i obliczamy stosunek $\frac{h_2}{h_1}$, t. j. ile razy jedno jest większe od drugiego. Otrzymany stosunek porównujemy ze stosunkiem $\frac{F_1}{F_2}$.

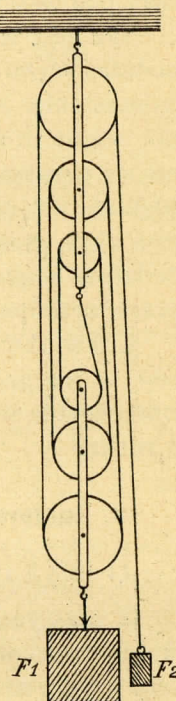
Doświadczenie takie wykazuje, że przesunięcie h_1 jest tyle razy mniejsze od h_2 , ile razy ciężar F_1 jest większy od F_2 , czyli stosunek $\frac{h_2}{h_1}$ jest równy stosunkowi $\frac{F_1}{F_2}$. Znaczy to, że korzystny dla nas zysk na sile musieliśmy tu okupić kosztem drugiego czynnika pracy: zwiększeniem przesunięcia siły tyle razy, ile razy siła F_2 jest mniejsza od ciężaru F_1 .

Obliczmy pracę, wykonaną przez siłę F_2 na drodze h_2 , i porównajmy ją z pracą, jaką musieliśmy wykonać przy bezpośrednim podnoszeniu ciężaru F_1 na wysokość h_1 :

Zgodnie z określeniem pracy $L = Fs$ otrzymamy: w jednym wypadku $F_1 h_1$, w drugim — $F_2 h_2$. Ponieważ jednak w iloczynach tych czynnik F_1 jest tyle razy większy od F_2 , ile razy h_1 jest mniejsze od h_2 , więc iloczyny te muszą być równe. Zatem praca $F_2 h_2$, wykonana za pośrednictwem dźwigni, jest taka sama, jaką



Ryc. 43. Zachowanie pracy przy użyciu bloku.



Ryc. 44. Wielokrążek.

byłaby praca $F_1 h_1$, wykonana wprost na drodze h_1 bez użycia dźwigni.

Sprawdźmy to jeszcze na odmianach dźwigni np. na bloku ruchomym, na kołowrocie i innych zespołach bloków.

Cwiczenie 13. Na bloku ruchomym, zrównoważonym ciężarkami F_1 i F_2 , pociągamy mniejszy ciężarek F_2 o dowolną długość h_2 cm i mierzymy przesunięcie h_1 , wykonane przez ciężarek F_1 (ryc. 43). Porównujemy stosunki $\frac{h_2}{h_1}$ i $\frac{F_1}{F_2}$.

Powtarzamy to samo na kołowrocie (ob. ryc. 28).

Cwiczenie 14. Zestawiamy wielokrążek, jak na ryc. 44, zrównoważymy go ciężarkami F_1 i F_2 . Następnie pociągamy F_2 o dowolną długość h_2 , mierzymy h_1 i porównujemy, ile razy h_2 jest większe od h_1 .

Porównawszy we wszystkich tych wypadkach stosunki $\frac{F_1}{F_2}$ i $\frac{h_2}{h_1}$, widzimy, że są one równe. Na przyrządach tych spełnia się to samo prawo, co i na dźwigni.

Rozważmy teraz, jak przedstawia się ta sprawa na równi pochyłej.

B) Wykonywanie pracy przy użyciu równi.

Cwiczenie 15. Na równi pochyłej zrównoważymy ciężar P wózka ciężarkiem F . Pociągamy F o l cm i mierzymy różnicę poziomów h , o jaką podniósł się wózek. Obliczamy i porównujemy stosunki $\frac{F}{P}$ i $\frac{h}{l}$.

Wynik doświadczenia jest tu taki sam, jaki był przy dźwigni; stosunki te są równe: $\frac{F}{P} = \frac{h}{l}$.

Gdybyśmy ciągnęli wózek wzdłuż całej długości l równi, wówczas wózek wzniósłby się w górę na wysokość h , równą wysokości równi.

Zgodnie z określeniem pojęcia pracy, praca potrzebna na podniesienie wózka o ciężarze P na wysokość h , wynosi $L = Ph$; taką byłaby praca, wykonana przy podniesieniu wózka wprost na wysokość h bez użycia równi.

Obliczmy teraz pracę, jaką wykonywamy, ciągnąc go do tej samej wysokości po płaszczyźnie pochyłej o długości l . Zgodnie z określeniem pracy będzie wtedy $L = F \cdot l$.

Ale, porównując iloczyny Ph i $F l$, widzimy, że podobnie, jak u dźwigni, tak i tu w iloczynach tych czynnik P jest tyle razy większy od F , ile razy h jest mniejsze od l . Iloczyny te są więc równe, a zatem i prace równe.

19. Prawo zachowania pracy. Rozważając pracę, wykonywaną przy użyciu równi i dźwigni, stwierdziliśmy, że w każdym z tych wypadków praca, zużyta na podniesienie ciężaru P na wysokość h , była przy posługiwaniu się temi maszynami taka sama, jak przy wykonywaniu jej bezpośrednio, t. j. bez maszyn. Mamy tu więc do czynienia z prawem ogólnem, niezależnem od sposobu, w jaki ułatwiamy sobie pracę. Widocznie nie można zbudować takiej maszyny, któraby przerabiała pracę mniejszą na większą, albo naodwrot. Żadna maszyna nie zdoła wytworzyć pracy z niczego, ani włożonej do niej pracy zniweczyć bez śladu. Maszyna jest tylko pośrednikiem, który może nam ułatwić wykonywanie pracy, ale nie może jej zmniejszyć, może ją udogodnić, ale nie może jej za nas wykonać.

Rola maszyny ogranicza się bądź do przeniesienia punktu przyłożenia siły, bądź do zmiany kierunku jej działania, bądź wreszcie do zmiany jej wartości liczbowej, z tym jednak warunkiem, że wszelki zysk na sile czynnej zostaje jednocześnie „wyrównany” stratą na drodze jej działania. Jeśli maszyna podczas działania nie uległa żadnej zmianie, to praca, którą wkładamy w maszynę, zostaje w całości zwrócona.

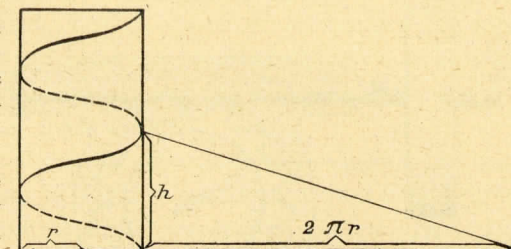
Ważne to prawo przyrody było już znane w czasach starożytnych pod nazwą „złotej reguły mechaniki”, ogłoszonej przez słynnego mędrca greckiego ARCHIMEDESA (287—212 przed nar. Chr.). Dziś nazywamy je prawem zachowania pracy. Prawo to wyklucza możliwość zbudowania t. zw. perpetuum mobile, t. j. urządzenia, któreby z niczego wytwarzało pracę.

Rzecz prosta, że prawo zachowania pracy mechanicznej stosuje się ściśle tylko w przypadku idealnym, wtedy mianowicie, kiedy ruch (obrotowy dźwigni lub postępowy ciała po równi pochyłej) odbywa się bez tarcia. W rzeczywistości te warunki nigdy nie są spełnione; zawsze praca dodatnia siły czynnej musi być nieco większa od ujemnej pracy oporu i w sumie pozostanie pewien drobny nadmiar włożonej pracy. Czy ginie on bez śladu?

Pytaniem tem zajmujemy się w dalszym ciągu nauki fizyki. Włączając do naszych rozważań i skutki tarcia (powstawanie ciepła), przekonamy się, że to prawo zachowania pracy jest tylko częstką znacznie obszerniejszego prawa przyrody, które wykracza daleko poza ramy mechaniki i obejmuje wszystkie bez wyjątku zjawiska przyrodnicze.

20. Śruba jest także równią pochyłą, lecz nawiniętą na walec. Rycina 45 wskazuje, w jaki sposób można sobie wyobrazić powstawanie linii śrubowej. Wysokość h nawiniętego trójkąta jest odległością dwu sąsiednich zwojów linii śrubowej; nazywamy ją skokiem śruby.

Najczęściej używa się śruby do łączenia z sobą części maszyn, budowli, mostów i t. p. Śruba, użyta w tym celu, musi ścisnąć łączone części z wielką siłą (ryc. 46 b). Jest ona zakończona główką G i zaopatrzona w nakrętkę N (ryc. 46 a). Ścisnane części, zaopatrzone w odpowiednie otwory, umieszcza się pomiędzy główką a krążkiem metalowym P , podłożonym pod nakrętkę. Aby zwiększyć nacisk nakrętki, obraca się ją za pomocą klucza K .



Ryc. 45. Śruba jako równia pochyła.

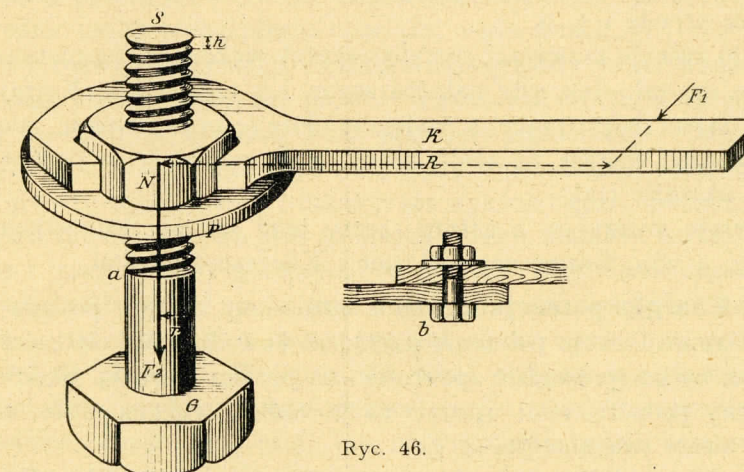
Łatwo znajdziemy siłę, wywieraną przez nakrętkę na umieszczone pod nią przedmioty, gdy obliczymy pracę, wykonywaną przy jednym całkowitym obrocie nakrętki. Przypuśćmy, że chwytny klucz ręką w punkcie, położonym w odległości R od osi śruby i działamy nań siłą F_1 ; przy pełnym obrocie punkt przyłożenia siły F_1 przebywa drogę $2\pi R$, a zatem praca, wykonywana przy tem, wynosi $2\pi R F_1$. Ta praca (włożona) musi być równa pracy, wykonanej przez wciskanie się nakrętki. Przy pełnym obrocie nakrętka przesuwa się o h , a jeśli wartość siły, wywieranej podczas tego, wynosi F_2 , to praca wykonana równa się $F_2 h$. Mamy zatem

$$2\pi R F_1 = F_2 h$$

$$\text{skąd } F_2 = \frac{2\pi R}{h} \cdot F_1,$$

co oznacza, że siła nacisku F_2 jest tem większa, im mniejszy jest skok śruby h i im dłuższe ramię R , na które działamy siłą czynną F_1 .

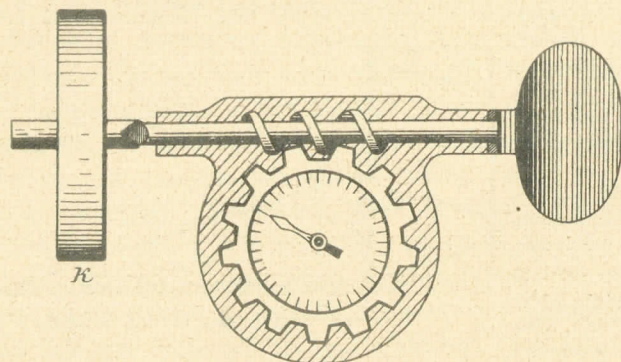
W rzeczywistości siła F_1 , wywierana przy dociskaniu śruby, musi być większa, niż wynikałoby z konieczności zrównoważenia siły F_2 , ponieważ musi ona jednocześnie po-



Ryc. 46.

konywać bardzo duże tarcie pomiędzy śrubą i nakrętką oraz pomiędzy nakrętką a podkładką P . Ma to tę dobrą stronę, że po usunięciu siły F_1 , siła tarcia sama wystarcza do zrównoważenia siły F_2 i zapobiega przez to odkręcaniu się nakrętki pod wpływem nacisku, wywieranego przez przedmiot ściśnięty.

Śruby są używane przy wielu urządzeniach, wymagających wielkich sił, np. przy imadłach ślusarskich, prasach intrologatorskich i t. d. W kl. III poznaliśmy zastosowanie śruby do mierzenia małych odległości (śruba mikrometryczna).



Ryc. 47. Licznik obrotów.

Z pośród innych zastosowań śruby zasługują na uwagę przyrządy, służące do mierzenia liczby obrotów kół. Zasadę takiego licznika wyjaśnia ryc. 47. Główną jej częścią składową jest t. zw. śruba bez końca, którą przyciska się do osi wirującego koła K przez dowolny czas, np. przez minutę, poczem odczy-

tuje się na tarczy z podziałką liczbę dokonanych w tym czasie obrotów.

21. Praca a energia. Pracę może wykonywać człowiek, zwierzę, prąd wody, wiatr i t. p. Zamiast mówić, że ciała posiadają w pewnych warunkach zdolność do wykonania pracy, mówimy krótko: ciała te posiadają *energję*. Energję posiada więc np. młot parowy, wzniesiony ponad kowadło, nakręcona sprężyna, napięty łuk i t. p.; we wszystkich tych bowiem wypadkach może być wykonana pewna praca kosztem energii tych ciał. A więc sprężyna zegarowa, rozkręcając się, podtrzymuje w ruchu mechanizm zegara wbrew tarcu kół; łuk, prostując się, wyrzuca strzałę i t. p.

Ciało zyskuje zazwyczaj energję wskutek wykonanej na niem pracy: daje ją np. człowiek, gdy nakręca zegar lub napina łuk. Energia powstaje zatem dzięki pracy, a następnie może tę pracę zwrócić; możemy więc uważać energję za zasób pracy, nagromadzonej w danem ciele lub w układzie ciał.

Energję mierzy się z natury rzeczy temi samemi jednostkami, co i pracę, a więc Gramocentymetrami i Kilogramometrami.

22. Energia potencjalna. Młot wzniesiony dlatego posiada energję, że zmienił swoje położenie względem kowadła. Siła ciężkości dąży do tego, by go sprowadzić zpowrotem na poziom kowadła. Skoro tylko usuniemy podporę, młot upadnie na kowadło i wykona pracę, ale zarazem straci swą energję.

Zupełnie podobne warunki mamy przy napinaniu łuku. Zginając go, zmieniamy wzajemne położenie cząstek drewna, z których jest złożony. Siły sprężystości dążą do tego, by mu przywrócić kształt pierwotny, a więc nadać cząsteczkom takie położenie wzajemne, jakie

zajmowały pierwotnie. Gdy puścimy z ręki cięciwę, łuk prostuje się i traci energję, wykonywając pracę wyrzucania strzały.

Mówimy, że taka energia jest potencjalną. Energję potencjalną ma woda, spiętrzona zapomocą tamy: spadając na niższy poziom, wykonywa pracę. Energję potencjalną mają elektromagnes i kotwica żelazna, gdy są rozdzielone: zbliżając się ku sobie dzięki przyciąganiu, mogą wykonać pracę, unosząc jakiś ciężar.

W ostatnim wypadku nie możemy powiedzieć, że energję ma sam magnes albo sama kotwica: ma ją dopiero zespół tych dwóch ciał, czyli układ z nich złożony. Równie nieściśle wyrażamy się, gdy mówimy, że to wzniesiony kamień lub spiętrzona woda mają energję potencjalną; mają ją tylko dzięki przyciąganiu ziemi; bez ziemi nie miałyby jej. Energję możemy przypisać tylko układowi, złożonemu z ziemi i ciała nad jej poziom wzniesionego.

Ten rodzaj energii potencjalnej, który powstaje przy podnoszeniu ciała wbrew sile ciężkości, nazywamy energją ciężkości. Odgrywa ona dużą rolę w zjawiskach przyrody i techniki. Wszystko to, co występuje ponad powierzchnię ziemi, ma energję ciężkości: i skały i nagromadzona w chmurach woda i ta jej część, która w postaci deszczu zasilila górskie potoki i jeziora; energję ciężkości ma też drzewo, które wyrosło wysoko, oraz ptak, który wzbił się w niebiosa. Musimy wytworzyć dużo energii ciężkości, wznosząc wysoko budowlę lub prowadząc tor kolejowy w górach. Skąd te energje powstały, w co się obróca, oto szereg pytań, na które dać odpowiedź mają różne nauki. Czytelnik też będzie umiał niewątpliwie rozwiązać wiele z nich.

Przy rozważaniu energii ciężkości napotykamy jedno ważne i typowe zagadnienie. Mamy np. na stole w pracowni ciężar, ważący 10 Kg, który unosimy na wysokość 2 m. Jaka jest jego energia? Odpowiemy niewątpliwie, że 20 Kgm, gdyż taką pracę wykonaliśmy, podnosząc ciężar z powierzchni stołu i takąż pracę wykona ciężar, opadając na ten sam poziom. Ale przecież ktoś go musiał wpięć na stół z podłogi, a i teraz możemy go opuścić na podłogę. Wzniesienie ciężaru wynosi od podłogi 3,2 m, a jego energia, liczona względem tego poziomu — 32 Kgm. A możemy przecież ciężar opuścić na podwórze, a nawet do piwnicy... Widzimy, że, chcąc obliczyć energję ciężarową jakiegoś ciała, musimy wybrać pewien poziom, od którego mierzymy wzniesienie, licząc się z tem, jak najwygodniej będzie nam obliczać w danym wypadku. Ciało, umieszczone na tym poziomie, ma energję równą zeru; jest to jednak tylko wynik naszej umowy: jeśli wybierzemy inny, niższy poziom, ciało będzie miało energję różną od zera.

23. Przechodzenie energii. Powróćmy jeszcze raz do maszyn prostych i zobaczmy, jak można do ich działania zastosować pojęcie energii. Weźmy dla przykładu kołowrót lub blok ruchomy, jak na ryc. 43. Pociągnijmy ciężarek F_2 tak, by obniżył się o wysokość h_2 ; jego ciężar wykonywa przytem pracę dodatnią $F_2 h_2$, a jednocześnie o tyle zmniejsza się jego energia wskutek zbliżenia się do ziemi. Inaczej z drugim ciężarkiem F_1 : ten został podniesiony na wysokość h_1 ; jego ciężar wykonał pracę ujemną $F_1 h_1$, a zarazem o tyle samo zwiększyła się jego energia. Ponieważ wiemy, że iloczyny $F_1 h_1$ i $F_2 h_2$ są równe, więc dochodzimy do twierdzenia, że o ile zmniejszyła się energia potencjalna jednego ciała układu, o tyle zwiększyła się energia potencjalna ciała innego. Energia jakgdyby przeszła z ciała do ciała; suma jej w całym układzie nie uległa zmianie.

Jedynie, co zaszło, to przejście energii z jednego ciała do drugiego ciała.

Mówimy, że ciężarek F_2 pracuje; mówimy też, że oddaje on swoją energję innym ciałom. Oba zdania wyrażają to samo: praca jest tu poprostu przechodzeniem energii potencjalnej z ciała do ciała. Podobne rozumowanie możemy zastosować do każdej maszyny prostej.

Zastanówmy się jeszcze, co się dzieje, jeśli do podnoszenia ciężaru F_1 za pośrednictwem maszyny prostej nie używamy innego ciężaru F_2 , lecz stosujemy siłę własnych mięśni. W tym wypadku pracę dodatnią wytwarzają nasze mięśnie. A moglibyśmy to też uczynić, zaprzęgając jakiś silnik parowy, czy elektryczny. Czy te źródła pracy też tracą energję w miarę dostarczania pracy? A jeśli tak, to skąd ją biorą?

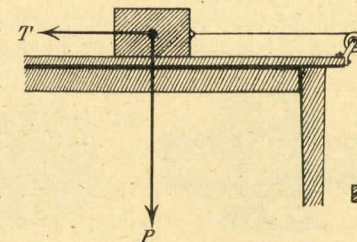
Widzimy, że otwierają się przed nami nowe zagadnienia; staje przedewszystkiem pytanie, czy może istnieją inne postacie energii poza potencjalną... W tej chwili nie możemy odpowiedzieć na to pytanie. By to uczynić, musimy wpierw rozszerzyć naszą wiedzę o zjawiskach fizycznych i chemicznych.

24. Tarcie. O tarcu była już mowa kilkakrotnie, jako o czynniku hamującym ruchy ciał. Równoważy ono całkowicie lub częściowo siły, wywołujące ruch; musi być więc samo zaliczone do sił.

Znaczna część tarcia jest spowodowana chropowatością powierzchni stykających się ze sobą ciał; każda bowiem, nawet najbardziej wygładzona powierzchnia, posiada jeszcze malutkie wgłębienia i wypukłości, których praktycznie wyrównać nie można. Ale i tam, gdzie nie może być mowy o chropowatości, np. przy wzajemnem ślizganiu się warstw cieczy, opory zawsze istnieją i mogą być zmierzone.

Wielkość tarcia, tudzież jego zależność od rodzaju powierzchni i od nacisku wywieranego przez ciało, można znaleźć doświadczalnie w sposób następujący:

Ćwiczenie 16. Na desce poziomej, zaopatrzonej w lekki bloczek, kładziemy zważony uprzednio graniastosłup o starannie wygładzonych ściankach i o dowolnym ciężarze P (ryc. 48), poczem przywiązujemy nitkę do haczyka wbitego w jedną jego ściankę i, przerzuciwszy ją przez bloczek, obciążamy drugi jej koniec tak dobranym ciężarkiem, aby po lekkim potrąceniu graniastosłupa w kierunku błočka, uzyskać powolny ruch kłocka. (Część nici od haczyka do błočka powinna być równoległa do podstawy). Wtedy wielkość ciężarka zawieszonego na nitce (ewent. łącznie z ciężarem szalki, o ile się nią posługujemy) jest równa wielkości tarcia T .



Ryc. 48. Badanie tarcia.

Przekładamy następnie graniastosłup inną ścianką ku podstawie (większą, potem mniejszą), badając, czy i jak wpływa to na tarcie T . (Po każdym obróceniu graniastosłupa należy doprowadzić nitkę do położenia równoległego względem podstawy).

Podkładamy potem kolejno pod graniastosłup różne, pod względem materiału i chropowatości, płytki (np. szklaną, stalową, arkusz szklстого i gładkiego papieru) i badamy, jak zmienia się wartość tarcia w tych warunkach. Podkładamy również okrągłe waleczki (np. ołówki), mierząc wartość tarcia przy toczeniu się graniastosłupa.

Wreszcie przyciskamy graniastosłup do podstawy, kładąc na nim dowolne odważniki, i badamy, jak zmienia się wielkość tarcia w zależności od różnych wartości siły przyciskającej (siła ta jest równa ciężarowi graniastosłupa plus dodatkowe jego obciążenie).

Wielkość tarcia nie zależy od wielkości powierzchni zetknięcia się ciał; jest ona tem mniejsza, im bardziej wygładzone są powierzchnie ciał; przy toczeniu się ciała jest zawsze mniejszą niż przy ślizganiu; jego wartość (T) jest proporcjonalna do siły, przyciskającej ciało do podstawy.

Ostatnią zależność, t. j. stwierdzoną doświadczalnie proporcjonalność T do P , możemy napisać w postaci $T = f \cdot P$, gdzie współczynnik f jest stały, gdy bierzemy zawsze tę samą parę ciał i tak samo obrobione powierzchnie trące. Zmieni on swą wartość dopiero wtedy, gdy weźmiemy inne ciała, albo inaczej wygładzone powierzchnie. Jeśli będziemy zawsze brali powierzchnie możliwie najgładsze, to f będzie zależne jedynie od natury dwóch trących się ciał.

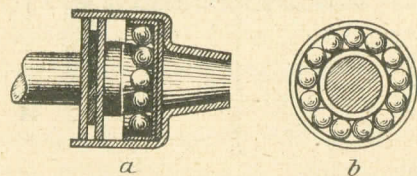
Liczba f , wyrażająca stosunek $\frac{T}{P}$, podaje nam poprostu, jaka część siły, przyciskającej ciało do podstawy, jest potrzebna do pokonania tarcia; liczbę tę nazywamy współczynnikiem tarcia (dla danej pary ciał).

Przykład. Współczynnik tarcia żelaza o żelazo wynosi $f = 0,4$. Jakiej siły musimy użyć, by posunąć 5-Kilogramowy ciężarek żelazny po płaskiej poziomej płycie żelaznej? Odp.: Siła tarcia wynosi: $T = f \cdot P = 0,4 \cdot 5 = 2$ Kg.

Przywykliśmy uważać tarcie za czynnik szkodliwy, ponieważ przeszkadza ono wytwarzanym przez nas ruchom. Jego szkodliwy

wpływ występuje zwłaszcza w wielu przyrządach, jakimi posługujemy się przy wykonywaniu pracy. Nic dziwnego; tarcie jest nieodstępnym towarzyszem ruchu jednego ciała po drugim, a w każdej pracy mamy właśnie do czynienia z ruchem. To też dbamy zwykle o to, aby we wszelkich tego rodzaju wypadkach tarcie zmniejszyć w miarę możliwości.

W tym celu smarujemy smarem osie kół u wozu, oliwimy łożyska w obrabiarkach, tłoki cylindrów w silnikach i t. p. Znaczne zmniejszenie tarcia dają zwłaszcza łożyska kulkowe (ryc. 49).



Ryc. 49. Łożysko kulkowe:
a) widok z boku, b) przekrój poprzeczny.

Lecz obok złych skutków posiada ono także swoje dobre strony i to bardzo cenne i pożyteczne. Gdyby bowiem nie było tarcia, nie moglibyśmy chodzić, trzymać w ręku przedmiotów, zawiązać węzła i t. p., gdyż tylko tarcie podeszwy o ziemię lub podłogę, tarcie trzymany przedmiotów o skórę dłoni i t. d. umożliwiają te czynności. Niechaj czytelnik wyobrazi sobie i przemyśli, czem byłby świat bez tarcia, a jako przedsmak tego niech mu posłuży wspomnienie trudności, jakie miał z chodzeniem po gołolodzi, z manipulowaniem przedmiotami śliskimi, z lodem, rozmoczonym mydłem i t. p. W tych więc wypadkach, gdzie tarcie jest czynnikiem pożądanym, dbamy o jego zwiększenie, np. posypując piaskiem śliskie chodniki w zimie, nacierając smyk skrzypcowy kalafonją i t. p.

Pytania.

1. Zbadaj przekładnie kołowe w rowerze, w maszynie do szycia, w tokarni i t. p. i uzasadnij ich znaczenie.
2. Jak wielką moc wykazał turysta, który wspiął się na wysokość 900 m w ciągu 1 godziny, skoro jego ciężar $P = 60 \text{ Kg}$?

Rozdział III

O SIŁACH I RUCHACH

25. Jeszcze o siłach, które się równoważą. Wiemy już z rozdziału I, że na ciało mogą działać dwie siły albo więcej, a mimo to ciało nie porusza się, trwa w spoczynku. O takich siłach mówimy, że równoważą się nawzajem. Najpospolitszych przykładów dostarczają nam ciała zawieszone lub podparte; na każde z nich działa siła ciężkości, skierowana pionowo w dół; jeśli ciało mimo to nie porusza się, to dlatego, że tej sile przeciwdziała inna, skierowana też pionowo, ale w górę: siła naszych mięśni, napięcie sznurka, opór stołu. We wszystkich tych i tym podobnych wypadkach brak ruchu ciała uważamy za dowód, że działające na nie siły są w równowadze.

Jeśli natomiast ciało zaczyna się poruszać, to wnioskujemy, że podziałała na nie jakaś siła nie zrównoważona. Połóżmy ostrożnie cegłę na giętkiej desce; w pierwszej chwili środek deski zaczyna opuszczać się, ale wygięta deska wywiera na cegłę tem większą siłę, im silniej się wygięła, aż wreszcie siła ta zrównoważy ciężar cegły. Podobnie zachowuje się łódź spuszczana na wodę; zagłębia się w wodę póty, póki wypór wody nie zrównoważy jej ciężaru.

Wagon kolejowy, ustawiony na gładkim poziomym torze, nie może wykonać ruchu w kierunku pionowym. Lecz obie działające na niego siły pionowe nie przeszkadzają, by wagon mógł poruszać się poziomo po torze. W tym celu musielibyśmy podziałać na wagon siłą poziomą; gdy jej niema, wagon pozostanie w miejscu. Nie poruszy się i wtedy, gdy siły poziome też się zrównoważą. Możemy więc powiedzieć, że ciało trwa w spoczynku, jeśli wszystkie działające na nie siły równoważą się nawzajem. Gdy to zachodzi, ciało zachowuje się tak, jakby nie działała na nie żadna siła.¹ W tem znaczeniu mówi się w fizyce, że ciało trwa w spoczynku, jeśli nie działa na nie żadna siła.

Teraz nasuwa się pytanie: *jak* porusza się ciało, skoro już zostało wprowadzone w ruch działaniem siły. Nim na nie odpowiemy, musimy się zapoznać z najważniejszymi rodzajami ruchów i ich właściwościami.

26. O rodzajach ruchów. W przyrodzie obserwujemy ruchy rozmaitego rodzaju. Inny jest ruch rozkołysanego dzwonu, inny — lotu ptaka, a inny — sfalowanej wody; inaczej porusza się podwozie samochodu, inaczej jego koła, a jeszcze inaczej tłoki poruszającego się silnika. Możemy jednak wyróżnić kilka typowych, często występujących rodzajów ruchu.

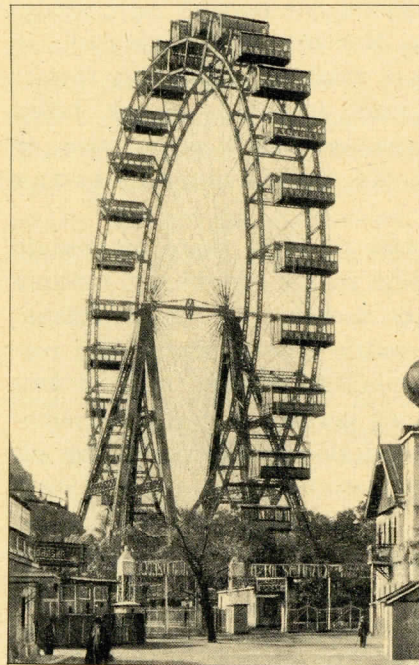
Najpospolitszym jest **ruch postępowy**; ruch taki wykonywają np. sanki ciągnięte po śniegu, książka posuwana po stole, wagon kolejowy (z pominięciem kół), idący człowiek lub koń (z pominięciem nóg i rąk, które prócz tego wykonywają inne ruchy).

¹ Nie potrafimy usunąć ciała całkowicie z pod działania siły, zwłaszcza siły ciężkości. Choćbyśmy oddalili je od ziemi, to i tak podlegałoby działaniu słońca i innych ciał niebieskich (obacz rozdz. V). Przytem wystąpiłaby nowa trudność: im dalej od innych ciał znalazłoby się ciało badane, tem trudniej byłoby osądzić, czy jest w ruchu, czy w spoczynku, bo o tem możemy się przekonać tylko na podstawie zmian położenia jednego ciała względem innych.

W wymienionych przykładach każda cząstka poruszającego się ciała, każdy jego punkt wykonywa taki sam ruch, jak wszystkie inne punkty. Gdy przesuwam książkę np. o metr w kierunku równoległym do krawędzi stołu i tak, by nie zmieniać przy tym kierunku krawędzi książki, to każdy róg oprawy, środek każdej stronicy, każda litera, przecinek lub kropka, przesuną się o metr, równoległe do krawędzi stołu. Wystarczy poznać ruch jednego punktu, by znać ruch każdego innego, a zatem i ruch całego ciała. W fizyce najczęściej zwracamy uwagę na ruch środka ciężkości ciała.

Ryc. 50. W ruchu postępowym prostoliniowym wszystkie punkty ciała przebywają jednakowe, równoległe do siebie drogi.

Jeżeli wszystkie punkty ciała poruszają się po linii prostej, to taki ruch postępowy nazywamy **prostoliniowym**. W przeciwnym razie mamy do czynienia z ruchem **krzywoliniowym**.

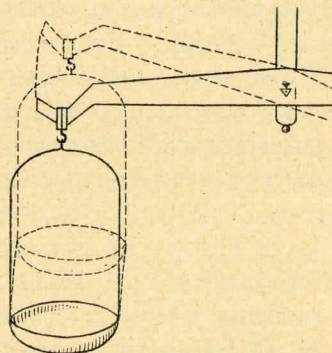


Ryc. 51. Wielkie koło z wagonikami. Ich ruch jest postępowy, krzywoliniowy.

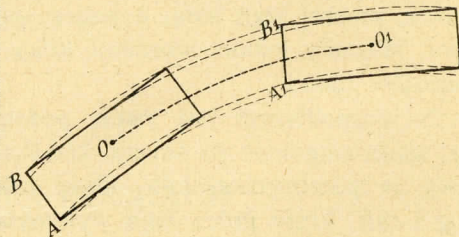
Przykładu ruchu postępowego prostoliniowego dostarczają nam wymienione ruchy, gdy niema zakrętu. Ruch postępowy krzywoliniowy wykonywają np. wagoniki, zawieszone na olbrzymim, powoli obracającym się kole (ryc. 51). Wszystkie punkty

W wymienionych przykładach każda cząstka poruszającego się ciała, każdy jego punkt wykonywa taki sam ruch, jak wszystkie inne punkty. Gdy przesuwam książkę np. o metr w kierunku równoległym do krawędzi stołu i tak, by nie zmieniać przy tym kierunku krawędzi książki, to każdy róg oprawy, środek każdej stronicy, każda litera, przecinek lub kropka, przesuną się o metr, równoległe do krawędzi stołu. Wystarczy poznać ruch jednego punktu, by znać ruch każdego innego, a zatem i ruch całego ciała. W fizyce najczęściej zwracamy uwagę na ruch środka ciężkości ciała.

Jeżeli wszystkie punkty ciała poruszają się po linii prostej, to taki ruch postępowy nazywamy **prostoliniowym**. W przeciwnym razie mamy do czynienia z ruchem **krzywoliniowym**.



Ryc. 52. Wszystkie punkty szalki wagi zakresłają jednakowe, równoległe do siebie drogi.



Ryc. 53. Wóz tramwajowy na zakręcie: każdy z punktów O, A, B zakresłają inny łuk.

wagoników zakresłają jednakowe, równoległe do siebie tory kołowe. W każdym położeniu ściany wagoników pozostają pionowe; mówimy, że poruszają się równoległe do samych siebie. Podobnie zachowują się szalki wagi (ryc. 52).

Gdy natomiast zakręca wóz tramwajowy, widzimy, że punkty wewnętrzne (róg A na ryc. 53) zakresłają inne tory, niż punkty zewnętrzne (róg B). Ściany wozu wybierają coraz to inny kierunek. Mamy tu do czynienia z ruchem obrotowym.

Ale i ruchy prostoliniowe różnią się pomiędzy sobą. Porównajmy np. ruch idącego równym krokiem człowieka ze spadaniem kamienia, albo ruch pociągu wtedy, gdy jest w pełnym biegu, i wtedy, gdy wyrusza ze stacji. Człowiek i rozpędzony pociąg poruszają się ze stałą prędkością, zaś prędkość spadającego kamienia i wyruszającego pociągu staje się coraz większa. Pierwsze ruchy nazywamy **jednostajnymi**, drugie — **przyspieszonymi**. Ruch pociągu, zwalnającego swój bieg przed stacją, lub ruch piłki, rzuconej pionowo w górę, nazywamy **zwolnionym** albo **opóźnionym**.

Zatem pomiędzy ruchami postępowymi odróżniamy następujące rodzaje:

- | | | | |
|---------------------------|---|---------------|------------------------------|
| a) ze względu na tor | { | prostoliniowe | |
| | { | krzywoliniowe | |
| b) ze względu na prędkość | { | jednostajne | |
| | { | zmienne | { przyspieszone
zwolnione |

27. Prędkość ruchu. Ruchy jednostajne różnią się pomiędzy sobą **prędkością**. Prędkość samochodu znacznie przewyższa prędkość idącego człowieka, a ta — prędkość pełzającego ślimaka. Tablica I zawiera przykłady różnych prędkości; możnaby przytoczyć ich jeszcze bardzo dużo.

Gdy zachodzi potrzeba porównania prędkości biegu zawodników, znajdujących się w różnych miastach, a nawet krajach, używa się dwóch różnych sposobów: albo wyznacza się im jednakowe drogi do przebycia i porównywa czasy potrzebne do tego, albo też ustala się wspólny czas i mierzy przebyte w nim drogi. Zróbmy to samo na małą skalę.

Ćwiczenie 17. Ustawiamy na stole obok siebie dwie zabawki mechaniczne, poruszane zapomocą sprężyny po linii prostej, lecz z różnymi prędkościami. Puuszczamy je jednocześnie w ruch, a po upływie pewnego czasu zaznaczamy miejsca, do których doszły, i mierzymy drogi, przebyte przez każdą z nich.

Jesteśmy przyzwyczajeni do oceniania prędkości w ten sposób, że uważamy ją za tem większą, im większa droga została przebyta

w tym samym czasie. Uważamy prędkości za proporcjonalne do dróg, przebytych w jednakowych czasach.

Jeśli np. pierwsza zabawka przebyła drogę $s_1=80$ cm, a druga $s_2=30$ cm, to prędkość v_1 pierwszej zabawki jest tyle razy większa od prędkości v_2 drugiej zabawki, ile razy 80 cm jest większe od 30 cm.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{80}{30} = \frac{8}{3}$$

Możemy to napisać w postaci ogólnej

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_1}{s_2}$$

Ćwiczenie 18. Wyznaczamy na stole jakąś odległość i mierzymy sekundomierzem czas, jakiego potrzebuje każda z zabawek do jej przebycia.

Prędkość ciała jest tem większa, im krótszego czasu potrzeba na przebycie pewnej drogi. Uważamy prędkości za odwrotnie proporcjonalne do czasów, potrzebnych na przebycie jednej i tej samej drogi. Jeśli pierwsza zabawka zużyła $t_1=6$ sek, a druga $t_2=16$ sek, to prędkość pierwszej jest tyle razy większa niż drugiej, ile razy 16 sek. jest większe od 6 sek.

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{16}{6} = \frac{8}{3}$$

Uogólniając, możemy napisać

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{t_2}{t_1}$$

Jak widać z przytoczonych liczb, oba sposoby porównywania prędkości prowadzą do tego samego wyniku.

Wiemy jednak, że zawodnicy nie biegają przez cały czas jednakowo; zwiększają prędkość np. „na finiszu” lub w celu wyprzedzenia współzawodnika. To, co mierzymy taśmą i sekundnikiem, jest ich **prędkością średnią**. Ona często najbardziej nas obchodzi; przy układaniu rozkładu jazdy pociągów zwracamy uwagę nie na prędkości chwilowe pociągu, lecz na jego prędkość średnią.

28. Jednostki prędkości. Aby wyrazić prędkość zapomocą jakiejś liczby, musimy jeszcze ustalić jej jednostkę. Gdybyśmy zaobserwowali taki ruch jakiegoś ciała, że w każdej jednostce czasu przebywałoby ono drogę, równą jednostce długości, powie-

dzielibyśmy, że prędkość jego równa się *jednostce*. Jednostka prędkości zależy oczywiście od tego, w jakich jednostkach mierzymy czas i długość.

Najczęściej używanymi jednostkami prędkości są: centymetr na sekundę, co oznaczamy symbolem cm/sek, metr na sekundę (m/sek), metr na minutę (m/min), kilometr na godzinę (km/godz. lub km/h). Jest jasne, że jednostka prędkości jest tem większa, im większa jest jednostka długości i im mniejsza jest jednostka czasu. Np. $1 \text{ m/min} = 100 \text{ cm/min} = \frac{1}{60} \text{ m/sek}$.

Gdybyśmy mieli porównać np. prędkość 1 km/godz. i 1 cm/sek, to rozumowalibyśmy tak: pierwsza prędkość byłaby większa od drugiej 100 000 razy, ponieważ 1 km = 100 000 cm. Ale jednocześnie wiemy, że 1 godz. = 3600 sek, co znów zmniejsza pierwszą prędkość 3600 razy. W rezultacie pierwsza prędkość jest większa od drugiej $100\,000 : 3600 = 28$ razy.

Używane przez nas jednostki czasu są związane z pozornym ruchem słońca po sklepieniu niebieskim. Najważniejszą jest **dość słoneczna**, t. j. czas, który upływa pomiędzy jednym południem, a następnym. Przytem przez południe rozumiemy tę chwilę, w której słońce zajmuje najwyższe położenie na niebie. Dobę słoneczną dzielimy na 24 **godziny**, każdą godzinę na 60 **minut**, a minutę na 60 **sekund**.

29. Obliczanie prędkości. Ruch jednostajny. Możemy obliczyć prędkość ruchu, jeżeli znamy drogę (s) i czas (t), potrzebny na jej przebycie. Jeśli np. w ćwic. 18 droga wynosiła $s=120$ cm, to prędkość pierwszej zabawki, która przebyła ją w czasie $t=6$ sek, obliczymy tak:

Gdyby zabawka przebyła drogę 1 cm w czasie 1 sek, prędkość jej wynosiłaby 1 cm/sek; do przebycia w tym samym czasie drogi 120 cm potrzebna jest prędkość 120 razy większa, czyli 120 cm/sek; przebywając tę drogę w ciągu 6 sek zabawka ma prędkość 6 razy mniejszą, a więc $\frac{120}{6} = 20$ (cm/sek).

W celu obliczenia prędkości musieliśmy podzielić liczbę, która wyraża długość drogi, przez liczbę, która wyraża czas trwania ruchu. Mówimy krótko, choć mniej ściśle, że dzielimy drogę przez czas. Oznaczając prędkość przez v (łac. *velocitas* = prędkość), możemy to wyrazić wzorem algebraicznym:

$$v = \frac{s}{t}$$

Obliczenie w naszym wypadku możemy przeprowadzić, podstawiając zamiast s i t ich wartości:

$$\text{dla pierwszej zabawki } v = \frac{s}{t} = \frac{120}{6} = 20 \text{ (cm/sek)}$$

$$\text{dla drugiej } \dots \dots \dots v = \frac{s}{t} = \frac{120}{16} = 7,5 \text{ (cm/sek)}.$$

I tu mierzyliśmy prędkość średnią. Nasz pomiar nie pozwolił nam jeszcze rozstrzygnąć, czy ruch odbywał się z jednakową prędkością, t. j. czy był jednostajny. Chcąc się o tem przekonać, musimy pomiar powtórzyć kilkakrotnie.

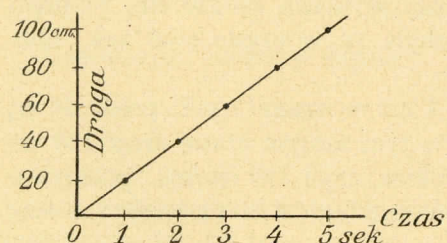
Ćwiczenie 19. Jedną z zabawek puszczaemy po stole i znaczymy kredą miejsca, które zajmuje np. co sekundę. Mierzimy drogi przebyte w kolejnych sekundach.

Jeśli drogi, przebywane w równych i dowolnie małych czasach są jednakowe, to ruch nazywamy **jednostajnym**.

Zastrzeżenie „dowolnie małych czasów“ zrobiliśmy dlatego, by do ruchów jednostajnych nie zaliczyć takich, jak np. ruch wskazówki zegara elektrycznego, która co minutę skacze o jedną podziałkę. Gdybyśmy mierzyli drogi, przebywane przez wskazówkę co minutę, ruch mógłby uchodzić za jednostajny, ale pomiar, dokonywany co $\frac{1}{2}$ lub $\frac{1}{10}$ minuty, zdradziłby nasz błąd.

Jednostajność ruchu możemy też sprawdzić przy pomocy wykresu.

Na osi poziomej (ryc. 54) odkładamy czasy, a na pionowej przebyte drogi. Jeśli ruch był jednostajny,



Ryc. 54. Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym.

to linia wykresu będzie prosta; wiemy, że taki wykres dowodzi proporcjonalności pomiędzy obu wielkościami. Wykres każdego innego ruchu miałby postać linii krzywej.

W ruchu jednostajnym prędkość jest stała. W naszym przykładzie, jak to widać na ryc. 54, zabawka przebywa 20 cm

w ciągu 1 sek, 40 cm w ciągu 2 sek, 100 cm w ciągu 5 sek i t. d. W każdym wypadku otrzymamy tę samą wartość prędkości:

$$\frac{s}{t} = \frac{20}{1} = \frac{40}{2} = \frac{100}{5} = \frac{120}{6} = 20 \text{ (cm/sek)}.$$

Prędkości, spotykane w życiu, obejmują bardzo szeroką skalę. Uwydatnia to tablica I.

Tablica I.
PRĘDKOŚCI.

Koniec wskazówki godzinowej zegarka kieszonk.	około $\frac{1}{360}$ mm/sek.
„ „ „ minutowej tej samej długości	„ $\frac{1}{30}$ „
Ślimak	„ 0,3 cm/sek
Człowiek idący	„ 1,4 m/sek
„ „ „ biegnący	„ 4 „
Rekord prędkości w biegu krótkim	9,8 „
Koń w kłusie	około 4 „
Koń wyścigowy	„ 15 „
Człowiek na rowerze (rekord)	14,1 „
Pociąg towarowy	około 7,5 m/sek = 27 km/h
Pociąg osobowy pośpieszny	20 „ = 72 „
Lokomotywa (rekord)	43,0 „ = 155 „
Samochód przeciętnie	17,6 „ = 60 „
Samochód (rekord)	135,3 „ = 487 „
Samolot pasażerski	około 40 „ = 144 „
Samolot rekord	154,5 „ = 556,5 „
Łódź podwodna	około 8 „ = 28,8 „
Statek pośpieszny	„ 15 „ = 54 „
Ślizowiec	„ 53 „ = 190 „
Kula karabinowa przy wylocie z lufy	„ 1000 „
Głos w powietrzu	320 „
Ziemia naokoło słońca	30 km/sek
Światło i fale elektryczne w próżni	300 000 km/sek

30. Zastosowania wzorów na ruch jednostajny. Wzór, wyprowadzony w poprzednim ustępie, możemy przekształcić tak, by mógł służyć do obliczenia drogi, jeśli znamy prędkość i czas, albo czasu, jeśli znamy prędkość i drogę. Możemy jednak dokonać obliczeń, nie posługując się wzorem.

Przykład. Człowiek idzie z prędkością $v=1,4$ m/sek. Jaką drogę przebędzie w czasie $t=1$ godzina?

W ciągu sekundy człowiek przebywa 1,4 m, więc w ciągu godziny przebędzie $60 \times 60 = 3600$ razy więcej. Droga wyniesie zatem $1,4 \times 3600 = 5040$ (m).

Chcąc użyć wzoru, rozwiązujemy go dla niewiadomej s :

$$s = v \cdot t$$

Przed podstawieniem wartości musimy uzgodnić użyte jednostki; wyrazimy czas w sekundach: $t=1$ godz. = 3600 sekund

$$s = 1,4 \cdot 3600 = 5040 \text{ (m)}$$

Jako jednostkę napisaliśmy metr nie tylko dlatego, że tak wynika z treści zadania, ale i dlatego, że tak wypada z jednostek obu czynników. Jeśli pomnożymy ich symbole: $\text{m}/\text{sek} \times \text{sek}$, tak jak mnożymy odpowiadające im liczby, to istotnie otrzymamy symbol m.

Podobne sprawdzanie jednostek powinno się przeprowadzać przy każdym obliczeniu. Jeśli popełniono pomyłkę, czy to przez zastosowanie niewłaściwego wzoru, czy też przez użycie niezgodzonych jednostek, błąd ujawni się natychmiast.

Czytelnik sam rozwiąże obu sposobami następujące zadanie. Ile czasu potrzebuje samochód, jadący z prędkością $v=20 \text{ m}/\text{sek}$, na przebycie drogi $s=10 \text{ km}$?

31. Ruch ciał pod wpływem sił. Codzienne doświadczenie poucza nas, że żadne ciało nie poruszy się samo przez się, t. j. jeśli nie podziała na nie żadna siła z zewnątrz. Wóz nie ruszy z miejsca, o ile nie pociągnie go człowiek, koń albo silnik; suchy liść leży na ziemi bez ruchu, póki nie poruszy go powiew wiatru; żelazny gwóźdź może być wprowadzony w ruch przez przyciąganie magnesu; jabłko spada z drzewa, gdy oderwie się od gałęzi, a przez to zniknie siła, która dotychczas równoważyła ciężar jabłka.

Doświadczenie. Z wysoko umieszczonego haka spuszcza pion i zaznaczamy miejsce, w którym dotyka podłogi. Na tym samym haku zawieszamy ciężarek na cienkiej nitce. Gdy ciężarek uspokoi się zupełnie, przepalamy nitkę i obserwujemy, gdzie ciężarek upadnie.

Ruch odbywa się, w naszym wypadku, w tym samym kierunku, w jakim działa siła. Jest to prawo ogólne: po kierunku ruchu poznajemy, jaki był kierunek siły.

Zapytajmy teraz, co dzieje się z prędkością ciała, jeśli siła, wprowadzająca je w ruch, nie przestaje działać. Nie brak nam przykładów na to w naszym otoczeniu. Oto np. kamyk, wypuszczony z ręki, zaczyna spadać. Z początku prędkość jego jest nieznaczna: podstawmy dłoń o kilka cm niżej, a ledwo pocujemy jego uderzenie. Puszczony z większej wysokości kamyk da się już odczuć boleśnie; spadając z wysokości kilkunastu metrów, może wyrządzić poważną szkodę. Dzieje się to dzięki temu, iż kamyk nabiera coraz większej prędkości.

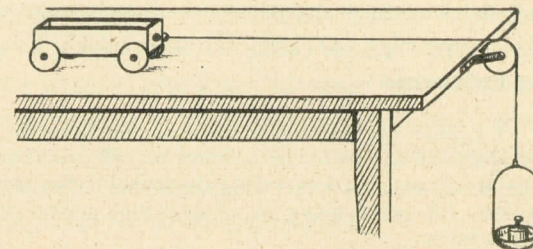
Inny przykład: pociąg rusza ze stacji, ciągniony przez lokomotywę; prędkość jego, zrazu niewielka, wzrasta ustawicznie.

Ćwiczenie 20. Ustawiamy na stole wózek, którego kółka obracają się z małym tarcim. Uwiązujemy do niego nitkę, przerzucamy ją przez umocowany na krawędzi stołu bloczek i obciążamy na końcu (ryc. 55). Obserwujemy, jak wózek porusza się ze wzrastającą prędkością.

Pod wpływem siły, działającej stale w tym samym kierunku prędkość ciała ustawicznie wzrasta.

Doświadczenie codzienne w wielu wypadkach zdaje się przeczyć

wypowiedzianemu prawu. Pociąg, ciągniony przez lokomotywę, porusza się wprawdzie z początku coraz prędzej, ale po pewnym czasie prędkość jego ustala się, przestaje się zmieniać i pociąg posuwa się dalej ruchem jednostajnym; a jednak lokomotywa nie przestaje pracować. To samo dzieje się z wozem, ciągnionym przez konia: pomimo wysiłku zwierzęcia prędkość wozu nie może przekroczyć pewnej granicy.



Ryc. 55. Siła, stale działająca w jednym kierunku, przyspiesza ruch.

Rzućmy zamiast kamyka, garść drobnego pyłu. Drobne jego cząsteczki spadają wprawdzie, ale prędkość ich jest bardzo mała i jednostajna; tak samo spadają kropelki drobnego deszczu lub rozpylonej wody. A przecież siła ciężkości nie przestaje na nie działać. Gdy chcemy posunąć po stole książkę ruchem jednostajnym, musimy używać siły przez cały czas trwania ruchu. Rzućmy wreszcie drobny kamyczek do słoja z wodą; kamyk rychło dojdzie do pewnej stałej prędkości, z którą też poruszać się będzie do końca swej drogi.

Te pozorne sprzeczności sprawiły, że przez długie wieki panowały w tej dziedzinie niejasne poglądy. Zupełnie błędne zapatrywania mieli o tych sprawach starożytni filozofowie. Znakomity grecki mędrzec ARYSTOTELES (wiek IV przed Chr.), który w dziełach swoich zebrał całą ówczesną wiedzę i przekazał ją dalszym pokoleniom, twierdził, że do utrzymania ciała w ruchu o niezmienniej prędkości potrzebna jest stale działająca siła. Pogląd ten był oparty na obserwacji ruchów, podobnych do tych, które dopiero co opisaliśmy. A że przykładów takich jest mnóstwo i to najpospolitszych, więc nic dziwnego, że poglądy Arystotelesa przetrwały całe wieki średnie. Zresztą w tej epoce inne zupełnie zagadnienia zajmowały ludzi; w rzeczach przyrody zadawano się przeważnie tem, co pozostawiła nauka starożytnych.

A przecież nie brak łatwych do zauważenia zjawisk, które wskazują, że Arystoteles i jego zwolennicy zbyt upraszczali zagadnienie. Gdy w jesienny spokojny dzień siedzimy w sadzie, widzimy jak coraz to odrywa się jabłko od gałęzi i spada prosto na ziemię. Liście też odrywają się od gałązek, ale ich spadek jest inny: chwieją się w powietrzu i zbliżają do ziemi wolnym, nieregularnym lotem. Coś im widocznie przeszkadza w ruchu, coś ich bieg zwalnia i czyni go chwiejnym i nieprawidłowym.

32. Wpływ oporów na ruch ciał. Pierwszym, który rzucił jasne światło na zajmujące nas zagadnienie, był wielki włoski uczony czasów Odrodzenia, znany nam już GALILEUSZ. Zbił on poglądy Arystotelesa nie tylko subtelnym i dowcipnym rozumowaniem, ale powołał się na powagę, większą od wszystkich ksiąg filozoficznych — **na doświadczenie.**

Galileusz był pierwszym uczonym nowożytnym, który wykonywał doświadczenia przyrodnicze z określonym planem, w celu rozstrzygnięcia różnych zagadnień i wątpliwości. Przed nim zadowalano się samem tylko rozumowaniem, często mętne i nieścisłe, lub powoływano się na autorytet pisarzy starożytnych, przede wszystkim na Arystotelesa.

Badania doświadczalne, jakie Galileusz przeprowadził nad ruchami ciał, przekonały go o błędności rozpowszechnionych poglądów. Potrzeba było wielkiej bystrości jego genjuszu, by wykryć i wykazać błąd, popełniany przez największe nawet umysły minionych wieków. Błąd polegał na tem, że nie zwracano uwagi na **opory**, które ciała napotykają przy ruchu. Tam, gdzie dawni uczeni widzieli jedną tylko działającą siłę (np. konia, ciągnącego wóz), tam Galileusz dostrzegał grę wielu sił: jednej, która utrzymuje ciało w ruchu, oraz wielu innych, które jednocześnie ten ruch hamują. Do sił tych należy tarcie o podstawę, po której ciało się porusza (droga, szyny, stół), tarcie części ruchomych (osi o łożysko), opór środka, w którym ruch się odbywa (powietrze, woda). To opór wody sprawia, że kamyczek spada w niej wolno, a opór powietrza chwieje liściem i powstrzymuje jego spadek na ziemię. Tylko uwzględniając wszystkie wymienione siły, można dojść do zrozumienia praw, rządzących ruchami.

Rozpatrzmy bliżej przytoczone przykłady. Pociąg przyspiesza bieg, ale jednocześnie wzrasta opór powietrza i tarcie o szyny, przyspieszenie staje się przez to coraz mniejsze. Po pewnym czasie opory stają się równe sile, z jaką lokomotywa ciągnie pociąg. Od tej chwili przyspieszenie ustaje i wagony poruszają się ruchem jednostajnym. To samo zachodzi, gdy koń ciągnie wóz po drodze, tylko że tu opory tarcia o nierówną drogę są duże i równoważą siłę pociągową konia już przy niewielkiej prędkości. Im gorsza droga, tem mniejszą prędkość osiąga wóz. Gdy tarcie książki o stół równoważy siłę ciągnącej ręki, ruch książki staje się jednostajny. Opór, jaki woda stawia ruchowi statku, równoważy siłę wiatru, dmącego w żagle, lub kół, bijących wodę. Drobne pyłki i kropelki wody, spadając, napotykają opór powietrza, który równoważy ich nikły ciężar i znosi przyspieszenie ruchu.

Możemy powiedzieć ogólnie, że ciała poruszają się ruchem jednostajnym wtedy, gdy działające na nie siły rów-

noważą się wzajemnie. Ruch jednostajny ciała jest oznaką, że działające na nie siły są zrównoważone.

33. Zasada bezwładności. Liczne nasze wynalazki i udoskonalenia mają na celu zmniejszenie oporów ruchu. Zmniejszamy więc tarcie osi zapomocą smarów i przez zastosowanie łożysk kulkowych (ob. ust. 24). Tor staramy się uczynić gładkim i równym; nawierzchnia z kostki granitowej przewyższa pod tym względem nawet szosę, a gładkie szyny stalowe kolei i tramwajów stanowią jedną z najważniejszych zalet tych środków komunikacji. Im mniejsze opory, tem mniejszej siły potrzeba do utrzymania ciała w pewnej prędkości.

Wóz o ciężarze 1000 Kg wymaga siły pociągowej:

po piasku lub błocie	150—300 Kg
na drodze ziemnej	50—150 „
na drodze z kamienia polnego	40 „
na szosie	30 „
na kostce granitowej	20 „
na asfalcie	10 „

Nawet najstaranniejsze wykonanie pojazdu nie usunie tarcia całkowicie, opór powietrza też trudno usunąć. Ale możemy wyobrazić wybiec poza ramy rzeczywistości; możemy sobie wyobrazić, żeśmy całkowicie zniweczyli opory ruchu. Na utrzymanie stałej prędkości nie potrzebowalibyśmy żadnej siły. Ciało, na które nie działałaby żadna siła, poruszałoby się ruchem jednostajnym i prostoliniowym.

Wiemy już, że nie można żadnego ciała usunąć zupełnie spod wpływu sił; każda zaś siła, o ile nie jest zrównoważona przez inną, wywołuje zmianę prędkości ciała.

Już w ustępie 25 mówiliśmy o zachowaniu się ciał, na które nie działają żadne siły lub też siły zrównoważone, Tam była mowa o ciałach w spoczynku, tu — o ciałach w ruchu. Możemy te prawa połączyć w jedną zasadę **bezwładności**, ogłoszoną przez Galileusza:

Ciało, na które nie działa żadna siła, lub też działają siły, równoważące się wzajemnie, pozostaje w spoczynku lub w ruchu jednostajnym po linii prostej.

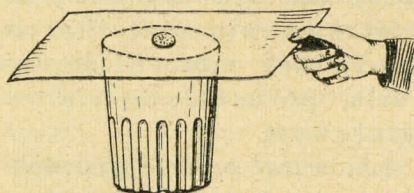
Z tej zasady wynikają bardzo ważne konsekwencje. Ciało, raz wprowadzone w ruch, nie zatrzyma się samo przez się; do powstrzymania go, a choćby tylko do zmniejszenia jego prędkości konieczne jest działanie siły, skierowanej przeciwnie niż ruch.

Mamy na to liczne przykłady. Prędkość ciała, rzuconego pionowo

w górę, ulega stopniowo zmniejszeniu pod wpływem siły ciężkości, skierowanej pionowo w dół. Gracz, chwytając rzuconą piłkę, musi nałożyć mięśnie, by ich siła mogła zniweczyć prędkość piłki. Do prędkiego zatrzymania pędzącego po szynach wagonu używa się silnych hamulców; siłą powstrzymującą jest tarcie pomiędzy kołem a hamulcem. Nasypanie pod koła piasku zwiększa tarcie kół o szyny, a więc hamuje ruch wagonu. Nawet i bez tego tarcia zatrzymałoby wagon, ale dopiero po przebyciu znacznie dłuższej drogi.

Prawo bezwładności tłumaczy nam różne zdarzenia, jakich doznajemy podczas jazdy koleją lub tramwajem. Gdy wagon rusza, ciało nasze w pierwszej chwili nie bierze udziału w tym ruchu; by nabyło prędkości takiej jak wóz, muszą na nie podziałać jakieś siły: nacisk ściany, poręczy, tarcie o ławkę, pociągnięcie ręką za rzemień lub pręt wozu. Jeśli stoimy bez oparcia, to dzięki tarcu, podłoga pociąga nasze stopy, ale korpus i głowa są jeszcze w spoczynku. Ciało nasze pochyła się wtył, skutek czego grozi nam upadek.

Czytelnik sam wytłumaczy, dlaczego przy zatrzymaniu wagonu mamy tendencję do przewrócenia się ku przodowi, a pakunki spadają z półek (w jakim kierunku?). Jeśli prędkość pociągu jest wielka, a zatrzymanie nagłe, jak to bywa przy wypadkach kolejowych, działanie bezwładności może spowodować potrzaskanie ścian wagonów, ciężkie okaleczenie lub śmierć jadących.



Ryc. 56. Przykład bezwładności ciała.

Postaramy się wytłumaczyć następujący figiel: kładziemy na szklance kartkę papieru, a na niej monetę (ryc. 56). Jeśli kartkę pociągniemy powoli, moneta poruszy się z nią razem; jeśli kartkę szarpniemy, moneta wpadnie do szklanki. Tłumaczenie jest proste: siła tarcia, która w obu razach wprowadzała w ruch monetę, działała w drugim wypadku tak krótko, że nie zdołała nadać jej prędkości takiej, jaką miała kartka.

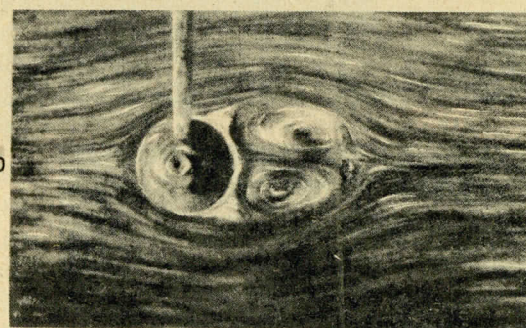
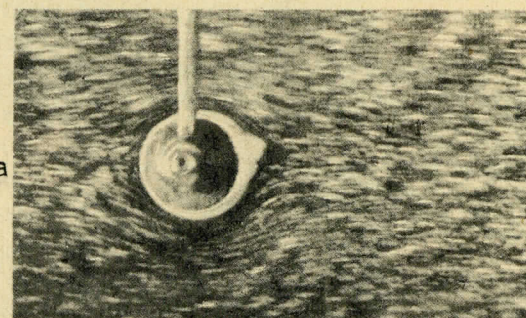
34. Prawa oporu ośrodka. Z tarciem zapoznaliśmy się już w rozdz. II, teraz omówimy prawa, rządzące oporami ośrodka. Rozpatrzmy w tym celu kilka dobrze znanych przykładów. Odczuwamy wyraźnie opór, jeśli np. chcemy wykonać szybki ruch ręką, pogrążoną w wodzie, albo łyżką w garnku ze śmietaną. Nawet powietrze stawia opór. Nie dostrzegamy go, gdy idziemy lub jedziemy powoli, lecz zaczniemy biec szybko, albo puścimy konia galopem, a odczuwamy wyraźnie siłę, jaką powietrze wywiera na nasze ciało. Gdy jeszcze zwiększymy prę-

kość, np. jadąc samochodem lub samolotem, to, jak mówimy obrazowo, powietrze „głowę urywa“, a kapelusz zrzuci z wielką łatwością.

We wszystkich tych przykładach przedmioty poruszają się względem nieruchomego ośrodka: wody, śmietany, powietrza. Rzecz prosta, że podobne siły powstają, gdy ośrodek porusza się względem nieruchomych przedmiotów. Rozstrzyga tu *ruch względny* obu ciał,

Woda bieżąca w rzece porusza łodzie, łopatki kół młyńskich, a gdy pędzi wielką masą i z ogromną prędkością podczas powodzi, to znosi domy i mosty, porywa zwierzęta i ludzi,

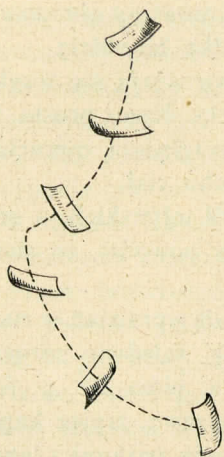
Ruch powietrza nazywamy *wiatrem*; on też potrafi wprowadzać w ruch inne ciała. Lekki wietrzyk, o prędkości 2–3 m/sec, zaledwie porusza liście na drzewach i porywa lekkie kawałki papieru, pióra i t. p. Silniejszy wiatr (8–12 m/sec) gnie drzewa, wzbija kurzawę, zrywa kapelusze. W czasie burzy wiatr (do 20 m/sec) przewraca parkany, łamie drzewa. Wreszcie huragan (do 40 m/sec) porywa ludzi, wali domy, wyrzuca drzewa z korzeniami. Działanie wiatru bywa też pożyteczne dla człowieka; używamy go do obracania skrzydeł wiatraków lub do popychania żagli na statkach i saniach.



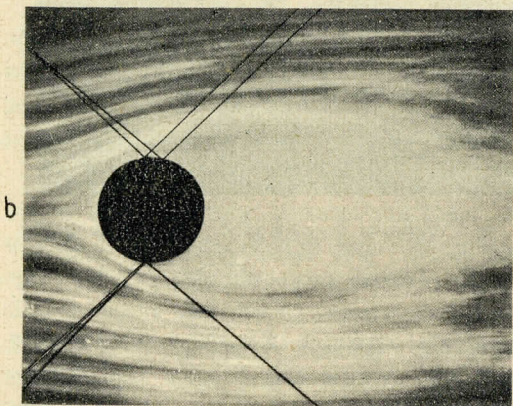
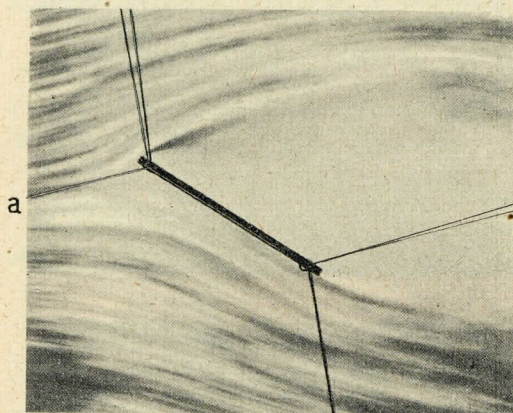
Ryc. 57. Wpływ prędkości ruchu na ruchy ośrodka (wody); przy ruchu prędkim (u dołu) za ciałem tworzą się wiry.

Z tego przeglądu powszechnie znanych zjawisk już możemy wyciągnąć pewne wnioski. Przedewszystkiem widzimy, że różne ośrodki stawiają ruchowi różne opory. Nie będziemy się zagłębiać w te zawile zagadnienia; zwrócimy tylko uwagę czytelnika, że ośrodki o dużym ciężarze właściwym

(np. rtęć, woda) stawiają większy opór, niż ciała o małym ciężarze właściwym (powietrze). Stanie się to dla nas zrozumiałe, jeśli uwzględnimy, że jednym ze skutków ruchu ciała



Ryc. 58. Spadanie kartki papieru w powietrzu.



Ryc. 59. Ruchy ośrodka (powietrza), okrążającego ciała o różnym kształcie.

w ośrodku jest wprowadzenie w ruch samego ośrodka. Mieszejmy wolno łyżką wodę w naczyniu: wkrótce cała masa wody zacznie brać udział w ruchu. Posypmy powierzchnię wody w długim korytku nasieniem widłaku (*lycopodium*) i przeciągnijmy wzdłuż korytka zanurzoną w wodzie deseczkę; zobaczymy, jakie ruchy wykonywa woda, umykając na boki z przed deseczki i dążąc na jej tyły (ryc. 57 a). Przy szybkich ruchach deseczki tworzą się za nią wyraźne wiry (ryc. 57 b).

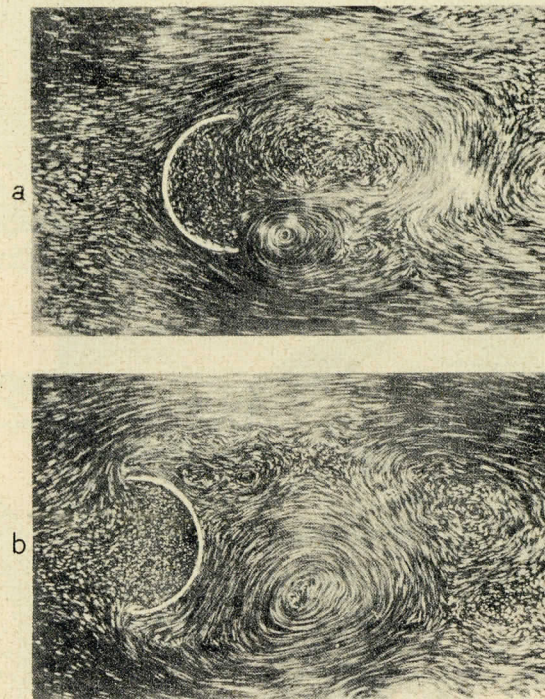
Drugi wniosek — to zależność oporu od *prędkości* ruchu. Dokładne pomiary wykazały, że siła oporu jest w przybliżeniu proporcjonalna do kwadratu prędkości.¹ Zdając np. prędkość jazdy na rowerze, doznajemy

czterokrotnie większego oporu powietrza. Pocisk wystrzelony z karabinu z prędkością 600 m/sek, musi przewyższyć $50^2 = 2500$ razy większy opór, niż gdyby był rzucony ręką z prędkością 12 m/sek.

Inna okoliczność, która wpływa na wielkość oporu, to *wielkość powierzchni*. Spróbujmy biec z rozpiętym parasolem, lub choćby z rozpostartym płaszczem, a przekonamy się o jej wpływie. Puśćmy jednocześnie dwie kartki papieru: jedną rozprostowaną, drugą zgniecioną. Druga spada szybko, prosto po linii pionowej, pierwsza chwieje się i jak gdyby spływa powoli po liniach łukowatych (ryc. 58). Opór dużej powierzchni jest tak znaczny, że zakłóca i znacznie zwalnia ruch kartki.

¹ Dla dość dużych prędkości. Przy prędkościach małych, jakie np. osiągają krople opadającej mgły, opór jest proporcjonalny do prędkości.

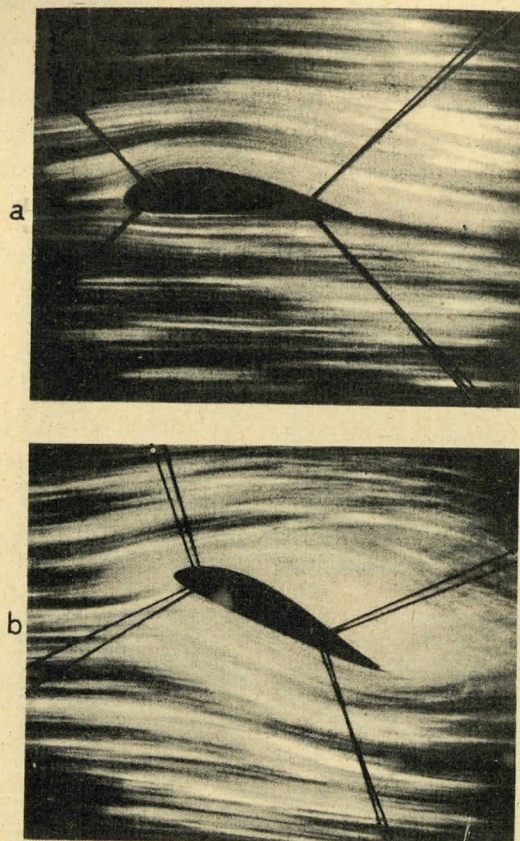
Rozpatrzmy wreszcie wpływ *kształtu ciała*. Już wiemy, że opór ośrodka jest spowodowany w znacznej mierze ruchem, wzbudzonym w samym ośrodku; im ruch gwałtowniejszy, tem większy opór. Zależy to między innymi i od kształtu ciała. W Muzeum Przemysłu i Techniki w Warszawie można oglądać ciekawe doświadczenie; przedmioty blaszane o jednakowym przekroju poprzecznym, lecz różnie ukształtowane, są wprowadzane w ruch jednakowymi siłami. Największą



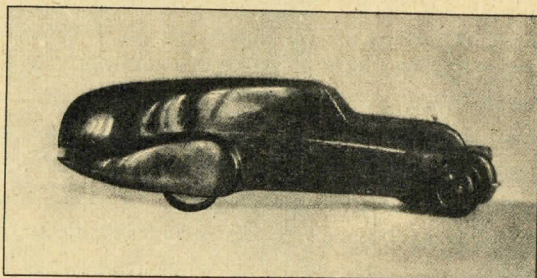
Ryc. 60. Ruch półcyindra wypukłą stroną naprzód (a) wywołuje słabsze wiry, niż ruch wklęsłą stroną naprzód (b).

prędkość osiąga przytem ciało o kształcie zbliżonym do cygara; napotyka ono w powietrzu opór mniejszy, niż inne ciała o tym samym przekroju, lecz innego kształtu, np. płaski krążek lub wydłużona półkula, poruszająca się wklęsłą stroną naprzód. Tłumaczy się to tem, że prądy powietrza przebiegają gładko wzdłuż ścian ciała w kształcie cygara i zanikają tuż za nim; przy innych kształtach prądy są silniejsze, mniej prawidłowe i przechodzą w wiry (porównaj ryciny 59—61).

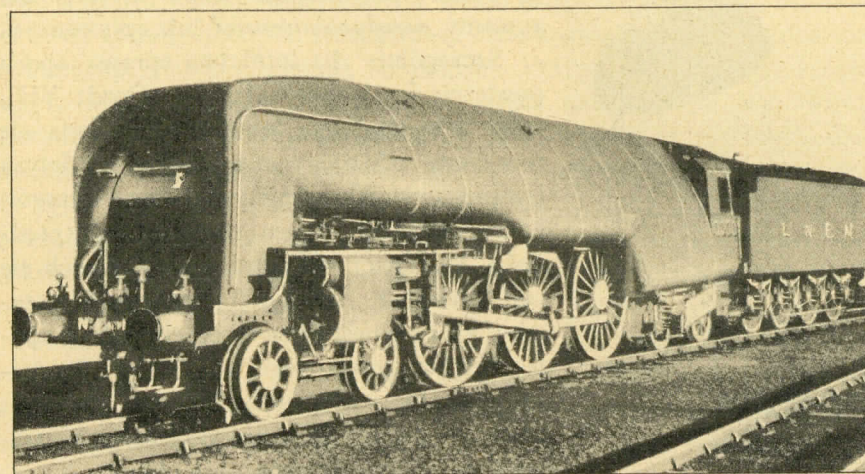
Kształt zbliżony do cygara nadajemy ciałom, przeznaczonym do prędkiego ruchu, a więc statkom, torpedom, samolotom, samochodom, a nawet lokomotywowom (ryc. 61, 62 i 63). Ryby i inne zwierzęta przysto-



Ryc. 61. a. Linje prądu powietrza łagodnie opływają profil aerodynamiczny samolotu. b. Ten sam profil, ustawiony ukośnie względem prądu, odkształca linje prądu i wywołuje zwiększony opór.



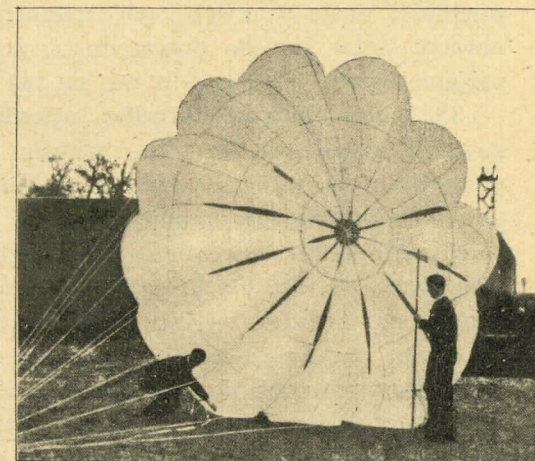
Ryc. 62. Model samochodu o kształtach aerodynamicznych, badany w Instytucie Aerodynamicznym.



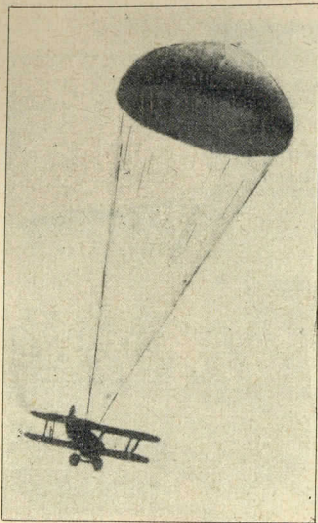
Ryc. 63. Lokomotywa angielska o kształtach aerodynamicznych.



Ryc. 64. Wnętrze Instytutu Aerodynamicznego: model szybowca zawieszony w przerwie kanału, przez który przepływa prąd powietrza o wielkiej prędkości.



Ryc. 65. Nowy typ spadochronu francuskiego ze szparami na szwach.



Ryc. 66. Spadochron ratuje zepsuty samolot od rozbicia.

sowane do życia w wodzie, np. foki, tak są właśnie uformowane. Takie kształty nazywamy *aerodynamicznymi* lub *opływowymi*.

Szczególnie dla lotnictwa sprawa oporu powietrza jest nader ważna (ob. Rozdz. VII), toteż w specjalnych laboratorjach bada się wzajemne oddziaływanie prądów powietrza i umieszczonych w nich ciał, a w szczególności zależność oporu powietrza od prędkości, kształtu i wielkości poruszających się ciał. Instytut Aerodynamiczny w Warszawie, który powstał ze składek całego społeczeństwa, zrzeszonego w L. O. P. P., zajmuje się temi właśnie badaniami (ryc. 64). Stanowi on jedną z najważniejszych podstaw rozwoju polskiego lotnictwa.

Wpływ dużej powierzchni i wklęsłego kształtu na wielkość oporu wyzyskujemy przy budowie **spadochronów**. Już przy prędkości około 7 m/sec opór spadochronu jest tak duży, że równoważy ciężar samego przyrządu i uczonego doń człowieka; po osiągnięciu jej spadek odbywa się już ruchem jednostajnym.

35. Ruch ciała w ośrodku, stawiającym opór. Puśćmy z ręki kawałek blachy lub deseczki, arkusik papieru i arkusik bibułki — wszystkie o jednakowej powierzchni. Ruch tych ciał wskazuje, że opór powietrza najbardziej hamuje spadanie bibuły, a najmniej spadanie blachy lub deski. A przecież opór powietrza jest jednakowy dla wszystkich tych ciał; dla blachy staje się nawet z czasem największy, gdyż osiąga ona prędkość większą niż pozostałe ciała.

Łatwo zrozumieć, że nie chodzi tu o bezwzględną wartość oporu, lecz o jego stosunek do drugiej siły działającej, t. j. do ciężaru ciała. Rozważmy dokładniej, co się dzieje, gdy jakieś ciało rozpoczyna spadanie w powietrzu. Zrazu nabiera ono prędkości pod wpływem ciężaru; opór powietrza jest jeszcze mały, więc prędkość wzrasta. Ale w miarę powiększania się prędkości szybko rośnie opór ośrodka; ciężar jednak jeszcze przeważa, choć przyspieszenie jest już małe. Wkońcu opór staje się równy ciężarowi ciała; od tej chwili porusza się ono ruchem jednostajnym. Dla ciała lekkiego nastąpi to przy mniejszej prędkości niż dla ciała ciężkiego o tej samej powierzchni. Dlatego ciężka blacha spada w powietrzu nieco prędzej od deski, a arkusz papieru znacznie prędzej od arkusza cienkiej bibułki.

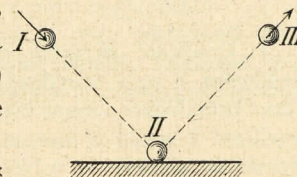
Rozważmy teraz inny wypadek: spadanie w powietrzu ciał tego samego kształtu i z tej samej materji, lecz o różnych rozmiarach, np. krople wody różnej wielkości. Rozpatrzmy dwie krople, z których jedna ma średnicę np. 10 razy większą od drugiej. Przypuśćmy, że obie krople nabyły takiej prędkości, przy której ciężar małej kropli jest równy oporowi powietrza; kropla porusza się dalej ruchem o prędkości nieziennej. Ciężar dużej kropli jest 1000 razy większy, zaś jej powierzchnia tylko 100 razy większa, niż kropli małej. Ciężar jej przerasta jeszcze dziesięciokrotnie opór powietrza i zrównoważy go dopiero po 10-krotnym wzroście oporu; a na to potrzeba, by prędkość spadania wzrosła też kilkakrotnie.

Obserwacje, jakie możemy robić na kroplach deszczu lub na pyłach wodnym, jaki tworzą wodotryski, wodospady, sikawki, potwierdzają słuszność naszych przewidywań. Krople wody spadają po pewnym czasie ruchem jednostajnym. Ale wielkie krople, jakie np. spadają na początku burzy, mają prędkość znaczną, drobniejsze krople spokojnego deszczu spadają znacznie wolniej, a drobna dżdża lub pył wodny nad wodospadem opadają bardzo powoli.

36. Ruchy po linii krzywej. Rozważaliśmy dotychczas tylko ruchy prostoliniowe. Ciało, pozostawione samo sobie, zachowuje nietylko wartość prędkości, ale i jej kierunek. Siła, działająca wciąż w tym samym kierunku (siła *I* — ciężkości przy spadku ciała, koń ciągnący wóz) może zmieniać tylko wielkość prędkości, ale nie zmienia kierunku.

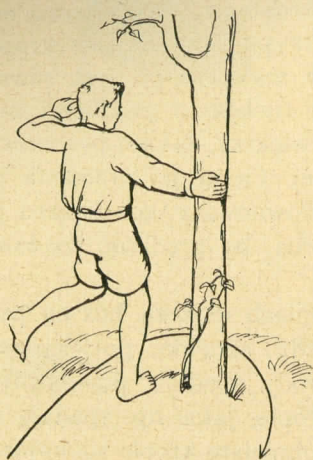
By zmienić kierunek ruchu, musimy użyć siły skierowanej poprzecznie, a przynajmniej ukośnej względem ruchu. Piłka, rzucona ukośnie na ścianę, odbija się, t. j. zmienia kierunek ruchu pod wpływem siły, jaką podczas zderzenia wywiera na nią ściana. Kula, pędząca po stole (np. bilardowym) zmienia kierunek ruchu, gdy podczas biegu zostanie uderzona z boku. Jeśli człowiek biegnący chce zakręcić, to albo odpycha się od ziemi stopą zewnętrzną, albo chwyta jakiś nieruchomy przedmiot, umieszczony po wewnętrznej stronie jego zakrzywionego toru (ryc. 68). W tych i w innych wypadkach, gdy mamy do czynienia ze zmianą kierunku ruchu, siła jest skierowana ku *środkowi łuku*, jaki ciało przytem zatacza, dlatego siły takie nazywamy **siłami dośrodkowymi**.

Przytoczymy jeszcze parę przykładów. Wóz kolejowy lub tramwajowy zmienia kierunek biegu, ponieważ napotyka na opór wygiętych



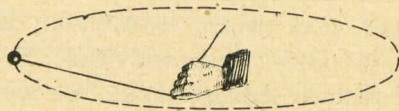
Ryc. 67. Odbicie piłki od ściany.

szyn: szyna zewnętrzna napiera na koła i wywołuje zmiany kierunku ruchu. Siłą dośrodkową jest napór szyny; by go wyrzucić, szyna musi



Ryc. 68. Przykład siły dośrodkowej: wywiera ją drzewo na ciało biegnącego chłopca.

być odpowiednio mocna i dobrze przymocowana do nawierzchni. — Gdy obracamy kamień na sznurku, napięty sznurek wywiera siłę dośrodkową (ryc. 69). Koło zamachowe maszyny parowej rozpadłoby się na kawałki, gdyby nie siły spójności pomiędzy jego cząsteczkami; one to wytwarzają siłę dośrodkową dla każdej cząsteczki.



Ryc. 69. Napięcie sznurka wywiera siłę dośrodkową na krążący po kole kamień.

Pytania.

1. Prędkość okrętów mierzy się w „węzłach”. Jeden węzeł odpowiada prędkości 1 mili morskiej na godzinę, a mila morska jest równa długości łuku południka ziemskiego, odpowiadającego 1 minucie kątowej. Wyraż prędkość 1 węzła w metrach na sekundę. Oblicz w węzłach prędkości statków morskich, podane w tablicy I.

2. Bohater jednej z powieści Juliusza Verne'a odbywa podróż naokoło ziemi w 80 dniach. Jaka byłaby średnia prędkość jego jazdy, gdyby codziennie był w drodze przez 16 godzin i gdyby szlak podróży prowadził wzdłuż równika?

3. Jak długo trzeba jechać z Warszawy do Paryża (1200 km) samochodem, jadąc z prędkością średnią 15 m/sek?

4. Jaką drogę przebędzie w ciągu 3 dni piechur, maszerując po 8 godzin dziennie z prędkością 1,5 m/sek?

5. Wskazówka minutowa zegara wieżowego ma długość 2 m, a wskazówka godzinowa 1,6 m. Jaka jest prędkość końców obu wskazówek?

6. Aparat filmowy wyświetla 24 zdjęcia na sekundę, a każde zdjęcie na taśmie ma wysokość 2 cm. Z jaką prędkością średnią przesuwa się taśma filmowa podczas wyświetlania? Jaka powinna być długość taśmy, wyświetlanej w przeciągu godziny, i ile zdjęć powinna obejmować?

7. Pręty mosiężne wyrabia się w ten sposób, że rozżarzony blok metalu przeciska się zapomocą prasy hydraulicznej przez wąski otwór (ryc. 70). Blok o długości 50 cm i przekroju 100 cm² zostaje przeciętnie w ciągu 10 sek. Z jaką prędkością wysuwa się z otworu pręt o przekroju 4 cm²?

8. Jakim ruchem porusza się wóz, który z ciężkiej drogi dostaje się na dobrą szosę, a siła pociągowa (konia lub silnika) pozostaje niezmienną? Co stałoby się z człowiekiem, stojącym na takim wozie bez oparcia?

9. Gdy chcemy osadzić mocno główkę młotka na trzonku, nadajemy trzonkowi dużą prędkość w kierunku jego długości i uderzamy nim silnie o twardą podstawę. Dlaczego?

10. Co się dzieje z jeźdźcem, gdy koń nagle zatrzyma się przed przeszkodą?

11. Która z szyn kolejowych na zakręcie bardziej się zużywa?

12. W miejscach rozrywkowych spotyka się takie urządzenie. Duże koło poziome o gładkiej powierzchni obraca się zrazu wolno, potem coraz prędzej. Znajdujący się na nim ludzie, pomimo wysiłków utrzymania się na kole, zsuwają się ku obwodowi. Wyjątek stanowi ten człowiek, co zajął miejsce w samym środku koła. Wytłumacz te zjawiska.

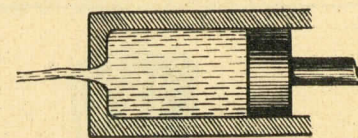
13. Dlaczego kamieniem można rzucić dalej, niż garścią piasku?

14. W lotnictwie są obecnie dokonywane próby bardzo wysokich lotów; lotnicy projektują odbywanie dłuższych podróży przez stratosferę. Jakie mogą być z tego korzyści?

15. Ile mniej więcej razy trzeba zwiększyć siłę motoru, by podwoić prędkość jazdy samochodem?

16. Jeden spadochron ma powierzchnię 4 razy mniejszą niż drugi. Ile razy większa będzie jego prędkość końcowa, jeśli ciężar uciepionego człowieka razem ze spadochronem jest jednakowy w obu wypadkach?

17. Jakie powinno być położenie piórka wiosła a) przy wkładaniu go do wody, b) podczas „ciągnięcia”? Wytłumacz budowę wiosła. Dlaczego wiosłarz kładzie wiosło płasko na wodzie, gdy chce uspokoić chwieanie się łodzi?



Ryc. 70.

Rozdział IV.

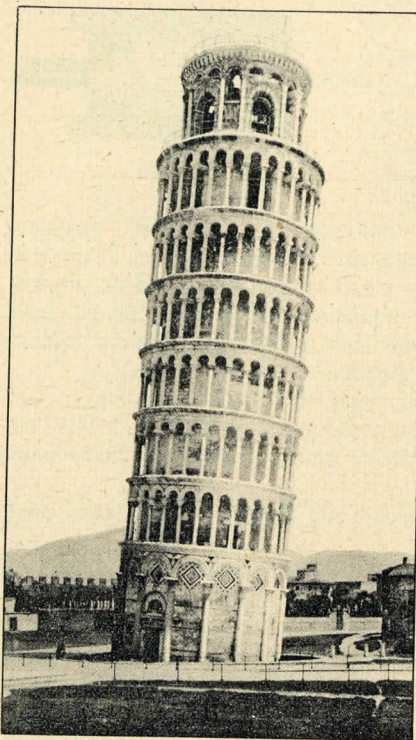
O SPADANIU CIAŁ

37. Wszystkie ciała spadają jednakowo. Z rozważań poprzedniego rozdziału wynika, że opór powietrza odgrywa dużą rolę przy spadaniu ciał małych i lekkich; im mniejsze są rozmiary i im większy jest ciężar właściwy ciała, tem mniej wpływa opór powietrza na jego ruch. Dlatego też, gdy chcemy zapoznać się szczegółowo ze spadaniem ciał, musimy użyć do doświadczeń ciał dość dużych i nie nazbyt lekkich.

Doświadczenie. Z dużej wysokości puszcza się jednocześnie kawałki drewna, metalu, małe kamyczki, piórko, jedną kartkę papieru rozprostowaną, drugą zmiętą w kulkę. Obserwujemy ich spадanie.

Jeśli pominiemy ciała nazbyt lekkie lub o dużej powierzchni, to możemy powiedzieć, że wszystkie ciała, puszczone z tej samej wysokości, spadają na ziemię w jednakowym czasie — o ile nie przeszkadza temu opór powietrza.

Pierwszy stwierdził to doświadczeniem Galileusz, puszczając kule różnej objętości i z różnych materiałów ze słynnej pochyłej wieży w Pizie.



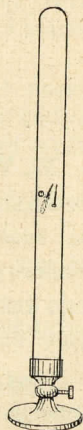
Ryc. 71. Wieża pochyła w Pizie.

38. Spadanie ciał po równi pochyłej. Galileusz nie ograniczył się do stwierdzenia, że wszystkie ciała spadają jednakowo, lecz badał też rodzaj ruchu ciał spadających, mierząc przebyte drogi i zużyty na to czas. Zagadnienie było trudne, bo spadek odbywa się prędko, a Galileusz nie znalazł jeszcze zegarka. Ominął zręcznie tę trudność, puszczając badane ciała nie wprost pionowo, lecz wzdłuż *równi pochyłej*. Była to długa rynienka drewniana, gładko wyklejona pergaminem; staczała się po niej starannie wytoczona kulka z kości słoniowej. Pójdziemy w naszych poszukiwaniach śladami wielkiego włoskiego uczonego.

Ćwiczenie 21. Długi drut stalowy, przeciągnięty pod niewielkim kątem względem poziomu, silnie naciągamy (by zapobiec uginaniu się drutu). Po takiej równi pochyłej puszczamy albo gładki pierścień metalowy, albo bloczek obciążony szalką. Koniec drogi

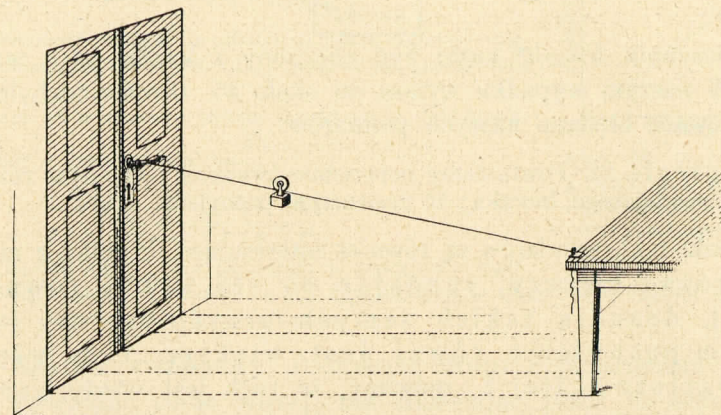
Drobne opóźnienie kuli drewnianej w porównaniu z taką samą kulą ołowianą przypisał trafnie temu, że opór powietrza więcej wpływał na ruch lekkiej kuli drewnianej, niż ciężkiej ołowianej.

Galileusz rozumiał, że w próżni wszystkie ciała spadałyby ściśle jednakowo prędko; nie mógł jednak przeprowadzić doświadczenia, gdyż nie znał jeszcze pomp rozrzedzających powietrze. Dopiero wielki fizyk angielski NEWTON (czyt. Niuton; ob. ryc. 89) sprawdził te przewidywania. Umieszczał on różne drobne przedmioty w długiej rurze szklanej, z której wypompowano powietrze i wywoływał ich jednoczesny spadek (ryc. 72). Dziś jeszcze trudno oprzeć się zdumieniu na widok dużej szybkości, z jaką spadają kawałki puchu lub bibułki, nie dając się ani o milimetr wyprzedzić ołowianej kulce.



Ryc. 72. Spadanie ciał w rurze bez powietrza.

zaznaczamy zastawką, o którą uderzać będzie zsuwające się ciało. Sekundomierzem mierzymy czas, potrzebny do przebycia tej drogi. Mierzmy drogi, przebywane w ciągu 1 sek, 2 sek, 3 sek. Sporządzamy tabelkę, w której zanotujemy wyniki pomiarów: długość drogi s i czas t .



Ryc. 73. Spadanie po równi pochyłej.

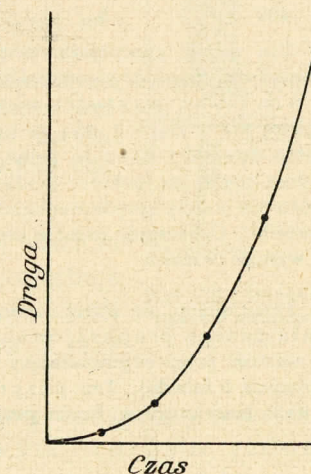
Przykład.

T a b e l k a

Droga	Czas
45 cm	1 sek.
186 „	2 „
402 „	3 „

Przypatrując się tym liczbom, spostrzegamy, że w miarę przybywania czasu rosną i drogi, ale pomiędzy temi wielkościami niema prostej proporcjonalności: drogi rosną prędzej, aniżeli czasy. Przebyte drogi mają się do siebie, jak to łatwo sprawdzić w przybliżeniu, jak 1:4:9; natomiast czasy mają się jak 1:2:3. Ale podnieśmy wartości czasu do kwadratu, a otrzymamy taki sam stosunek jak dla dróg, a mianowicie 1:4:9.

W badanym przez nas ruchu droga, przebyta przez ciało, jest proporcjonalna do kwadratu czasu. Zależność tę można przedstawić graficznie, jak na ryc. 74. Ruch taki nazywa się w fizyce **ruchem jednostajnie przyspieszonym**. Po takiej zależności drogi i czasu możemy go odróżnić od innych ruchów. Ciało



Ryc. 74. Zależność drogi od czasu w ruchu po równi pochyłej.

spadające po równi pochyłej poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Znalezioną zależność możemy wyrazić algebraicznie wzorem

$$s = bt^2$$

Spółczynnik $b = s/t^2$ może być obliczony z każdej pary wartości s i t . W naszym wypadku wynosi on około 45. Drobne odchylenia są spowodowane błędami naszych pomiarów.

Ćwiczenie 22. Powtarzamy poprzednie ćwiczenie: a) biorąc różne obciążenia spadającego bloczka; b) zmieniając pochylenie drutu.

Wyniki tych pomiarów są również interesujące. Wynika z nich, że

a) różne ciężary, spadając po tej samej równi pochyłej, doznają takich samych przyspieszeń;

b) im pochylenie równi jest większe, tem większa jest wartość stałej b ; mówimy, że ruch jest wtedy bardziej przyspieszony.

Z liczb, przytoczonych w tabelce, można wyprowadzić dalsze wnioski. Przede wszystkim możemy obliczyć prędkość średnią na przestrzeni 1 sek., 2 sek. i t. d.

Otrzymamy ją, obliczając $v_{sr} = \frac{s}{t}$. Wyniki umieścimy w trzeciej kolumnie tabelki.

Tabela.

Droga	Czas	Prędkość średnia	Prędkość końcowa	Przyspieszenie
s	t	$v_{sr} = s/t$	$v = 2s/t$	$a = v/t = 2s/t^2$
45	1	45	90	90
186	2	93	186	93
402	3	134	268	89

Ten wynik, choć ciekawy, nie może nas zadowolić. Prędkość średnia jest czymś przeciętnym pomiędzy prędkościami rzeczywistymi ciała spadającego, które wzrastają od 0 do pewnej wartości końcowej. Prędkość średnia w ciągu 3 sek. dlatego jest większa niż w ciągu 1 sek., że prędkość końcowa po 3 sek. jest większa niż po 1 sek. Można dowieść i łatwo to pojąć, że w rodzaju ruchu, jaki tu rozpatrujemy, prędkość średnia równa się połowie prędkości końcowej. Z przytoczonych liczb możemy na tej podstawie obliczyć prędkości końcowe, jakie ciało osiągnęło po upływie 1, 2, 3 sek. (kolumna 4 tabelki). Oznaczając przez v prędkość końcową, a przez v_{sr} prędkość średnią, możemy to wyrazić wzorem

$$v = 2 v_{sr} = 2 s/t$$

Przeglądając się bliżej otrzymanym liczbom, widzimy, że prędkość końcowa ciała rośnie proporcjonalnie do czasu. W samej rzeczy, gdy podzielimy każdą wartość przez odpowiadający jej czas, otrzymamy liczby w przybliżeniu jednakowe (kolumna 5 tabelki). Ten przyrost prędkości, przypadający na jednostkę czasu, nazywamy w fizyce **przyspieszeniem** i oznaczamy literą a .

$$a = \frac{v}{t}$$

W naszym wypadku przeciętna wartość przyspieszenia wynosi 90.

Pojęcie przyspieszenia zrozumiemy lepiej, gdy napiszemy wzór w postaci

$$v = at$$

Znaczy to, że prędkość wzrasta proporcjonalnie do czasu, a przyspieszenie jest miarą tego wzrastania. W naszym wypadku prędkość wzrasta co sekundę o 90 cm/sek. Gdyby ruch trwał dalej, moglibyśmy obliczyć prędkość końcową ciała np. po upływie $t = 5$ sek.

$$v = 90 \cdot 5 = 450 \text{ (cm/sek)}$$

Proporcjonalność nabytej prędkości do czasu możemy również wykazać rysunkiem (ryc. 75); wykres ma postać linii prostej.

Ostatni wzór możemy jeszcze przekształcić, podstawiając zamiast v jego wartość $v = \frac{2s}{t}$.

$$a = \frac{v}{t} = \left(\frac{2s}{t} \right) \frac{1}{t} = \frac{2s}{t^2}$$

Ten bardzo ważny wzór napiszemy w postaci $s = \frac{1}{2}at^2$.

Porównawszy to ze wzorem na str. 62, widzimy, że stała b stoi zamiast $\frac{1}{2}a$; jest ona równa połowie przyspieszenia.

39. Spadek swobodny. Pochylenie drutu z pierścieniem moglibyśmy zwiększać coraz więcej, nie zmieniając przez to charakteru ruchu; pozostanie on wciąż ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Wkońcu moglibyśmy drut ustawić zupełnie pionowo, a wtedy pierścień spadałby tak, jakgdyby drutu zupełnie nie było: spadek jego byłby *swobodny*.

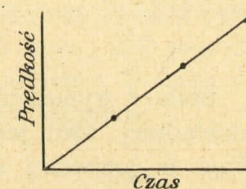
Z tego możemy się domyślać, że ruch ciał swobodnie spadających ma ten sam charakter, czyli że jest też jednostajnie przyspieszony. Sprawdźmy to za pomocą doświadczenia.

Doświadczenie. Na długiej nitce uwiązujemy szereg małych ciężarków, tak by ich odległości od pierwszego dolnego były w stosunku kwadratów liczb całkowitych, a więc w stosunku 1 : 4 : 9 : 16 : 25 : ... Trzymamy zwisającą nitkę tak, by pierwszy ciężarek prawie dotykał podłogi, poczem puszczamy nitkę (ryc. 76). Kulki uderzają o podłogę w równych odstępach czasu.

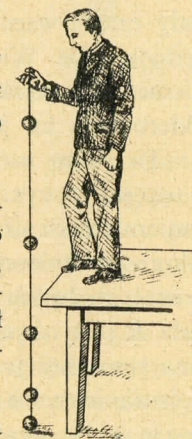
Uderzenie pierwszego ciężarka o podłogę oznacza chwilę rozpoczęcia ruchu. Ciężarek drugi potrzebuje pewnego czasu na przejście swej drogi; ciężarek trzeci na przebycie 4 razy większej drogi zużywa 2 razy tyle czasu i t. d.

Z doświadczeń na str. 46, 59 i 63 wyciągamy następujący wniosek: ciała spadają w kierunku pionowym, ruchem jednostajnie przyspieszonym, o przyspieszeniu jednakowym dla wszystkich ciał (w próżni).

Możemy nawet wyznaczyć wartość stałej b dla spadku swobodnego.



Ryc. 75. Zależność prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.



Ryc. 76. Badanie spadku swobodnego ciała.

Ćwiczenie 23. Z balkonu lub szczytu schodów puszcza kulę drewnianą i mierzymy sekundomierzem czas jej spadania t . Jeśli droga spadania wyniosła s , to

$$b = \frac{s}{t^2}$$

Stała b wynosi tu około 5, jeśli s mierzymy w metrach, a około 500 (dokładniej: 490), jeżeli drogę wyrażamy w centymetrach, a czas w sek. Wówczas w pierwszej sekundzie ciało spadające przebywa drogę około 5 m, w ciągu dwóch pierwszych sekund — cztery razy więcej, t. j. około 20 m i t. d.

Dwukrotność tej wartości b będzie równa przyspieszeniu swobodnego spadania ciał na powierzchni ziemi, czyli przyspieszeniu ziemskiemu, jednakowemu dla wszystkich ciał. Dokładne pomiary wykazały, że wartości tego przyspieszenia różnią się nieco między sobą w różnych punktach globu ziemskiego. Największa wartość panuje na biegunach (983,21), najmniejsza na równiku (978,05). W Paryżu wynosi 980,96, we Lwowie 980,93, w Warszawie 981,22, w Wilnie 981,44.

40. Kiedy ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Zastaniówmy się bliżej nad warunkami, w jakich odbywa się swobodne spadanie ciał (w próżni). Jedyną siłą, działającą na ciało, jest siła ciężkości, skierowana pionowo w dół; działa ona na ciało przez cały czas trwania ruchu. Pod jej to wpływem prędkość ruchu wzrasta jednostajnie. Wiemy, że wszystkie pionowo skierowane są ku środkowi ziemi; siła ciężkości jest więc też, w każdym punkcie kuli ziemskiej, skierowana ku jej środkowi.

To samo zachodzi przy spadaniu ciał po równi pochyłej. Wiemy z ustępu 13, ryc. 37, że ciało znajduje się na niej w równowadze pod działaniem trzech sił: ciężaru ciała (P), naporu deski (F_1) i napięcia nici (F). Skoro przetniemy nić, siła F znika, a na ciało działa wypadkowa (R) pozostałych dwóch sił. Ona to nadaje ciału ruch jednostajnie przyspieszony. Siła R jest równa co do wartości sile F , a jak wiemy z ustępu 13, jest ona tem mniejsza, im mniejszy jest kąt pochylenia równi. Ale i przyspieszanie ruchu maleje w miarę zmniejszania się tego kąta: pod wpływem siły stałej, działającej wciąż w jednym kierunku, ciało odbywa ruch jednostajnie przyspieszony; im większa siła, tem większe jest przyspieszenie ruchu.

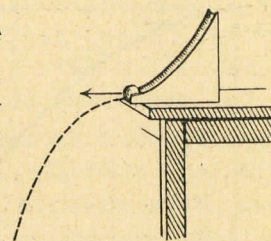
Jest to prawo niezmiennie ważne. Nietylko wyjaśnia nam ono w sposób prosty niezliczone mnóstwo zjawisk ruchowych, ale pozwala też sądzić o wielkości sił, które ruch wywołują. Gdybyśmy np. stwierdzili, że pociąg wykonywa ruch jednostajnie przyspieszony, wywnioskowalibyśmy z tego, że lokomotywa ciągnie z siłą niezmienną. Gdyby innym razem przyspieszenie było większe, powiedzielibyśmy, że siła lokomotywy jest teraz większa.

Gdyby ruch przestał być jednostajnie przyspieszony, wyciągnęlibyśmy wniosek o zmianie wielkości siły przyspieszającej w czasie ruchu. Gdyby np. drogi wzrastały wolniej, niż się tego spodziewamy, powiedzielibyśmy, że, albo siła lokomotywy zaczęła maleć, albo pojawiła się inna siła, działająca w kierunku odwrotnym. Wiemy, że taka siła istotnie zawsze występuje: jest to siła tarcia i opór ośrodka.

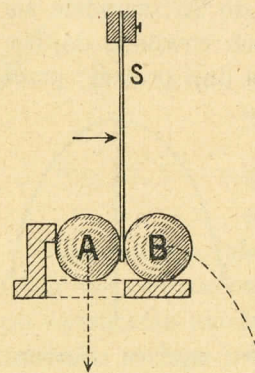
Ruchy złożone

41. Rzut poziomy. Ciało nie zawsze spada po linii pionowej; to zdarza się tylko wtedy, jeśli w chwili rozpoczęcia spadku ciało nie wykonywa innego ruchu. Tak np. spada dojrzały owoc w bezwietrzny dzień. Jeśli jednak wieje wiatr, lub człowiek trzęsie drzewem, owoc w chwili oderwania się od drzewa zostaje rzucony z pewną prędkością w bok. Podobny ruch wykonywa poziomo rzucona piłka, pocisk poziomo wystrzelony ze strzelby, lub strzała z łuku. Ruchy tego rodzaju nazywamy **rzutami poziomymi**.

Takim ruchem porusza się kulka, staczająca się po rynnie wygiętej tak, że kulka wylatuje z niej w kierunku poziomym; tor jej jest wtedy krzywoliniowy, jak na ryc. 77. Kształt toru możemy uwidocznić, wypuszczając strumień wody z wylotu poziomo ustawionej rurki (ryc. 81). Każda kropla wody, nabrawszy w rurce prędkości poziomej, spada ku ziemi po torze łukowym; my widzimy jednocześnie mnóstwo kropeł, każdą w innym punkcie ich wspólnego toru.



Ryc. 77. Ruch ciała rzuconego poziomo.

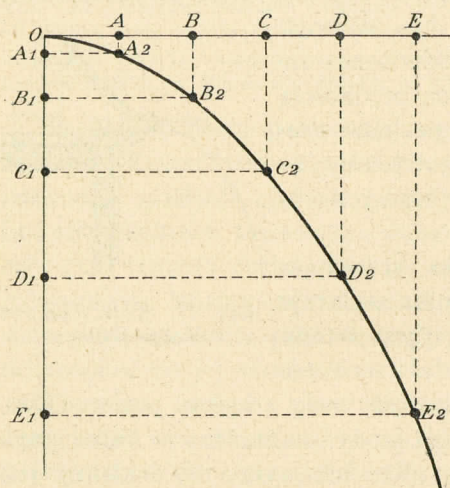


Ryc. 78. Niezależność czasu spadania od prędkości poziomej.

By zdać sobie sprawę, co zachodzi w czasie ruchu, wyobraźmy sobie kulę, toczącą się bez tarcia po poziomej rynnie ruchem jednostajnym. Przypuśćmy, że w pewnej chwili rynna zaczyna spadać razem z kulą. Kulka porusza się więc względem rynny poziomo, ruchem jednostajnym, a jednocześnie wykonywa wraz z rynną ruch pionowy, jednostajnie przyspieszony, względem ziemi. Oba te ruchy odbywają się jednocześnie i niezależnie od siebie; dla kogoś, stojącego na ziemi, ruch kuli wyda się jakgdyby złożony z tych dwóch ruchów. Niezależność obu ruchów: poziomego i pionowego możemy zilustrować następującym doświadczeniem.

Doświadczenie. Na pewnej wysokości ponad stołem lub podłogą ustawiamy przyrząd, wyobrażony na ryc. 78; umieszczamy w nim dwie jednakowe kulki A i B . Sprężyna S przyciska kulkę A i nie daje jej spaść w otwór przyrządu. W pewnej chwili uderzamy sprężynę: kulka A zostaje zwolniona i rozpoczyna spadanie w kierunku pionowym; jednocześnie kulka B zostaje wyrzucona z pewną prędkością poziomą. Mimo to obie kulki spadają jednocześnie na podłogę; dowodzi to, że ich ruch pionowy odbył się w tym samym czasie, chociaż jedna z kulek miała prócz tego prędkość poziomą, a druga nie.

42. Tor rzutu poziomego. Kula porusza się po rynnie w kierunku poziomym ruchem jednostajnym; gdyby więc odbywała tylko ten jeden ruch, znajdowałaby się kolejno, w równych odstępach czasu, w punktach $O, A, B, C, \dots$ rynny (ryc. 79). W kierunku pionowym ruch jest jedno-



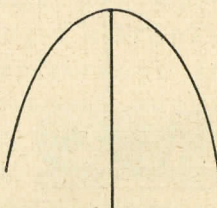
Ryc. 79. Wykres toru rzutu poziomego.

stajnie przyspieszony, gdyby więc kula tylko spadała (razem z rynną), to przebyte przez nią drogi rosłyby jak kwadraty czasu. Gdyby np. w pewnym czasie rynna wraz z kulą obniżyła się o OA_1 , to w czasie 2 razy dłuższym opadłaby o $OB_1 = 4 OA_1$, a w czasie 3 razy dłuższym o $OC_1 = 9 OA_1$ i t. d. Kulka przechodziłaby w równych odstępach czasu przez punkty $O, A_1, B_1, C_1, \dots$

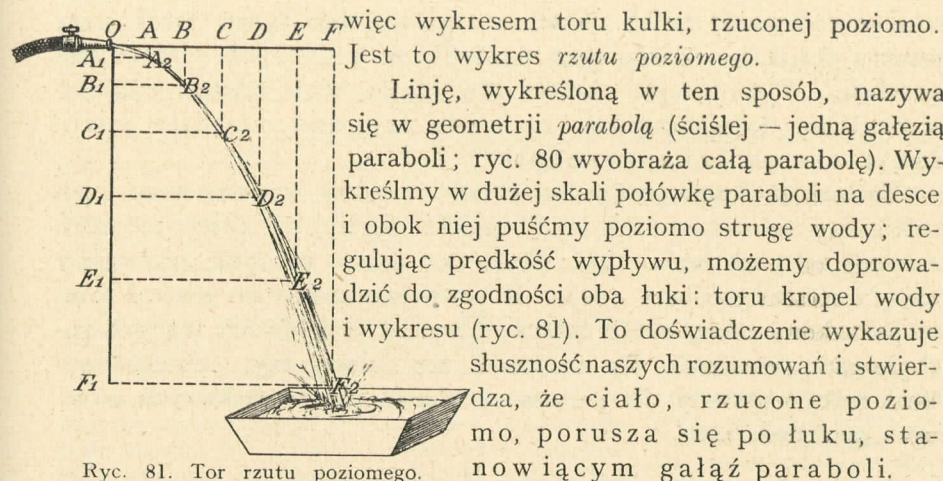
Oba ruchy (kuli względem rynny i samej rynny) odbywają się jednocześnie, więc kula, uniesiona poziomo od O do A , a pionowo od O do A_1 , znajdzie się

w rezultacie w punkcie A_2 . Tak samo w następnych chwilach dojdzie kolejno do punktów $B_2, C_2, \dots$. Punkty te nie leżą na linii prostej; przeprowadziwszy przez nie linję krzywą, wykreślimy tor lecącej kuli.

W naszych rozważaniach mówiliśmy o spadającej rynnie tylko poto, by łatwiej wyobrazić sobie ruch kulki; ale w gruncie rzeczy nie jest to potrzebne. Czy pędząca poziomo kula spada wraz z rynną, czy też, porzuciwszy ją, spada sama, to na ruch jej niema żadnego wpływu. Ważnem jest to, że ruch kulki możemy rozpatrywać, jak-gdyby był złożony z dwóch ruchów: poziomego jednostajnego i pionowego jednostajnie przyspieszonego. Znaleziona krzywa jest



Ryc. 80. Parabola.

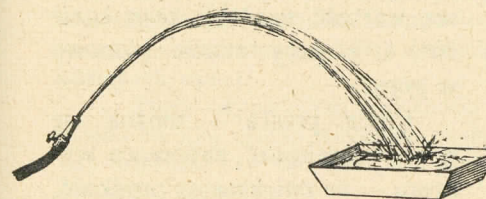


Ryc. 81. Tor rzutu poziomego.

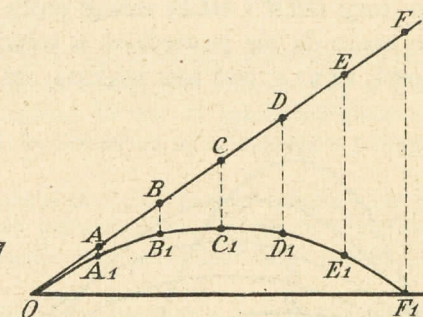
więc wykresem toru kulki, rzuconej poziomo. Jest to wykres rzutu *poziomego*.

Linję, wykreśloną w ten sposób, nazywa się w geometrii *parabolą* (ściślej — jedną gałęzią paraboli; ryc. 80 wyobraża całą parabolę). Wykreślimy w dużej skali połówkę paraboli na desce i obok niej puśćmy poziomo strugę wody; regulując prędkość wypływu, możemy doprowadzić do, zgodności oba łuki: toru kropel wody i wykresu (ryc. 81). To doświadczenie wykazuje słusność naszych rozumowań i stwierdza, że ciało, rzucone poziomo, porusza się po łuku, stanowiącym gałąź paraboli.

43. Rzut ukośny. Piłka wyrzucona lub strzała wystrzelona ukośnie też zakreślają łuki. I w tym wypadku możemy ujrzyć cały tor rzutu *ukośnego*, puszczając prąd wody z pochylonej rurki (ryc. 82). Nietrudno dostrzec, że tor ten jest symetryczny względem prostej pionowej, przechodzącej przez punkt największego wzniesienia. Gałąź na prawo jest połową paraboli, taką samą, jak przy rzucie poziomym (czytelnik wytłumaczy, dlaczego), cały tor stanowi więc łuk paraboli.



Ryc. 82. Tor rzutu ukośnego.



Ryc. 83. Sposób wykreślenia toru rzutu ukośnego.

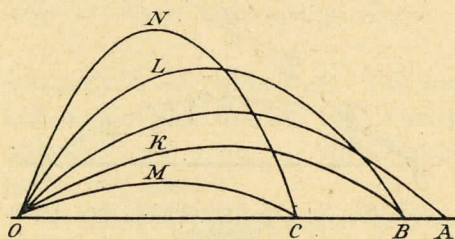
Powstawanie takiego toru tłumaczymy sobie w następujący sposób. Ciało jest wyrzucone w kierunku OA , jak wskazuje ryc. 83. Gdyby po wyrzuceniu nie działała na nie żadna siła, poruszałoby się ono w tym kierunku ruchem jednostajnym, osiągając w kolejnych równych odstępach czasu punkty $A, B, C, \dots$. Ale podczas tego ruchu ciało pozostaje pod działaniem siły ciężkości, a wskutek tego opada ku ziemi, opuszczając się o odcinki $AA_1, BB_1, CC_1, \dots$ proporcjonalne do kwadra-

tów czasu trwania ruchu. Wskutek tego tor ciała będzie szedł przez punkty $OA_1B_1C_1...$ Matematycy dowiedli, że linia ta jest rzeczywiście parabolą. Wypuszczając ukośnie prąd wody obok takiego wykresu, stwierdzimy doświadczeniem, że ciała rzucone ukośnie poruszają się po łuku paraboli.

Zmieniając kąty pochylenia rurki, z której wycieka woda, spostrzegamy, że strumieniem wody można sięgnąć to bliżej, to dalej, zależnie od pochylenia rurki. Wie o tem dobrze robotnik, polewający ulicę, i strażak, gaszący pożar. Z pewnością znany im jest też fakt, że jednakowy zasięg rzutu można otrzymać przy dwóch różnych pochyleniach strumienia. By zrozumieć ten dziwny fakt, czytelnik wykona kilka wykresów dla jednakowych prędkości początkowych, a różnych pochyłeń rzutu.

Ćwiczenie 24. Na jednym i tym samym rysunku wykreślamy tory dla kąta pochylenia 45° oraz dla kątów, jednakowo różniących się od niego, np. dla 35° i 55° , dla 20° i 70° i t. p.

Porównanie tych wykresów prowadzi do ciekawych wyników. Gdy kąt pochylenia rośnie, zasięg rzutu narazie też wzrasta i wynosi kolejno OC , OB , OA (ryc. 84). Przy kącie 45° zasięg jest największy (OA); gdy kąt jeszcze wzrasta, zasięg staje się mniejszy. Dla dwóch kątów, różniących się jednakowo od 45° , tory spotykają się na osi poziomej, np. tory OKB i OLB ; zasięg rzutu jest w obu wypadkach jednakowy. To samo da się powiedzieć o torach OMC i ONC . Natomiast wysokość rzutu jest tem większa, im rzut jest bardziej stromy. Największą wartość miałyby przy kącie 90° , t. j. przy rzucie pionowo w górę.



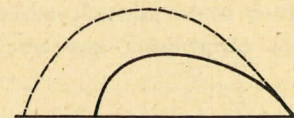
Ryc. 84. Tory ciała, rzuconego z tą samą prędkością pod różnymi kątami względem poziomu.

Rzecz prosta — można się o tem przekonać zapomocą wykresu — że zwiększając prędkość, z jaką ciało rozpoczyna ruch, zwiększamy zarówno zasięg, jak i wysokość rzutu.

Z praw rzutu ukośnego wynikają wnioski, ważne w zastosowaniach życiowych. Jeśli rozporządzamy pewną prędkością, jeśli np. możemy wyrzucić z ręki kamień albo wystrzelić pocisk z jakąś określoną prędkością, to osiągniemy najdalszy rzut, jeżeli go skierujemy pod kątem 45° względem poziomu. Każdy sportowiec, ciskający kulą, dyskiem, czy oszczepem,

stosuje w praktyce to правило. Wie z doświadczenia, że zarówno przy zbyt dużym, jak i zbyt małym kącie przedmiot rzucony upadnie bliżej, niż przy rzucie pod 45° .

Artylerzyści wyzyskują również tę okoliczność, że niezbyt odległe cele można osiągnąć dwiema różnymi drogami. Jeśli np. pomiędzy działem umieszczonym w O (ryc. 84), a ostrzeliwanym obiektem C znajduje się zasłona, która staje na drodze pociskowi, lecącemu torem OMC (pagórek, budynek, las), artylerzysta pochyła silniej lufę działa i strzela „przez elewację”, posyłając pocisk po torze ONC , który kończy się na poziomie w tym samym punkcie C .



Ryc. 85. Krzywa balistyczna czyli tor pocisku, zniekształcony wskutek oporu powietrza w porównaniu z torem nieodkształconym (linia kropkowana).

Mówiąc o rzutach, pomijaliśmy dotychczas jedną ważną okoliczność. Z torami parabolicznymi mielibyśmy wtedy do czynienia, gdyby przedmioty rzucone poruszały się w próżni; opór powietrza zniekształca te teoretyczne tory. Szczególnie przy ogromnych prędkościach, jakie mają pociski armatnie i karabinowe, zniekształcenie jest silne, jak to widać na ryc. 85. Tor, po którym biegą pociski w powietrzu, nazywa się krzywą balistyczną. Wskutek odkształcenia toru zarówno zasięg, jak i wysokość strzału są bardzo silnie zmniejszone. Tak np. pocisk armatni, wystrzelony z prędkością 620 m/sek pod kątem 45° , poruszając się w próżni, spadłby o 40 km od działa; w rzeczywistości zasięg jego wynosi zaledwie około 4 km. Straty są mniejsze w górnych warstwach, gdzie powietrze ma mniejszą gęstość, dlatego strzały „przez elewację” mogą czasem sięgać dalej, niż strzały wprost. Jeszcze mniejszy opór stawia bardzo rozrzedzone powietrze w stratosferze. W czasie Wielkiej Wojny Niemcy wyzyskali tę okoliczność: pociski, które ostrzeliwano z ogromnej odległości Paryż, znaczną część swej drogi odbywały w stratosferze (ob. t. I, ust. 114).

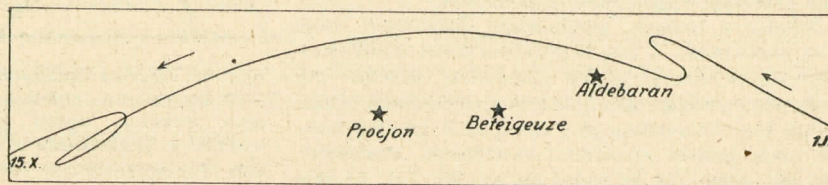
Pytania.

1. Na drodze wózka, staczającego się po równi pochyłej, ustawiono dzwonki, które wózek potrąca po drodze. Pierwszy dzwonek jest umieszczony w miejscu, skąd wózek wyrusza, drugi w odległości 10 cm. W jakiej odległości powinny być umieszczone dalsze dzwonki, by uderzenia odbywały się w równych odstępach czasu?
2. Przez odpowiednie pochylenie równi pochyłej można osiągnąć, że położona na niej płytka zsuwa się ruchem jednostajnym. Cemu to przypisać? Czy większe, czy też mniejsze pochylenie jest potrzebne, jeśli płytka jest osadzona na kółkach?
3. Oblicz drogi, przebywane przez ciało spadające w pierwszej, drugiej, trzeciej i t. d. sekundzie swego ruchu.
4. Jak wysoka jest wieża, jeśli puszczone z jej szczytu kula żelazna spada u podstawy po upływie 4 sekund?
5. Jak daleko od podstawy upadnie kula, jeśli ją rzucić z tej wieży poziomo z prędkością 10 m/sek?
6. Rzucamy poziomo 2 jednakowe przedmioty z jednakową prędkością z 2 okien; jedno okno jest położone 4 razy wyżej nad ziemią niż drugie. Ile razy dalej upadnie jeden przedmiot niż drugi?
7. Opowiadają o pewnym lotniku, ostrzeliwanym przez nieprzyjaciela, że w pewnej chwili zauważył tuż koło samolotu drobny przedmiot, który pochwycił ręką; był to pocisk karabinowy. Jak to było możliwe?

O CIAŻENIU POWSZECHNEM I O MASIE CIAŁ

Ciężenie i ciężar.

44. Układ planetarny. Wiedza ludzka powstała pod naciskiem potrzeb materialnych człowieka. Dla obrony, dla zbudowania schronienia, dla obrabiania surowych materiałów człowiek potrzebował narzędzi,



Ryc. 86. Droga planety Merkurego pomiędzy gwiazdami (od kwietnia do października 1904 r.).

a chcąc je ulepszać, musiał się zastanawiać nad zasadami ich działania. W miarę postępu cywilizacji coraz bardziej świadomie zaprzęgał siły przyrody do pomocy sobie, a to zmuszało go do ich poznawania.



Ryc. 87. Mikołaj Kopernik, wielki astronom polski (1473–1543).

Umysł ludzki, raz pobudzony do badania, nie zatrzymywał się na zagadnieniach bezpośredniej użyteczności, lecz wybiegał coraz dalej poza ich granice; budziło się w człowieku pragnienie wiedzy. Potrzeba poznania dalszych okolic, związana z łowiectwem, wojną lub handlem, budziła pytanie, czym jest ta ziemia, na której mieszkamy, jaki ma kształt, jakie rozmiary.

Konieczność orjentowania się w stronach świata, nie tylko w dzień, ale i w nocy, musiała zwrócić uwagę człowieka na niebo i na rozsiane

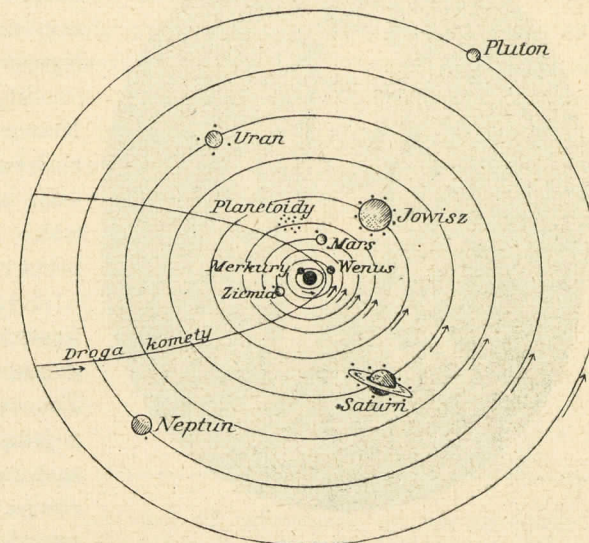
na niem gwiazdy. Każdy, patrzący dłuższy czas na niebo, ma wrażenie, że gwiazdy są rozmieszczone w stałym położeniu na olbrzymiej przezroczystej kuli (sferze) i razem z tą kulą obracają się naokoło ziemi. Takie właśnie było mniemanie o budowie świata uczonych w starożytności i w wiekach średnich. Na innych kulach umieszczano słońce i księżyc, które też okrążają ziemię, ale z innymi prędkościami.

Zauważono też, że kilka z tych niezliczonych świetlnych punktów, jakie widzimy na niebie, zachowuje się inaczej, niż pozostałe; błędzą one pośród gwiazd stałych ruchami skomplikowanymi, bardzo trudnymi do opisu (ryc. 86). Te t. zw. planety dużo przyczyniły kłopotu astronomom.

Dopiero genialny polski astronom Mikołaj KOPERNIK (1473–1543) obalił cały ten sztucznie obmyślony system. Stracił jednocześnie ziemię ze stanowiska „środka świata”. Ziemia, według Kopernika, jest jedną tylko z planet i razem z nimi krąży naokoło słońca. Obieg gwiazd naokoło ziemi jest naszym złudzeniem, spowodowanym obrotem ziemi koło swej osi. Jeden tylko księżyc pozostał ziemi jako wierny, okrążający ją towarzysz, czyli *satelita*.

Słońce wraz ze wszystkimi planetami i ich księżycami (inne planety mają też satelitów) stanowi *układ planetarny*. Kopernik przypuszczał, że planety zakresłają tory kołowe; później stwierdzono, że są to elipsy, zresztą bardzo mało różniące się od kół (ryc. 88).

45. Siła grawitacji. Teoria Kopernika opisuje ruchy planet naokoło słońca, ale ich nie tłumaczy. Jak wiemy z ust. 36, do utrzymania ciała na torze kołowym potrzebna jest siła dośrodkowa, a więc w naszym wypadku siła, któraby pociągała planety ku słońcu. Co wywiera tę siłę?



Ryc. 88. Układ planetarny.

Wielki angielski uczony Izaak Newton przypuścił, że to słońce przyciąga planety i wywiera na nie siłę dośrodkową. By wytłumaczyć eliptyczny kształt torów, Newton założył, że siły te maleją w zależności od rosnącej odległości pomiędzy słońcem a planetą. To przypuszczenie pozwoliło mu też wytłumaczyć, dlaczego czas obiegu planet jest tem większy, im większa jest ich odległość od słońca.



Ryc. 89. Izaak Newton, wielki fizyk i matematyk angielski (1642 – 1727).

Siły, wprowadzone przez Newtona dla wytłumaczenia ruchów planetarnych, nazywają się siłami ciężenia albo (z łacińska) grawitacji.

Siły te, jak wszystkie siły fizyczne, podlegają zasadzie działania i przeciwdziałania. Znaczący to, że np. siłę, z jaką słońce przyciąga ziemię, musi towarzyszyć druga, równa jej siła, z jaką ziemia przyciąga słońce. Oba ciała przyciągają się wzajemnie.

Przyciąganiu księżyca przez ziemię musi też odpowiadać przyciąganie ziemi przez księżyc. Że tak jest, dowodzi zjawisko przypływu i odpływu morza. Woda oceanu wznosi się cokolwiek ku księżycowi; tworzący się wał obiega ziemię naokoło, dążąc za pozornym ruchem



Ryc. 90. Powstawanie przypływu i odpływu morza.

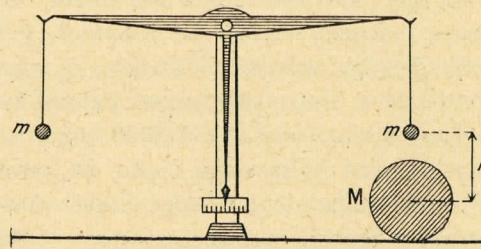
księżyca koło ziemi. To powoduje periodyczne wznoszenie się i opadanie wody w oceanach i morzach. Przypływ występuje 2 razy na dobę, gdyż prócz wału wodnego *A*, zwróconego ku księżycowi, powstaje drugi *B*, po stronie przeciwnej (ryc. 90). Tłumaczymy to tak: cała ziemia jest przyciągana przez księżyc, wskutek czego zbacza cokolwiek ku niemu ze swego toru. Najbliższe księżycowi wody *A* wysuną się

najbardziej, twarda skorupa *Z* podąża za niemi nieco wolniej, a najbardziej oddalone wody *B* opóźniają się jeszcze więcej.

Wszystkie ciała układu planetarnego ciążą wzajemnie ku sobie. Nie mamy wątpliwości, że tak samo zachowują się ciała innych układów planetarnych, o ile takie układy powstały naokoło innych słońc, czyli gwiazd. Ciężenie czyli grawitacja jest więc *powszechna*, dotyczy wszystkich istniejących ciał niebieskich.

46. Ciężar ciał, a ciążenie powszechne. Czy stosuje się to też do ciał tak małych w porównaniu z planetami i słońcem, z jakimi spotykamy się na ziemi? Wiemy, że ciała te spadają ku środkowi ziemi tak, jakgdyby były przez nią przyciągane. Czy te, tak dobrze nam znane siły ciężkości nie są w swej istocie tem samem, co siły, kierujące ruchami olbrzymich brył materji, planet i gwiazd?

Wyobraźmy sobie jakąś bryłę, np. kamień, który z powierzchni ziemi został odsunięty na odległość księżycy i obdarzony tą samą co on prędkością. Newton obliczył siłę grawitacji, jaką ziemia wywierałaby na niego w tym wypadku.



Ryc. 91. Stwierdzenie, że ciała materialne ciążą ku sobie.

Wynik rachunku był zdumiewający: okazało się, że tak obliczona siła wystarczałaby w sam raz do tego, by kamień mógł krążyć koło ziemi w tej samej odległości i z tą samą prędkością co księżyc. W tych warunkach kamień stałby się nowym satelitą ziemi, a od księżyca różniłby się tylko wielkością.

Uczonym udało się stwierdzić, że nawet niewielkie ciała wywierają na siebie wzajemnie siły grawitacyjne; choć bardzo małe, siły te dały się zmierzyć bezpośrednio. Jeśli np. dużą bańkę z rtęcią zrównoważyć na specjalnej wadze, a następnie podsunąć pod nią wielką bryłę ołowiu, to bańka z rtęcią opuści się cokolwiek ku niej (ryc. 91). Kładąc odważniki na drugą szalkę, można zrównoważyć ich ciężar z siłą przyciągania pomiędzy rtęcią a ołowiem. Siły te są niezmiernie małe, np. 2 kulki gramowe, umieszczone tak, że ich środki są oddalone od siebie o 1 cm, przyciągają się z siłą mniejszą, niż ciężar jednej dziesięciomiljardowej Miliagrama. Nawet takie kolosy jak statki morskie, ważące po 15 000 000 Kg każdy, stykając się bokami tak, że środki ich są w odległości wzajemnej 30 m, wywierają na siebie siły grawitacyjne, nie przekraczające 2 Kg. Nic dziwnego, że siły te są bardzo trudne do wykrycia. Dopiero tak

olbrzymie ciała, jak ziemia (6 000 000 000 000 000 000 000 tonn!) lub słońce (jeszcze 320 000 razy więcej) są w stanie wywierać znaczne, a nawet potężne siły.

Jeśli ciężar ciała jest rzeczywiście skutkiem ciążenia grawitacyjnego ku ziemi, to wynika z tego bardzo ważny wniosek. Wiemy, że ziemia jest nieco spłaszczona na biegunach, to znaczy, że ciało, umieszczone na biegunie, znajduje się trochę bliżej środka ziemi, niż gdyby było umieszczone na równiku. Siła ciążenia powinna więc być na biegunach trochę większa. Otóż dokładne pomiary w zupełności potwierdzają ten wniosek: jedno i to samo ciało spada z nieco różnymi prędkościami w różnych punktach kuli ziemskiej. Stała b (ob. ust. 39) jest nieznacznie (około 0,5%) większa na biegunach niż na równiku. Jest to wynikiem tego, że na biegunach ziemia przyciąga ciało silniej niż na równiku.¹

Ciężar ciała jest czemś zmiennem, zależnym od położenia na ziemi. Jeszcze bardziej będzie się zmieniał, jeśli zaczniemy oddalać ciało od ziemi. Już na wysokości 32 km, a więc tam, gdzie docierają balonysondy (ob. t. I str. 155), ciężar balonu zmniejsza się o 1%; w odległości księżycy ciało ważyłoby 1/3600 tego, co waży na powierzchni ziemi. Inny również byłby jego ciężar na powierzchni innej planety.

Ciężar ciała nie jest więc jakąś właściwą mu cechą, niezależną od obecności innych ciał; przeciwnie — zależy od tego, jakie ciało niebieskie (planeta czy gwiazda) znajduje się w pobliżu, oraz od tego, w jakiej jest odległości.

O masie ciała.

47. Ciężenie i masa. Poznaliśmy już, że siła ciążenia zależy od wzajemnej odległości dwóch ciał. Ale to jeszcze nie wszystko: siła ta w jakiś sposób musi zależeć też od wielkości ciała. Słońce z większą siłą przyciągałoby olbrzymiego Jowisza niż drobną Wenerę, nawet gdyby obie te planety krążyły w jednakowej od niego odległości. Dowiedzieliśmy się, że według obliczeń Newtona, kamień i księżyc mogłyby krążyć z jednakową prędkością i po takich samych torach naokoło ziemi jako jej satelici; ale na utrzymanie na takim torze księżyc byłaby potrzebna siła, wielokrotnie przewyższająca siłę, potrzebną dla utrzymania kamienia.

Z drugiej strony astronomowie znaleźli, że, jeśli jakaś planeta np. Wenus znajdzie się w jednakowej odległości od słońca i od ziemi, to siła przyciągania jej przez słońce jest około 320 000 razy większa, niż siła przyciągania ziemi. Rozpatrywana ze stanowiska słońca Wenus,

¹ Spłaszczenie ziemi nie jest jedyną przyczyną tej różnicy. Gra tu też rolę ruch obrotowy ziemi.

ważyłaby 320 000 razy więcej, niż rozpatrywana od strony ziemi. I, co ciekawsze, ten sam stosunek sił grawitacyjnych, wywieranych przez słońce i ziemię, zachodzi w stosunku do innych planet, komet czy meteoroidów. Każde z tych ciał byłoby 320 000 razy silniej przyciągane przez słońce niż przez ziemię, gdyby znalazło się w równej odległości od obu tych ciał niebieskich.

Słońce i ziemia mają więc jakąś cechę stałą, niezmienną, niezależną od obecności innych ciał, cechę, którą słońce 320 000 razy przewyższa ziemię. Dla oznaczenia tej cechy fizycy i astronomowie używają słowa *masa*. Słońce ma masę 320 000 razy przewyższającą masę ziemi i dlatego przyciąga inne ciała (z tej samej odległości) z siłą 320 000 razy większą. Siła ciążenia jest proporcjonalna do masy ciała przyciągającego. Meteoroid, pędzący w przestworzach, byłby cięższy lub lżejszy, zależnie od tego, czy spadłby na ciało niebieskie o większej, czy mniejszej masie.

Ale przecież ciało przyciągające jest zarazem ciałem przyciąganym. Ziemia przyciąga księżyc, ale i księżyc przyciąga ziemię z taką samą siłą. Ta siła musi być też proporcjonalna do masy księżyca. Siła ciążenia jest proporcjonalna do mas obu ciał wzajemnie ciążących ku sobie. Słońce silniej przyciąga Jowisza niż Wenerę (pomimo większej odległości), ponieważ masa Jowisza jest większa od masy Wenery. Kamień, o którym była mowa, ma masę mniejszą niż masa księżyca i dlatego byłby słabiej niż księżyc przyciągany przez ziemię.

To samo oczywiście stosuje się do ciał na powierzchni ziemi. Odważnik kilogramowy dlatego jest 1000 razy cięższy od odważnika gramowego, że masa pierwszego jest 1000 razy większa od masy drugiego. Litrtęci waży 13,6 razy więcej niż litr wody, bo masa litra rtęci jest 13,6 razy większa od masy litra wody.¹ Ciężary ciał są proporcjonalne do ich masy.

Wiele własności fizycznych i chemicznych zależy od masy a nie od ciężaru ciała. Litrmleka lepiej nas odżywi niż 1/2 litra, nie dlatego, że więcej waży, ale dlatego, że ma większą masę. Wyobraźmy sobie, że spełniły się marzenia konstruktorów i powieściopisarzy i możemy odbyć podróż międzyplanetarną na księżyc lub na Marsa. W czasie tej podróży ciężar litra mleka ulegałby daleko idącym zmianom. Małaby szybko w miarę oddalania się od ziemi, a w pewnym punkcie drogi znikłby zupełnie (kiedyby to nastąpiło i po czym byśmy to poznali?), a następnie rósłby znowu w miarę zbliżania się do Marsa;

¹ Mówimy, że rtęć ma gęstość 13,6 razy większą od gęstości wody.

ale nawet na powierzchni tej planety byłby mniejszy niż na ziemi. Lecz wartość odżywcza mleka dla naszego organizmu byłaby taka sama w czasie całej podróży; jego masa też nie zmieniałaby się. Gdybyśmy palili w drodze spirytus pod maszynką, 100 cm^3 tej substancji dostarczyłoby nam w każdym położeniu tę samą ilość ciepła, t. j. ogrzałoby tę samą ilość wody o tę samą liczbę stopni. Zarówno ciepło spalania, jak i pojemność cieplna ciała zależy nie od jego ciężaru, ale od masy.

Wpływem, jaki masa ciała wywiera na jego ruchy, zajmiemy się niebawem.

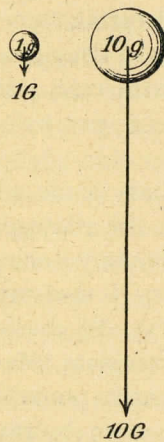
48. Jednostki masy. Czytelnik przypomina sobie niewątpliwie, że przy ważeniu używaliśmy jako jednostki ciężaru 1 Grama (G) albo Kilograma (Kg). Te same jednostki służyły nam w nauce o siłach do mierzenia innych sił.

Obecnie dowiedzieliśmy się, że na powierzchni ziemi ciężar jest zmienny; odważnik kilogramowy inaczej waży na biegunie, a inaczej na równiku, jego ciężar jest nieco inny w Paryżu, a nieco inny w Warszawie. Jednostka ciężarowa siły nie jest więc stała. Jeśli ktoś podniósł w Paryżu bryłę 10-cio kilogramową, a ktoś inny taką samą bryłę w Warszawie, to ten drugi musiał użyć siły cokolwiek większej; różnice są jednak tak niewielkie, że w wielu wypadkach możemy je pominąć. Szczególniej w technice nie odgrywają one przeważnie roli, to też jednostki ciężarowe są w niej używane bardzo często.

Jeśli jednak będziemy porównywali z sobą nie ciężary ciał, lecz ich masy, to unikniemy niedokładności, związanej ze zmianami jednostki;

wiemy, że masy ciał są niezmiennie. Z tego powodu przyjęto w nauce uważać gram i kilogram za jednostki masy. A więc masę wzorca międzynarodowego, przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag (ob. t. I ust. 8), uznajemy za jednostkę masy, nazywamy **kilogramem** i oznaczamy skrótem kg; jego tysięczną część nazywamy **gramem** i oznaczamy literą g. Zarówno przy nazwach jak i przy symbolach używamy liter małych, by jednostki masy odróżnić od jednostek ciężaru i siły; jedno i drugie noszą bowiem te same nazwy, tylko, że jedno piszemy przez duże litery, a drugie przez małe. To samo prawidło stosujemy i do innych jednostek, piszemy więc dekagram, miligram i t. d. jako jednostki masy.

Z takiego wyboru jednostek wynika, że masa i ciężar jakiegoś ciała wyrażają się temi samymi liczbami. Jeśli np. masa odważnika stanowi $1/10$ masy wzorca



Ryc. 92. Ciężary ciał są proporcjonalne do ich mas.

kilogramowego, to odważnik ma masę równą 100 g ; ale i ciężar jego jest 10 razy mniejszy od ciężaru wzorca, wynosi więc 100 G .

Ważąc na wadze, porównujemy z sobą równe ciężary, działające na końce belki wagi. Ale równym ciężarom w tem samym miejscu kuli ziemskiej odpowiadają równe masy; więc ważenie na wadze szalkowej jest jednocześnie porównaniem masy dwóch ciał: ciała ważonego i odważników.

Teraz możemy już zrozumieć, dlaczego, mówiąc w t. I o ilości ciepła, oznaczaliśmy wynik ważenia literą m (masa), a gramy i kilogramy pisaliśmy przez małe litery. Nie zmienia to wyników liczbowych, lecz wiąże pojęcie ilości ciepła z masą ciała, a nie z jego ciężarem.

Na jednostce masy i jednostce przyspieszenia opierają się inne jednostki, używane w fizyce: siły, pracy, mocy i t. d. Nie mają one tej wady, co jednostki ciężarowe, gdyż są ściśle określone i niezmiennie. Będziemy się nimi posługiwali w nauce o prądzie elektrycznym.

49. Jak masa ciała wpływa na jego ruch. Wiemy z codziennego doświadczenia, że pchnąwszy z takim samym wysiłkiem kulę drewnianą i kulę żelazną tej samej wielkości, większą prędkość nadamy kuli drewnianej. Jest to skutkiem tego, że kula drewniana ma mniejszą masę, niż żelazna. Aby nadać tę samą prędkość wagonowi naładowanemu, co pustemu, musimy w pierwszym wypadku dłużej działać tą samą siłą, niż w wypadku drugim. Również tem prędzej można działaniem hamulca zatrzymać pociąg, im mniejsza jest jego masa. Przyspieszenie, nadawane pewnemu ciału, jest widocznie zależne od jego masy: im większa masa, tem mniejsze przyspieszenie. Dlatego lekki rower i lekki jeździec na nim dają przewagę w wyścigu. Dużemu, masywnemu człowiekowi trudno schwytać zwinnego malca, pomimo że rozporządza większą od niego siłą; mała masa ciała chłopca łatwiej poddaje się wszelkim zmianom kierunku i prędkości.

Musimy bliżej zbadać wpływ, jaki wywiera masa ciała na ruch, wzbudzony przez siły. Użyjemy do tego przyrządu, który nam służył do znalezienia zależności pomiędzy siłą a przyspieszeniem (ćwicz. 20).

Ćwiczenie 25. Powtarzamy ćwiczenie 20, obciążamy wózek raz mniej, raz więcej, zachowując tę samą siłę poruszającą, t. j. nie zmieniając obciążenia szalki.

Przyspieszenie, jakiego ciało doznaje pod działaniem danej siły, jest tem mniejsze, im większa jest jego masa.

Rzecz prosta, że chcąc otrzymać to samo przyspieszenie przy zwiększonej masie, musielibyśmy zwiększyć odpowiednio siłę.

Im masa ciała jest większa, tem trudniej nadać mu jakąś prędkość, tem trudniej również prędkość tę zniweczyć, skoro ciało raz ją uzyskało. Bezwładność ciała występuje tem wyraźniej, im większa jest jego masa; nie dostrzegamy bezwładności drobnego pyłka, unoszonego lada podmuchem, odczuwamy ją wyraźnie, poruszając ciężki dzwon. Dlatego fizycy mówią, że masa ciała jest miarą jego bezwładności.

Gdyśmy już poznali, w jaki sposób siła i masa wpływają na przyspieszenie ruchu, możemy zrozumieć znany nam fakt, że wszystkie ciała spadają w próżni z jednakowym przyspieszeniem. Rozpatrzmy np. dwie bryłki: dużą i małą. Na dużą działa większa siła ciężkości, lecz zato i masa jej jest odpowiednio większa. Zwiększenie ciężaru zwiększa przyspieszenie, ale jednocześnie zwiększenie masy zmniejsza je w tym samym stosunku. W rezultacie przyspieszenie jest takie same, niezależne od wielkości ciała.

50. Prawa ruchu. Streśmy jeszcze to wszystko, co wiemy o działaniu sił i o ruchach pod ich wpływem:

I. Ciało, na które nie działa żadna siła, pozostaje w spoczynku lub w ruchu jednostajnym po linii prostej.

Jest to znana już nam zasada bezwładności.

II. Ciało, na które działa stała, niezmienna siła, porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, o przyspieszeniu tem większem, im większa jest siła, a mniejsza masa ciała.

To prawo pozwala nam oceniać różne siły na podstawie znajomości masy ciała i przyspieszenia, udzielonego mu przez siłę.

III. Jeśli jedno ciało (*A*) działa na inne ciało (*B*) z pewną siłą, to drugie ciało (*B*) działa na pierwsze (*A*) z siłą, równą tamtej, co do wielkości, lecz skierowaną odwrotnie.

Jest to znane nam już z nauki o równowadze ciał prawo działania i przeciwdziałania. Tu ma ono znaczenie ogólniejsze, gdyż stosuje się nie tylko do ciał w spoczynku, ale i w ruchu. Wzajemne ciążenie ku sobie ciał niebieskich i ziemskich jest tylko szczególnym przypadkiem tej ogólnej zasady.

Te trzy prawa, w postaci bardzo ściśle, wygłosił Newton i wykazał, że wystarczają one zupełnie do opisanego i wytłumaczenia całej różnorodności spotykanych w przyrodzie ruchów.

Rozdział VI

PRZEMIANY ENERGJI

51. Energja kinetyczna. Wbicie pala w ziemię, lub gwoździa w deskę udaje się łatwiej przez uderzanie młotem, niż przez wciskanie — chociażby przy użyciu wielkiej siły. Dlaczego młotek, położony na główce gwoździa wciska jego ostrze ledwo dostrzegalnie, a wbija gwoźdź głęboko, gdy nim uderzamy? Dlaczego kij utrzyma nasz ciężar, gdy siadamy nań spokojnie, a łamie się, gdy nań skoczmy? Dlaczego pocisk, leżąc na ziemi, wygniecie w niej tylko nieznaczny ślad, a padając z góry, żłobi w niej dół? Dlaczego, jednym słowem wszystkie te ciała są w stanie wykonać tak znaczną pracę?

Nietrudno dostrzec, jaki to wspólny czynnik występuje we wszystkich tych przykładach. Oto wszystkie wspomniane ciała miały w chwili uderzenia pewną prędkość; tylko dzięki niej były one zdolne do wykonania pracy. Lecz skąd nabrały one tej zdolności?

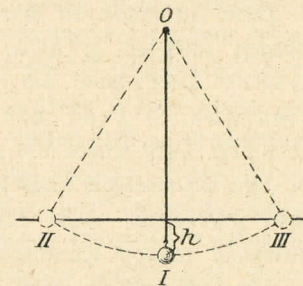
Rozważmy: chcąc nadać główce młotka potrzebną prędkość, musimy wprawdzie wykonać ręką pewną pracę, mianowicie musimy rozpędzić młotek pracą naszych mięśni. Podobnie ma się rzecz i w pozostałych przykładach; np. pocisk wyleciał z lufy dzięki pracy gazów, jakie powstały w strzelbie ze spalania prochu.

Ciała nabierają więc prędkości wskutek pracy, następnie mogą tę pracę oddać. Ciała poruszające się posiadają zapas pracy czyli energję. Ten rodzaj energii nazywamy **energją ruchu** albo **energją kinetyczną**.

Należałoby jeszcze stwierdzić, czy ciało rozpędzone oddaje tyle samo pracy, ile jej pobrało.

Doświadczenie. Uwieśmy na haczyku wahadło, utworzone z ciężkiej kulki, zawieszanej na cienkiej a mocnej nitce; obok ustawmy poziomo linjał. Odchylmy wahadło tak, by kulka znalazła się na poziomie linjału i puśćmy ją. Zauważmy, czy kulka wahadła wznosi się jednakowo wysoko po obu stronach (ryc. 93).

Rozważmy, jakie rodzaje energii występują w tem zjawisku. Jeśli energję potencjalną będziemy liczyli od poziomu, przechodzącego przez najniższe położenie kulki (I), to podnosząc ją w lewo do poziomu linjału o *h* cm (II), nadajemy jej pewną energję potencjalną. Gdy kulkę puszczaemy, spada ona na poziomy coraz to niższe, lecz zato nabiera coraz większej prędkości; traci więc energję potencjalną, a zyskuje kinetyczną. W chwili, gdy kulka przebiega przez położenie I, jej energja potencjalna wyczerpała się już zupełnie, natomiast kulka nabrała energii kinetycznej. Podczas dalszego ruchu w prawo odbywa się proces odwrotny: prędkość maleje, ale zato kulka podnosi się coraz wyżej. Na koszt energii kinetycznej powstaje potencjalna. Wreszcie kulka wznosi się do położenia III, tu prędkość jej staje się równa 0, energja kinetyczna niknie, pozostaje tylko potencjalna. Ale kulka wzniosła się na lewo tak samo wysoko, jak poprzednio na prawo, uzyskała więc tyle samo energii potencjalnej, ile jej miała pierwotnie. Kulka zwróciła całą pracę, jaką pobrała podczas spadania.

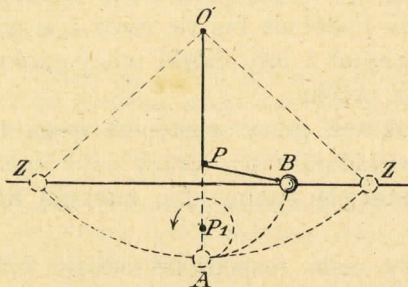


Ryc. 93. W ruchu wahadła zachodzą przemiany wzajemne energii potencjalnej i kinetycznej.

Ilość energii kinetycznej mierzymy ilością pracy, z której powstała i której może następnie dostarczyć.

Bardzo pouczające doświadczenie wykonał Galileusz:

Doświadczenie. Powtarzamy raz jeszcze poprzednie doświadczenie. W pewnej chwili na drodze nici wahadła, poniżej jego punktu zawieszenia, umieszczamy jakąś przeszkodę P np. gwoździć wbity w deskę (ryc. 94). Zamiast po łuku AZ kula wzniesie się po łuku AB , zakreślonym promieniem PA , lecz i teraz kula osiągnie ten sam poziom ZZ , co poprzednio. To samo zachodzi w drodze powrotnej od B do pierwotnego położenia. Możemy umieścić gwoździć tak nisko, że kula nawet w najwyższym punkcie swego toru nie dojdzie do tego poziomu; w tym wypadku kula porusza się dalej i zawija kilkakrotnie nitkę naokoło gwoździ.



Ryc. 94. Doświadczenie Galileusza z wahadłem.

Doświadczenie to stwierdza, że energia potencjalna ciała, inaczej mówiąc praca, wykonana przy jego wznoszeniu, zależy jedynie od poziomu, do którego zostało podniesione, a jest niezależna od drogi, na której to się odbyło. Gdy kulce nie pozwolimy dojść do poziomu, na którym znikła cała jej energia kinetyczna, pozostała część tej energii zawija nitkę koło gwoździ, póki zderzenie kulki z gwoździem do reszty nie zniweczy energii kinetycznej.

52. Od jakich cech ciała i ruchu zależy energia kinetyczna.

Wbijając mały gwoździć, wykonywamy niewielkie ruchy młotkiem; gdy chcemy wbić większy gwoździć, nie wystarczy tak mały rozmach, musimy odsunąć młotek daleko, i silniej natężyć mięśnie, by wprawić jego główkę w większą prędkość. Jeśli chodzi o wbicie dużego klina, bierzemy duży, masywny młot. Jeszcze skuteczniej bije kowal, nadając główce młota, osadzonej na długiej rękojeści, znaczną prędkość z rozmachem.

Już z tych prostych przykładów widać, że 1) energia kinetyczna ciała jest tem większa, im większa jest jego masa, 2) energia wzrasta, gdy powiększa się prędkość ciała.

Nie znaczy to, by ta ostatnia zależność wyrażała się prostą proporcjonalnością; jest ona bardziej zawiła. Tak pomiary, jak i rozważania teoretyczne prowadzą do wniosku, że prędkościom 2, 3, 4, ... razy większym odpowiadają wartości energii 4, 9, 16, ... razy większe. Energia kinetyczna jest proporcjonalna do kwadratu prędkości.

To samo mówią nam inne przykłady. Pocisk z rewolweru mniej głęboko wbija się w drzewo, niż pocisk o takiej samej masie, wystrzelony z karabinu, gdyż ma mniejszą prędkość, więc i mniejszą energię kinetyczną. Pocisk armatni sieje straszliwe zniszczenie wskutek nie tylko ogromnej prędkości, ale i wielkiej masy.

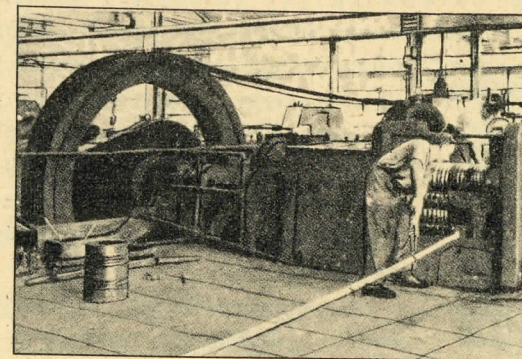
Będzie to dla nas całkowicie zrozumiałe, gdy przypomnimy sobie prawa ruchu. Im większą prędkość chcemy nadać ciału, tem większej musimy użyć siły, lub też na tem dłuższej drodze musimy na nie działać siłą; tak czy owak, musimy zwiększyć ilość pracy, użytej na nadanie ciału prędkości. Również musimy zwiększyć pracę, gdy chcemy poruszyć ciało o większej masie.

Ciało nie zawsze oddaje całkowicie swą energię ruchu. Gdy kula karabinowa przebija niezbyt grubą deskę, prędkość jej nie znika, lecz znacznie się zmniejsza, a wraz z nią zmniejsza się energia kinetyczna pocisku. Ubytek energii wynosi tyle, ile pracy kula spotrzebowała na przebicie deski.

W życiu wyzyskujemy bardzo często energię kinetyczną. Skuteczność każdego uderzenia — młotkiem, kijem, cepem, bronią sieczną — polega na gromadzeniu energii ruchu podczas rozmachu i nagle wylądowaniu jej przy uderzeniu o inne ciało. Każdy pocisk jest groźny energią ruchu, którą mu przy wystrale nadano. Dawne wojny znały też zastosowanie energii kinetycznej; taran, czyli ciężka belka, zawieszona na łańcuchach, skoro ją rozkołysano, nabierała energii kinetycznej, a energia ta kruszyła bramy i mury. Atak husarji był skuteczny dzięki energii kinetycznej rozpedzonej masy koni i ciężko uzbrojonych rycerzy.

Do wbijania w ziemię pali przy różnego rodzaju budowlach używa się t. zw. *baby*, t. j. ciężkiego kloca, który siła ludzi lub pary podnosi

wysoko; podczas spadku nabyta energia potencjalna zamienia się na kinetyczną i oddaje ją, uderzając o pal. Ogromne, masywne koła zamachowe, używane przy silnikach, możemy uważać za zbiorniki energii kinetycznej. Silnik musi dużo pracy wykonać, by takiemu kołu nadać potrzebną prędkość; natomiast w chwilach, gdy trzeba w krót-



Ryc. 95. Koło zamachowe, poruszane silnikiem, gromadzi energię kinetyczną i oddaje ją podczas przepuszczania pręta metalowego przez walce.

kim czasie wykonać większą pracę, koło oddaje na ten cel część nagromadzonej energii i w ten sposób pomaga silnikowi.

Znaczne ilości energii kinetycznej mają wody potoków i bystro płynących rzek; ludzie wyzyskują ją przy pomocy kół wodnych i turbin. Pożyteczna energia wody może stać się groźną i niszczycielską w czasie powodzi, gdy ogromne masy wody pędzą z dużą prędkością, znosząc po drodze wszelkie przeszkody. Wszyscy mamy w pamięci olbrzymie szkody, jakie powódź wyrządziła w Polsce w r. 1934.

Nawet powietrze, choć ma niewielką gęstość, może mieć dużą energję kinetyczną, gdy porusza się ze znaczną prędkością. Wiatru używamy do poruszania statków i młynów; a obdarzone ogromną prędkością wichry huraganowe mogą wyrządzić poważne szkody. Szczególnie Ameryka Północna, Japonia i wyspy Oceanu Spokojnego bywają widownią strasznych klęsk huraganowych.

53. Przemiany energii. Zjawisko perjodycznego kołysania się wahadła jest doskonałym przykładem *przemian* wzajemnych dwóch rodzajów energii: potencjalnej (ciężkości) i kinetycznej. Podobne przemiany widzimy przy rzucie pionowym i przy spadku swobodnym ciała. Gdy rzucamy kamień pionowo w górę, nadajemy mu pracą naszych mięśni pewną ilość energii kinetycznej. Ruch kamienia jest coraz wolniejszy, jego energia ruchu zamienia się w energję potencjalną; po dojściu do najwyższego punktu kamień spada, zamieniając z powrotem energję potencjalną na kinetyczną. Spadając na ziemię, kamień może oddać pobraną pracę, np. żłobiąc dół w ziemi. Można dowieść, że w każdej chwili podnoszenia się czy spadku tyle przybywa jednego rodzaju energii, ile ubywa drugiego; suma obu rodzajów nie ulega zmianie. Energia przechodzi z jednej postaci w inną, ale całkowita jej ilość nie zmienia się.

Przechodzenie energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie jest równoważne wykonywaniu pracy — podobnie jak przechodzenie energii potencjalnej z jednego ciała do drugiego (ob. ust. 23). Gdy kulka wahadła opada, siła ciężkości wykonywa pracę, a energia potencjalna kulki przechodzi w kinetyczną; podczas wznoszenia się pracę wykonywa rozprężona kulka, a energia kinetyczna przechodzi w potencjalną.



Ryc. 96.
Wahadło
sprężynowe.

Przemiany energii możemy też obserwować na ruchach wahadła sprężynowego, czyli sprężynki z uwieszonym pod nią ciężarkiem (ryc. 96). Pociągając ciężarek w dół, rozciągamy sprężynę i nadajemy jej przez to inny rodzaj energii potencjalnej: **energję sprężystości**. Sprę-

żyna puszczona drga długi czas, a energia pojawia się coraz to w innej postaci: raz kinetycznej, raz potencjalnej.

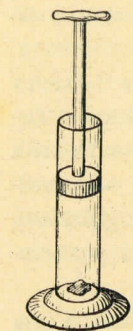
Trzy wymienione rodzaje energii: ciężkości, sprężystości i ruchu nazywamy postaciami **energji mechanicznej**, ponieważ nauka o ruchach ciał i o siłach nazywa się mechaniką. Gdybyśmy wyodrębnili w myśli *układ ciał*, złożony z wahadła i ziemi, układ, który nie oddawałby pracy innym ciałom ani jej od innych nie pobierał, to moglibyśmy powiedzieć, że w takim *odosobnionym układzie* suma energii potencjalnej i kinetycznej jest stała.

Takie odosobnienie jest jednak praktycznie niewykonalne. Ciała zawsze opierają się o inne, albo też są otoczone jakimś materjalnym ośrodkiem. Przy ruchu powstaje tarcie i opór ośrodka, a na ich pokonanie ciało musi zużyć część energii. Wskutek takich właśnie działań rozpiętość wahań wahadła zmniejsza się stopniowo; w końcu energia wyczerpuje się całkowicie i wahadło zatrzymuje się. **Zasada zachowania energii mechanicznej** byłaby bezwzględnie słuszna tylko wtedy, gdyby nie było tarcia. W warunkach rzeczywistych, a więc przy istnieniu tarcia, zasada jest słuszna tylko w przybliżeniu — tem większem, im mniejsze jest tarcie. Koło rowerowe, któremu nadaliśmy szybki obrót w powietrzu, obraca się przez kilkanaście minut. Niewielki zasób pracy, włożonej w nakręcenie zegarka, wystarcza, by wyrównać straty energii mechanicznej w ciągu doby; są zegary, wykonane tak precyzyjnie, że do utrzymania ich w ruchu wystarczy nakręcić je raz na rok.

A jednak ilość energii mechanicznej czy to wahadła, czy piłki rzuconej w górę, zmniejsza się stopniowo, choć czasem bardzo powoli. Czy ginie ona bez śladu? Czy praca, zużyta na pokonanie tarcia, przepada i nic nie powstaje na jej miejsce?

54. Powstawanie ciepła z pracy. Jeśli dotkniemy gumy, którą tarliśmy silnie o deskę, to spostrzeżemy, że jest gorąca. Widocznie pojawiła się tu pewna ilość ciepła. Prawdopodobnie powstała ona wskutek pracy, potrzebnej do przewyciężenia tarcia gumy o deskę. Gdyby tak było, to w innych wypadkach pokonywania tarcia też powinno pojawiać się ciepło.

Istotnie znamy całe mnóstwo odpowiednich przykładów. Oto rozgrzewają się łożyska w maszynach parowych, lokomotywach i wagonach, ogrzewają się szyny kolejowe, gdy przebiegnie po nich pociąg; ogrzewamy łebek zapalki, pocierając nim szorstką powierzchnię pudełka; dzicy wzniecają ogień przez tarcie dwóch kawałków suchego drzewa; narzędzia, któremi wiercimy otwory w metalu, ogrzewają się czasem aż do czerwoności; meteoryty, przebiegając z ogromną prędkością atmo-

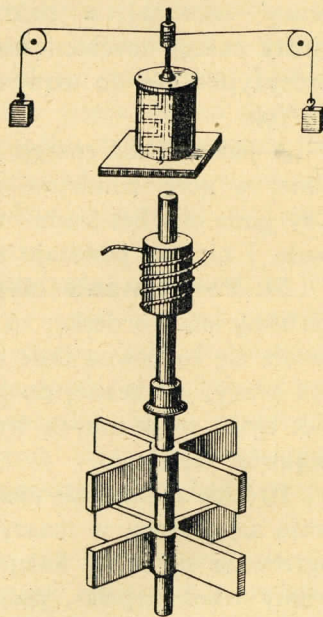


Ryc. 97. Krzesiwo pneumatyczne; powietrze w nim rozgrzewa się wskutek naglego sprężenia.

sferę ziemską, rozżarzają się, kreśląc na sierpniowym niebie świetlne szlaki; kawałek żelaza, bity młotem, może być doprowadzony do wysokiej temperatury; kula rewolwerowa, uderzając o metalowe okucie, rozgrzewa się aż do stopienia; powietrze, nagle sprężone, ogrzewa się tak silnie, że może zapalić kawałek hubki (ryc. 97).

Aż do końca XVIII stulecia uczeni byli mniemania, że ciepła nie można stworzyć, ani go zniweczyć. Wiemy z kalymetriji, że, gdy ciepło przechodzi z jednego ciała do drugiego, ilość jego nie zmienia się; ale to nie wyklucza, by w pewnych warunkach nie mogły powstawać nowe ilości ciepła. Takie warunki występują np. wtedy, gdy praca jest zużyta na pokonanie tarcia, lub w inny sposób, niewytwarzający energii mechanicznej. Pierwszym, który to stwierdził, był angielski inżynier RUMFORD; pracując w arsenale monachijskim, zauważył on w roku 1798, że ogromne ilości ciepła powstają przy wierceniu otworów w lufach armatnich. W tym samym czasie DAVY (czyt. Dewi) tarł na mrozie jeden o drugi dwa kawałki lodu; lód stopniał, pomimo że ciepło nie mogło do niego znikąd dopływać.

Ale dopiero w r. 1842 niemiecki lekarz Robert MAYER wypowiedział twierdzenie, że zawsze, gdy ginie praca, na jej miejsce powstaje odpowiednia ilość ciepła, a angielski piwowar JOULE (czytaj Dżaul) stwierdził przez dużą liczbę pomiarów, że określona ilość pracy wytwarza zawsze jedną i tą samą ilość ciepła, niezależnie od tego, w jaki sposób przemiana została wykonana. Joule używał do swoich doświadczeń rozmaitych sposobów, a więc tarł drzewo o drzewo lub żelazo o żelazo, mieszał gwałtownie wodę w naczyniu odpowiednio zbudowanym wiatraczkiem, powodował uderzenie spadającego ciężarka o kulę z ołowiu, sprężał nagle powietrze, wreszcie zużywał pracę na poruszanie małej prądnicy, a dopiero zapomocą otrzymanego prądu elektrycznego wytwarzał ciepło.



Ryc. 98. Doświadczenie Joule'a. U góry przyrząd zestawiony, u dołu sam wiatraczek.

Doświadczenie. Posługujemy się szkolnym modelem prądnicy, która zasila małą żarówkę. Odłączamy żarówkę i kręcimy korbę prądnicy; prąd nie płynie i nasza praca idzie tylko na pokonanie tarcia. Włączamy żarówkę, która zaczyna świecić. Czujemy własnymi mięśniami, że musimy teraz użyć większej siły, a więc wykonać większą pracę — na jej koszt pojawia się ciepło, które rozżarza drucik lampki.

Ryc. 98 pokazuje jedno z doświadczeń, wykonanych przez Joule'a. W kalorymetrze był umieszczony wiatraczek, poruszany przez dwa spadające ciężary: skrzydła wiatraczka poruszały wodę, którą był napelniony kalorymetr. Praca spadających ciężarów była tu obróconą na przezwyciężenie tarcia, jakie występowało przy ruchu wiatraczka i wody. Znając masę wody i przyrost temperatury, można było obliczyć ilość ciepła, a z wielkości ciężarów i ich wzniesienia — ilość zużytej w tym celu pracy.

Podobne pomiary były powtarzane wielokrotnie przez innych fizyków zapomocą udoskonalonych przyrządów. Wynika z nich, że na wytworzenie wielkiej kalorii ciepła (k cal) potrzeba prawie 427 Kgm pracy. Tę liczbę nazwano **mechanicznym równoważnikiem ciepła**.

55. Powstawanie pracy z ciepła. Zanim jeszcze Mayer i Joule stwierdzili powstawanie ciepła z pracy, angielscy i francuscy inżynierowie nauczyli ludzi czerpać pracę z ciepła zapomocą maszyn parowych (ob. rozdz. VII). Co prawda, nie zdawano sobie jeszcze jasno sprawy, skąd maszyna czerpie możność wykonywania pracy. Wiedzano, że potrzebne jest w tym celu ogrzanie wody aż do wrzenia, ale dopiero później, już po odkryciu Mayera i Joule'a, stwierdzono, że para, która wykonywa pracę w tłoku maszyny, ochładza się, czyli traci ciepło. Praca maszyny parowej jest wykonywana na koszt ciepła.

Inny przykład wytwarzania ciepła z pracy i pracy z ciepła przedstawiają chłodziarki (t. I, ust. 85). W sprężarce amonjak ulega sprężeniu, a następnie skropleniu; do obu tych czynności, związanych ze zmniejszeniem objętości, jest potrzebna praca. Pracy tej dostarcza silnik, a powstające z niej ciepło zabiera woda chłodziwy. Przechodząc przez zawór, ciekły amonjak nie tylko paruje, ale rozpręża się. W obu procesach zwiększa się objętość amonjaku i gaz wykonywa pracę rozprężenia wbrew ciśnieniu, panującemu w rurze za zaworem. Praca ta zostaje wykonana kosztem ciepła, które amonjak odbiera od solanki. Istnieją chłodziarki, w których rozprężający się gaz rzeczywiście wykonywa pożyteczną pracę.

Oziębianie się gazu przy rozprężaniu możemy stwierdzić na prostym, codziennym doświadczeniu. Chuchając na rękę, czujemy, że powietrze

wychodzące bez oporu z jamy ustnej, jest ciepłe; lecz sprężmy powietrze w ustach i wypuszczajmy je wąskim strumieniem przez szczelinę pomiędzy wargami, czyli poprostu dmuchnijmy; czujemy, że powietrze jest teraz chłodne; na obniżenie temperatury wpłynęło przede wszystkim to, że powietrze oddało część ciepła na wykonanie pracy, potrzebnej do rozprężenia się wbrew oporowi atmosfery. Dmuchaając na gorącą zupę, korzystamy z praw fizyki, choćbyśmy ich jeszcze nie poznali. Często się zdarza, że praktyczne wyzyskanie praw natury wyprzedza ich naukowe zbadanie.

56. Ciepło jest jedną z wielu postaci energii. Dotychczas mówiliśmy o różnych postaciach energii mechanicznej. Poznawaliśmy je po tem, że powstawały z pracy i mogły też pracy dostarczać. Teraz dochodzimy do przekonania, że ciepło ma obie te cechy, że zatem możemy je uważać za energję. Wprowadzając energję cieplną wyrażamy w innych jednostkach, mianowicie w kalorjach, ale jak wiemy, każdej kalorii odpowiada zupełnie określona ilość pracy mechanicznej. Przemiany energii nie ograniczają się więc do przemian energii potencjalnej i kinetycznej; obie te postacie mogą przechodzić w energję cieplną, a cieplna znów w potencjalną i kinetyczną. Przykłady takiej przemiany widzimy np. na poruszaniu koła zamachowego, lub podnoszeniu dźwigów kopalni zapomocą maszyny parowej.

Rozszerzywszy tak pojęcie energii, możemy teraz uogólnić zasadę **zachowania energii**, wypowiedzianą w ustępie 53. Już teraz nie będą nas niepokoiły jej straty; wiemy, że na miejsce straconej energii mechanicznej zjawi się zawsze równoważna jej ilość energii cieplnej. Jeśli zsumujemy wszystkie postacie energii, wyrażając je przytem w tych samych jednostkach, to będziemy mogli powiedzieć, że *w układzie odosobnionym suma energii mechanicznej i cieplnej jest niezmienna*.

Nie skończyliśmy jeszcze z uogólnianiem pojęcia energii. Zastanówmy się, że najważniejsze dla nas źródła ciepła, to nie praca mechaniczna, ale *procesy chemiczne*; pierwsze miejsce pomiędzy nimi zajmuje spalanie. Z czego powstaje w tych zjawiskach energja cieplna? Węgiel i tlen przed spaleniem miały zdolność wytworzenia ciepła, miały więc inny, nowy rodzaj energii, **energję chemiczną**. Ten rodzaj energii ma też wodór i tlen, wapno niegaszone i woda, kwas siarkowy i cynk. Gdy pomiędzy temi ciałami zachodzi reakcja chemiczna, temperatura ich podnosi się, gdyż energja chemiczna przemieniła się w cieplną.

Możliwy jest też proces odwrotny. Przez ogrzewanie możemy rozłożyć parę wodną na wodór i tlen, a jeszcze łatwiej rozkłada się tlenek rtęci na tlen i rtęć. Energja chemiczna tych produktów rozkładu powstała z energii cieplnej.

Czy można wytwarzać też energję mechaniczną na koszt chemicznej? Nie trzeba daleko sięgać po przykłady. Skąd bierze człowiek lub zwierzę możność wykonywania pracy? Wiemy, że musi w tym celu odżywiać się, musi spożywać pokarmy. W pokarmach jest zawarta energja chemiczna, którą organizm zamienia na pracę i na ciepło. Im więcej pracy wykonywa żywe stworzenie, tem lepiej musi być odżywione; w zimie zaś musi spożyć więcej pokarmu niż w lecie, by móc wyrównać zwiększone straty ciepła.

Związki węgla, wodoru i innych pierwiastków są w organizmie utleniane, czyli „spalają się”, wytwarzając dwutlenek węgla i wodę oraz produkując odpowiednią ilość ciepła i pracy. Zmierzone, że człowiek, pozostający w ciepłym pokoju w zupełnym spoczynku, wdycha w ciągu doby 360 litrów tlenu, potrzebnego do utlenienia pokarmów; do wyżywienia wystarcza mu 385 g pożywienia. Wytworzone ciepło wystarczałoby (1800 k cal) do podniesienia temperatury ciała człowieka o 25°; w rzeczywistości ta ilość ciepła jest potrzebna na utrzymanie niezmienniej temperatury ciała przez pokrywanie strat wskutek stygnięcia w powietrzu. W zimnem powietrzu zużycie tlenu i ilość wyprodukowanego ciepła musiałyby być odpowiednio większe.

Jeśli człowiek pracuje normalnie, to ilość zużytego tlenu wzrasta do 700 litrów, a ilość potrzebnego pokarmu do 750 g; z ich utlenienia powstałoby 3500 k cal ciepła. Różnica między tą a poprzednią ilością ciepła stanowi równoważnik pracy fizycznej, wykonanej przez człowieka w ciągu doby.

Przy ciężkiej, wyczerpującej pracy ilość wdychanego tlenu wynosi już 6000—10 000 litrów; by nie wyczerpywać organizmu, człowiek musi spożywać dziennie 1300—2100 g.

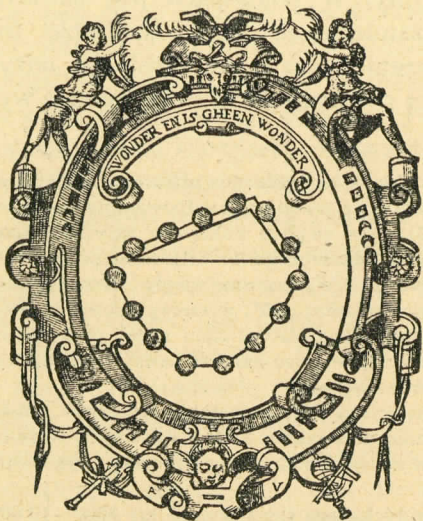
Pojęcie energii pozwoli nam lepiej wyrazić to, co się dzieje przy wysyłaniu i pochłanianiu promieniowania (ob. t. I ust. 48 i 49). Promieniowanie jest też niewątpliwie postacią energii. Powstaje ona z energii cieplnej, gdy ciało rozżarzone promieniuje; zamienia się zpowrotem na ciepło na skutek pochłaniania.

Moglibyśmy dalej snuć nasze dociekania; fizyka zna wiele jeszcze innych postaci energii, a wszystkie one przechodzą jedna w drugą w ilościach ściśle równoważnych. Każde zjawisko w przyrodzie możemy uważać za przechodzenie energii z jednych ciał na inne lub z jednej postaci w drugą; *ogólna ilość energii nie zmienia się przytem*. Nie jesteśmy w możności stworzyć nawet najmniejszej nowej ilości energii, ani też jej zniszczyć.

Nieemożność stwarzania pracy z niczego niezawsze była jasno rozumiana. Niezmiennie liczne były usiłowania stworzenia „perpetuum mobile”, t. j. takiej maszyny, któraby, raz puszczona w ruch, poruszała się wiecznie i jeszcze wykonywała jakąś pożyteczną pracę. Powstało mnóstwo projektów, modeli, nawet gotowych maszyn, ale żadna z nich nie spełniła zamierzonego celu. W rozumowanie projektodawców zawsze wkraśl się jakiś błąd, który stwarzał złudzenie, że można osiągnąć to, co — jak dziś wiemy — jest nieosiągalne. W końcu XVIII wieku Akademia Paryska powzięła uchwałę, by wszelkie takie projekty pozostawiać bez rozpatrzenia. Te liczne niepowodzenia miały jedną dobrą stronę: przekonały dobitnie ludzi, że energii tworzyć nie można.

Jaśniej patrzące umysły doszły do tego wniosku daleko wcześniej, zanim jeszcze dokładnie określono pojęcie pracy i stworzono pojęcie energii. Już w końcu XVI w.

Flamandczyk STEVIN oparł dowodzenie prawa równowagi na równi pochyłej na niemożliwości wiecznego ruchu. Z ryc. 99, która zdobiła kartę tytułową dzieła Stevina, wynika to niemal bezpośrednio. Łańcuch sam przez się nie może się poruszyć; dolna jego, związająca część nie wpływa na równowagę. Ciężary części, opartych na dwóch bokach trójkąta, są w takim stosunku jak długości tych boków. Czytelnik sam sprawdzi, czy jest to w zgodzie z prawidłem równi pochyłej, podanem w ust. 12.



Ryc. 99. Rysunek Stevina, wyjaśniający zasadę równi niemożliwości ruchu wiecznego. Holenderski napis znaczy: „Cud, a jednak nie cud“.

Włoch Galileusz i holender HUYGENS (czyt. Hojhens) w wieku XVII rozpatrywali prawa ruchu wahadeł; oparli się przytem na zasadzie niemożliwości podniesienia ciała ponad zajmowany poziom bez użycia pracy. Zasada ta nie była jeszcze wówczas naukowo ujęta, lecz instynktownie przeczuwana przez wielkich badaczy.

W połowie XIX w. znakomity niemiecki uczony HELMHOLTZ za naczelną, najogólniejszą zasadę fizyki uznał twierdzenie, że jest rzeczą niemożliwą wytwarzać pracę z niczego. Stanowisko Helmholtza podzielili wszyscy fizycy drugiej połowy XIX i początku XX wieku.

Pytania.

1. Jaką prędkość powinien mieć pocisk o masie 20 g, by jego energia kinetyczna była taka sama, jak pocisku o masie 500 g i o prędkości 120 m/sek.?

2. W t. zw. kolejce górskiej wózek spada własnym ciężarem po falistym torze. Wskazać punkty toru, w których prędkość ruchu byłaby jednakowa, gdyby wózek nie napotykał oporu.

3. Gdy fala bije o brzeg, bryzgi wody podnoszą się bardzo wysoko. Skąd biorą potrzebną do tego energję?

4. Kamień, uwiązany do spadochronu, spada z mniejszą prędkością, niż spadając swobodnie z tej samej wysokości. Gdzie podziwia się różnica energii?

5. Z jakiej wysokości powinien spaść kilogram wody, by ogrzać się o 1°?

6. O ile ogrzewa się woda, spadając z wysokości 50 m (wodospady Niagary)?

7. O ile ogrzałyby się rtęć w tych warunkach?

8. Utlenianie pokarmów w człowieku wytwarza 1800 k cal, gdy człowiek nie pracuje, a 3500 k cal na dobę podczas pracy. Jaką pracę człowiek wykonywa w tym czasie?

9. Skąd bierze się energia wiatru? Skąd bierze się energia wody w potokach i rzekach?

10. Skąd powstaje energia, zawarta w pokarmach roślinnych i zwierzęcych? Skąd wzięła się energia chemiczna węgla kamiennego?

Rozdział VII

O ŹRÓDLACH PRACY I SILNIKACH

Silniki wodne i powietrzne.

57. Źródła pracy na ziemi. Życie współczesne wymaga tak olbrzymich zasobów siły roboczej, o jakich naszym przodkom nawet się nie śniło. Cały dzisiejszy przemysł, cała komunikacja: lądowa, morska i powietrzna — to wielki moloch, do obsługiwanego którego nie wystarczyłyby dziś połączone siły mięśni wszystkich ludzi na świecie. Wszystko to musiałoby stanąć, gdyby poza ludźmi i zwierzętami nie było innych źródeł pracy.

Jakież to inne źródła?

Najbardziej rozpowszechnione w przemyśle i komunikacji źródło pracy to energia chemiczna paliwa różnego rodzaju, jak węgiel, ropy, benzyny i t. p. Bezценne te skarby, nagromadzone w ziemi od wielu tysięcy lat, eksploatujemy teraz na potrzeby techniki i gospodarstwa domowego. Zapasy te są bardzo duże; np. samego węgla kamiennego w kopalniach polskich mamy, według oceny geologów, ponad 60 miliardów tonn.

Lecz zapasy paliwa, choćby największe, zostaną kiedyś wyczerpane. O powstaniu zaś nowych w obecnych warunkach niema już mowy. Dlatego, choć ani nam, ani najbliższym po nas pokoleniom, niebezpieczeństwo to bezpośrednio nie grozi, przewidujący przyszłość technicy piętnują już dziś zbyt „rabunkową“ gospodarkę paliwem i zwracają uwagę na inne, niewyczerpane i bezpłatne, a tak mało dotychczas wyzyskane źródła pracy. Są niemi spiętrzona lub płynąca woda (czyli t. zw. „biały węgiel“, a więc wodospady, rzeki, przypiływy i odpływy mórz) oraz wiatr.

O ile chodzi o energję wody, to na tem polu technika zdobyła już dość duże sukcesy, znacznie większe, niż w dziedzinie energii wiatru. We wszystkich krajach, a także i w Polsce, istnieją zakłady przemysłowe, jak elektrownie, młyny, tartaki i t. p., które jako siły pędnej używają wody z wodospadów. Rzeki i wodospady mają tę zaletę, w porównaniu do kaprysów wiatru, że dostarczają siły pędnej naogół jednostajnie, t. j. w sposób ciągły i mniej więcej równomierny. Wadą ich natomiast jest to, że nie wszędzie są do dyspozycji, wskutek czego tylko niektóre połacie kraju mogą z nich korzystać.

Przykład: Jeśli z wodospadu o wysokości $h = 10$ m spada co sekundę po 75 Kg wody (czyli „natężenie” jego prądu wynosi $J = 75 \frac{\text{Kg}}{\text{sek}}$), to moc wodospadu obliczamy:

$$M = h \cdot J = 10 \cdot 75 = 750 \left(\frac{\text{Kgm}}{\text{sek}} \right) = 10(\text{HP.})$$

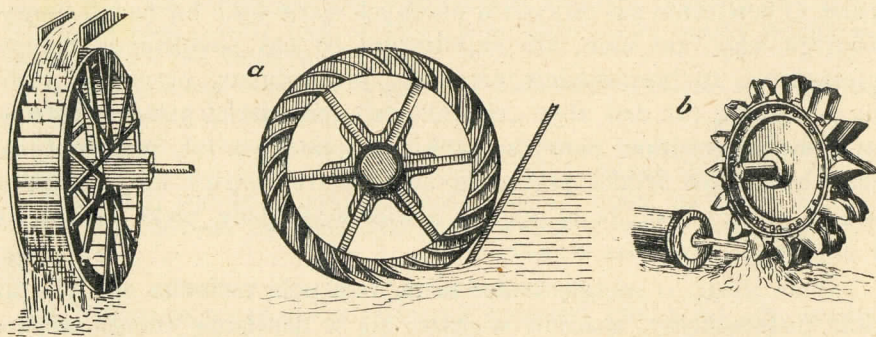
Praca, wykonana np. w ciągu godziny, wyniesie:

$$L = h \cdot J \cdot t = 10 \cdot 75 \cdot 3600 = 2\,700\,000 \text{ (Kgm.)}$$

Ogólna moc sił wodnych w Polsce oceniana jest na olbrzymią cyfrę, prawie 4 milionów koni mechanicznych, z czego wyzyskano dotychczas zaledwie 4⁰/. Jak duże są zasoby niewyzyskanej u nas energii „białego węgla”, wystarczy nadmienić, że ich moc jest większa od mocy silników, znajdujących się we wszystkich zakładach przemysłowych na ziemiach polskich.

Wiatr jest jedynym źródłem energii, dostępnym dla każdego, w każdym zakątku kraju. Coprawda ma on swoje kaprysy, bo niezawsze wieje z jednakową siłą, a czasem całkiem zawodzi, ale też używa się go jako siły pędnej tylko do takich celów, gdzie zarówno zmienność jego siły, jak i chwilowa cisza, mało przeszkadzają (np. pompowanie wody do zbiorników, mielenie zboża). Najkorzystniejsze wiatry do możliwie trwałego i równomiernego napędu silników panują w północno-zachodnich dzielnicach Polski.

58. Silniki wodne. Energję wody przetwarzamy na pracę zapomocą rozmaitego rodzaju kół wodnych, zaopatrzonych w odpowiednie

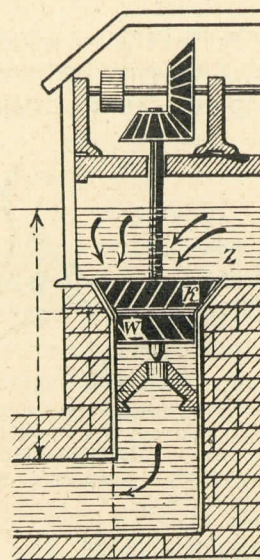


Ryc. 100. Koło wodne „nasiębierne”.

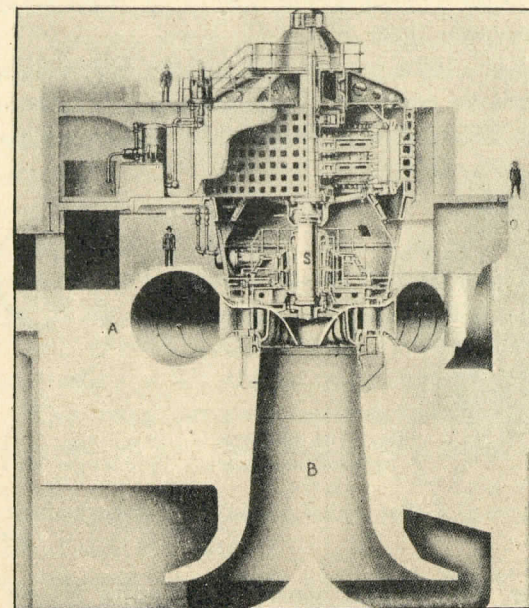
Ryc. 101. Koło wodne „podsiębierne”: a) starszy typ, b) t. zw. koło Peltona.

łopatki (ryc. 100 i 101). Ruch obrotowy tych kół przenosi się dalej za pomocą szeregu kół zębatych.

Znacznie korzystniejsze są turbiny wodne, stosowane powszechnie przy większych spiętrzeniach wody. Turbina wodna (ryc. 102 i 103) składa się z dwu poziomo ułożonych kół: nieruchomej kierownicy K



Ryc. 102. Schemat turbiny wodnej.



Ryc. 103. Wielka nowoczesna turbina wodna.

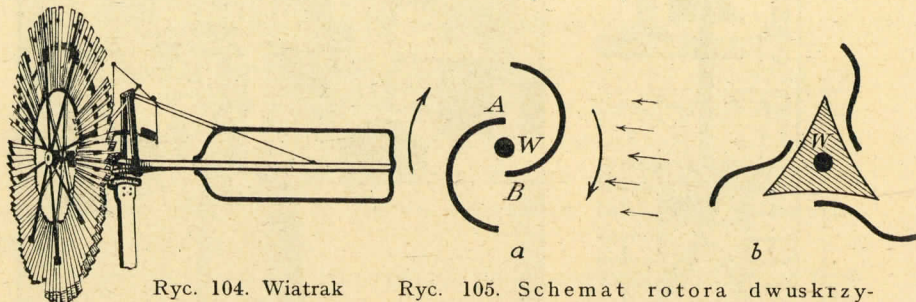
i ruchomego wirnika W. Woda, spadająca ze zbiornika Z, uderza prostopadle o łopatki wirnika i wprawia go w szybki ruch obrotowy. Ruch wirnika przenosi się dalej (do maszyn) za pośrednictwem pionowego wału i połączonych z nim stożkowych kół zębatych.

59. Silniki wietrzne. Przetwarzanie energii kinetycznej wiatru na pracę mechaniczną odbywa się zapomocą wiatraków, zwanych także silnikami wietrznymi. Dziś znamy rozmaite typy silników wietrznych. Najpospolitsze i najbardziej rozpowszechnione są wiatraki skrzydłowe, obracające się dookoła osi poziomej (jak śmigło samolotu); rzadziej spotykane są t. zw. rotory, wirujące dookoła osi pionowej.

Pierwszy typ, t. j. wiatrak skrzydłowy, wirujący dookoła osi poziomej, obraca się dzięki parciu, wywieranemu przez wiatr na pochylone nieco płaty skrzydłowe. Wiatrak taki musi być wyposażony w mechanizm sterujący, zapomocą którego płaszczyznę ze skrzydłami ustawia się każdorazowo przeciwko wiatrowi. W starych typach, spotykanych dość licznie także i w Polsce, mechanizm ten jest bardzo prymitywny; jest to poprostu drąg, zapomocą którego ustawia się, wzgl. przekręca ręcznie cały wiatrak tak, aby płaszczyzna skrzydeł była zwrócona przeciw wiatrowi. W nowszych typach mechanizm taki

(w postaci „ogona sterowego” na przeciwnym końcu osi) działa samoczynnie (ryc. 104).

Ryc. 105a przedstawia zasadę najprostszego rotora (widok z góry). Składa się on z pionowego wału *W* i ze sprzężonych z nim półcyndrycznych blach *A* i *B*. Silnik taki obraca się pod naporem wiatru dzięki



Ryc. 104. Wiatrak z ogonem samosterującym.

Ryc. 105. Schemat rotora dwuskrzydłowego (a) i trójskrzydłowego (b) – widok z góry. (Na ryc. opuszczono szczegóły konstrukcyjne, jak przęsła, łączące skrzydła z wałem głównym i t. p.)

temu, że wypukła strona półcyindra stawia wiatrowi mniejszy opór, niż strona wklęsła. Typ ten nie wymaga oczywiście żadnych mechanizmów sterujących, gdyż jest on od kierunku wiatru zupełnie niezależny.

Inny typ rotora przedstawia ryc. 105 b (widok z góry).

Dobrze zbudowany silnik wiatrowy może dać moc kilku, a nawet kilkunastu koni mechanicznych.

SILNIKI CIEPLNE

60. Rodzaje silników cieplnych. Maszyny, w których energia cieplna jest zamieniana na pracę użyteczną, nazywamy silnikami (motorami) cieplnymi. Ciałem roboczym jest w nich ciało gazowe (powietrze, para wodna, gazy spalinowe); ciało to, rozprężając się, wykonywa pracę i ochładza się jednocześnie.

Niektóre silniki cieplne pobierają gorący gaz z osobnych zbiorników, jak np. maszyny i turbiny parowe. Inne wytwarzają potrzebny gaz przez spalanie palnych gazów lub cieczy już w samej maszynie, w cylindrze roboczym; są to silniki spalinowe.

Silniki parowe.

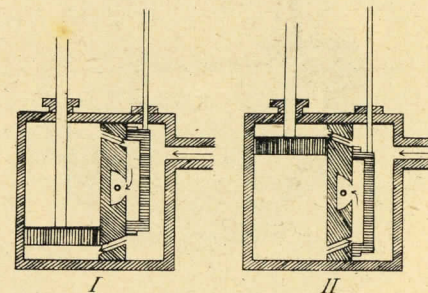
61. Kotły parowe służą do wytwarzania pary o wysokim ciśnieniu. W palenisku spalają się materiały palne: węgiel, drewno, ropa naftowa; gorące gazy uchodzą do komina, ogrzewają po drodze rury

napelnione wodą (ob. t. I ust. 58); w innym systemie gazy przechodzą t. zw. rurami płomiennymi przez zbiornik z wodą (ryc. 107). Woda w zetknięciu z gorącymi gazami paleniskowymi zostaje doprowadzona do wrzenia, a wytworzona para wypełnia zbiornik. By para była gorąca, wrzenie odbywa się pod zwiększonym ciśnieniem; w tym celu zbiornik jest zbudowany mocno i szczelnie, a do regulowania ciśnienia służy t. zw. zawór bezpieczeństwa (ob. t. I, ryc. 98). Umieszczony przy kotle manometr wskazuje ciśnienie pary.

Para w kotle jest nasycona, a przeprowadzona rurami do maszyny, skrapla się przy najmniejszym oziębieniu. By tego uniknąć, a jednocześnie lepiej wyzyskać ciepło gazów paleniskowych, parę przeprowadza się raz jeszcze przez te gazy w ich drodze do komina (w t. zw. przegrzewaczach). Dzięki temu para ogrzewa się jeszcze wyżej, jej prężność wzrasta, ale para przestaje być nasycona, a staje się parą przegrzaną.

Używane w technice ciśnienia pary wynoszą kilka lub kilkanaście atmosfer, a nawet dochodzą do 35 atmosfer.

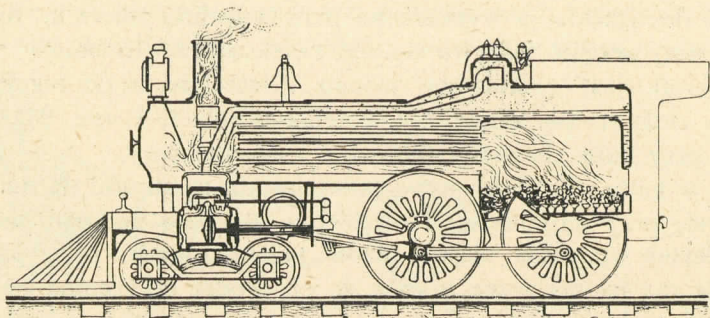
62. Maszyny parowe tłokowe. Zasadniczą częścią maszyny jest mocny stalowy cylinder o gładkich ścianach, t. zw. cylinder roboczy, w którym chodzi ściśle dopasowany tłok. U podstaw cylindra znajdują się otwory, przez które wchodzi para naprzemian raz z jednej, raz z drugiej strony tłoka. Wpuszczona do cylindra, rozpręża się i wypycha tłok z siłą, zależną od jej ciśnienia. Parcie pary na tłok przenosi się zapomocą korbowodu na wał maszyny i wprawia go w ruch obrotowy (ob. ryc. 107). Przy ruchu powrotnym tłok wypiera parę z cylindra albo wprost do atmosfery, albo, lepiej jeszcze, do chłodnicy, gdzie para w zetknięciu z zimną wodą skrapla się i obniża przez to ciśnienie przed tłokiem. Tłok porusza się dzięki różnicy ciśnień, jakie wywiera z jednej strony gorąca para z kotła, a z drugiej — para oziębiona i częściowo skroplona w chłodnicy.



Ryc. 106. Rozrząd pary w maszynie parowej zapomocą suwaka.

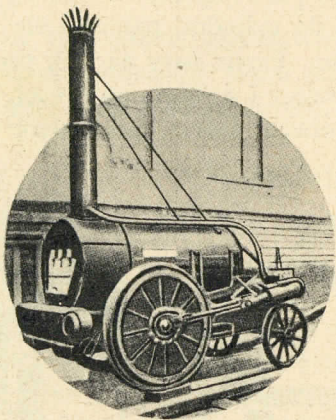
Z tego krótkiego opisu widać, jak ważne jest dla działania maszyny łączenie w odpowiednich chwilach cylindra roboczego z kotłem lub chłodnicą. W pierwotnych maszynach funkcję tę wykonywał człowiek, obsługujący maszynę; obecnie dokonywa się tego automatycznie przez t. zw. „rozrząd pary”.

Najdawniejszym sposobem rozrządu jest t. zw. suwak (ryc. 106), wynaleziony w r. 1768 przez angielskiego mechanika Jamesa WATT'a, (czyt. Uat). Suwak łączy się z wałem maszyny zapomocą korbki lub

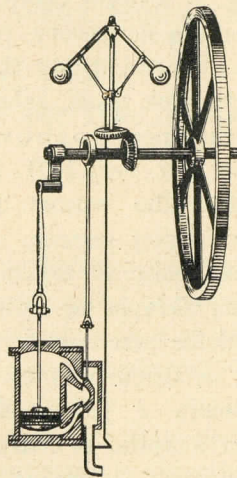


Ryc. 107. Przekrój podłużny lokomotywy.

mimośrod, wskutek czego wykonywa pełny ruch tam i napowrót podczas jednego obrotu wału. W położeniu I para ze zbiornika dostaje się przez kanały wlotowe do cylindra pod tłok i wywołuje jego ruch do góry; jednocześnie para z nad tłoka uchodzi przez komorę wylotową do chłodnicy; w położeniu II przepływ pary i ruch tłoka odbywają się



Ryc. 108. Jedna z pierwszych lokomotyw parowych, zbudowana przez J. Stephensona w Anglii na początku XIX stulecia.



Ryc. 109. Regulator odśrodkowy Watt'a.

w kierunku przeciwnym. Przez odpowiednie ustawienie mimośrod na wale osiąga się to, że para dostaje się pod tłok w chwili, gdy ten minął swoje najniższe położenie i rozpoczyna ruch ku górze, a nad tłok — gdy rozpoczyna się ruch ku dołowi. W nowszych maszynach rozrząd

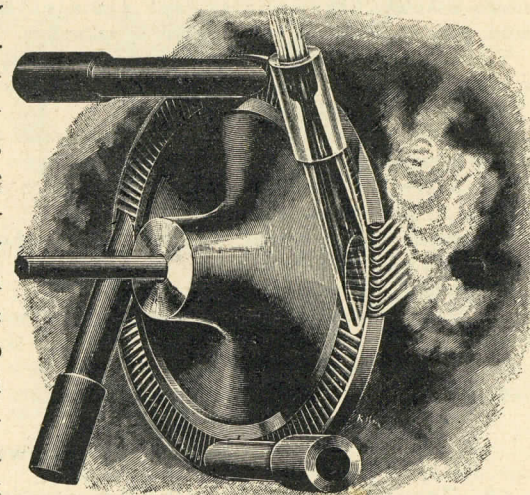
uskutecznia się zapomocą zaworów, również automatycznie odmykanych i przymykanych przez połączenie z wałem.

Suwaki pozostały w użyciu w lokomotywach, a to dzięki łatwości, z jaką można przy ich zastosowaniu zmieniać kierunek biegu maszyny. Ryc. 107 wskazuje urządzenie lokomotywy. Na rycinach 108 i 63 widzimy zestawienie pierwszej lokomotywy, zbudowanej w Anglii w r. 1819 przez Jerzego Stephensona, oraz współczesnych lokomotyw pociągów pośpiesznych.

Dla regulowania prędkości biegu maszyny Watt zastosował t. zw. regulator odśrodkowy (ryc. 109). Przy zbyt prędkim ruchu kule regulatora unoszą się, a połączone z nimi układ powoduje przymknięcie zaworu, dopuszczającego parę do maszyny; przy biegu za powolnym kule opadają i szerzej otwierają zawór. Dzięki temu urządzeniu prędkość maszyny waha się nieznacznie nawet przy dużych zmianach w obciążeniu maszyny. Drugim urządzeniem, zapewniającym równomierny bieg maszyny parowej, jest koło zamachowe, t. j. koło o wielkiej masie, osadzone na wale silnika (ob. ryc. 95).

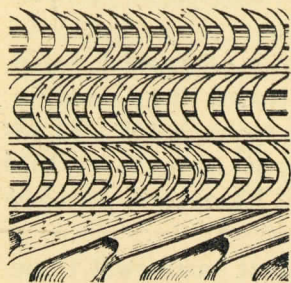
63. Turbiny parowe. Niektórych niedogodności maszyn tłokowych, przede wszystkim wstrząśnięć przy zamianie ruchu postępowego na obrotowy, unika się w turbinach parowych. Turbiny takie działają na zasadzie podobnej jak turbiny wodne.

W turbinie, skonstruowanej przez LAVAL'a (ryc. 110), silny prąd pary, przepływającej przez rozszerzające się tuleje, trafia w koło, zaopatrzone w dużą liczbę odpowiednio wygiętych łopatek; te tworzą pomiędzy sobą szereg zakrzywionych kanałów. Para, uderzając o łopatki, wprawia koło w ruch, a sama uchodzi przeciwną stroną z prędkością zmniejszoną. Praca turbiny powstaje na koszt energii kinetycznej pary, wytryskającej z tulejek.



Ryc. 110. Turbina parowa Laval'a.

Aby energia pary była dobrze wyzyskana, prędkość pary uchodzącej powinna być możliwie mała. Dla osiągnięcia tego amerykański inżynier CURTIS (czyt. Kartis) zbudował turbinę, złożoną z szeregu



Ryc. 111. Fragment turbiny parowej Curtis'a; K = łopatki koła nieruchomego, WW = łopatki koła wirujących.

kół, o coraz to większych średnicach, osadzonych na wspólnym wale; pomiędzy te koła ruchome (nieparzyste) są wstawione koła nieruchome (parzyste). Przy przejściu z koła ruchomego do nieruchomego i odwrotnie para zmienia kierunek ruchu i rozpręża się stopniowo; dzięki temu popycha wszystkie łopatki kół ruchomych w tym samym kierunku (ryc. 111).

Turbiny parowe należą do maszyn szybkoobrotowych; są więc używane głównie tam, gdzie duże liczby obrotów są pożądane, np. przy poruszaniu prądnic elektrycznych.

64. Sprawność silników cieplnych. Ciepło, wytworzone w palenisku kotła parowego, tylko częściowo zostaje obrócone w pracę. Stosunek pracy wykonanej do tej, którąbyśmy otrzymali, gdyby całe ciepło spalania zostało zamienione w pracę, nazywamy sprawnością silnika.

W maszynach tłokowych sprawność jest mała: wynosi ona od 8 do kilkunastu procent, a w najlepszych wypadkach ponad 20%. Przyczyny, wywołujące tak nieekonomiczne zużytkowanie ciepła, są dwóch rodzajów: jedno są związane z samą istotą przemiany ciepła na pracę, drugie — z niedoskonałością urządzeń. Rozpatrzmy najpierw tę drugą grupę przyczyn.

a) Straty ciepła, których doznają: kocioł, przewody pary oraz ściany cylindra roboczego wskutek przewodnictwa i promieniowania. Dużo ciepła unoszą też z sobą gazy paleniskowe przez komin w atmosferę.

b) Straty spowodowane tem, że para, wpuszczona do chłodnicy, ma prężność wyższą, niż tam panująca, przez co marnuje się część zdolności wykonania pracy przez parę.

c) Straty spowodowane tarciem.

Wszystkie te straty są wynikiem niedokładności urządzeń maszyny. Obniżają one znacznie sprawność maszyny, a wysiłki konstruktorów i teoretyków dążą do ich zmniejszenia; rzeczywiście podniosły one w ciągu ostatnich dziesiętności lat sprawność maszyn od kilku do 20%, a nawet więcej.

Ale istnieje jeszcze jedna przyczyna natury zasadniczej, ograniczająca sprawność maszyn: jest nią oddawanie ciepła chłodnicy (wzgl. atmosferze). W r. 1824 młody, genialny francuski oficer Sadi CARNOT (czyt. Karno), na podstawie teoretycznych rozważań doszedł do twierdzenia, że gdyby nawet udało się usunąć wymienione poprzednio straty, to i tak część ciepła, pobranego z kotła, musi być dla nas straconą, gdyż musi być oddana chłodnicy. Część ta jest tem mniejsza, im wyższa jest temperatura pary w kotle i im niższa jest temperatura w chłodnicy.

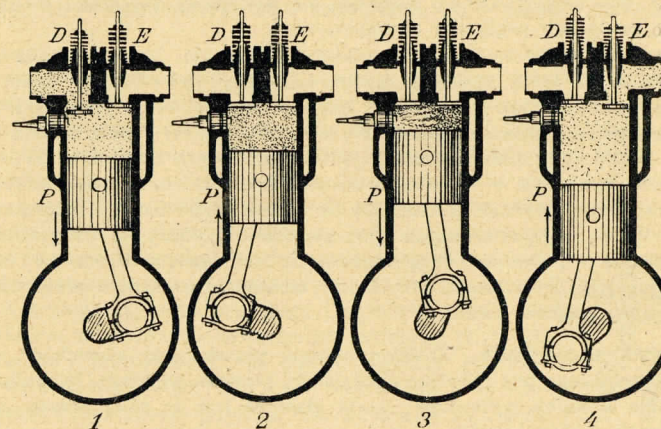
Silniki spalinowe.

65. Zasada działania silników spalinowych. W silnikach tego typu paliwo zostaje spalane w cylindrze roboczym, a gazy spalinowe są jednocześnie gazami roboczymi. Pozwala to zaoszczędzić wiele ciepła, rozpraszającego się bezużytecznie w silnikach, poruszanych parą z kotła; wysoka temperatura gazów spalinowych podnosi jednocześnie teoretyczną sprawność silnika.

Jako paliwo służą t. zw. mieszanki. Otrzymuje się je, mieszając albo palny gaz (gaz świetlny, tlenek węgla), albo rozpyloną ciecz (benzynę, benzol, spirytus, ropę naftową) z taką ilością powietrza, która zapewnia zupełne spalanie produktu palnego. Mieszanka zostaje wprowadzona do cylindra roboczego i w nim sprężona, poczem następuje zapłon, który powoduje momentalne spalanie, połączone z wydzieleniem dużej ilości gazów spalinowych o wysokiej temperaturze i wielkim ciśnieniu — czyli wybuch. Ciśnienie wprawia w ruch tłok, a ten przekazuje otrzymaną pracę na wał maszyny zapomocą takiego samego mechanizmu, jak przy maszynie parowej.

Najczęściej używanym paliwem dla silników spalinowych jest benzyna. W t. zw. silnikach Diesla, używanych szeroko w wielkim przemyśle, za paliwo służy zwykle ropa naftowa; zapłon następuje samoczynnie pod wpływem nagrzania, spowodowanego sprężeniem powietrza, nie zachodzi więc potrzeba używania iskry elektrycznej, niezbędnej przy silnikach benzynowych.

66. Silniki benzynowe. Ryc. 112 przedstawia przekrój cylindra roboczego nowoczesnego silnika benzynowego. Działanie takiego silnika jest rozłożone na cztery stadja czyli takty — stąd nazwa: silnik czterotaktowy.



Ryc. 112. Silnik spalinowy 4-taktowy. 1 — ssanie mieszanki, 2 — sprężanie, 3 — zapłon, 4 — wydech.

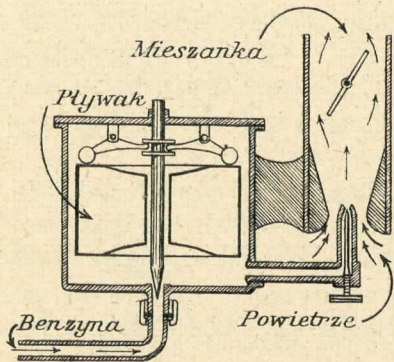
1) Tłok *P* posuwa się ku dołowi; przez otwarty zawór wlotowy *D* zostaje wssana mieszanka; zawór wydechowy *E* pozostaje zamknięty.

2) Oba zawory są zamknięte; tłok idzie w górę i spręża mieszankę.

3) W chwili najwyższego wzniesienia tłoka następuje zapłon, wywołany przez iskry elektryczną, przeskakującą w przerwie pomiędzy drucikami t. zw. świecy (na ryc. z lewej strony u góry). Mieszanka spala się, a wybuch jej spycha tłok w dół.

4) Zawór wydechowy *E* zostaje otwarty, tłok idzie do góry i usuwa gazy spalinowe przez zawór.

Cały cykl obejmuje dwa wzniesienia i dwa opuszczenia tłoka, czyli dwa obroty korby silnika; w tym czasie każdy z zaworów zostaje otworzony tylko raz jeden. Aby to osiągnąć, wał, który kieruje rozrządem, musi wykonywać jeden obrót na dwa obroty wału silnika; w tym celu oba wały są sprzężone z sobą zapomocą kół zębatach o stosunku liczby zębów jak 1 : 2. Na wale rozrządu są umieszczone garby, które w odpowiedniej chwili naciskają to jeden to drugi zawór i trzymają je otwarte przez czas wlotu względnie wylotu, poczem sprężyny zaworów zamykają je samoczynnie.



Ryc. 113. Karburator silnika spalinowego.

Mieszanka jest wytwarzana w karburatorze (ryc. 113): prąd powietrza porywa benzynę z otworu rurki, łączącej się ze zbiornikiem i rozpyla ją, poczem gotowa już mieszanka przez zawór dostaje się do cylindra roboczego.

Przy motocyklach i łodziach motorowych są w użyciu silniki dwutaktowe, gdzie wybuch mieszanki następuje nie co 4-ty, lecz co drugi suw tłoka. Szczegóły budowy i działania takiego silnika znajdzie czytelnik w literaturze specjalnej.

Aby mieszanka mogła przebyć wszystkie fazy: napełniania cylindra, sprężania, wybuchu i wydechu, silnik musi być już w ruchu. Silnik spalinowy nie może więc ruszyć samoczynnie; wymaga on mechanizmu, któryby go wprowadził w ruch na samym początku. Takie

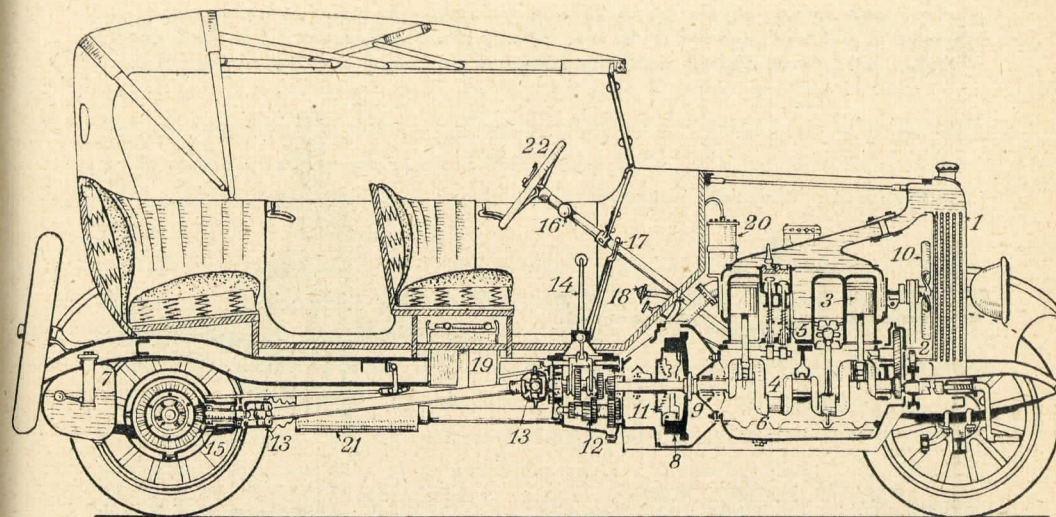
mechanizmy, t. zw. rozruszniki, poruszają się najczęściej zapomocą małego silnika elektrycznego, zasilanego prądem z akumulatora.

Silniki spalinowe, szczególnie czterotaktowe, pracują bardzo nierównomiernie, gdyż tylko raz na 2 obroty następuje zasilenie energią wybuchającą mieszanki; pozostałe „takty” nietylko nie dostarczają, lecz jeszcze pobierają pracę, potrzebną na zassanie, sprężenie i usunięcie gazów. W celu usunięcia tej niedogodności, silnik buduje się jako zespół kilku albo kilkunastu cylindrów, których tłoki obracają jeden i ten sam wał. Zapłon występuje w cylindrach nie jednocześnie, lecz kolejno, wskutek czego zawsze jeden lub więcej cylindrów znajduje się w fazie wybuchania i rozprężania, a dopływ pracy odbywa się wystarczająco równomiernie. Cylindry są umieszczone nieruchomo i poruszają wspólny wał. Przy samolotach jest czasem stosowane także inne urządzenie: wał jest nieruchomy, a cylindry, ułożone w gwiazdę i połączone ze śmigłem, obracają się naokoło niego.

67. Budowa samochodu. Źródłem energii, poruszającej samochód, jest silnik spalinowy. Cylinder jego jest chłodzony zapomocą płaszcza wodnego, by uniknąć zbyt- niego rozgrzania wskutek wybuchów; woda płaszcza jest ze swej strony chłodzona prądem powietrza podczas jazdy.

Prędkość ruchu silnika benzynowego może ulegać tylko niezbyt wielkim zmianom, a jazda samochodem wymaga zmian prędkości wozu w szerokich granicach; silnik musi odrazu osiągnąć normalną liczbę obrotów (zapomocą rozrusznika), a duża masa wozu wymaga przy ruszaniu stopniowego zwiększania prędkości. Te niedogodności silnika spalinowego zmusiły konstruktorów do zastosowania szeregu dodatkowych urządzeń, przenoszących napęd silnika na tylne koła wozu. Przyjrzyjmy się kolejno tym urządzeniom (ryc. 114).

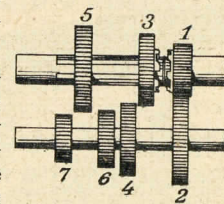
Sprzęgło służy do stopniowego włączania silnika do mechanizmu, poruszającego koła. Składa się ono z koła zamachowego, osadzonego na wale silnika i zaopatrzonego w stożkowe wgłębienie. Wał sprzęgła jest zakończony stożkiem, który dokładnie pasuje do tego wgłębienia; silna sprężyna wciska mocno stożek we wgłębienie. Gdy sa-



Ryc. 114. Przekrój samochodu: 1 — chłodnica, 2 — przekładnia, przenosząca ruch na wał rozrządu, 3 — tłoki, 4 — wał, 5 — rozrząd, 6 — zbiornik oliwy, 7 — zbiornik benzyny, 8 — koło zamachowe sprzęgła, 9 — łożysko, 10 — wentylator, 11 — sprzęgło, 12 — przekładnia, 13 — przegub Cardana, 14 — rękojeść przekładni, 15 — dyferencjał, 16 — wyłącznik prądu, 17 — rękojeść do ruchu wstecznego, 18 — pedał do rozłączania sprzęgła, 19 — akumulatory, 20 — karburator, 21 — osłona, 22 — kierownica.

mochód ma ruszać, obie tarcze sprzęgła zostają odsunięte od siebie zapomocą pedału, a oswobodzony silnik może być puszczone w ruch i doprowadzony do normalnych obrotów. Wówczas, przez powolne zwalnianie pedału osiąga się coraz silniejsze przywarcie do siebie obu tarcz; tarcie pomiędzy nimi wprawia stopniowo w obrót wał sprzęgła.

Przekładnia służy do przenoszenia ruchu z wału sprzęgłowego na wał prowadzący. Te dwa wały nie łączą się z sobą, lecz są zwrócone do siebie końcami, jak wskazuje ryc. 115. Ruch przenosi się zapomocą trzeciego wału, pędzącego, równoległego do poprzednich. Wał sprzęgłowy jest zakończony trybem atakującym (1), który stale ząbienia się z trybem (2) wału pędzącego i wprawia go w ruch wraz z układem nasadzonych na niego kół zębatach (4, 6, 7). Wskutek różnicy promieni kół, wał pędzący obraca się wolniej od wału sprzęgłowego. Na wale prowadzącym są osadzone jeszcze 2 koła zębata (3, 5), t. zw. przesuwki, które zapomocą rękojeści mogą być przez kierowcę przesuwane wzdłuż wału (mającego w tym miejscu przekrój czworokątny).

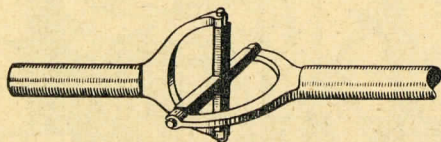


Ryc. 115. Przekładnia w samochodzie (czyli t. zw. skrzynka biegów).

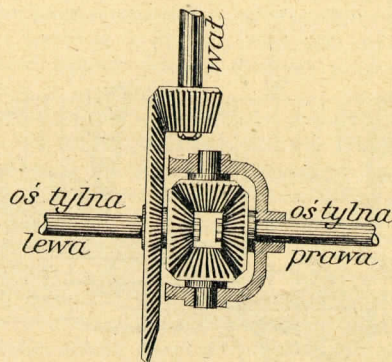
Zależnie od położenia przesuwki ruch przenosi się z wału pędzącego na prowadzący z różną prędkością. W położeniu, jak na rycinie, wał pędzący obraca się swobodnie — silnik jest wyłączony i ma bieg jałowy. Przy innym położeniu przesuwki ząbienia się o siebie koła 3 i 4 i t. d. Przekładnia więc umożliwia zmianę prędkości wału prowadzącego w szerokich granicach, przy tym samym biegu silnika i sprzęgła.

Od przekładni ruch przenosi się do tylnych kół zapomocą wału prowadzącego, zaopatrzonego na obu końcach w t. zw. przegub uniwersalny Cardan'a, umożliwiający zmianę położenia dwóch łączonych wałów we wszelkich możliwych kierunkach (ryc. 116). Przy zakrętach koła zewnętrzne wozu zataczają łuk większy, niż wewnętrzne;

powinny więc obracać się z różną prędkością, by uniknąć suwania się kół po torze i połączonego z tem wielkiego tarcia. W tym celu oś tylną przepoławia się na dwie półosie i sprzęga się je z wirującym wałem zapomocą t. zw. dyferencjału (ryc. 117).



Ryc. 116. Przegub Cardan'a.



Ryc. 117. Dyferencjał w podwoziu samochodu.

68. Silniki w komunikacji wodnej i powietrznej. Nowoczesne statki i samoloty są napędzane przez silniki cieplne. Do poruszania statków stosuje się silniki parowe (są to statki z napisem „SS”) i spalinowe (z napisem „MS”) ¹; do samolotów tylko spalinowe, ponieważ te, w porównaniu z parowymi tej samej mocy, są znacznie lżejsze.

Statek unosi się na wodzie na innej zasadzie fizycznej, niż samolot w powietrzu. W pierwszym wypadku mamy do czynienia ze zjawiskiem pływania ciała lżejszego w środowisku cięższym (według prawa Archimedes'a), w drugim z czemś wręcz odmiennem, bo z unoszeniem się ciała ciężkiego w środowisku od niego lżejszym. Na czym polega utrzymywanie się samolotu w górze w rzadszym od niego powietrzu, zajmiemy się w następnym ustępie. Tu rozważymy sposoby poruszania się ciał w wodzie lub w powietrzu.

Jeśli części jakiegoś ciała poruszają się w ośrodku, np. w wodzie, to napierają na nią z pewną siłą i — w myśl prawa działania i przeciwdziałania — doznają same równej, lecz odwrotnie działającej siły ze strony wody. Ta siła może być zużytkowana do poruszania ciała; mówimy pospolicie, że ciało odpycha się od wody. Tak więc ryba, poruszając pletwą, odpycha się od wody i wprawia się w ruch. To samo czyni pływający człowiek: odpycha się od wody ruchami rąk i nóg; wiosłarz wykonywa to zapomocą wiosła.

Zarówno ryba, jak i człowiek-pływak, wyzyskuje umiejętnie zależność oporu wody od prędkości ruchu i od wielkości powierzchni na-

¹ Skrót z ang. Steam Ship i Motor Ship.

poru. Koła, a jeszcze lepiej śruby okrętowe, służą do odpychania statku i poruszania go po wodzie. Te same śruby, wprawione w ruch w powietrzu, nie wystarczyłyby do poruszenia nawet lekkiego wozu, ponieważ powietrze jest ośrodkiem rzadszym. Powietrze stawia opór mały, ale nawzajem dostarcza też małej tylko siły poruszającej. Chcąc ją praktycznie wyzyskać, musimy zwiększyć zarówno powierzchnię naporu, jak i prędkość ruchu.

We wszystkich tych i podobnych przykładach warunkiem poruszania się całego ciała jest ruch jego części (pletwy, wiosła, ręki, śruby, śmigła) względem całości. Na wykonanie tego ruchu wbrew oporom musi być zużyta pewna praca, którą wykonywa bądź organizm (ludzki lub zwierzęcy), bądź odpowiedni silnik (parowy lub spalinowy).

69. Samolot. Każdy samolot składa się z pięciu zasadniczych elementów składowych: 1) z kadłuba wraz z podwoziem, 2) zespołu silników, 3) śmigła, 4) skrzydeł, czyli płatów nośnych i 5) mechanizmu do sterowania samolotem i utrzymywania go w równowadze podczas lotu.

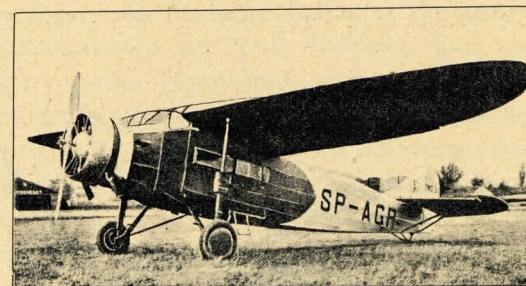
Kadłub jest jakby kośćcem, do którego przymocowuje się wszystkie niezbędne części samolotu. Ma on zwykle postać wydłużonego cygara (ob. ryc. 61), w którego wnętrzu są również kabiny dla pilota i pasażerów. Wykonany jest zwykle z lekkiego metalu,

Podwozie jest to rodzaj trójnogu (na przodzie 2 koła, z tyłu podpórka, t. zw. płoza), na którym spoczywa kadłub samolotu. Jest ono niezbędne w chwili wznoszenia się samolotu z ziemi w powietrze (startowania) i powrotnego lądowania na ziemię; podczas lotu stanowi ono dla samolotu niepotrzebny balast.

Siły popędowej dostarcza zespół silników, wmontowanych zwykle na przodzie kadłuba (ryc. 118).

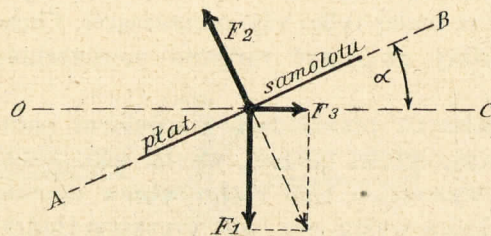
Na wystającym nawięcej i wirującym bardzo szybko wale silnikowym osadzone jest śmigło samolotu. Dzięki odpowiedniej krzywiźnie wkręca się ono w powietrze, ciągnąc za sobą cały samolot naprzód.

Aby samolot nie runął na ziemię, służą do tego nachylone odpowiednio skrzydła, czyli t. zw. płaty nośne. Rycina 119 wyjaśnia dostatecznie, jaka jest rola płatów samolotu. Oto porównyując tę rycinę z ry-



Ryc. 118. Samolot „PWS” (Podlaska Wytwórnia Samolotów).

ciną 39, wyjaśniającą zasadę unoszenia się latawca, widzimy, że zachodzi między nimi pewne podobieństwo. Tam działały na płat latawca trzy równoważące się siły: ciężar płata, parcie wiatru i napięcie sznura. Tu mamy analogiczne trzy równoważące się siły: F_1 — ciężar samolotu, F_2 — parcie prądu powietrza na płaty i F_3 — reakcja tych mas powietrza, które są odrzucane przez śmigło w tył (podobnie jak reakcja wody odrzucanej w tył zapomocą wiosła lub śruby).



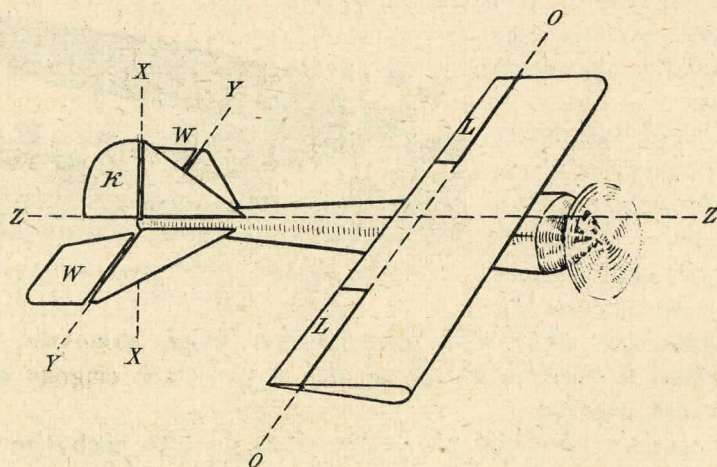
Ryc. 119. Zasada wznoszenia się samolotu w powietrzu.

Kąt α , zawarty między płaszczyzną AB i kierunkiem lotu OC , nazywa się kątem natarcia. Zazwyczaj skrzydła nie są płaszczyznami; ich profile, czyli przekroje poprzeczne, mają kształt wskazany na rycinie 120.

Do kierowania samolotem w przestworzach i do utrzymania go w równowadze służą stery i lotki, wskazane na rycinie 121. Ster kierunkowy K działa tak samo, jak ster na łodzi lub statku. Jak widać na rycinie, może on obracać się dookoła osi pionowej XX . Gdy pilot skręci go nieco np. w prawo, zwiększa się z tej strony napór powietrza; wsku-

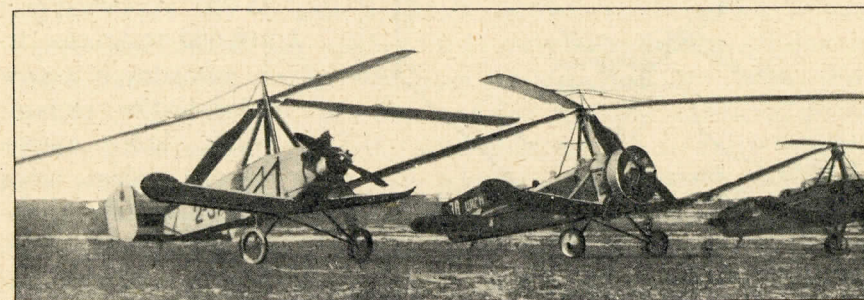


Ryc. 120. Profil skrzydła samolotu.



Ryc. 121. Schemat sterów w samolocie: K — ster kierunkowy, WW — ster wysokościowy, LL — lotki.

tek tego tylna część samolotu cofa się w lewo, a więc przód zbacza na prawo. Ster wysokości składa się z dwu poziomych płatów WW , obracalnych dookoła osi YY . Działanie ich jest podobne, jak steru K . Gdy płaty zostaną podniesione np. do góry, tył samolotu pochyla się pod zwiększonym naporem powietrza na dół, a jego przód do góry. Wreszcie t. zw. lotki LL , t. j. dwa małe płaty, umieszczone na końcach skrzydeł i obracalne dookoła osi OO , służą do utrzymania równowagi aparatu w czasie lotu. Są one tak zmontowane, że gdy jedna z nich podnosi się w górę, druga pochyla się jednocześnie na dół; wskutek tego cały samolot może wykonywać obrót dookoła osi ZZ . Wszystkie poruszenia sterami wykonywa lotnik za pośrednictwem mocnych linek me-



Ryc. 122. Wirowce. Duże śmigło, obracające się dookoła osi pionowej, umożliwia startowanie i lądowanie prawie pionowo.

talowych, którymi sprzęgnięte są stery z dźwigniami, znajdującymi się w kabinie pilota.

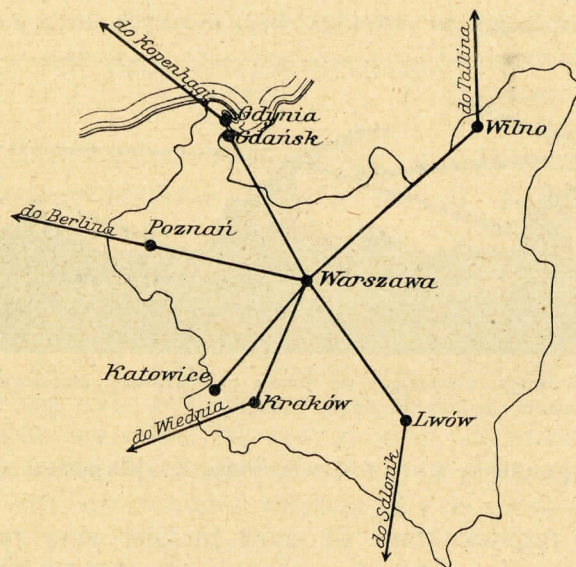
W ostatnich latach rozpowszechnia się coraz bardziej nowy typ samolotu, t. zw. wirowiec (ryc. 122), wyposażony oprócz śmigła zwykłego, także w system śmigł poziomych; umożliwiają one wznoszenie się i lądowanie samolotu prawie w kierunku pionowym oraz utrzymywanie się samolotu w powietrzu w jednym i tym samym miejscu.

70. Komunikacja samochodowa i lotnicza w Polsce. W Polsce mieliśmy w r. 1935 ogółem zaledwie 25 000 samochodów (osobowych około 20 tys. i ciężarowych 5 tys.). Jest to liczba, w porównaniu z innymi państwami, bardzo mała. Stoimy pod tym względem na szarym końcu w szeregu państw europejskich. Gdy bowiem u nas na 1000 mieszkańców wypada zaledwie 0,8 samochodu, to na taką samą liczbę głów wypada w Niemczech — 13, a Anglii — 37, we Francji — 45, a w Stanach Zjednoczonych aż 200 samochodów.

Bezwzględne i intensywne zmotoryzowanie Polski jest palącą koniecznością zarówno ze względów gospodarczych, jak i obronności państwa. Samochód bowiem zbliża wytwórcę towaru do konsumenta,

ułatwia szybką wymianę dóbr, ożywia handel, a nadto daje zatrudnienie rzeszom pracowników, fabrykujących samochody i obsługujących sieć dróg samochodowych.

W czasie zaś wojennym, jak wykazała to zresztą wojna światowa, dostateczna liczba samochodów w kraju umożliwia dowództwu armji szybkie przerzucanie oddziałów wojska z jednego odcinka frontu na inny, bardziej zagrożony. Pod tym względem Polska, wtłoczona między dwie zmotoryzowane potęgi militarne, znajduje się na razie w sytuacji upośledzonej: w Niemczech przybyło w r. 1934 150 000 samo-



Ryc. 123. Polskie linie lotnicze „Lot” w r. 1936.

względami nie tylko dorównujemy innym, ale nawet przodujemy. Tak np. na polskich liniach lotniczych „Lot” (ryc. 123), punktualność odlotów i przylotów oraz regularność lotów we wszystkich porach roku jest cenioną powszechnie zaletą naszego lotnictwa cywilnego. A nasze lotnictwo wojskowe zarówno jakością sprzętu, jak i wyszkoleniem lotników, stoi również na wysokości zadania. Tylko liczebnie nie dorównujemy innym potęgom lotniczym. Samoloty nasze produkujemy przeważnie sami w kilku wytwórniach krajowych.

Pytania.

1. Wyjaśnij działanie wiosła, śruby okrętowej i steru.
2. Jaki związek posiadają kształty tułowi ryb i ptaków ze środowiskiem, w którym bytują? Jaka jest rola ich pletw, skrzydeł, ogonów?

3. Jakie następstwa pociąga za sobą zmniejszanie się szybkości samolotu?

4. Co dzieje się z samolotem lecącym pod wiatr, gdy natrafi na warstwę powietrza, gdzie kierunek wiatru nagle zmienia się na odwrotny? Dlaczego lotnicy nazywają ten warunek dziurą w powietrzu?

Rozdział VIII.

O DRGANIACH I FALACH

71. Zjawiska, polegające na ruchach drgających. Przedmiotem nauki fizyki jest badanie wszelkich zjawisk, zachodzących w otaczającym nas świecie. Jak wiemy, wśród owych zjawisk niepoślednie miejsce zajmują ruchy ciał. Poznaliśmy już kilka rodzajów ruchu: jednostajny bieg pociągu, przyspieszone spadanie kamienia, prostoliniowe posuwanie się statku po wodzie, paraboliczny lot pocisku i t. p. — to przykłady ruchów, jakimi zajmowaliśmy się dotychczas. Obecnie zajmiemy się zjawiskami, w których poznamy nowy rodzaj ruchu.

Potrąćmy mocno strunę skrzypcową, a gdy zacznie wydawać ton, dotknijmy jej lekko palcem; pocujemy wyraźnie, że struna drży. Drży tak długo, jak długo wydaje ton; gdy przestanie drgać, ton milknie.

Drżą również szyby okienne, gdy w pobliżu uderzy grzmot, huknie strzał lub zagra dziarsko orkiestra. Drga także membrana gramofonu, słuchawki telefonicznej i głośnika radiowego wtedy, gdy aparaty te wydają dźwięki. Widocznie między drganiem ciał i wrażeniem głosu, jakiego podczas tych drgań doznajemy, zachodzi jakiś związek.

Ale co więcej! Dźwięki, jakie codziennie słyszymy, różnią się między sobą rozmaitymi cechami. A skala tych różnic jest bardzo bogata. Wszakże inny jest głos ojca a inny matki, inaczej brzmi ton, wydobyty z fortepianu, a inaczej z trąbki, raz ton jest głośny, drugi raz cichy, czasem wysoki (cienki) a czasem niski (gruby) i t. d. A przecież całą tę przebogatą mozaikę dźwięków potrafi odtworzyć jedna i ta sama membrana gramofonu lub głośnika radiowego. Czy drga ona za każdym razem w jednakowy sposób? Jakież to różnice w drganiach wywołują owe różnice dźwięków? Aby na to pytanie odpowiedzieć, trzeba poznać własności ruchów drgających, trzeba zbadać, jaki zachodzi związek między temi ruchami i powstającymi stąd dźwiękami.

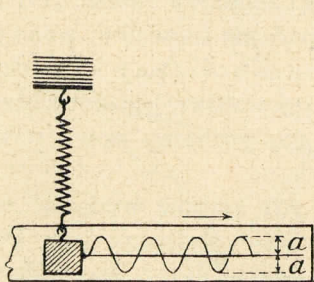
72. Ruch drgający. Obserwując ruch wahadła, widzimy, jak odchyla się ono periodycznie od położenia równowagi, przebiegając naprzemian w jedną i w drugą stronę wciąż po tym samym torze.

Takie same ruchy wykonywa ciężarek, zawieszony na sprężynie, skoro pociągniemy go nieco w dół i puścimy z ręki (ryc. 96).

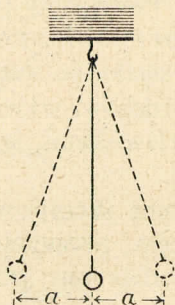
Tego rodzaju ruchy, jak wahanie wahadła, drganie ciężarka i t. p. nazywamy ruchami okresowymi. *Okresem* takiego ruchu jest czas, w jakim ciało odbywa podwójne czyli pełne wachnienie, wzgl. drgnienie: tam i napowrót. Największe odchylenie ciała od jego położenia równowagi nazywamy *amplitudą*. Liczbę, która podaje, ile pełnych drgnień (wahnień) wykonywa ciało w jednostce czasu, nazywamy *częstotliwością* albo *częstotliwością* drgań.

Zbadamy teraz niektóre własności ruchów drgających.

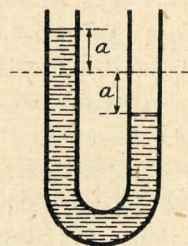
Ćwiczenie 26. Zawieszamy na sprężynce ciężarek, jak na ryc. 124, i pociągawszy go cokolwiek w dół, puszczamy z palców. Liczymy z zegarkiem w rękę, ile drgań (pełnych) wykonywa on w ciągu $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ minuty.



Ryc. 124. Drgania sprężyste; a = amplituda drgań.



Ryc. 125. Ruch wahadłowy; a = amplituda wahań.



Ryc. 126. Drgania słupa cieczy; a = amplituda drgań.

Następnie pociągamy ciężarek nieco więcej, niż przedtem (zmieniając amplitudę drgań), i sprawdzamy z zegarkiem w rękę, czy częstość drgań przestaje się zmieniać.

Powtarzamy doświadczenie przy innych jeszcze amplitudach.

Ćwiczenie 27. Potrącamy lekko kuleczkę, zawieszoną na nitce (ryc. 125), i liczymy, ile wahań (pełnych) wykonywa nasze wahadło w ciągu $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$ minuty.

Następnie powtarzamy doświadczenie przy innych amplitudach i sprawdzamy, czy wielkość amplitudy wpływa na częstość wahań.

Ćwiczenie 28. Naczynie połączone kształtu U (o większym przekroju) napelnione częściowo wodą (ryc. 126), pochylamy na chwilę tak, aby ciecz wypełniła jedno z ramion prawie do pełna; zatykamy palcem to ramię, poczem ustawiwszy naczynie w pozycji pionowej, odejmujemy szybko palec i obserwujemy rytmiczne drgania słupów wody w obu ramionach naczynia. Powtarzamy doświadczenie kilkakrotnie, mierząc z zegarkiem w rękę częstość tych drgań.

Doświadczenia te wskazują, że każdy układ drgający posiada pewną charakterystyczną dlań częstość drgań. Są to t. zw. *drgania własne* układu. Ich okresy T są stałe i nie zależą od wielkości amplitudy drgań.

Nietrudno zauważyć, że jeśli jakiś układ drgający wykonywa w jednostce czasu np. $n=5$ drgań, to jego okres drgań wynosi $T=\frac{1}{n}$ sek. Innymi słowy, między częstością „ n ” a okresem „ T ” drgań zachodzi związek

$$n = \frac{1}{T} \text{ albo } T = \frac{1}{n}$$

Gdybyśmy do ciężarka, zawieszonego na sprężynie, przymocowali mały ołówek i przesuwali przed nim poziomo długi pas papieru, to ciężarek, drgając, wykreśliłby na nim linię falistą, jak na ryc. 124. Jest to obraz graficzny (wykres) ruchu ciężarka.

73. Czy i jak można zmieniać drgania własne układu? Ćwiczenie 29. a) Zawieszamy na sprężynce kolejno coraz większe ciężarki, np. 50 G, 100 G, 200 G, wprawiając układ za każdym razem w drgania, jak w ćwiczeniu poprzednim, i mierząc z zegarkiem w rękę ich częstość drgań.

b) Zawieszamy jeden i ten sam ciężarek, np. 200 G, kolejno na rozmaitych sprężynkach, albo też na zespołach, utworzonych najpierw z dwóch, potem z trzech jednakowych sprężyn (zestawionych równolegle za pomocą trójkątnych rameczek drucianych — ryc. 127) i wprawiamy je w drgania, mierząc za każdym razem „ n ”.

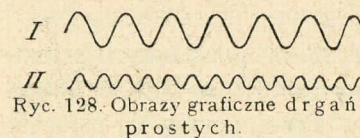


Ryc. 127.

W danym wypadku istnieją dwa czynniki, od których zależy częstość drgań układu: wielkość masy drgającej i wielkość siły sprężystej. Chcąc nasz układ „naстроить” na pewną z góry pożądaną częstość „ n ”, możemy osiągnąć cel przez dobranie bądź odpowiedniej sprężyny, bądź odpowiedniej masy, bądź jednej i drugiej równocześnie.

Podobnie ma się rzecz we wszelkich innych przypadkach drgań. W każdym układzie drgającym są pewne czynniki, które pozwalają zmieniać częstość drgań układu. Np. łatwo sprawdzić doświadczalnie, że w zjawisku ruchu wahadłowego jednym z takich czynników jest długość wahadła: im większa długość, tem powolniejsze są wahania. Częstość drgań struny zależy od masy, przypadającej na jednostkę długości struny, od jej napięcia oraz długości.

74. Drgania proste i złożone. Przytoczone wyżej przykłady drgań nazywamy *drganiami prostymi*. Drgania takie mogą różnić się między sobą częstością i amplitudą drgań. Np. dwa ruchy drgające, przedstawione graficznie na



Ryc. 128. Obrazy graficzne drgań prostych.

ryc. 128 (I i II), różnią się tem, że częstość drgań I jest mniejsza niż II, natomiast amplituda drgań I jest większa niż II.

Ćwiczenie 30. Zestawiamy układ drgający, sprzężony z dwu poprzednich układów w sposób, jak na ryc. 129. Pociągając jedną ręką m_1 ku dołowi, naciągamy sprężynę S_1 ; drugą ręką pociągamy nieco mniej m_2 i, puściwszy ciężarki z rąk, obserwujemy sposób drgania ciężarka m_2 .

W układzie tym ciężarek m_2 wykonywa drgania zarówno pod działaniem sprężyny S_1 , jak i zespołu sprężyn S_2 . Pierwsze, pod wpływem S_1 , odbywają się powoli i z dużą amplitudą; drugie, pod wpływem S_2 , znacznie szybciej, lecz z mniejszą amplitudą. Oba te rodzaje drgań „dodają się” wzajemnie, wobec czego ciężarek m_2 wykonywa w rezultacie drgania wypadkowe, złożone z obu wymienionych drgań składowych.

Gdybyśmy do m_2 przymocowali ołówek i posuwali przed nim pasek papieru, wówczas otrzymalibyśmy na pasku wykres takich drgań złożonych, jak na ryc. 129, t. j. linię falistą, której fałdy zostały w swoisty sposób zniekształcone. Oczywiście owo zniekształcenie może być bardzo różnorodne. W naszym przykładzie wystarczyłoby zmienić wielkość ciężarka m_1 lub m_2 , albo też zmienić zespoły sprężyn S_1 i S_2 , aby otrzymać za każdym razem linię innego kształtu. Ponadto możnaby utworzyć układ drgający, złożony nie z dwóch, lecz z trzech, czterech lub większej liczby układów składowych; wtedy wypadkowe drgania ciężarka m_2 byłyby jeszcze więcej skomplikowane, zaś wykresy takich drgań posiadałyby zniekształcenia znacznie liczniejsze i bardziej zawile.

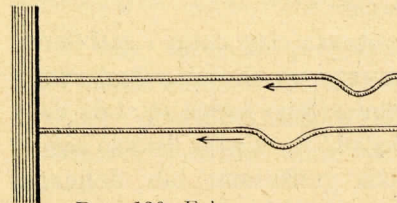
Ryc. 129. Ciężarek m_2 wykonywa drgania złożone.

W złożoności drgań poznaliśmy trzecią cechę, charakterystyczną dla ruchu drgającego. Jest ona bardzo ważna dlatego, że drgania, z jakimi najczęściej spotykamy się w przyrodzie, są zazwyczaj drganiami złożonymi. Chcąc tedy mieć pełny obraz jakiegokolwiek ruchu drgającego, winniśmy wiedzieć, jaka jest częstość drgań, jaka ich amplituda, oraz jakie są zniekształcenia poszczególnych drgań. Owe trzy cechy, jak zobaczymy niebawem, odgrywają zasadniczą rolę w zjawiskach falowych i to zarówno mechanicznych, jak i elektrycznych.

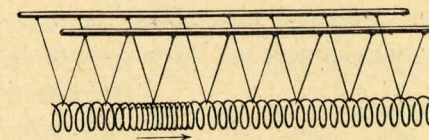
75. Ruch falowy. Gdy obserwujemy łan zboża, poruszany wiatrem, widzimy, że jego powierzchnia faliuje ustawicznie i że fale te mkną szybko od jednego do drugiego krańca łanu. Przyjrząwszy się uważnie

owemu zjawisku, zauważymy, że w łanie zboża nie dzieje się nic szczególnego: są to tylko wahania poszczególnych kłosów.

Podobnie ma się rzecz i z falami, rozchodzącymi się po powierzchni stawu; listki, czy drewnienka, pływające na powierzchni wody i uderzane przez fale, nie posuwają się wraz z falą, lecz podnoszą się w górę i opa-



Ryc. 130. Fala poprzeczna.



Ryc. 131. Fala podłużna.

dają w dół, wykonywając powolne ruchy, zbliżone do drgających. Zjawiska falowe mają więc ścisły związek z ruchami drgającymi.

Doświadczenie. Uderzamy pałeczką w poprzek napiętego sznura gumowego (ryc. 130) i obserwujemy, jak utworzone w ten sposób wygięcie mknie szybko wzdłuż sznura aż do miejsca jego zawieszenia.

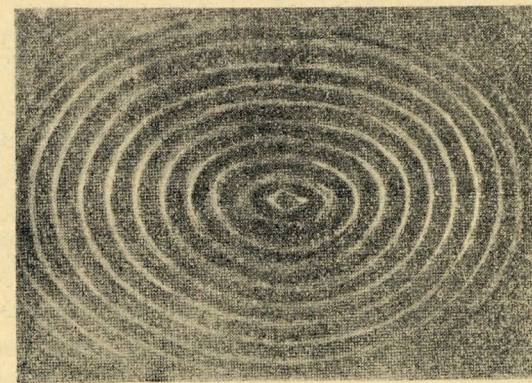
Uderzamy go ponownie kilkakrotnie w bardzo krótkich odstępach czasu (lub potrząsamy szybko ręką) i obserwujemy bieg tych zakłóceń wzdłuż sznura.

Doświadczenie. Uderzamy deseczką pierwszy zwoj długiej spirali, zawieszanej poziomo na nitkach i obserwujemy, jak wywołane tem zgęszczenie paru zwojów przenosi się stopniowo od początku spirali aż do przeciwnego jej końca (ryc. 131).

Powtarzamy uderzenia rytmicznie w krótkich odstępach czasu.

Najistotniejszą wspólną cechą poznanych dopiero co zjawisk jest to, że ciała, w obrębie których odbywały się ruchy, pozostawały same, jako całość, w spoczynku. Posuwanie się wygięcia wzdłuż sznura gumowego, czy zagęszczenia zwojów wzdłuż spirali, polega na kolejnym chwilowym wychylaniu się poszczególnych cząstek tych ciał. Mówimy wtedy, że wzdłuż sznura, wzgl. wzdłuż spirali, mknie fala.

76. Fale poprzeczne i podłużne. Zwróćmy uwagę na mechanizm rozchodzenia się fali wzdłuż gumowego sznura i wzdłuż



Ryc. 132. Fale poprzeczne na powierzchni cieczy.

spirali. Cząstki sznura wychylały się poprzecznie względem kierunku biegu fali; cząstki zaś spirali równoległe do kierunku fali. To też taką falę, jaka biegła wzdłuż sznura, nazywamy falą *poprzeczną*, natomiast falę taką, jak w spirali — *podłużną*. Przykładem fal poprzecznych są fale na powierzchni wody (ryc. 132); inne zaś przykłady fali podłużnej poznamy niebawem.

77. Długość fali. Niech rycina 133 wyobraża ciąg dolin i grzbietów fali, posuwającej się wzdłuż sznura gumowego na skutek rytmicznego potrząsania jednego jego końca ze stałą częstością n . Odległość λ między dwoma sąsiadującymi z sobą grzbietami lub dolinami nazywamy *długością fali*. Jest ona oczywiście tem mniejsza, im szybciej potrząsamy sznurem, czyli im większa jest częstość n .



Ryc. 133. Odległość λ jest długością fali.

Jeśli fale poprzeczne mkną po powierzchni np. wody, to długością fali jest odległość między dwoma sąsiednimi wzniesieniami lub wgłębieniami tej powierzchni.

Długością fali podłużnej jest analogicznie odległość między dwoma sąsiadującymi z sobą zgęszczeniami lub rozrzedzeniami falującego ośrodka.

Jeśli zakłócenia ośrodka oddalają się od źródła w ciągu 1 sekundy o „ c ” metrów, i jeśli źródło wytwarza w ciągu sekundy „ n ” takich zakłóceń, to jasną jest rzeczą, że długość λ fali wyrazi się związkiem $\lambda = \frac{c}{n}$; c jest tu prędkością rozchodzenia się fali.

78. Zjawisko rezonansu. Doświadczenie. Zawieszamy na statywie wahadło, utworzone ze sznurka o długości około 1 m, obciążonego kulą żelazną lub innym dość ciężkim przedmiotem. Dmuchaemy na kulę perjodycznie co 1 sek., ciągle w tym samym kierunku poziomym; wahadło nie porusza się. Dmuchaemy następnie w dłuższych odstępach czasu: co 2 sek.; kula zaczyna wahać się.

Gdy wahadło się uspokoi, potrącamy je ręką i, nie wywierając już więcej żadnych bodźców, mierzymy zapomocą zegarka okres T jego wahań własnych; stwierdzamy, że $T = 2$ sek.

Jak widać, rozkołysanie ciężkiego wahadła działaniem słabutkich bodźców, jakimi były skierowane nań podmuchy, jest możliwe, ale pod jednym warunkiem: Bodźce muszą działać w rytm wahań własnych wahadła. Z tem samem spotyka się każdy, kto usiłuje rozkołysać duży dzwon i t. p.

Fale, mknące po powierzchni wody podnoszą rytmicznie listki, drewnienka i inne lekkie przedmioty, znajdujące się na wodzie. Fala więc wywiera bodźce na przedmioty, spotykane po drodze. Spróbujmy użyć bodźców fali do rozkołysania wahadła.

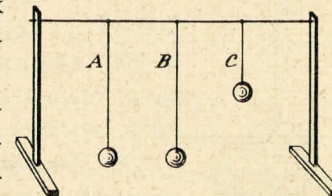
Doświadczenie. Na nitce, rozpiętej poziomo między dwoma statywami, zawieszamy 3 wahadła A , B i C (ryc. 134), z których A i B mają jednakowe długości, a C inną — mniejszą. Wprowadziwszy wahadło A w ruch, obserwujemy, jak po pewnym czasie wahadło B zaczyna się wahać. Wahadło C nie porusza się.

Skracamy długość wahadła A , czyniąc ją równą długości C , i powtarzamy doświadczenie; teraz wahadło C zaczyna się wahać, a B nie porusza się.

A więc istotnie: perjodyczne wstrząsy nitki poziomej, wywołane przez wahadło A , przenoszą się wzdłuż niej jako fala i pobudzają do wahań drugie wahadło o takiej samej jak A długości. Zjawisko takie nazywamy *rezonansem*.

Bywa ono niekiedy niebezpieczne. Na przykład, podobnie jak jeden człowiek, stanowiący na elastycznej kładce nad potokiem, może ją przez rytmiczne przysiadanie i podnoszenie się rozkołysać aż do przełamania, tak samo grupa ludzi może spowodować załamanie się całego mostu. To też, by uniknąć podobnej katastrofy, powinny większe oddziały ludzi przechodzić przez most krokiem swobodnym, a nie w zgodny takt marszu.

Z rezonansem trzeba się także liczyć przy ustawianiu maszyn i obrabiarek w lokalach. Może się bowiem zdarzyć, że częstość wstrząsów maszyny jest zgodna z drganiami własnymi podłogi, a to groziłoby katastrofą. By tego uniknąć, ustawia się maszyny na specjalnych podkładach i fundamentach.



Ryc. 134. Przyrząd, ilustrujący zjawisko rezonansu.

Drgania i fale głosowe.

79. Źródła głosu. Dotykając lekko palcem rozmaitych ciał dźwięczących, np. struny skrzypcowej, kamertonu, głośnika radiowego i t. p., stwierdzimy, że ciała te drżą; gdy przestaną drgać, dźwięków nie wydają. Stwierdzić to można jeszcze wyraźniej zapomocą kamertonu, gdy poociągniemy nim po okopconej szybie; zostawi on na szybie ślady swoich drgań w postaci regularnej linii falistej, jak na ryc. 128.

Źródłem każdego głosu są drgania jakiegoś ciała. Źródłem głosu wydawanego przez człowieka są jego struny głosowe.

Postawmy sobie teraz pytanie odwrotne: czy każde drganie ciała staje się źródłem głosu?

Doświadczenie. Listwę stalową zaciskamy dolnym końcem w imadle i pobudzamy do drgań (ryc. 135). Gdy listwa drga powoli, nie wydaje wcale dźwięku. Skracając stopniowo drgającą część listwy (przez coraz głębsze

wsuwanie listwy do imadła), stwierdzamy, że częstość drgań wskutek tego wzrasta. Wreszcie, gdy częstość dostatecznie wzrośnie, listwa wydaje niski, basowy ton. W miarę dalszego skracania listwy, ton staje się coraz wyższy.

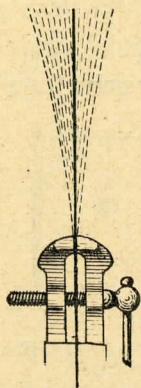
Doświadczenia takie można wykonać też z innymi ciałami, np. ze stalową struną i t. p. Wszystkie dają taki sam wynik: ciało drgające zaczyna wydawać dźwięki dopiero wtedy, gdy częstość jego drgań wynosi co najmniej 16 na sekundę. W miarę wzrastania częstości drgań, dźwięk staje się coraz wyższy. Wreszcie — jak stwierdzono zapomocą ciekawie obmyślonych przyrządów — gdy częstość wzrośnie ponad 40 000 drgań na sekundę, znowu nic nie usłyszymy. Ucho nasze reaguje więc na ograniczony zakres drgań w granicach częstości od 16—40 000 na sekundę.

80. Znamiona dźwięków. Dźwięki, jakie dochodzą zewsząd do naszych uszu, różnią się między sobą pewnymi cechami. Jedną z tych cech już znamy; jest nią *wysokość* dźwięku, zależna od częstości drgań źródła. Zależność tę wykazaliśmy już na drgającej coraz szybciej listwie. Potwierdza ją szereg innych doświadczeń. Naprzykład, gdy przyłożymy krawędź elastycznego kartonika do zębów wirującego koła, kartonik będzie wydawał dźwięk tem wyższy, im szybciej wiruje koło; przyczyną tego jest oczywiście wzrastająca częstość drgań kartonika.

Potrąćmy strunę jakiegokolwiek instrumentu: najpierw lekko, potem silnie. W pierwszym wypadku, gdy wychylenia struny są małe, usłyszymy dźwięk cichy, w drugim głośnie. Ta mniejsza lub większa „siła głosu“ nosi w fizyce nazwę: *natężenie* dźwięku; jest ono drugą cechą, pozwalającą odróżnić od siebie dwa dźwięki, nawet o tej samej wysokości. Natężenie dźwięku jest tem większe, im większa jest amplituda drgań.

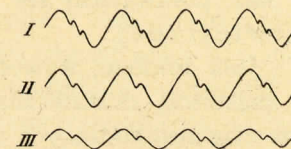
Ale to jeszcze nie wszystko. Często możemy słyszeć dwa dźwięki o jednakowych wysokościach i natężeniach, a jednak powiemy, że dźwięki te nie są takie same, np. dźwięki, wytworzone przez skrzypce i flet. Mówimy w tym wypadku, że dźwięki różnią się *barwą* (albo brzmieniem). Barwa jest więc trzecią cechą, charakterystyczną dla każdego dźwięku.

Aby znaleźć przyczynę owej różnorodności barwy dźwięków, trzeba zbadać sposób drgania rozmaitych źródeł głosu. Do tego celu obmyślono przyrządy i metody, polegające na obserwowaniu, ewent. fotografowaniu drgających ciał przy użyciu wirujących zwierciadeł. Wyniki tych badań, ujęte w graficzne obrazy, jak na ryc. 136, wyjaśniły



Ryc. 135.
Drgająca listwa jako źródło głosu.

tę rzecz zupełnie. Oto okazuje się, że jeśli dwa dźwięki mają inne barwy, to linie faliste, odpowiadające drganiom ich źródeł, mają inne kształty. Na naszej rycinie widzimy 3 linie, odpowiadające trzem różnym dźwiękom, z których: I i II mają jednakowe wysokości i natężenia, lecz różne barwy; linie zaś II i III mają jednakowe barwy i wysokości, lecz inne natężenia.



Ryc. 136. Graficzne obrazy trzech różnych dźwięków.

Linie takie, jak to widać z ich kształtu, są obrazami drgań złożonych (ob. drgania zespołu sprężynek — ryc. 129); wrażenia głosowe, pochodzące od tego rodzaju drgań, nazywamy ogólnie dźwiękami. W wypadku, gdy drgania są proste, ich linia falista nie posiada, jak wiemy, takich zniekształceń (jak np. u kamertonu); wówczas mówimy, że ciało wydaje ton.

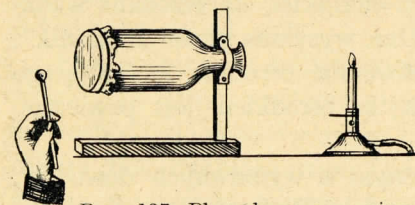
Wszelkie inne drgania bezładne, chaotyczne, są źródłem różnego rodzaju szmerów, jak szelest, trzask, zgrzyt i t. p.

81. Fale głosowe. Doświadczenie. Dzwonek elektryczny, umieszczony w bani szklanej i pobudzony do drgań zapomocą prądu, wydaje głos coraz słabszy — w miarę, jak usuwamy z bani powietrze. Po dostatecznie silnem wypompowaniu powietrza głos dzwonka prawie zupełnie milknie.

Doświadczenie to poucza, że nie możemy nic słyszeć, jeśli między źródłem głosu a uchem jest próżnia; próżnia nie przewodzi głosu.

Na czem polega pośrednictwo powietrza w przenoszeniu głosu?

Doświadczenie. Flaskę, posiadającą zamiast dna elastyczną membranę z pęcherza, ustawiamy poziomo wylotem szyjki w kierunku płomyka palnika gazowego (ryc. 137). Uderzając w membranę pałeczką, zauwa-



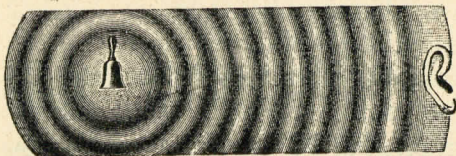
Ryc. 137. Płomyk gazowy ujawnia zakłócenia, rozchodzące się w powietrzu pod wpływem wstrząsów membrany.

żamy gwałtowny, krótkotrwały skurcz płomyka po każdym uderzeniu membrany. Gdy uderzenia są periodyczne i następują szybko po sobie, płomyk naprzemian kurczy się i wydłuża w rytm tych uderzeń, jakgdyby ktoś niewidzialny dmuchał nań periodycznie.

Drgania płomyka świadczą, że nad palnikiem zmienia się szybko ciśnienie atmosferyczne: wzrostowi ciśnienia, czyli zgęszczeniu powietrza nad wylotem palnika, odpowiada skurcz płomienia, rozrzedzeniu powietrza — wydłużeniu się płomienia. Źródłem tych zakłóceń są wstrząsy membrany, a ta znajduje się w dość dużej odległości od płomyka. Widocznie zgęszczenia i rozrzedzenia powietrza, wywoływane przez

membranę, rozchodzą się od źródła coraz dalej i dalej — podobnie jak zakłócenia, wywołane u jednego końca sprężyny, przenosiły się stopniowo wzdłuż całej sprężyny (ryc. 131). To też, jak tam mówiliśmy o fali, posuwającej się wzdłuż sprężyny — tak tu mówimy o fali powietrznej.

Jeśli źródłem, wywołującym wstrząsy powietrza, jest ciało drgające z częstością dostatecznie wielką (np. kamerton, dzwonek), wówczas ów ciąg rozchodzących się od niego zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza nazywamy falą głosową (ryc. 138). Jest to fala podłużna. Jej



Ryc. 138. Fale głosowe w powietrzu.

długością λ jest odstęp między dwoma sąsiednimi zagęszczeniami powietrza (lub między rozrzedzeniami). Długość fali jest oczywiście tem mniejsza, im większa jest częstość drgań, czyli im wyższy ton wydaje źródło głosu.

Fale głosowe, rozchodząc się od źródła głosu, docierają do naszego ucha, gdzie uderzają rytmicznie o błonę uszną i pobudzają ją do drgań o takiej samej częstości, jaką ma źródło głosu. Drgania błony przenoszą się z kolei za pośrednictwem systemu kosteczek do wewnętrznej części ucha i działają na znajdujące się tam nerwy słuchowe.

82. Rezonans akustyczny. Doświadczenie. Ustawiamy dwa jednokowe kamertony dość daleko od siebie, np. na końcach stołu. Uderzamy jeden z nich młoteczkiem i za chwilę tłumimy jego drgania, chwytając go dłonią. Wsłuchujemy się, jak drugi kamerton wydaje głos, pomimo, że stał daleko na uboczu.

Zjawisko to, zwane rezonansem akustycznym (po grecku: akuo=słyszę), posiada zupełnie ten sam charakter, co rezonans wahadeł, omówiony w ust. 78. I tu i tam bodźce, wysyłane przez „nadajnik”, docierają do „odbiornika” dzięki falowaniu ośrodka, znajdującego się między nadajnikiem i odbiornikiem; tu ośrodkiem jest powietrze, tam — była nitka.

Rezonans akustyczny jest więc jednym z wymownych dowodów, że istotnie od źródła głosu rozchodzą się fale. Wyłania się teraz pytanie, jak szybko rozchodzą się one w powietrzu.

83. Szybkość fal głosowych. Ćwiczenie 31. Ustawiamy w dużej odległości (około 200 — 300 m) dwóch lub dwie grupy eksperymentatorów. Jeden daje w pewnej chwili jakikolwiek sygnał świetlno-akustyczny, np. krótkotrwały ruch młotka, uderzającego o dźwięczącą blachę. Drugi, ze stopperem w ręku, naciska główkę stoppera: raz, gdy zobaczy ruch uderzającego o blachę młotka; drugi raz, gdy usłyszy głos od tego uderzenia.

Odczytany na stopperze czas wskazuje, jak długo mknęła fala głosowa od źródła głosu do ucha eksperymentatora.

W podobny sposób, lecz z dokładnością znacznie większą (bo odległość wynosiła aż 22 km, a sygnałem był błysk i huk wystrzału armatniego), zmierzono szybkość głosu we Francji jeszcze w XVII wieku. Liczne inne pomiary, wykonane także innymi metodami, wykazały, że szybkość rozchodzenia się fal głosowych w powietrzu o temp. 0° wynosi 331 m/sek. Ze wzrostem temperatury szybkość ta cokolwiek wzrasta; np. w zwykłej temp. pokojowej wynosi około 340 m/sek.

Fale głosowe mogą powstawać i rozprzestrzeniać się nie tylko w powietrzu, ale i w innych ciałach. Np. chód zegarka, położonego na jednym końcu deski, usłyszemy doskonale, przykładając ucho do drugiego jej końca. Równie dobrze słyszymy głos w wodzie. Szybkość rozchodzenia się fal głosowych w wodzie jest nawet większa, niż w powietrzu; w metalach — jeszcze większa, niż w wodzie.

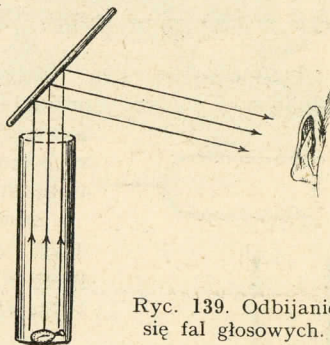
Znając szybkość rozchodzenia się głosu w powietrzu, możemy na podstawie różnicy czasu między chwilą zauważenia błysku i usłyszeniem grzmotu pioruna ocenić odległość, w jakiej uderzył piorun. Jeśli różnica wynosi np. 3 sekundy, to znaczy, że piorun uderzył w odległości około 1 km.

84. Odbicie fal. Echo. Doświadczenie. Kładziemy zegarek w głębokim słoju na miękkiej podkładce. Stanąwszy z boku, nie słyszymy tykania zegarka. Gdy jednak ustawimy nad słojem pochyloną płytę szklaną lub deseczkę, jak na ryc. 139, wtedy głos dochodzi do ucha bardzo wyraźnie.

Fale głosowe, natrafiwszy na swej drodze jakieś ściany, mury, stoki gór i t. p., odbijają się od nich.

Fala, odbita od ściany, wywołuje oczywiście tak samo wrażenie głosu, jak i ta, co dochodzi do ucha wprost ze źródła; tylko odbita fala nadbiega nieco później. Stąd, zdarza się często, że głos, np. huk pochodzący z tego samego wystrzału, słyszymy dwukrotnie: najpierw od fali, co przyszła bezpośrednio, potem od fali odbitej; ten drugi głos nazywamy echem.

Gdy ściana odbijająca nie jest zbyt odległa od źródła głosu, wtedy odbita od niej fala dochodzi do ucha w chwili, gdy jeszcze nie przebrzmiało wrażenie głosu od fali bezpośredniej. Wobec tego między pierwszym wrażeniem głosowym a drugim niema żadnej przerwy;



Ryc. 139. Odbijanie się fal głosowych.

powstaje niemiły dla ucha pogłos, jaki usłyszeć można np. podczas rozmowy w dużej sali, opróżnionej z umeblowania. W salach umeblowanych pogłos jest mniejszy, ponieważ fale głosowe, uderzając o te przedmioty, częściowo rozpraszają się, częściowo zaś są przez nie pochłaniane (zwłaszcza przez miękkie obicia). By jeszcze zmniejszyć pogłos, wyposaża się duże sale, np. teatralne, lub do obrad parlamentu, celowo w rozmaite filary, balustrady, dywany, i t. p.; wówczas przedmioty te nie tylko zdobią wnętrza, ale i poprawiają „akustykę” sali.

85. Rezonans w instrumentach muzycznych. Doświadczenie.

a) Kamerton, pobudzony do drgań i trzymany w ręku, brzmi cicho; postawiony na stole lub na drewnianym pudle — głośno.

b) Struna, napięta na długim pudle (t. zw. sonometrze) i pobudzona do drgań, wydaje głośny dźwięk. Ta sama, lub inna taka sama struna, napięta nie nad pudłem, lecz np. między słupkami, wydaje dźwięk cichy, ledwie słyszalny.

Nietrudno zrozumieć, jaką rolę we wzmacnianiu głosu odgrywają tu pudła, rury, czy słoje. Cienka, walcowata struna i niewielki kamerton stykają się bezpośrednio z powietrzem na bardzo małej powierzchni; podczas drgań potrącają bezpośrednio niewielkie ilości powietrza, a więc wynik ich działania jest w tych warunkach nikły. Umieszczone zaś na pudle, sprawiają, że wraz z nimi drgają i ściany pudła, a te, ze względu na dużą powierzchnię, wywołują efekt wielokrotnie silniejszy.

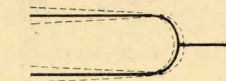
Ale co więcej; grają tu niemałą rolę także i rozmiary słupa powietrza zawartego w pudle. Świadczy o tem następujące doświadczenie:

Doświadczenie. Kamerton pobudzamy do drgań i przesuwamy powoli nad rzędem pionowych rur o różnych wysokościach lub nad słojami, zawierającymi rozmaite ilości wody (ryc. 140); wśród nich trafiamy na jeden, nad którym kamerton brzmi najgłośniej.

Zmieniamy kamerton na inny, np. o tonie wyższym, i powtarzamy doświadczenie; teraz natężenie głosu wzmagą się, gdy trzymamy kamerton nad inną rurą, krótszą niż przedtem.

W rurach (słojach) znajdują się słupy powietrza o różnych wysokościach (licząc od wylotu rury do jej dna, wzgl. do zwierciadła wody w słojach). Każdy z tych słupów, zależnie od swej wielkości, jest „nastrojony” na pewną częstość drgań,

Jeśli więc do któregoś z nich zbliżymy kamerton, który drga z częstością, równą liczbie drgań własnych danego słupa, powstanie rezonans, potęgający w dużym stopniu natężenie dźwięku.



Ryc. 140.
Rezonans
akustyczny.

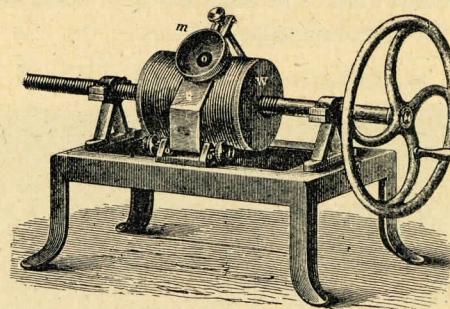
Doświadczenia te wyjaśniają dostatecznie rolę pudeł i zawartego w nich powietrza w rozmaitych instrumentach muzycznych. Skrzypce mają inne pudło niż fortepian, trąba jest inną „rurą” niż gwizdek. Wszelkie tego rodzaju pudła i rury, to rezonatory, niezbędne do wzmocnienia głosu danego instrumentu.

Aby umożliwić współbrzmienie powietrza, zawartego wewnątrz instrumentu, na dźwięki o rozmaitych wysokościach, nadaje się pudłom charakterystyczne kształty (np. skrzypce), zaopatruje w rozmaite wycięcia i otwory, bądź stałe, bądź przymykane (np. u fletu, klarnetu i t. p.). Sprawy te jednak wkraczają już w dziedzinę specjalną, której tu omawiać nie możemy. Nadmieniamy tylko dla przykładu, że o dobrym rezonansie pudeł skrzypcowych decyduje nie tylko wielkość i kształt pudła, ale także gatunek drewna, a nawet lakieru, użytego do jego wypolerowania.

Rezonatorem, którego kształt i rozmiary możemy zmieniać stosownie do potrzeby, jest także nasza jama ustna.

86. Fonograf i gramofon. Zasadę tych przyrządów służących do sztucznego odtwarzania muzyki, mowy i t. p., przedstawia ryc. 141.

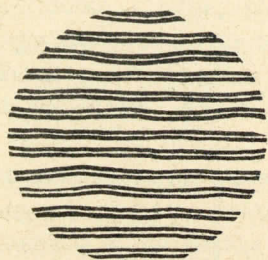
Mamy tu walec *W* z plastycznej masy (np. z wosku), który można obracać ruchem śrubowym. Tuż nad nim znajduje się elastyczna membrana *m*, zaopatrzona w kołec, który opiera się o powierzchnię walca. Gdybyśmy w tych warunkach obracali korbą, kołec nacinałby na walcu delikatną linię gwintową, robiąc z niego poprostu śrubę. Głębokość linii byłaby oczywiście wszędzie jednakowa.



Ryc. 141. Fonograf.

Gdy jednak w czasie obrotów walca ktoś mówi do membrany, wtedy membrana, uderzana falami głosowymi, drga, a drgający wraz z nią kołec żłobi na walcu linię o zmiennej głębokości. W ten sposób w wyżłobieniach tych zostają utrwalone dźwięki, wymawiane przed membraną; walec jest „nagrany”.

Jeśli teraz taki nagrany walec przepuścimy ponownie pod kołcem, kołec dzięki tym wyżłobieniom będzie naprzemian zapadał się i podskakiwał i będzie odtwarzał takie same drgania, jakie wykonywał przedtem. W ślad za kołcem odtworzy te drgania także połączona z nim membrana, a więc stanie się źródłem takich samych dźwięków, jakie przedtem odbierała. Piękny ten wynalazek, t. zw. *fonograf*, zawdzięczamy Edisonowi (ob. ryc. 184).



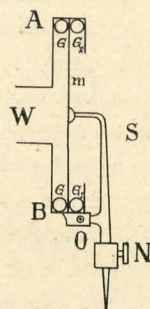
Ryc. 142. Linje faliste, wyżłobione na płycie gramofonowej, widziane przez mikroskop.

Dziś w t. zw. *gramofanach* nie stosuje się walców, lecz płyty, nagrane po obu stronach i wykonane z twardej masy. Linja falista na płycie ma postać płaskiej spirali z wyżłobieniami poprzecznymi, t. j. nie w głąb, lecz w płaszczyźnie płyty (ryc. 142). W związku z tem inaczej wykonana jest także membrana dzisiejszego gramofonu. Igła membrany przymocowana jest do dźwigni, która zajmuje położenie równoległe do płaszczyzny membrany. Gdy igła u dolnego końca dźwigni wykonuje drgania pod działaniem obracającej się pod nią płyty, górny koniec dźwigni pobudza do takich samych drgań membranę gramofonu (ryc. 143). Membrana umieszczona jest u zwężonego końca tuby rezonansowej.

87. Ultradźwięki i ich zastosowanie. Drgania i fale o częstości ponad 40 000 drgań na sek. wchodzi w dziedzinę t. zw. *ultradźwięków*. W ostatnich czasach ultradźwięki znalazły dość szerokie zastosowanie praktyczne. Służą one do rozmaitych celów, między innymi do pomiarów głębokości morza.

Dawniej pomiary takie wykonywano zapomocą sond, t. j. ciężarków, spuszcanych na sznurkach aż do dna morza; czynności te zabierały oczywiście bardzo dużo czasu, a pomiary wykonywało się w punktach dość daleko od siebie oddległych.

Dziś, dzięki ultradźwiękom, można zmierzyć głębokość morza w sposób ciągły wzdłuż całej trasy, po której płynie statek. Pomiar taki polega na tem, że na dnie statku umieszczony jest nadajnik, który wysyła fale ultradźwiękowe w kierunku dna; fale te, dotarwszy do dna, odbijają się i w drodze powrotnej trafiają na odbiornik, umieszczony również na dnie statku. Znając czas, jaki upłynął od chwili wysłania fali przez nadajnik do chwili schwytania jej przez odbiornik (t. j. czas biegu fali do dna i napowrót), oraz prędkość rozchodzenia się fal w wodzie, łatwo obliczyć, jaka jest głębokość morza w danym miejscu. Istnieją nawet przyrządy samoczynne, które dają od razu wykres profilu dna morskiego na trasie, przebytej przez statek.



Ryc. 143. Membrana nowoczesnego gramofonu: Membranę porusza górne ramię S dźwigni; w dolnym ramieniu N umocowana jest igła gramofonowa; O = oś obrotu dźwigni. AA = uchwyt membrany. GG = podkładki gumowe. W = wylot do tuby rezonansowej.

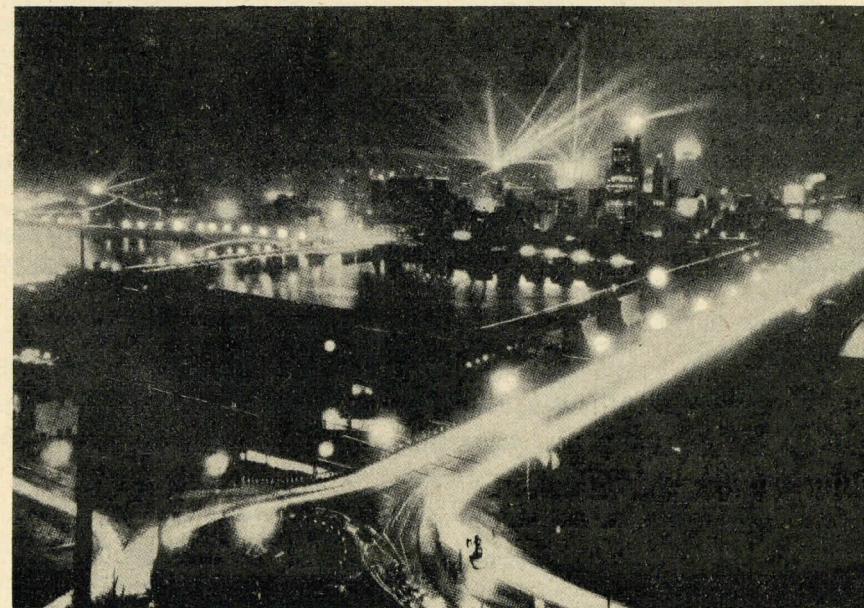
CZĘŚĆ II

NAUKA O PRĄDZIE ELEKTRYCZNYM

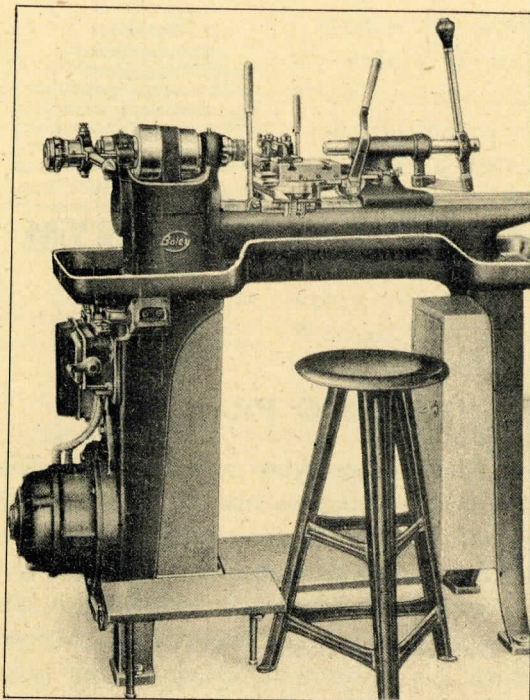
Rozdział I

WIADOMOŚCI WSTĘPNE O PRĄDZIE

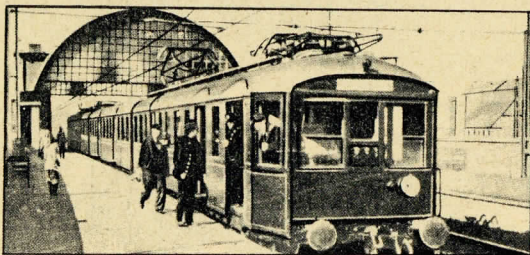
88. Prądy elektryczne w życiu. Żyjemy w „wieku pary i elektryczności”. Wprawdzie silniki parowe stopniowo ustępują z pola przed spalinowymi, ale zato zastosowanie prądów elektrycznych rozpowszechnia się coraz więcej. W życiu codziennym, w domu, na ulicy, w wagonie kolejowym i na statku, w szkołach, w fabrykach, kopalniach, składach materiałów — wszędzie spotykamy prądy elektryczne. Wprost niepodobna wymienić wszystkich ich zastosowań. Przypomnimy tylko niektóre, a czytelnik z łatwością uzupełni tę listę.



Ryc. 144. Oświetlenie elektryczne wielkiego miasta.



Ryc. 145. Warsztat tokarski, poruszany silnikiem elektrycznym.



Ryc. 146. Pociąg kolei, poruszany prądem elektrycznym.

rozpowszechniają się coraz bardziej: trudno sobie wyobrazić życie współczesne bez telegrafu, telefonu i radja. Ostatnie lata przyniosły jeszcze jedno zastosowanie: przesyłanie obrazów na odległość.

O źródłach prądu.

89. Laboratoryjne źródła prądu elektrycznego. Prądy elektryczne czerpiemy z rozmaitych źródeł. W miastach dostarczają go nam prądnice elektrowni, a sieci miejskie rozprawdzają go po

Dzięki prądom elektrycznym mamy wygodne, zdrowe i tanie oświetlenie ulic, mieszkań, biur, fabryk (ryc. 144). Prąd elektryczny ogrzewa nam mieszkania, kuchnie, żelazka. Używamy go do poruszania wielu maszyn; w fabrykach widzimy ogromne silniki, wprawiające w ruch potężne maszyny. Ale i niewielkie warsztaty mogą być poruszane silnikami elektrycznymi (ryc. 145); to, z jednej strony, udostępnia drobnemu wytwórcy posiłkowanie się pracą mechaniczną, z drugiej — pozwala w dużych fabrykach poruszać oddzielnie poszczególne maszyny; przez to zmniejsza się straty energii, nieuniknione przy poruszaniu maszyn zapomocą przekładni od wspólnego wielkiego silnika.

Niemniej ważne są prądy elektryczne dla komunikacji i przesyłania wiadomości. Tramwaje i koleje elektryczne (ryc. 146)

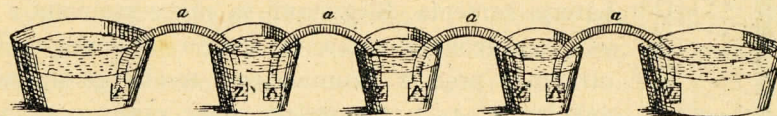
mieszkaniach, biurach i fabrykach. Prądy stąd pochodzące mogą być bardzo silne; przekonał się o tem niejeden niepowołany majster, gdy, dłubiąc przy kontaktach sieci miejskiej, doznał bolesnego wstrząsu.¹

Chcąc bliżej zapoznać się z prądami elektrycznymi, uciekniemy się do słabszych, a zato bezpieczniejszych źródeł prądu. Są nimi przede wszystkim różnego typu **ogniwa elektryczne**, używane również w technice sygnalizacyjnej: w telegrafie, w małych instalacjach telefonicznych, przy dzwonekch.

Pierwsze nasze wiadomości o prądzie elektrycznym zostały zdobyte zapomocą podobnych ogniów. Potężne źródła prądów, jakimi dziś rozporządzamy, są dziełem nowszej techniki. Pierwszym, który zbudował ogniwo i otrzymał nieprzerwanie płynący prąd elektryczny, był fizyk włoski Alessandro VOLTA. Pobudzony przez doświadczenia swego ziomka, fizjologa GALVANI'ego nad elektrycznym drażnieniem nerwów zwierzęcych, rozpoczął gruntowne badania zjawisk elektrycznych. W roku 1800 zbudował **baterję elektryczną**, złożoną z kilkudziesięciu ogniów (ryc. 148). Każde ogniwo składało się z kubka, napelnionego wodą zakwaszoną; w wodzie były zanurzone dwa paski metalowe: jeden z cynku, drugi z miedzi. Miedź każdego ogniwa łączyła się z cynkiem drugiego; tylko dwa paski końcowe, jeden z cynku, drugi z miedzi, były niepołączone. Na cześć Galvani'ego nazwał Volta takie ogniwo **galwanicznym**, a prąd z niego **prądem galwanicznym**.



Ryc. 147. Alessandro Volta, włoski badacz zjawisk elektrycznych (1745 — 1827).

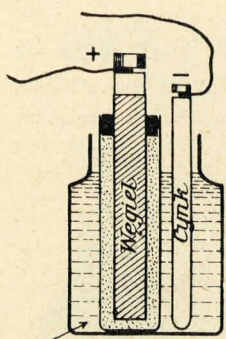


Ryc. 148. Baterja ogniów zbudowana przez Voltę.

Dziś znamy wiele rozmaitych ogniów. Jednym z najczęściej używanych jest ogniwo Leclanché (czyt. Leklansze) (ryc. 149). W naczyniu, zawierającym roztwór salmjaku, są zanurzone dwa pręty, stano-

¹ Przed takimi próbami przestrzegamy czytelnika, gdyż mogą łatwo spowodować pożar, lub zdrowie na szwank narazić.

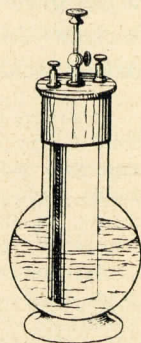
wiące t. zw. **bieguny** ogniwa; jeden biegun stanowi pałeczka z węgla retortowego, otoczona woreczkiem ze sproszkowanym braunsztytem (dwutlenkiem manganu); drugim biegunem jest pałeczka cynkowa.



Roztwór salmjiaku.

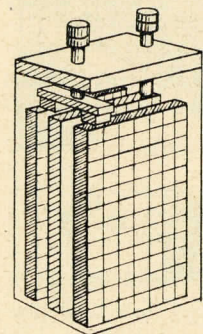
Ryc. 149. Przekrój ogniwa Leclanché: węgiel i cynk w roztworze salmjiaku.

Wygodne do użycia w pracowni jest ogniwo Grenet'a (ryc. 150). Dwie węglowe, połączone z sobą płytki są zanurzone w wodnym roztworze kwasu siarkowego i dwuchromianu potasu; pomiędzy nie wsuwa się ruchomą płytkę cynkową. Gdy ogniwo jest nieczynne, płytkę podnosi się, co zapobiega niepotrzebnemu zużyciu cynku.



Ryc. 150. Ogniwo Grenet'a.

Zródłem prądu dla lampek kieszonkowych są t. zw. *suche ogniwa*. Jak wiadomo z kursu szkoły powszechnej, jest to właściwie bateria, złożona z trzech ogniw węglowo-cynkowych, napełnionych mieszaniną trocin, nasiąkniętych roztworem salmjiaku oraz sproszkowanego braunsztytnu. Ogniwa są więc tego typu, co ogniwa Leclanché. Są one połączone **szeregowo**, tak jak ogniwa w baterji Volty. W ten sam sposób są zbudowane t. zw. *baterje anodowe* (ob. ryc. 278), używane w radjotechnice. Zawierają one po kilkadziesiąt ogniw.



Ryc. 151. Akumulator ołowiowy.

Różne ogniwa są w gruncie rzeczy podobne do siebie; każde z nich zawiera roztwór kwasu lub soli (można też użyć ługu) oraz dwa bieguny, zrobione z *dwóch różnych* przewodników. Jeden biegun składa się najczęściej z cynku, drugi z innego materiału, zwykle z miedzi albo z węgla.

Istnieją też inne źródła prądu, t. zw. **akumulatory** (ryc. 151), dobrze znane amatorom radja jako baterje żarzenia. Biegunami są płyty zrobione z ołowiu, zanurzone w roztworze kwasu siarkowego. Chcąc otrzymać prąd z akumulatora, trzeba go uprzednio naładować, t. j. przepuścić przez niego prąd z innego źródła. Prąd ten wywołuje zmiany chemiczne w płytach, w każdej z 2 płyt inne. Po przepuszczeniu prądu płyty mają różny skład chemiczny i zachowują się tak, jak dwa różne metale, t. j. wytwarzają prąd, gdy ich bieguny połączymy drutem. Prąd ten wyrównywa znów chemiczne różnice płyt, akumulator zostaje wyczerpany i musi być naładowany nanowo.

Praktyczne wskazówki obchodzenia się z akumulatorami. Akumulatory są bardzo wrażliwe na obchodzenie się z nimi i łatwo ulegają zepsuciu, jeśli nie stosować się do pewnych reguł. Na akumulatorze jest zwykle naklejona kartka ze wskazówkami postępowania. Przedewszystkiem nie należy ogniwa obciążać zbyt silnym prądem; to znaczy, że prądy, zapomocą których ładujemy, albo wyładowujemy akumulator, nie powinny przekraczać określonej granicy; ta granica jest zawsze wymieniona na kartce, w akumulatorach szkolnych wynosi zwykle 1–2 amperów (ob. rozdz. II). Ogniwa trzeba badać często przyrządem, zwanym woltomierzem (ob. rozdz. V); o ile strzałka wskazuje mniej niż 1,9 wolta w stanie nieczynnym, akumulator trzeba niezwłocznie naładować. Nawet bez tego akumulator powinien być ładowany co 6 tygodni. Należy też sprawdzać ciężar właściwy kwasu areometrem; jeśli spadnie on w stanie naładowanym poniżej 1,24 (28 skali Baumé), trzeba dodać chemicznie czystego kwasu siarkowego; jeśli jest za wysoki — dolać wody dystylowanej. Należy też unikać wszelkich wstrząśnień i gwałtownych ruchów. Mimo wszelkich ostrożności płyty akumulatorów po pewnym czasie paczą się i ogniwo staje się niezdadne do użytku.

Wszelkie ogniwa możemy łączyć szeregowo w baterje, podobnie jak ogniwa Volty: np. biegun cynkowy jednego ogniwa z biegunem węglowym następnego i t. d. Na końcach takiego szeregu znajdują się zawsze 2 różne bieguny, t. zw. *końcówki*, z których możemy czerpać prąd.

Tak samo tworzymy baterje akumulatorów, łącząc z sobą niejednakowe bieguny. Akumulator też można nazwać „ogniwem”; nazwy tej będziemy nieraz używali.

90. Techniczne źródła prądu elektrycznego. Prądy, dostarczane do sieci miejskich, używane w mieszkaniach, fabrykach, do poruszania kolei i t. d., są otrzymywane z **prądnic** (ob. rozdz. VII). Bardzo często prądy w sieciach miejskich są **zmienne**, to znaczy, że zmieniają swój kierunek w bardzo krótkich odstępach czasu — kilkadziesiąt razy na sekundę. Do wielu celów prądy takie są bardzo dogodne, jednak w licznych wypadkach potrzebujemy prądów **stałych**, płynących przez cały czas w jednym kierunku. W pracowni fizycznej takie właśnie prądy są nam najczęściej potrzebne. Prąd zmienny można zamienić na prąd stały zapomocą t. zw. **prostowników**. Istnieje kilka rodzajów tych przyrządów; nie będziemy tu rozpatrywali ich działania, wspomnimy tylko, że prąd elektryczny może przez nie przechodzić tylko w jednym kierunku.

91. Inne przyrządy do doświadczeń z prądem elektrycznym. Do naszych doświadczeń będą nam potrzebne inne jeszcze przyrządy. Już teraz zapoznamy się z ich użyciem, choć później dopiero zrozumiemy dokładnie ich cel i działanie.

Do doprowadzania prądu do różnych przyrządów i urządzeń, które ogólnie nazywamy **odbiornikami** prądu, używamy drutów, prętów lub tasien metalowych; nazywamy je **przewodami**. Przewody zwykle są otoczone tak zwaną **izolacją**, t. j. bawełną, gumą lub jedwabiem, aby

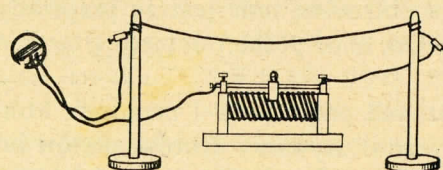
prąd nie przechodził z nich na inne ciała, z którymi przypadkowo się zetkną.

Oporniki służą do tego, by prąd ze źródła musiał przepływać przez dłuższe lub krótsze odcinki drutu. Opornik regulujący (ryc. 152) składa się z drutu, nawiniętego na porcelanowy wałek. Przez jeden zacisk prąd dostaje się do jednego z końców drutu i przepływa przez drut aż do ślizgającej się po nim sprężynki czyli t. zw. suwaka. Po suwaku prąd przechodzi do metalowego pręta i połączonego z nim drugiego zacisku. Przesuwając suwak, wydłużamy lub skracamy tę część drutu, przez którą prąd przepływa.

Wyłączniki albo **klucze** służą do puszczenia lub przerywania prądu. Mają one kształt rozmaity; najpospolitszy jest wyobrażony na ryc. 153. Jeden zacisk łączy się z metalowym pręcikiem, drugi ze sprężynką, zaopatrzoną w drewniany guzik. Do zacisków dołączamy przewody, idące od źródła prądu i do odbiornika; naciskając sprężynkę, powodujemy zetknięcie się jej z pręcikiem i wytwarzamy drogę dla prądu. — Wiemy, że chcąc użyć tych różnych części do przepuszczenia prądu, musimy je połączyć z sobą i ze źródłem prądu, tak by prąd miał nieprzerwaną drogę od bieguna do bieguna przez metalowe części przyrządów. W ten sposób tworzymy **obwód elektryczny**.

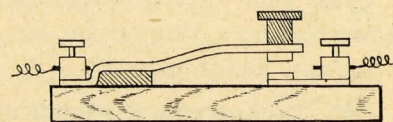
Objawy prądu elektrycznego

92. Działania zasadnicze prądu. Każdy z nas wie dobrze, że prąd, czerpany z baterji, rozżarza drucik w lampce kieszonkowej, prąd z sieci miejskiej rozżarza większe lampy, jakich używamy do oświetlenia mieszkań i ulic. Jest to spowodowane przez wydzielanie ciepła przez prąd w ciałach, przez które przepływa.



Ryc. 154. Ogrzewanie drutu przez prąd elektryczny.

ryc. 152. Opornik suwakowy do regulowania natężenia prądu.



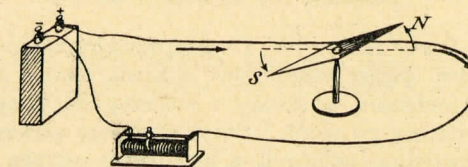
Ryc. 153. Wyłącznik czyli klucz do zamykania i przerywania prądu.

Doświadczenie. Prąd z sieci miejskiej przepuszczamy przez opornik i przez cienki, rozpięty w powietrzu drucik żelazny. Z początku włączamy cały drut opornika, poczem zmniejszamy jego długość, przesuwając suwak, póki drucik żelazny nie rozżarzy się do białości.

Coraz silniejsze rozżarzanie się drucika wskazuje, że wydzielano się w nim coraz to więcej ciepła. Widocznie prąd był coraz silniejszy, lub, jak mówimy, miał coraz to większe **natężenie**.

Znamy też działania magnetyczne prądu. Przypomnimy je krótko.

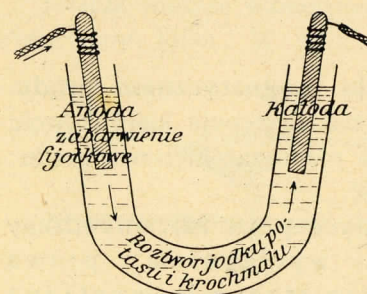
Ćwiczenie 32. a) Bieguny ogniwa łączymy długim drutem, który umieszczamy blisko nad igłą magnetyczną, umieszczoną na osi pionowej (ryc. 155). b) Taki sam drut owijamy kilkakrotnie około gwoździa; do końca gwoździa zbliżamy drobne przedmioty żelazne lub stalowe: gwoździki, szpilki, stalówki.



Ryc. 155. Odchylenie igły magnetycznej przez prąd.

Z kursu chemji poznaliśmy jeszcze jedno działanie prądu elektrycznego: rozkłada on wodę zakwaszoną na wodór i tlen. Jest to tylko jeden z niezmiernie licznych przykładów działania chemicznego prądu.

Ćwiczenie 33. a) Łączymy szeregowo dwa ogniwa lub akumulatory. Do wolnych zacisków dołączamy dwa długie druty dzwinkowe, których przeciwne końce uwalniamy z izolacji i owijamy naokoło 2 pałeczek węglowych. Pałeczki zanurzamy w ramionach rurki w kształcie litery U (ryc. 156), do której nalewamy słabego roztworu jodku potasu, z dodatkiem rozpuszczonego krochmalu.



Ryc. 156. Elektroliza jodku potasu.

Przewody, doprowadzające prąd do roztworu, nazywamy **elektrodami**; w naszym wypadku są nimi pałeczki węglowe.

Fioletowe zabarwienie roztworu przy jednej z pałeczek wskazuje na pojawienie się w tym miejscu jodu, t. j. jednej z części składowych rozpuszczonej soli. Jodek potasu został więc rozłożony za pomocą prądu.

Ćwiczenie 33. b) Zmieniamy połączenie elektrod z biegunami baterji i powtarzamy doświadczenie.

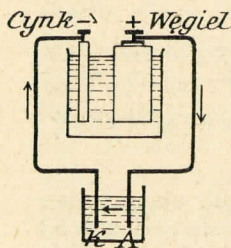
Fioletowe zabarwienie pojawia się teraz przy drugiej elektrodzie. Elektroda, przy której to występuje, jest zawsze połączona

z jednym i tym samym biegunem baterji ogniów lub akumulatorów.

Przez zmianę połączenia elektrod widocznie zmieniliśmy **kierunek prądu**. Umówiono się uważać, że prąd płynie w takim kierunku, że wchodzi do roztworu jodku potasu przez tę elektrodę, na której wydziela się jod. Miejsce wchodzenia prądu do roztworu zaznacza się w tym wypadku fioletowym zabarwieniem.

Ćwiczenie 34. Do rozpoznawania biegunów obu baterji używany jest t. zw. papier biegunowy. Arkusik bibuły zwilżamy roztworem jodku potasu i krochmalu, suszymy i krajemy na paski. Chcąc użyć takiego papierka, zwilżamy go wodą i dotykamy jego powierzchni dwoma drutami, któreśmy poprzednio połączyli z biegunami ogniwa. Prąd wchodzi do papieru tam, gdzie pojawia się fioletowa plamka. Próbujemy w ten sposób różnych ogniów i akumulatora.

To ćwiczenie służy do stwierdzenia, z którego bieguna ogniwa prąd wypływa. Łatwo jest sprawdzić, że prąd płynie zawsze od bieguna węglowego albo miedziowego i powraca przez przewody do bieguna cynkowego. Biegun, z którego prąd wypływa, nazywamy **dodatnim**, a ten, ku któremu płynie — **ujemnym** (ryc. 157). Wyrażamy się też, że biegun dodatni ma wyższy **potencjał**, a ujemny — niższy; prąd płynie od potencjału wyższego do niższego. Cynk w ogniwie jest zawsze biegunem ujemnym, ma więc potencjał niższy niż węgiel albo miedź. Biegun dodatni akumulatora jest zwykle pomalowany czerwoną farbą albo zaopatrzony w znak +

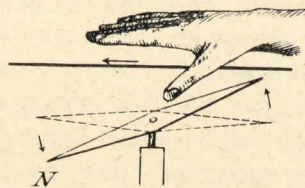


Ryc. 157. Kierunek prądu pobieranego z ogniwa.

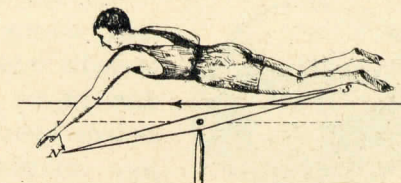
93. Dalsze wiadomości o działaniu magnetycznym prądu.

W działaniu prądu na igłę magnetyczną też występuje kierunkowość prądu. Po kierunku odchylenia igły można rozpoznać kierunek prądu; należy tylko ustalić odpowiednią zależność.

Powtarzając doświadczenie z igłą magnetyczną (ust. 92), sprawdzimy słuszność następującego prawidła: jeśli wyciągniemy prawą dłoń wzdłuż przewodu, zwracając ją stroną wewnętrzną do igły, a palcami w kierunku prądu, to odsunięty duży palec wskazuje kierunek, w którym odchyła się północny biegun igły (ryc. 158). Reguła ta nosi nazwę **prawidła prawej dłoni**. Została ona podana w nieco odmiennej postaci przez znakomitego francuskiego badacza zjawisk elektrycznych A. M. AMPÈRE'a na początku XIX w.



Ryc. 158. Prawidło prawej ręki.



Ryc. 159. Prawidło Ampère'a.

Reguła Ampère'a brzmi tak: wyobraźmy sobie człowieka, płynącego razem z prądem elektrycznym, twarzą zwróconego ku igłę; wyciągnięta lewa ręka wskazuje kierunek odchylenia bieguna północnego (ryc. 159).

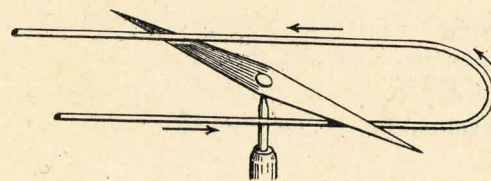
Zastosujemy regułę prawej ręki w następującym ćwiczeniu.

Ćwiczenie 35. Postępujemy jak w ćwiczeniu 32, przytem umieszczamy przewód z prądem a) nad igłą magnetyczną, b) pod igłą, c) pozostawiając przewód pod igłą, zmieniamy kierunek prądu w obwodzie. Kontrolujemy za każdym razem, czy prawidło prawej ręki jest spełnione.

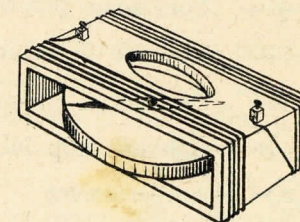
94. Galwanoskop. Z obserwacji, poczynionych w przytoczonym ćwiczeniu, wynika ciekawy i ważny wniosek: jeśli przeniesiemy przewód na drugą stronę igły, a jednocześnie zmienimy kierunek prądu, to odchylenie igły się nie zmienia. Wyzyskamy to w celu wzmocnienia działania prądu na igłę.

Ćwiczenie 36. Wygnijmy drut w ciasną pętlę i obejmijmy nią igłę (ryc. 160). Prąd w odcinku dolnym płynie odwrotnie niż w górnym, ich działania na igłę są więc zgodne. Działania wzmacniają się wzajemnie i wywołują silniejsze odchylenie igły.

Jeszcze większe wzmocnienie osiągniemy, jeśli zamiast jednej pętli utworzymy kilka. W tym celu weźmy płaską ramkę drewnianą

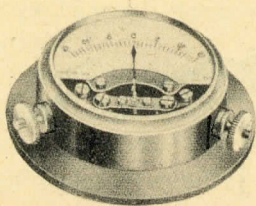


Ryc. 160. Zasada galwanoskopu.



Ryc. 161. Prosty galwanoskop.

i owińmy kilkanaście albo kilkadziesiąt razy drutem izolowanym, jak na ryc. 161. Jeśli wewnątrz ramki umieścimy igłę magnetyczną (np. busolkę), to będzie się ona odchylała pod wpływem słabego nawet prądu.



Ryc. 162. Galwanoskop precyzyjny.

W ten sposób zbudujemy prosty przyrząd, zwany **galwanoskopem**. Włączony do obwodu, może służyć do wskazania, czy w obwodzie płynie prąd; można nim też stwierdzić zmianę kierunku prądu oraz ocenić zgrubsza jego natężenie. Nasz przyrząd jest bardzo prymitywny; na ryc. 162 widzimy inny, czulszy galwanoskop.

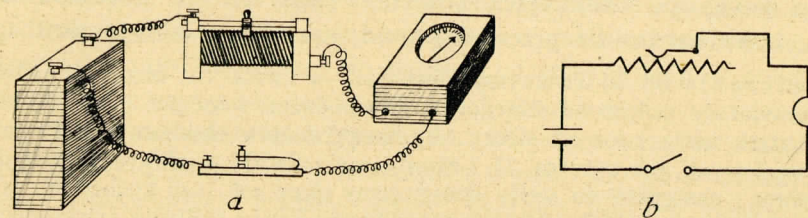
95. Graficzne oznaczenie obwodu i jego części składowych.

Najłatwiej zrozumieć i dać zrozumieć innym, w jaki sposób różne części obwodu zostały z sobą połączone, uciekając się do rysunku, t. zw. **schematu połączeń**. Jest to rysunek, na którym różne części obwodu i przyrządy oznaczamy umownymi znakami. Podajemy tu najważniejsze z nich, nawet takie, z którymi czytelnik zapozna się dopiero później.

	Ogniwo lub akumulator
	Baterja ogniw lub akumulatorów
	Prądnicą (generator) prądu stałego
	Prądnicą (generator) prądu zmiennego
	Silnik (motor) prądu stałego
	Silnik (motor) prądu zmiennego
	Przewód
	Skrzyżowanie przewodów
	Połączenie przewodów
	Opornik o stałym oporze
	Opornik o zmiennym oporze
	Galwanoskop lub galwanometr
	Amperomierz
	Woltomierz
	Woltametr lub naczynie elektrolityczne
	Żarówka
	Bezpiecznik

	Grzejnik
	Wyłącznik
	Kondensator stały
	Kondensator zmienny

Linje, wyobrażające przewody, rysujemy w postaci linii prostych lub łamanych. Na ryc. 163 po prawej stronie widzimy zestawienie przyrządów, użytych do utworzenia obwodu, po lewej — schemat tych



Ryc. 163. a. Obwód elektryczny, zestawiony z kilku przyrządów. b. Schemat połączeń tegoż obwodu.

połączeń. Czytelnik sam narysuje schematy połączeń dla wykonanych już ćwiczeń. W przyszłości będziemy się stale posługiwali podobnymi rysunkami.

Przystępując do jakiegokolwiek doświadczenia z prądem, powinniśmy:

1. Narysować schemat połączeń.
2. Sprawdzić każdy z przyrządów.
3. Wykonać połączenia według schematu, źródła prądu postawić na właściwym miejscu, lecz nie włączać do obwodu.
4. Prosić nauczyciela o sprawdzenie połączeń.
5. Włączyć źródło prądu.
6. Nie brać prądu większego niż konieczne, trzymać go zamkniętym tylko tyle czasu, ile tego wymaga doświadczenie.
7. Po skończonym pomiarze natychmiast wyłączyć źródło prądu.
8. Strzec się łączenia biegunów akumulatora przewodem o małym oporze.
9. Strzec się przepuszczenia przez amperomierz lub galwanoskop zbyt silnego prądu.

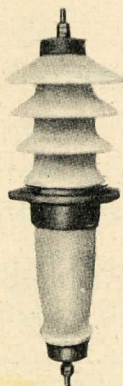
96. Dobre i złe przewodniki. Do budowy ogniw używamy metali lub węgla; przewody, zaciski, wyłączniki i oporniki są albo całe z metalu, albo mają metalowe części, przez które przepływa prąd. Dlaczego nie używamy do tego innych ciał? Jaka właściwość różni metale i węgiel od pozostałych materiałów?

Ćwiczenie 37. Tworzymy obwód z ogniwa lub akumulatora, opornika i galwanoskopu; suwak opornika ustawiamy tak, by igła galwanoskopu wychylała się mniej więcej o 40° . Przerwywamy obwód w jednym miejscu i pomiędzy powstałe swobodne końce drutów wprowadzamy: pręty lub blaszki metalowe, kawałki węgla retortowego, drewna, szkła, porcelany, gumy, materji jedwabnej.

Przez jedne z tych ciał prąd przechodzi, przez inne — nie. Pierwszą kategorię ciał stanowią metale i węgiel. Nazywamy je **dobrymi przewodnikami** albo wprost **przewodnikami prądu elektrycznego**. Druga kategoria, obejmująca pozostałe ciała, to **złe przewodniki**. Ciała, które bardzo źle przewodzą prąd, nazywamy **izolatorami**.

Ćwiczenie 38. a) Tworzymy obwód jak w ćwic. 37, bierzemy jednak 2 akumulatory połączone szeregowo. Swobodnymi końcami drutów dotykamy rtęci, nafty i innych cieczy. b) Końce drutów obwijamy około pałeczek węglowych, jak w ćwic. 33, i zanurzamy pałeczki w zlewce z wodą dystylowaną; następnie do wody dosypujemy nieco soli (soli kuchennej, saletry, jodku potasu i t. p.), albo dolewamy trochę kwasu (solnego, siarkowego); zlewkę opróżniamy, nalewamy wody z kranu i powtarzamy doświadczenie.

Większość cieczy nie przewodzi prądu; rtęć, która jest ciekłym metalem, przewodzi doskonale. Bardzo ciekawe jest zachowanie się wody: dystylowana, a więc zupełnie czysta, nie przewodzi prądu, natomiast nawet drobne ilości rozpuszczonej soli lub kwasu nadają jej własności przewodnika. Zwykła woda źródłana lub wodociągowa zawiera w sobie niewielkie ilości rozpuszczonych soli, to też jest przewodnikiem. Dobre przewodnictwo zwykłej wody jest często szkodliwe, gdyż zwilżone izolatory stają się przewodnikami. To też technicy starają się chronić izolatory od zamoczenia.



Ryc. 164. Izolator porcelanowy, zaopatrzony w kilka dzwonów.

Gdyby przewody, przez które ma płynąć prąd elektryczny, stykały się z innymi przewodnikami, prąd, zamiast płynąć po wyznaczonej mu drodze, przechodziłby na inne przewodniki. By temu zapobiec, otaczamy przewody złemi przewodnikami, czyli **izolujemy** je od innych przewodników (porównaj t. I, ust. 40); od tego właśnie pochodzi nazwa „izolatory“, którą nadajemy złym przewodnikom.

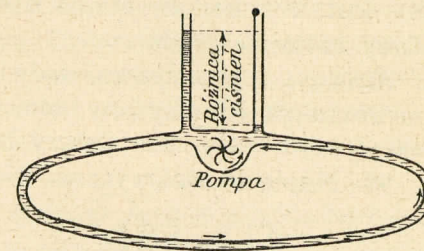
Znamy dobrze druty lub splecione linki, owinięte warstwą jedwabiu, bawełny parafinowanej lub gumy; używamy ich do dzwonek i instalacji oświetleniowych. Druty telegrafów, telefonów lub sieci miejskich, prowadzone w powietrzu, przywiązuje się do porcelanowych dzwonek, zawieszonych (ryc. 164) lub umocowanych na słupach drewnianych. Kształt dzwonek nadawany tym izolatorom, zapobiega w cza-

sie deszczu tworzeniu się warstwy wody, któraby łączyła drut z ha-kiem, podtrzymującym izolator.

Przewody telegraficzne lub telefoniczne są często splatane w **kable**. Każdy przewód jest oddzielony od innych warstwą izolatora, tak by prąd płynął przez każdy z przewodów, nie przedostając się do sąsiednich. Prócz tego każdy kabel jest starannie otoczony kilkoma warstwami, które go izolują i chronią od zamoknięcia. Kable można więc zakopywać w ziemię, a nawet zatapiać w wodzie.

Najlepsze izolatory używane w technice stanowią: guma, ebonit, jedwab, parafina, szkło, porcelana, siarka, galalit; zupełnie suchy papier też izoluje doskonale. Do bardzo starannej izolacji w przyrządach naukowych używa się bursztynu lub kwarcu.

97. O obwodzie elektrycznym. Zbierzmy teraz to wszystko, co już wiemy o warunkach powstawania prądu. Aby go wytworzyć, musimy rozporządzać źródłem prądu. Bieguny musimy połączyć nieprzerwanym szeregiem dobrych przewodników; każde przerwanie tego szeregu powoduje zniknięcie prądu. Zwróćmy uwagę, że nasze źródła prądu też składają się z dobrych przewodników: metali, węgla, wody zakwaszonej; prąd płynie więc nie tylko przez wewnętrzne przewody, ale i przez samo źródło prądu. Obwód prądu jest zatem **zamknięty**, prąd może krążyć po nim w określonym kierunku.



Ryc. 165. Prąd wody w rurze pod wpływem różnicy ciśnień, wytworzonej działaniem pompy rotacyjnej.

Podobnie zachowuje się woda, która, poruszana pompą wirującą, krąży w zamkniętym układzie rur. (Ryc. 165). Pompa gra w tym wypadku rolę, podobną do ogniwa: włącza wodę do jednego z końców rury, co wywołuje różnicę ciśnień między obu końcami. Jeśli wstawić tam rurki pionowe, to poziom wody w nich uwiidoczni różnicę ciśnień. Ona to przepycha wodę przez rury, podobnie jak różnica potencjałów wywołuje prąd elektryczny w przewodach. Rury muszą tworzyć ciąg nieprzerwany; zawór, który przerywa swobodną drogę, działa tak, jak wyłącznik prądu elektrycznego.

W rurach porusza się woda. A co porusza się w obwodzie elektrycznym? Uczeni doszli do przekonania, że istotę prądu stanowi ruch czegoś niewidzialnego, co nazwali **elektrycznością**. Elektryczności nie możemy dostrzec, tak jak dostrzegamy zjawiska ruchu, ciepła lub światła, ponieważ nie posiadamy odpowiedniego zmysłu. O obecno-

ści elektryczności i o jej ruchu sędzimy jedynie na podstawie wywołanych zjawisk. Poznaliśmy już zjawiska, jakie wywołuje ruch elektryczności: ciepłe, chemiczne i magnetyczne.

98. Opór obwodu. Mając do rozporządzenia galwanoskop, możemy przystąpić do odpowiedzi na dalsze pytanie: od czego mianowicie zależy natężenie prądu. Odpowiedź nasuwa się nam na podstawie już przerobionych doświadczeń: wszak zmienialiśmy natężenie prądu raz zapomocą opornicy, raz przez zwiększenie liczby ogniw. Teraz zbadamy bliżej to zagadnienie.

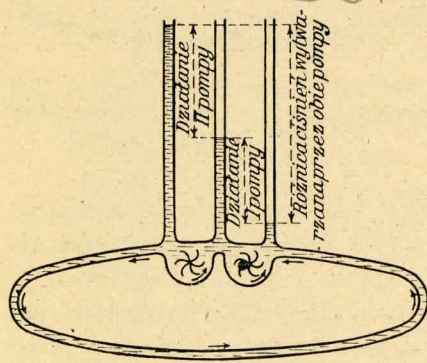
Ćwiczenie 39. Zestawiamy obwód z ogniwa, wyłącznika, galwanoskopu oraz opornika. Przesuwamy suwak tak, by włączyć tylko krótki kawałek drutu, poczem zwiększamy stopniowo jego długość. Obserwujemy zmianę wychYLENIA igły galwanoskopu.

W miarę jak włączamy coraz więcej drutu w obwód, natężenie płynącego w nim prądu stopniowo maleje. Mówimy, że im dłuższy jest drut, tem większy stawia **opór**. Zwiększając opór obwodu, osłabiamy natężenie prądu.

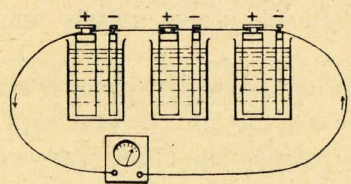
Analogja z przepływem wody przez rury i tu da się zastosować. Im dłuższych rur użyjemy, tem większy będzie opór, jaki stawiają przepływowi wody, tem słabszy będzie jej prąd.

99. Napięcie elektryczne. Natężenie prądu wody zależy nie tylko

od oporu rur, ale i od różnicy ciśnień na początku i końcu rury. Moglibyśmy np. ustawić 2 pompy, z których każda wytwarza pewną różnicę ciśnień, a druga powiększa ciśnienie, wytworzone przez pierwszą (ryc. 166). Czy i prąd elektryczny możemy wzmocnić w podobny sposób?



Ryc. 166. Połączenie szeregowe dwóch pomp wzmacnia różnicę ciśnień.



Ryc. 167. Połączenie szeregowe ogniw wzmacnia napięcie.

Ćwiczenie 40. Zestawiamy obwód z akumulatorem, galwanoskopu, wyłącznika i opornika (ryc. 167). Suwak opornika ustawiamy tak, by wychylenie igły było nieduże. Następnie zamiast jednego akumulatora bierzemy 2 lub 3, łącząc je szeregowo. Za każdym razem obserwujemy wychylenie igły.

Dwa akumulatory, połączone szeregowo, wywołują w tym samym

obwodzie prąd silniejszy, niż jeden. Podobnie zachowują się dwie połączone szeregowo pompy. Wytwarzają one większą różnicę ciśnień, niż jedna. Tak też wyrażamy się, gdy chodzi o prądy elektryczne: mówimy, że dwa szeregowo połączone akumulatory wytwarzają większą **różnicę potencjału** czyli większe **napięcie**, niż jeden. Im większe jest napięcie źródła prądu, tem silniejszy prąd powstaje w przewodach, którymi łączymy jego bieguny. Łącząc źródła szeregowo, np. tworząc baterje ogniw lub akumulatorów, zwiększamy napięcie na swobodnych końcach szeregu. W ten sposób można otrzymać tak wielkie napięcia, że nieostrożne operowanie niemi grozi niebezpieczeństwem.

Napięcie w sieciach miejskich nie jest aż tak silne, jest jednak znacznie większe, niż na biegunach akumulatora. Człowiek, któryby się dotknął przewodów o wysokim napięciu, byłby narażony na kalectwo lub śmierć. Przy słupach, prowadzących prąd z instalacji o wysokim napięciu, są umieszczone tablice ostrzegawcze; zerwanego drutu nie należy dotykać w żadnym wypadku.

Streśćmy raz jeszcze wszystko to, czegośmy się dotychczas nauczyli o prądzie i o obwodzie elektrycznym. Posługiwaliśmy się przy naszych rozważaniach trzema wielkościami: *napięciem, oporem i natężeniem prądu*. Napięcie pomiędzy biegunami jest cechą źródła prądu, opór — cechą całego obwodu, a z tych dwóch wielkości wynika trzecia: natężenie prądu.

By móc przewidzieć, jakie będą wartości tych wielkości w poszczególnych wypadkach, musimy poznać sposoby ich mierzenia. Ponieważ prąd elektryczny poznajemy tylko na podstawie jego działań, więc i ilościowe poznanie praw prądu musimy oprzeć na mierzeniu tych działań; najważniejsze dla nas to działania chemiczne i ciepłe.

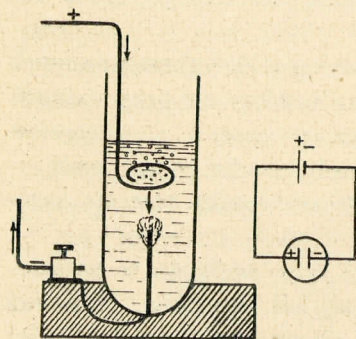
Pytania.

1. Dlaczego naczynia do ogniw i akumulatorów są wyrabiane ze szkła lub porcelany?
2. Dlaczego monterzy, pracujący przy naprawie sieci miejskich lub przewodów tramwajowych, używają gumowych rękawic?
3. Dlaczego zwykle w obwód akumulatora włączamy opornik?
4. Przez dwa przewody równoległe płyną prądy w przeciwnych kierunkach. W których miejscach ich działania na igłę magnetyczną wzmocniają się, a w których osłabiają?
5. Jakie jest działanie magnetyczne dwóch splecionych z sobą przewodów, z których jeden przewodzi prąd w jedną stronę, drugi ten sam prąd w kierunku przeciwnym?
6. Dlaczego żarówki, używane do oświetlania ulic, pralni, łazienek są umieszczane w szczelnych kloszach szklanych?

ELEKTROLIZA. NATĘŻENIE PRĄDU

100. Rozkład niektórych związków chemicznych. Przekonał się (ćwicz. 38), że czysta, dystylowana woda nie przewodzi prądu, a rozpuszczenie w niej różnych soli lub kwasów czyni z niej dobry przewodnik. Dowiedzieliśmy się też (ćwicz. 33), że prąd, przechodząc przez jeden z takich roztworów, rozkłada zawartą w nim sól. Również w kursie chemii poznaliśmy rozkład kwasu solnego na jego części składowe: chlor i wodór. Taki rozkład zapomocą prądu elektrycznego nazywamy **elektrolizą**, ciało rozkładane — **elektrolitem**, przyrząd, w którym się to odbywa — *naczyniem elektrolitycznym*. Ponieważ przy każdej z elektrod występują inne zjawiska, nadajemy im odmienne nazwy: elektrodę, przez którą prąd wchodzi do roztworu, nazywamy **anodą** (greckie „anodos” = wejście), tę, przez którą prąd wychodzi — **katodą** („katodos” = wyjście).

Poznamy teraz inne jeszcze wypadki elektrolizy.

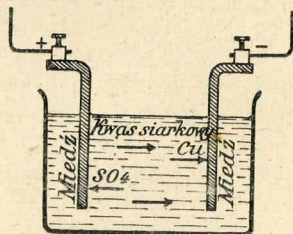


Ryc. 168. Elektroliza chlorku cynku.

Wydzielający się na anodzie zielonkawym zapachu — jest to chlor. Na katodzie wydziela się ciemna gąbczasta masa o metalowym połysku; jest to metaliczna część związku — cynk. I tu odbywa się elektroliza soli na jej części składowe.

Ćwiczenie 42. Do naczynia szklanego, zawierającego 10% roztwór siarczanu miedziowego, wstawiamy dwie starannie oczyszczone i zważone blaszki miedziane i łączymy je z biegunami akumulatora (ryc. 169). Po kilkunastu minutach przerywamy prąd, ostrożnie obmywamy i suszymy obie elektrody i ważymy je ponownie.

Już po wyglądzie elektrod można poznać, że na katodzie utworzył się osad miedzi, a miedź anody została nadżarta. Ważenie potwierdza w zupełności to przypuszczenie. Wzrost



Ryc. 169. Elektroliza siarczanu miedziowego.

masy katody łatwo wytłumaczyć tem, że i tu osadził się metaliczny składnik soli: miedź. Ale skąd powstał ubytek masy na anodzie?

Wiemy z chemii, że siarczan miedziowy jest związkiem miedzi z t. zw. „resztą kwasową” kwasu siarkowego. Jest to połączenie (SO_4) jednego atomu siarki z 4 atomami tlenu; takiego połączenia nie spotykamy nigdzie oddzielnie. Reszta kwasowa wydzieliła się na anodzie, lecz nie mogła istnieć samodzielnie, więc połączyła się z miedzią anody; powstał znów siarczan miedziowy ($CuSO_4$) i przeszedł do roztworu, a tem samem masa miedzi na anodzie uległa zmniejszeniu. Podobne reakcje, zachodzące na elektrodach, nazywamy *reakcjami wtórnymi*.

Z reakcją wtórną spotykamy się przy elektrolizie roztworu jodku potasu lub soli kuchennej. Wydzielający się na katodzie potas albo sód rozkłada wodę i tworzy wodorotlenek oraz wodór. Gdybyśmy chcieli uniknąć tej reakcji, należałoby pokryć katodę rtęcią; sód i potas rozpuszczają się łatwo w rtęci i tworzą t. zw. amalgamat. Później można odparować rtęć i otrzymać czyste metale.

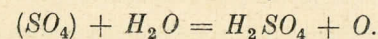
Dla ułatwienia opisu zjawisk elektrolizy będziemy nazywali **jonami** te atomy lub grupy atomów, które wydzielają się na elektrodach. W naszych przykładach jonami były: atom chloru i atom cynku, atom miedzi i grupa atomów SO_4 .

Przy rozkładzie siarczanu miedziowego każdy jon reszty kwasowej przyłączył po jednym atomie miedzi z anody; więc ile miedzi wydzielilo się na katodzie, tyle jej ubyło z anody. Wygląda to tak, jakgdyby jony miedzi przepływały od anody do katody, jakby więc płynęły z prądem. Jony reszty kwasowej odbywają wędrówkę w kierunku odwrotnym — wbrew prądowi.

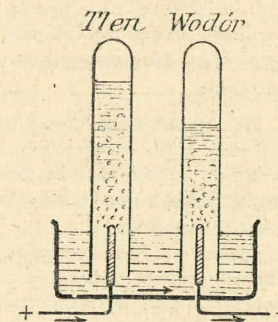
Jon reszty kwasowej trafia na anodzie na miedź i wytwarza z nią związek chemiczny. A co się stanie, jeśli anodę zrobimy z ciała, nie łączącego się z tą resztą? Dla zbadania tego przeprowadzimy elektrolizę kwasu siarkowego, używając do tego elektrod z platyny albo z węgla.

Ćwiczenie 43. W przyrządzie, przedstawionym na ryc. 170, wykonywamy elektrolizę wody, zakwaszonej kwasem siarkowym. Badamy zebrane gazy.

Kwas siarkowy (H_2SO_4) został tu rozłożony na jony: wodór i resztę kwasową. Wodór wydziela się na katodzie, a reszta kwasowa, nie mogąc połączyć się z materiałem anody, działa na wodę i rozkłada ją według, wzoru



W ten sposób tworzy się znów kwas oraz wydziela się na anodzie tlen. Tlen i wodór wydzielają się tu w takiej proporcji, w jakiej wchodzi



Ryc. 170. Przyrząd do elektrolizy kwasu siarkowego.

w skład wody; wygląda więc, jakgdyby woda bezpośrednio podlegała elektrolizie. Jestto tylko pozór; czysta woda, jak wiemy, nie przewodzi wcale prądu.

Ważny jest rozkład jednego jeszcze elektrolitu, a mianowicie roztworu azotanu srebrowego ($AgNO_3$); na katodzie wydziela się srebro, a na anodzie reszta kwasowa (NO_3). Jeśli anoda jest srebrna, to srebro łączy się z resztą kwasową i znów powstaje azotan srebrowy.

Poznane przez nas fakty prowadzą do paru ogólnych wniosków, potwierdzonych zresztą przez liczne badania naukowe:

1) Przewodzeniu prądu przez roztwory soli i kwasów towarzyszy elektrolityczny rozkład tych związków.

2) Na katodzie wydzielają się zawsze metale lub wodór, na anodzie — reszty kwasowe.

3) Metale i wodór posuwają się w kierunku prądu, reszty kwasowe wbrew prądowi.

4) Wydzielające się jony mogą wchodzić w reakcję wtórną z materiałem anody lub z wodą.

Na podstawie tych praw możemy sobie wyjaśnić niektóre szczegóły działania ogniw galwanicznych. Prąd obiega cały zamknięty obwód, więc płynie też przez ciecz ogniwa — np. przez roztwór kwasu siarkowego. Jak widać z ryc. 177, prąd płynie w ogniwie od bieguna cynkowego do węglowego. Jony reszty kwasowej wydzielają się więc na biegunie ujemnym i łączą z cynkiem.

Na biegunie dodatnim, t. j. na miedzi lub węglu wydzielają się pęcherzyki wodoru. Ich obecność osłabia działanie ogniwa; mówimy o niem, że jest spolaryzowane. By usunąć wodór, dodajemy do roztworu kwasu t. zw. depolaryzatory (dwuchromian potasu albo braunsztyń), które oddają łatwo tlen i utleniają wodór na wodę.

Ćwiczenie 44. Ogniwo Volty łączymy z galwanoskopem przez dość duży opór; zwracamy uwagę na powierzchnię blaszki miedzianej i notujemy zmiany odchylenia igły. Teraz dolewamy nieco stężonego roztworu dwuchromianu potasu i powtarzamy obserwację.

101. Wzmianka historyczna. Niemal bezpośrednio po zbudowaniu baterji elektrycznej przez Voltę spostrzeżono chemiczne działanie prądu na wodę. Nieco później Davy stwierdził, że jest to właściwie rozkład ciał, rozpuszczonych w wodzie. Ten sam uczony elektrolizował stopione sole sodu i potasu i tą drogą pierwszy otrzymał te metale w stanie czystym.

Dopiero jednak genialny samouk Michał FARADAY poddał zjawisko elektrolizy systematycznym badaniom. Przeprowadził mnóstwo doświadczeń, znalazł wielką liczbę nowych faktów, uporządkował całą ówczesną wiedzę o tych zjawiskach, stworzył nazwy, do dziś powszechnie używane, wreszcie zbadał stosunki ilościowe, a wyniki poszukiwań ujął w dwa prawa, związane z jego imieniem. Pierwsze z nich poznamy w następnym ustępie.

Faraday (1791–1867) należy niewątpliwie do najwybitniejszych przedstawicieli ludzkości. Pochodząc z biednej rodziny, wyniósł ze szkoły zaledwie elementarne wiadomości; jako mały chłopiec został oddany na naukę do introligatora. Inteligentny, pracowity, skromny i żądny wiedzy chłopczyka, pochłaniającego z zapa-

łem książki przyrodnicze, które mu wpadły w ręce, zwrócił na siebie uwagę klientów. Umożliwiono mu pracę w wielkim laboratorium naukowym w Londynie; zaczął tam jako posługacz, a po 12 latach stał się kierownikiem tej sławionej w dziejach nauki instytucji. Dokonał wielu nadzwyczaj ważnych odkryć, dotyczących skraplania gazów, elektrolizy, wzbudzania prądów elektrycznych przez magnesy (ust. 135), wpływu izolatora na pojemność kondensatorów (ust. 156). Na zupełnie nowe tory skierował poglądy teoretyczne na istotę zjawisk elektrycznych i magnetycznych. Skromny, mimo wielkiej sławy, cieszący się nie tylko swoim, ale i cudzem powodzeniem, o gorącym szlachetnym sercu, zmarł genialny samouk jako starzec, otoczony czcią i miłością wszystkich — niedościgniony wzór niestrudzonej, bezinteresownej pracy w poszukiwaniu prawdy naukowej. Prawdę czcił nade wszystko, a w tajemnicach natury widział objawienie mądrości i wielkości Stwórcy.



Ryc. 171. Michał Faraday, genialny badacz zjawisk elektrycznych (1791–1867).

102. Prawo Faraday'a. Idąc śladami Faraday'a postawimy sobie pytanie: od czego zależy ilość wydzielonych produktów elektrolizy?

Ćwiczenie 45. Tworzymy obwód z 2 akumulatorów, opornika regulującego, galwanoskopu i przyrządu do elektrolizy wody. a) Mierzmy ilość wodoru, wydzielanego w równych odstępach czasu. b) Zmieniamy zapomocą opornika natężenie prądu i powtarzamy pomiar.

Ilość wydzielonego wodoru, wzrasta równomiernie z czasem, jest więc proporcjonalna do czasu trwania zjawiska. Zależy też od natężenia prądu: im natężenie jest większe, tem więcej gazu wydziela się w jednostce czasu. Na kongresie elektryków, który odbył się w Londynie w r. 1881, postanowiono za miarę natężenia prądu przyjmować masę produktów elektrolizy, wydzielanych przez prąd w jednostce czasu. Za *jednostkę* uznano natężenie takiego prądu, który w ciągu jednej sekundy wydziela na katodzie 1,118 mg srebra z roztworu azotanu srebrowego. Jednostce tej dano nazwę **amper** (międzynarodowy), w skróceniu *A*.

Jeśli prąd o natężeniu $1A$ w ciągu 1 sek. wydziela 1,118 mg srebra

to	„	„	„	$1A$	„	t	„	„	1,118t	„	„
a	„	„	„	iA	„	t	„	„	1,118it	„	„

więc masa wydzielanego srebra wyrazi się wzorem

$$m = 1,118 \, i \, t.$$

Jestto *pierwsze prawo Faraday'a* — narazie dla jednego tylko metalu, srebra. Ale jest ono słuszne i dla innych metali, jedynie wartość współczynnika liczbowego jest wtedy inna. Współczynnik ten nazywamy **równoważnikiem elektrochemicznym**. Możemy wyznaczyć te równoważniki dla różnych metali, przepuszczając jeden i ten sam prąd przez szeregowo połączone naczynia elektrolityczne z roztworami soli różnych metali, między innymi i srebra. Łatwo wyznaczyć, jaka masa każdego metalu odpowiada masie 1,118 mg srebra. W tablicy II mamy zestawione wyniki takich pomiarów.

Tablica II.

Równoważniki elektrochemiczne.

Prąd 1 A wydziela

Wodoru	0,0104 mg na sek, albo 6,96 cm ³ na min.
Tlenu	0,0829 „ „ „ „ 3,48 „ „ „
Niklu	0,203 „ „ „
Miedzi	0,3294 „ „ „
Złota	0,681 „ „ „
Srebra	1,118 „ „ „

Jeśli literą *k* oznaczymy równoważnik elektrochemiczny dowolnego jonu, to możemy uogólnić prawo Faraday'a, pisząc:

$$m = k \, i \, t$$

Drugie prawo Faraday'a ustala związek pomiędzy równoważnikiem elektrochemicznym pierwiastka a jego własnościami chemicznymi.

Najważniejszym zastosowaniem prawa Faraday'a jest możliwość mierzenia natężenia prądu. Jeśli np. prąd w ciągu *t* sek wydzielił *m* mg ciała o równoważniku elektrochemicznym *k*, to jak wynika z powyższego równania,

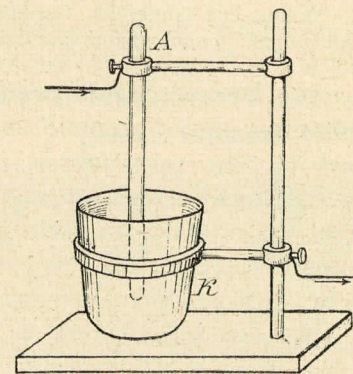
$$i = \frac{m}{k \, t}$$

Posługując się wagą i zegarkiem, możemy mierzyć zjawisko tak nieuchwytnie dla naszych zmysłów, jak prąd elektryczny.

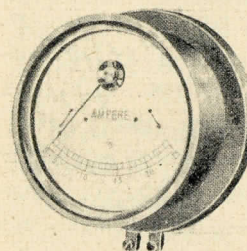
103. Woltametry i amperomierze. Przyrządy, używane do mierzenia natężenia prądu na podstawie takiego obliczenia, nazywamy **woltametrami**. Tak np. przyrząd, użyty do elektrolizy mie-

dzi, jest *woltametrem miedziowym*; przyrząd do elektrolizy wody, o ile jest zaopatrzony w rurkę z podziałką do mierzenia objętości wydzielonych gazów, jest *woltametrem gazowym*. Ryc. 172 wyobraża *woltametr srebrowy*; katodę stanowi kubek ze srebra lub platyny, anodą jest pręcik srebrny. Ten woltametr jest najdokładniejszy i służy do precyzyjnych pomiarów.

Pomiary woltametrami umożliwiają wyznaczenie natężenia prądu przy użyciu tylko wagi i zegarka. Jednakże są one uciążliwe i wymagają dużo czasu. Dla potrzeb praktycznych niezbędne są przyrządy, które pozwalałyby skutecznie to przędzej i dokładniej. Technika stworzyła w tym celu szereg przyrządów, opartych na cieplnych i magnetycznych działaniach prądu; w odpowiednich ustępach książki zaznajomimy się z ich budową. Każdy taki przyrząd



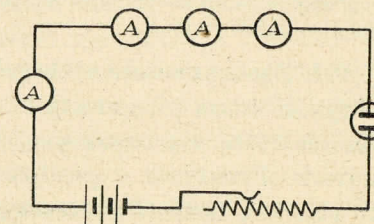
Ryc. 172. Woltametr srebrowy.



Ryc. 173. Amperomierz.

Każdy amperomierz powinien być *wycechowany*. Amperomierze *wzorcowe* cechuje się w ten sposób, że łączy się je szeregowo z woltametrem srebrowym i przepuszcza przez nie jeden i ten sam prąd (ryc. 174). Wskazania amperomierzy porównywa się z natężeniem, obliczonym z ilości wydzielonego srebra. Każdy amperomierz wzorcowy może służyć do cechowania innych amperomierzy. W Polsce cechowanie i sprawdzanie amperomierzy wykonywa się w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie.

Ćwiczenie 46. Wyznaczanie równoważnika elektrochemicznego miedzi. Tworzymy obwód z akumulatora, wyłącznika, amperomierza i woltamtru miedziowego. Ważymy



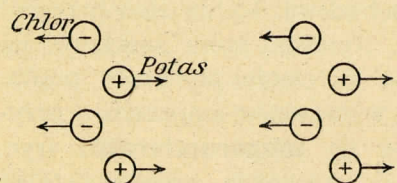
Ryc. 174. Cechowanie amperomierzy zapomocą woltamtru srebrowego.

katodę przed i po pomiarze, jak w ćwic. 42. Mierzmy dokładnie czas przepuszczania prądu oraz jego natężenie. Obliczamy równoważnik chemiczny miedzi.

Można też odwrócić zagadnienie i, przyjąwszy równoważnik za znany, sprawdzać poszczególne podziałki amperomierza.

104. Przewodzenie prądów w elektrolitach. Zjawisko elektrolizy może nas dużo pouczyć o istocie prądów elektrycznych. Najważniejszy jest tu fakt przenoszenia cząsteczek materialnych wraz z prądem. Szczegółowe badania wykazały, że jony, które wydzielają się na elektrodzie, wędrują ku elektrodom poprzez całą masę roztworu zawartą pomiędzy elektrodami. Np. w roztworze jodku potasu jony jodowe w całym roztworze płyną ku anodzie, a jony potasowe ku katodzie.

Mówiliśmy już o tem, że prąd elektryczny możemy sobie wyobrazić jako przepływ elektryczności. Chcąc objaśnić zjawiska elektrolizy, przypuszczamy, że każda cząsteczka materialna, wędrująca przez roztwór, unosi z sobą cząsteczkę elektryczności, czyli małe *elementarny nabój elektryczny*. Takim właśnie elementarnym nabojem jest



Ryc. 175. Przenoszenie naboju elektrycznych przez jony.

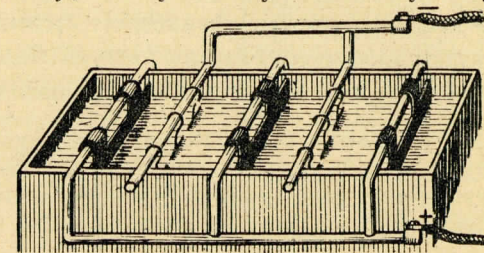
obdarzony każdy *jon* (wyraz „ion” po grecku znaczy wędrowiec). Prąd w elektrolizie polega na przepływie jonów, które unoszą z sobą naboje elektryczne (ryc. 175). Na elektrodzie oddają one swój nabój, który płynie dalej przez przewody metalowe, a pozostałe obojętne cząsteczki osadzają się na powierzchni elektrody. Ale w elektrolizie mamy wędrówkę dwóch rodzajów jonów w dwu przeciwnych kierunkach. Czyżby istniały także dwa rodzaje naboju elektrycznych? W rozdziale VIII znajdziemy odpowiedź na to pytanie.

W świetle tej teorii jest zrozumiałe pierwsze prawo Faradaya: liczba jonów, wydzielonych na elektrodzie, jest równa ilości naboju elektrycznych, doprowadzonych do przewodu, a od liczby naboju, przepływających przez przewód w jednostce czasu zależy natężenie prądu.

105. Zastosowania elektrolizy. Zapomocą elektrolizy można łatwo pokrywać różne przedmioty warstwą metalu. Sposób osadzania metalu nie różni się zasadniczo od tego, którego używaliśmy w woltametrach. Przedmiot o powierzchni starannie wymytej i oczyszczonej lub pokrytej cieniutką warstwą przewodzącego grafitu, zawieszamy na katodzie w t. zw. wannie galwanicznej (ryc. 176). Wannę napęlniamy roztworem soli tego metalu, którym przedmiot ma być pokryty: siar-

czanu miedzi, azotanu srebra i t. d. Anodę robi się z czystego metalu: miedzi, srebra i t. d., by zasilać nim roztwór w miarę wyczerpywania.

Zastosowania przedmiotów galwanicznie pokrytych metalami są liczne. Srebrzymy łyżki, widelce i inne przedmioty z miedzi, mosiądzu, bo ładnie wyglądają i nie śniedzieją. W tym samym celu używamy niklowania i złocenia. Miedziujemy blachy żelazne, by je uchronić od rdzewienia. Miedziujemy też przedmioty żelazne, które chcemy potem poniklować. Błyszczące niklowane przedmioty są bardzo często używane w życiu codziennym, szczególnie tam, gdzie są wystawiane na działanie powietrza, np. w samochodach, zewnętrznych częściach budowli. Jeszcze odporniejsze są rzeczy pokrywane warstwą chromu. Przy pokrywaniu metalem należy uważać, by prąd nie był zbyt silny (około 1A na dm² powierzchni przedmiotu), gdyż wtedy osadzona warstewka jest chropowata i łatwo się odrywa.



Ryc. 176. Wanna galwaniczna do pokrywania przedmiotów warstwą metalu przy pomocy elektrolizy.

Pokrywanie miedzią ma zastosowanie w *galwanoplastyce*, t. j. przy robieniu kopii różnych przedmiotów, jak medali, płaskorzeźb, ozdób, płyt gramofonowych i t. p. Gdy chodzi np. o kopję medalu, sporządzamy najpierw odbitkę z gipsu (negatyw), pokrywamy ją warstwą grafitu zapomocą miękkiej szczoteczki i zawieszamy jako katodę w kąpieli miedziowej; po osadzeniu dość grubej warstwy odrywamy ją od negatywu i mamy już wierną kopję medalu. W podobny sposób robi się też kopje kolumn drukarskich, ułożonych do druku z czcionek; można tak robić dowolnie wiele kopii, co jest ważne przy drukowaniu w dużej liczbie egzemplarzy.

W celu oczyszczania, czyli *rafinowania* miedzi, napęlnia się wannę roztworem siarczanu miedziowego. Anodę stanowi blok zanieczyszczonej miedzi, a katodę obracający się walec miedziany. Podczas obrotu na walcu osadza się czysta miedź, którą ugniatają i wygładzają agatowe narzędzia. To pozwala używać do elektrolizy prądów o dużym natężeniu (do 20 A na dm²).

106. Praca prądu w zjawiskach elektrochemicznych. Jeśli rozłożymy zapomocą prądu pewną ilość wody, to otrzymamy odpowiednie ilości wodoru i tlenu. Łącząc te gazy z sobą, t. j. spalając wodór,

możemy otrzymać wielkie ilości ciepła (ob. t. I, ust. 57), lub — w razie wybuchu zmieszanych z sobą gazów — dużą pracę. Powiedzieliśmy już w ust. 56, że zespół wodoru i tlenu posiada energję chemiczną. Ilość jej będzie tem większa, im więcej mamy wodoru i tlenu, a więc im silniejszy był prąd elektryczny i im dłużej płynął.

Również, rozkładając chlorek cynku na chlor i cynk, otrzymamy pewną ilość energii chemicznej: łączeniu się chloru z metalami towarzyszy zawsze wydzielanie dużych ilości ciepła. Z cynku możemy też otrzymać inne sole, np. działając nań kwasem siarkowym.

Ćwiczenie 47. Wrzucamy nieco cynku do probówki z kwasem siarkowym, rozcieńczonym do połowy wodą; obserwujemy rozpuszczanie się cynku, wydzielanie gazu (jakiego?) i podnoszenie się temperatury cieczy. Część cieczy odparowujemy na parownicze.

Gdy cynk rozpuszcza się w kwasie, wydziela się ciepło. Powstaje ono z energii chemicznej, jaką posiada zespół cynku i kwasu. Przy reakcji powstaje siarczan cynkowy, który pozostaje na parownicze po odparowaniu wody.

Przy elektrolizie przytoczonych i różnych innych związków chemicznych powstają zasoby energii chemicznej. Prąd elektryczny, który wywołał rozkład, musiał przy tem wykonać pewną ilość pracy. Nie jest to zresztą jedyny objaw, który świadczy, że przepływowaniu prądu towarzyszy wykonywanie pracy i przetwarzanie jej na inne rodzaje energii. Prąd ogrzewa przewody, przez które przepływa: praca jego zostaje zamieniona na ciepło. Prąd może poruszyć igłę magnetyczną, a odpowiednie urządzenia w silnikach elektrycznych (rozdz. VII) pozwalają czerpać z nich pracę mechaniczną; otrzymujemy ją dzięki pracy prądu, zasilającego silnik. Skąd prąd czerpie energję, potrzebną do tych wszystkich czynności? Zależy to oczywiście od rodzaju źródła prądu. Na razie rozpatrzmy działanie ogniwa galwanicznego.

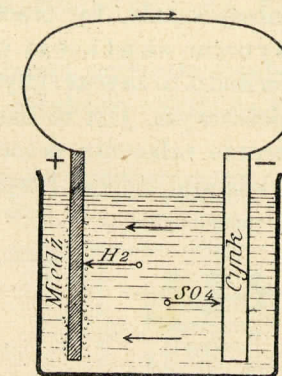
Ćwiczenie 48. Zestawiamy ogniwo Volty z płytek cynkowej i miedzianej; płytkę cynkową uprzednio amalgamujemy, t. j. pokrywamy cieniutką warstwą rtęci, i ważymy. Jako cieczy używamy 10% roztworu kwasu siarkowego. Bieguny ogniwa łączymy krótkim drutem miedzianym. Zwracamy uwagę na wydzielanie się pęcherzyków gazu na miedzianej płytce. Po upływie $\frac{1}{2}$ godziny wyjmujemy płytkę cynkową, obmywamy ją, suszymy i ważymy. Część cieczy odparowujemy na parownicze.

Podczas przepływu prądu, w ogniwie zachodzą przemiany chemiczne (ob. ryc. 177). Najważniejszą jest ubywanie cynku, który łączy się z jonem SO_4 i wytwarza siarczan cynku; osad tego związku znaleźliśmy na parownicze. Odbywa się tu ta sama reakcja, co w ćwic. 47, ale w ogniwie energia chemiczna nie przechodzi bezpośrednio w ciepło:

służy ona przedewszystkiem do wytworzenia prądu elektrycznego; ciepło powstaje dopiero przez działanie tego prądu. Prąd czerpany z ogniwa wykonywa pracę na koszt energii chemicznej cynku i kwasu.

W akumulatorach dzieje się nieco inaczej; tu praca prądu ładującego jest użyta na wytworzenie różnicy w składzie chemicznym płyt. Powstaje energia chemiczna, którą następnie akumulator oddaje w postaci prądu.

Do poruszania prądnic jest potrzebna praca mechaniczna, ona więc jest źródłem pracy prądu.



Ryc. 177. Kierunek prądu i wędrowanie jonów wewnątrz ogniwa.

Pytania.

1. Jak długo trzeba srebrzyć prądem 4 A przedmiot o powierzchni 5 dcm², by go pokryć warstwą 0,02 milimetra srebra?
2. Na płycie o powierzchni 0,4 m² prąd osadza 7,92 miedzi na minutę. Jaka jest gęstość prądu, t. j. ile amperów przypada na 1 dcm²?
3. Łączymy szeregowo trzy woltametry: srebrowy, miedziowy i wodny. W pierwszym wydzielilo się 0,559 g srebra. Ile wydzielilo się g miedzi i ile litrów wodoru (w warunkach normalnych) w pozostałych woltametrach?

Ćwiczenia warsztatowe.

Sporządź wannę do miedziowania lub srebrzenia. Posrebrz jakiś przedmiot miedziany lub mosiężny, oczyściwszy go uprzednio starannie z brudu i tłuszczu. Wymyj go w tym celu wodą z mydłem, potem zanurz na chwilę w kwasie azotowym i opłucz w czystej wodzie.

Sporządź kopję medalu lub innego przedmiotu, korzystając ze wskazówek, podanych w tekście.

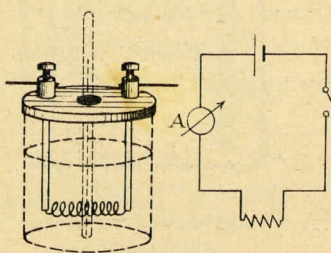
Rozdział III

CIEPLNE DZIAŁANIE PRĄDU ELEKTRYCZNEGO. NAPIĘCIE

107. Prawa wytwarzania ciepła przez prąd. Wspominaliśmy już kilkakrotnie o wytwarzaniu ciepła przez prąd elektryczny. Teraz musimy zająć się ilościowym jego zbadaniem.

Prąd może nie poruszać magnesów ani nie rozkładać elektrolitów, o ile nie damy mu do tego sposobności, ale zawsze, w każdym przewodniku, przez który płynie, prąd wydziela ciepło. Jeśli tak urządzimy

doświadczenie, by prąd nie wywierał tamtych dwóch działań, to jedynym skutkiem pracy prądu jest wytwarzanie ciepła. Zachodzi to zawsze, gdy połączymy bieguny źródła zwykłym przewodem metalowym. Jest to bardzo dogodne, gdyż pozwala nam obliczyć pośrednio całkowitą pracę prądu, mianowicie przez zmierzenie ilości wydzielanego ciepła. Przyłączmy np. do biegunów akumulatora spiralę



Ryc. 178. Mierzenie ilości ciepła wytwarzanego przez prąd. Przyrząd i schemat połączeń.

z drutu o dość dużym oporze; w drutach doprowadzających o bardzo małym oporze wydzieli się zaledwie nieznaczna ilość ciepła, więc biorąc praktycznie, całe ciepło zostanie wywiązane w spiralcie. Wystarczy umieścić spiralę w kalorymetrze (ryc. 178), by móc zmierzyć całą ilość ciepła, dostarczanego przez akumulator.

Ćwiczenie 49 a. Do kalorymetru nalewamy odważoną ilość terpentyny lub nafty. Tworzymy obwód z akumulatora, amperomierza, wyłącznika i spiralki (schemat na ryc. 178). Mierzmy temperaturę cieczy i zamykamy obwód. Mieszając ciecz, odczytujemy co minutę jej temperaturę oraz natężenie prądu. Po podniesieniu się temperatury o $1\frac{1}{2}$ – 2° przerywamy prąd, notujemy temperaturę cieczy oraz czas przepływu prądu.

Stopniowe podnoszenie się temperatury dowodzi, że ciepło wydziela się równomiernie, t. j. że ilość ciepła jest proporcjonalna do czasu przepływu prądu.

Ćwiczenie 49 b. Powtarzamy pomiar z inną spiralą, tak dobraną, by natężenie prądu wzrosło dwukrotnie, czas przepływu bierzemy taki sam.

Wzrost natężenia prądu wywołuje proporcjonalne do niego zwiększenie się przyrostu temperatury. Jeśli prąd jest czerpany z tego samego źródła, t. j. pod tem samym napięciem, to ilość ciepła, wydzielonego w jednostce czasu, jest proporcjonalna do natężenia prądu.

Ćwiczenie 49 c. Powracamy do pierwszej spiralki, lecz jako źródło prądu bierzemy dwa akumulatory, połączone szeregowo. Natężenie prądu jest teraz takie, jak w doświadczeniu b. Powtarzamy pomiar.

Z porównania pomiarów b i c wynika, że podniesienie temperatury w ostatnim wypadku jest dwa razy większe niż w pierwszym, pomimo, że natężenie prądu pozostało niezmiennione. Zato inne jest teraz źródło prądu, a jak wiemy odpowiada mu inna, większa różnica potencjału, czyli wyższe napięcie na końcach przewodu. Wynik ćwiczenia musimy przypisać temu, że przy nieziennej wartości natężenia prądu ilość ciepła, wydzielanego w jednostce czasu w przewodzie,

jest proporcjonalna do napięcia, panującego na końcach przewodu.

Aby lepiej jeszcze zorientować się w zależności przyrostu temperatury od natężenia prądu i napięcia, zestawmy w tabelce wyniki naszych doświadczeń.

Ćwiczenie	Liczba akumulatorów	Natężenie prądu	Przyrost temperatury
49 a	1	1 A	1,5°
49 b	1	2 A	3,0°
49 c	2	2 A	6,0°

Wzrost temperatury jest spowodowany wytwarzaniem ciepła przez prąd, a jak już wiemy z ust. 106, ciepło to jest wynikiem pracy prądu elektrycznego w przewodzie; ilością ciepła możemy mierzyć tę pracę. We wszystkich trzech doświadczeniach ogrzewaliśmy to samo ciało, możemy więc stwierdzić na podstawie naszych pomiarów, że praca prądu jest proporcjonalna do natężenia prądu, do napięcia na końcach przewodu i do czasu trwania prądu.

Znamy już jednostki czasu i natężenia; by móc nasze prawo wyrazić w postaci ilościowej, musimy jeszcze ustalić jednostki pracy i napięcia.

108. Jednostki pracy i mocy, używane przy pomiarach prądów elektrycznych. Do mierzenia pracy posługiwaliśmy się dotychczas Kilo-gramometrem, należącym do t. zw. ciężarowego układu jednostek. Ale wiemy już, że istnieją inne, bardziej poprawne układy jednostek, oparte na pojęciu masy i na prawach ruchu przyspieszonego. Jeden z nich jest używany w nauce o elektryczności. Jednostką pracy w tym układzie jest **dżaul** (dż)¹ i wynosi około $\frac{1}{9,81}$ Kilogramometra².

$$1 \text{ dż} = \frac{1}{9,81} \text{ Kgm}$$

Odpowiednią jednostką mocy jest **wat** (W) czyli dżaul na sekundę.

$$1 \text{ W} = 1 \text{ dż/sek} = \frac{1}{9,81} \text{ Kgm/sek.}$$

¹ Od nazwiska Joule'a.

² Liczba 9,81 występująca w stosunkach jednostek ciężarowych do elektrycznych, jest wartością przyspieszenia ciał przy spadaniu.

Tysiąc razy większą jednostką jest **kilowat (kW)**

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = \frac{1000}{9,81} \text{ Kgm/sek} = 101,9 \text{ Kgm/sek.}$$

Obliczmy jeszcze, ile kW wynosi jeden koń mechaniczny:

$$1 \text{ K.M.} = 75 \text{ Kgm/sek} = 75 \cdot 9,81 \text{ W} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW.}$$

Mierzenie mocy jest w technice rzeczą łatwą i często wymaganą; to też jednostki mocy nabrały takiego znaczenia, że z nich wyprowadza się nazwy jednostek pracy. I tak dżaul nazywa się często **watsekundą**, co wyraża, że jest to praca, wykonana w przeciągu 1 sekundy prądem o mocy 1 wata. Kilowatgodzina (1kWh) jest to praca, wykonywana w przeciągu godziny (h) prądem o mocy 1 kW. Ponieważ $h=3600 \text{ sek}$, więc $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ sek} = 3\,600\,000 \text{ W sek} = 3\,600\,000 \text{ dż.}$

Kilowatów i kilowatgodzin używamy jako jednostek, gdy chodzi o prądy z dużych prądnic. Rachunki z elektrowni wymieniają liczbę kilowatgodzin zużytej pracy prądu.

Przykład liczbowy. Przeliczmy tu dwa proste przykłady.

1) Przez wodospad o wysokości 6 m przepływa 15 m^3 wody na sekundę. Jaka byłaby moc prądnicy, poruszanej tą wodą, gdyby 60% jej energii zostało zamienione na pracę prądu?

Praca wody w ciągu sekundy wynosi: $6 \cdot 15\,000 = 90\,000 \text{ (Kgm/sek)}$.

Taka jest moc wody. Wyrażona w koniach mechanicznych wyniesie $\frac{90\,000}{75} = 1\,200 \text{ K.M.}$ 60% tej mocy wynosi 720 K.M. Moc prądnicy równa się $720 \cdot 0,736 = 530 \text{ kW}$.

2) Jaka moc, wyrażona w K.M., jest potrzebna do obsłużenia dwustu żarówek, zużywających po 30 W każda?

Moc zużyta w żarówkach wynosi $200 \cdot 30 = 6000 \text{ W} = 6 \text{ kW} = \frac{6}{0,736} = 8,15 \text{ K.M.}$

Tablica III.

Jednostki pracy i mocy.

	Układ jednostek ciężarowych	Układ jednostek elektrycznych
Praca	1 Kgm=9,81 dż	1dż=1 Wsek=1/9,81 Kgm 1kWh=3 600 000 dż
Moc	1 Kgm/sek=9,81 W 1 K.M.=75Kgm/sek= =0,736 kW	1W=1dż/sek=1/9,81 Kgm/sek 1 kW=1000 W= = 101,9 Kgm/sek = =1,36 K.M.

W naszych pomiarach, oraz wszędzie tam, gdzie prąd nie wykonywa pracy mechanicznej ani nie wytwarza innych postaci energii, praca prądu jest zamieniana całkowicie na ciepło. Obliczmy, jaka ilość ciepła odpowiada naszej nowej jednostce pracy.

Wiemy, że na wytworzenie 1 kalorii wielkiej ciepła potrzeba 426,9 Kgm pracy czyli $426,9 \cdot 9,81 = 4187 \text{ dż}$. Na wytworzenie małej kalorii potrzeba 1000 razy mniej, czyli 4,187 dż. Odwrotnie, każdy dżaul pracy wytwarza $\frac{1}{4,187}$ czyli w przybliżeniu 0,24 cal. Tę wielkość 0,24 cal/dż nazywamy **cieplnym równoważnikiem pracy**. Jeśli ilość pracy, wyrażonej w dżaulach, oznaczymy przez L , to odpowiadająca jej ilość ciepła Q w małych kalorjach będzie równa:

$$Q = 0,24 L$$

Np. żarówka o mocy 60 W zużywa w ciągu godziny $60 \cdot 3600 = 218\,000 \text{ dż}$ pracy. Na jej miejsce wydała $0,24 \cdot 218\,000 = 52\,320 \text{ cal} = 52 \text{ k cal}$.

109. Jednostka napięcia elektrycznego. Do określenia jednostki napięcia jako jednostkę pracy wybrano dżaul. Jednostkę, opartą na tej podstawie nazwano **woltem (V)**. Na końcach przewodu panuje napięcie równe jednemu woltowi, jeśli prąd 1 A, płynący w tym przewodzie, wykonywa w ciągu 1 sek pracę 1 dż, czyli jeśli moc jego wynosi 1 W. Pamiętając prawa zależności pracy prądu, możemy wyprowadzić ogólny wzór na tę pracę. Oznaczamy przytem:

natężenie prądu przez	i
napięcie	„ U
czas	„ t
pracę	„ L

Jeśli prąd 1 A pod napięciem 1 V wytwarza na 1 sek pracę 1 dż,

to	„ <i>i</i> „ „ „	1 V	„ „ 1 „ „ <i>i</i> „
„	„ <i>i</i> „ „ „	<i>U</i> „ „ „ 1 „ „	<i>Ui dż</i> ,
a	„ <i>i</i> „ „ „	<i>U</i> „ „ „ <i>t</i> „ „	<i>Uit dż</i> ,

$$\text{czyli } L = U i t.$$

Jeśli prąd nie wykonywa żadnej pracy, to prąd 1 A, płynąc pod napięciem 1 V wytwarza w przewodzie w ciągu 1 sek 0,24 cal ciepła, a prąd i pod napięciem U wytworzy w ciągu t sek

$$Q = 0,24 U i t.$$

Powracając do ćwiczenia 49, możemy na podstawie tych praw obliczyć napięcie użytych akumulatorów. Ostatnie równanie rozwiązujemy w tym celu względem U

$$U = \frac{Q}{0,24 i t}$$

Jeśli kalorymetr zawierał np. $m=83$ g terpentyny o cieple właściwym $c=0,42$, a temperatura tej cieczy wzrosła o $\Delta T=1,5^{\circ}$, to ilość ciepła, pobranego przez kalorymetr, wynosi

$$Q=c m \Delta T=0,42 \cdot 83 \cdot 1,5=52,3 \text{ cal.}^1$$

Jeśli natężenie prądu wynosiło $i=1$ A, a czas przepływu prądu $t=110$ sek, to

$$U=\frac{52,3}{0,24 \cdot 110}=1,98 \text{ V, czyli prawie } 2 \text{ V.}$$

Jak wynika z tabelki pomiarów, różnica potencjału, wytworzona przez dwa akumulatory, wynosi 2 razy więcej, czyli 4 V.

Staranne i dokładne pomiary wskazują, że istotnie napięcie każdego akumulatora wynosi około 2 V; jest ono nieco zmienne, zależnie od stopnia naładowania i waha się od 1,95 do 2,1 V (ob. ust. 89).

110. Moc prądu. Ze wzoru, wyrażającego pracę prądu, łatwo już wyprowadzić prawo zależności mocy prądu od natężenia i napięcia. Moc, t. j. praca przypadająca na jednostkę czasu, wynosi

$$M=\frac{L}{t}, \text{ a ponieważ } L=U i t, \text{ więc}$$

$$M=U i$$

Moc prądu (wyrażoną w watach) obliczamy, mnożąc napięcie U (w woltach) na końcach przewodu przez natężenie prądu i (w amperach). Z tego powodu wat często bywa nazywany w elektrotechnice *woltamperem* (VA).

Dla przykładu obliczmy moc prądu w 3 kolejnych pomiarach ćwic. 49 a), b) i c). W pierwszym wypadku było $U=2$ V oraz $i=1$ A, więc

$$M_1=2 \cdot 1=2 \text{ W}$$

podobnie w dwóch następnych

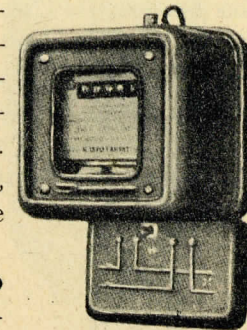
$$M_2=2 \cdot 2=4 \text{ W} \quad \text{ i } \quad M_3=4 \cdot 2=8 \text{ W}$$

Dwukrotnemu i czterokrotnemu zwiększeniu się mocy odpowiadało dwukrotne i czterokrotne zwiększenie się przyrostu temperatury, a więc i wytworzonego ciepła. Występuje tu wyraźnie proporcjonalność wytworzonego ciepła do mocy prądu.

W sieciach prądu przemysłowego występują daleko większe moce. Już w 25-świecowej żarówce pod napięciem 120 V płynie prąd około 0,25 A, lampka zużywa więc $120 \cdot 0,25=30$ W. Żarówki mają zwykle wypisaną na oprawce moc, którą zużywają. Oświetlenie mieszkania 10

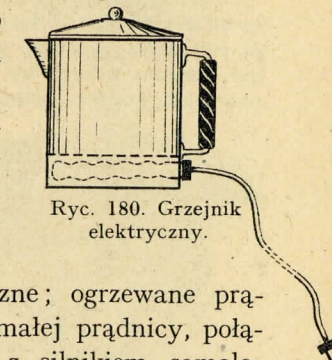
¹ Dla dokładniejszego obliczenia należałoby jeszcze uwzględnić ilość ciepła, którą pobrało naczynie kalorymetru.

żarówkami wymaga około 300 W, czyli 0,3 kW. Świecąc je w ciągu 5 godzin, zużywamy $0,3 \cdot 5=1,5$ kWh. Każdy odbiorca prądu elektrycznego ma u siebie ustawiony licznik (ryc. 179). Nie możemy tu objaśnić jego budowy, przypomnimy tylko, że wykazuje on liczbę kilowatgodzin pracy prądu elektrycznego zużytych przez odbiorcę. Według wskazań licznika elektrownia wystawia rachunki: płacimy jej za dostarczoną pracę prądu. Licząc cenę kilowatgodziny, jak w Warszawie, 51 groszy, zapłacimy za powyższe oświetlenie 77 groszy.



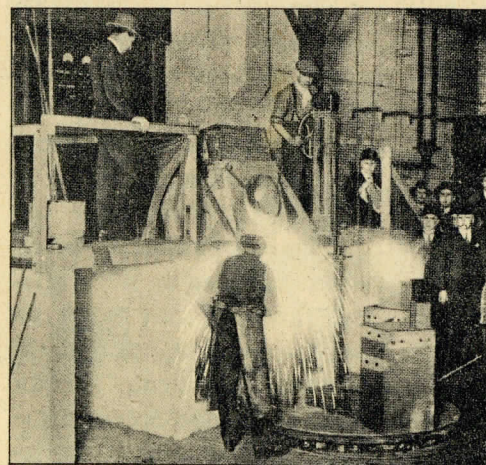
Ryc. 179. Licznik prądu.

111. Zastosowania ciepła wytwarzanego przez prąd. Ciepło prądu jest w wielu wypadkach zużytkowywane bezpośrednio do ogrzewania. W *piecykach elektrycznych* prąd przechodzi przez spiralnie pozwijane druty, których opór jest tak dobrany, by prąd rozgrzewał je do czerwoności, ale ich nie topił. Przez przewodzenie, unoszenie i promieniowanie ciepło przechodzi do powietrza i ścian pokoju, ogrzewanego takim piecykiem.



Ryc. 180. Grzejnik elektryczny.

Na tej samej zasadzie jest oparta budowa *grzejników* do wody (ryc. 180), *kuchen elektrycznych*, *żelazek* do prasowania, *kolb* do lutowania. Lotnicy, gdy dostają się do wysokich warstw powietrza o bardzo niskiej temperaturze, używają ubrań, w które są wszyte przewody elektryczne; ogrzewane prądem z małej prądnicy, połączonej z silnikiem samolotu, zabezpieczają lotnika od zmarznięcia.



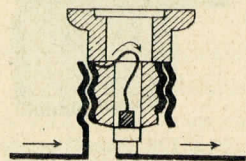
Ryc. 181. Piec gisierski elektryczny: wylanie roztopionego metalu.

Gdy anteny na stacjach radiotelegraficznych pokryją się w zimie śniegiem lub szronem, przez druty ich przepuszcza się silny prąd dla stopienia śniegu i zabezpieczenia anteny od zerwania.

Silne prądy są w stanie stopić nawet duże masy metalu; na tem oparte jest zastosowanie prądu do topienia metali w hutach (ryc. 181). Słabych prądów używają le-

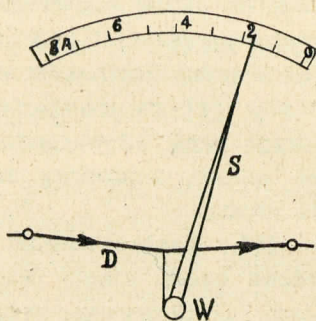
karze do rozżarzania drucików platynowych, które wypalają chore lub niepotrzebne tkanki.

Ważnym zastosowaniem ciepłego działania prądu są t. zw. *stopki* albo *bezpieczniki*. Są to kawałki drutu lub wstążki z łatwotopliwego metalu, które włącza się w przewód. Gdy natężenie prądu przekracza naznaczoną dla niego granicę, bezpiecznik topi się i przerywa prąd, chroniąc w ten sposób przewody i urządzenia od skutków przeciążenia prądem. W instalacjach domowych bezpieczniki mają postać t. zw. „korków” (ryc. 182), które wkręca się w odpowiednie gniazda, włączone do linii.



Ryc. 182. Przekrój bezpiecznika (korka).

Ogrzewanie i wydłużanie się drutu, przez który płynie prąd, zastosowano do budowy amperomierzy i woltomierzy t. zw. technicznych. Ryc. 183 pokazuje urządzenie takiego przyrządu. W miarę wydłużania się drucika, sprężynka obraca wałek, na którym jest osadzona wskazówka. Te przyrządy mogą być używane też i do pomiarów prądów zmiennych, gdyż wydzielanie ciepła przez prąd nie zależy od jego kierunku. Przyrządy, oparte na działaniu magnetycznym prądu, zawodzą w tym wypadku.



Ryc. 183. Zasada budowy amperomierza ciepłego.



Ryc. 184. Tomasz Alva Edison, znakomity amerykański wynalazca. Zawdzięczamy mu żarówkę, fonograf i wiele innych wynalazków.

112. Oświetlenie elektryczne. Świecenie ciał, rozgrzanych prądem elektrycznym, jest wykorzystywane do oświetlenia ulic i mieszkań. W r. 1880 znakomity amerykański wynalazca Tomasz EDISON zbudował pierwszą **żarówkę**: cieniutka nić węglowa była umieszczona w bańce szklanej (ryc. 185), z której starannie wypompowano powietrze, by zapobiec utlenianiu się węgla; prąd przepuszczony przez nić rozżarzał ją tak, że świeciła żółtawym światłem. Żarówki węglowe są mało ekonomiczne, gdyż nici nie można ogrzać powyżej 1300°; powodowało-

by to rozpylanie się węgla i osadzanie go na ściankach bańki. Z tego względu używa się dziś nie węgla, lecz cieniutkich drucików z trudno topliwych metali, przeważnie z wolframu. Można je ogrzewać do 2100°, a nawet do 2500°, jeśli bańka jest napełniona gazem obojętnym, azotem lub argonem, ponieważ gaz taki znacznie powstrzymuje rozpylanie drucika.

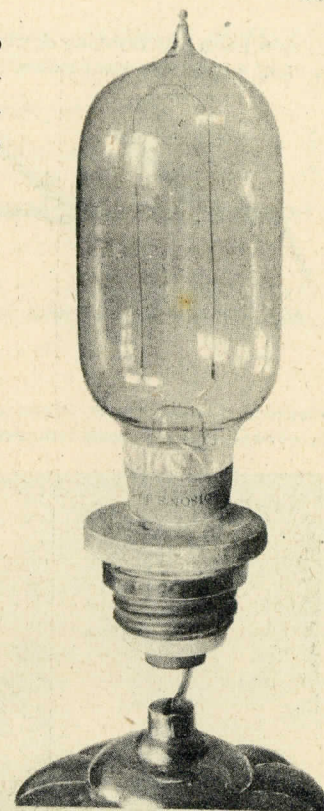
Im wyższa temperatura żarzącego ciała, tem więcej w jego promieniowaniu promieni widzialnych; toteż tą samą mocą prądu można wytworzyć tem więcej światła, im silniej drucik zostaje ogrzany. Zmierzone, że żarówka węglowa zamienia zaledwie 3% pracy prądu na promieniowanie świetlne; w żarówkach metalowych procent ten wzrasta do 7, a w lampach napełnionych gazem do 10. Reszta ciepła zostaje rozproszona. Prócz tego, dzięki wysokiej temperaturze, światło lamp metalowych jest bardziej białe niż węglowych.

Żarówki węglowe wyszły już z użycia jako środek oświetlenia; są używane tylko do ogrzewania lub jako opory osłabiające prąd.

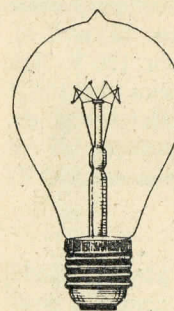
Ryc. 186 i 187 pokazują urządzenie współczesnej żarówki oraz oprawki do niej. Widać drogę, którą prąd dopływa i odpływa od żarowego drucika. **Włącznik** obrotowy służy do włączania lub wyłączania lampy z obwodu (ob. ryc. 191 i 192).

Doświadczenie. Dwa pręciki z prasowanego węgla umieszczamy w izolowanych podstawach; jeden koniec każdego pręta obwijamy drutem dzwonkowym, z którego usunięto częściowo izolację; drugie końce drutów łączymy z kontaktami opornika lampowego (ryc. 211), włączonego do sieci miejskiej. Wolne końce prętów stykamy z sobą i po chwili rozsuwamy na niewielką odległość. Obserwujemy zjawiska świetlne przez ciemne szkło, lub rzucając je na ekran.

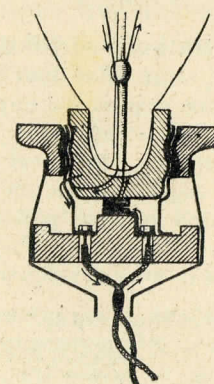
Pomiędzy rozsuniętymi węglami powstaje świecący łuk Volty (ryc. 188). Końce węgla rozżarzają się silnie i świecą oślepiającym blaskiem.



Ryc. 185. Żarówka; taką postać nadał jej Edison.

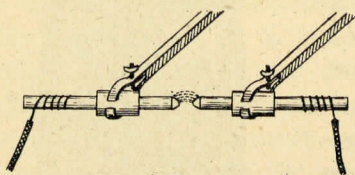


Ryc. 186. Żarówka współczesna.

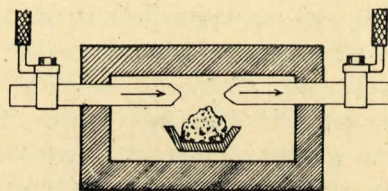


Ryc. 187. Oprawka żarówki.

Łuk Volty jest używany do oświetlenia dużych przestrzeni, jednak żarówki metal. o dużej mocy wypierają coraz bardziej lampy łukowe. Łuk wydzielą dużo ciepła; topią się w nim



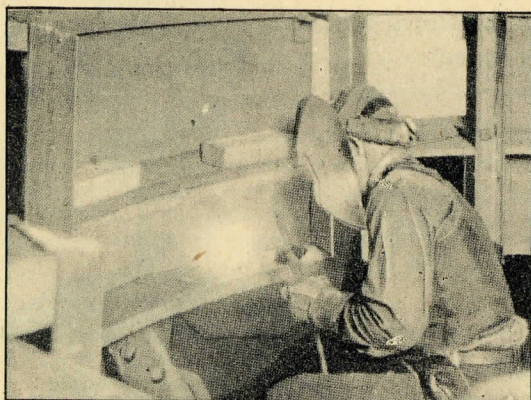
Ryc. 188. Powstawanie łuku Volty.



Ryc. 189. Przekrój pieca łukowego; ciała topią się w wysokiej temperaturze łuku Volty.

wszystkie metale i kwarc, z tego względu łuk znajduje zastosowanie w specjalnych piecach do wytwarzania wysokich temperatur. (powyż. 3000°), oraz w piecach hutniczych (ryc. 189).

Można też spajać płyty metalowe, wytwarzając łuk pomiędzy miejscem zetknięcia, a prętem z tegoż samego metalu; brzegi płyt rozżarzają się silnie i spajają z sobą (ryc. 190).



Ryc. 190. Spawanie blach zaponiocą łuku Volty.

Pytania.

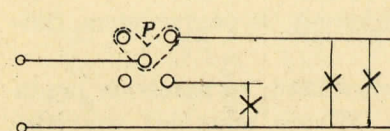
1. Ile akumulatorów należałoby połączyć szeregowo, by zaświecić żarówkę 120-woltową?
2. Normalna żarówka zużywa 30 watów. Jaki prąd pobiera, gdy jest przystosowana do napięcia 120 V, a jaki, gdy do 220 V?
3. Ile ciepła wytwarza taka żarówka w ciągu godziny? Co dzieje się z tem ciepłem?
4. Oblicz przybliżoną cenę ogrzania litra wody od 15° do 100° przy cenie prądu 50 groszy za kWh, przyjmując 15% strat. (Por. tom I, str. 79, zad. 8).
5. Turbina ma moc 80 K. M. i porusza prądnice o napięciu 120 V. Jak silnego prądu może dostarczyć prądnica, jeśli straty energii wynoszą 10%?
6. Jaką moc musi mieć silnik elektryczny, by mógł podnieść winę, ważącą razem z obciążeniem 400 Kg w ciągu 100 sek na wysokość 15 m? (Opory pomijamy). Ile zużyje prądu, jeżeli pracuje pod napięciem 220 V?

Ćwiczenia montażowo-warsztatowe.

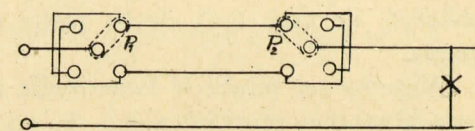
1) Chcemy sporządzić instalację 3 żarówek z warunkiem, aby po każdej $\frac{1}{4}$ obrotu przełącznika otrzymać kolejno: 1) zaświecenie 1 żarówki środkowej, 2) zaświecenie 2 żarówek bocznych, 3) zaświecenie wszystkich 3 żarówek i 4) gaśnięcie wszystkich żarówek.

Sporządzamy w tym celu na izolowanej płytce dwuramienny przełącznik mosiężny P (ryc. 191), obracany dokoła osi; żarówki włączamy równolegle

w sposób przedstawiony na rysunku. Objaśnij działanie przełącznika i sprawdź, czy spełnia postawione mu warunki.



Ryc. 191.



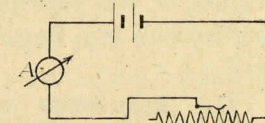
Ryc. 192.

2) Sporządź i zainstaluj w ten sam sposób t. zw. przełącznik hotelowy (ryc. 192), który pozwala zapalać i gasić żarówkę z 2 różnych punktów.

Rozdział IV

OPÓR PRZEWODÓW. PRAWO OHMA

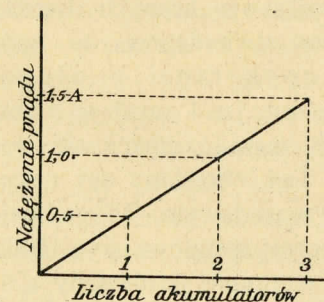
113. Jak natężenie prądu zależy od napięcia i od oporu. Już w ustępach 98 i 99 stwierdziliśmy, że natężenie prądu jest zależne od napięcia na końcówkach źródła i od oporu przewodu. Korzystaliśmy z tego, mierząc ciepło prądu: gdy chcieliśmy powiększyć natężenie prądu, braliśmy albo spiralkę o mniejszym oporze, albo źródło o większym napięciu. Pozostaje nam teraz stwierdzić ilościowo te zależności.



Ryc. 193. Sprawdzanie zależności natężenia prądu od oporu.

Ćwiczenie 50. a) Tworzymy obwód z akumulatora, wyłącznika i opornika (ryc. 193). Odczytujemy natężenie prądu. Zamiast jednego akumulatora bierzemy dwa, potem trzy połączone szeregowo. Za każdym razem odczytujemy wskazania amperomierza.

Biorąc dwa lub trzy akumulatory, zwiększaliśmy napięcie na zaciskach opornika dwu lub trzykrotnie. Wykonajmy wykres zależności



Ryc. 194. Wykres zależności natężenia prądu od napięcia (liczby akumulatorów).

natężenia prądu od napięcia, a otrzymamy linię prostą (ryc. 194), co stwierdza, że natężenie prądu w przewodzie jest proporcjonalne do napięcia przyłożonego do jego końców.

Ćwiczenie 50 b. Powtarzamy poprzednie ćwiczenie, lecz włączamy w obwód większą długość drutu opornika.

Teraz prąd jest słabszy niż poprzednio, co przypisujemy zwiększe-

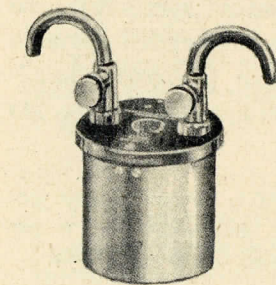
niu się oporu drutu. Uważamy opór za odwrotnie proporcjonalny do natężenia prądu. Na tej podstawie możemy łatwo obliczyć, ile razy opór drutu został zwiększony w poprzednim ćwiczeniu.

Możemy też odwrócić twierdzenie i powiedzieć, że natężenie prądu jest odwrotnie proporcjonalne do oporu. Wiemy teraz już wszystko o warunkach, od których zależy natężenie prądu w przewodzie. Natężenie prądu jest wprost proporcjonalne do napięcia na końcach przewodu, a odwrotnie proporcjonalne do jego oporu.

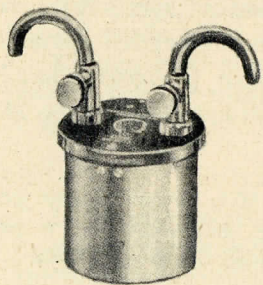
Jest to **prawo Ohma** — niezmiernie ważne, stanowi bowiem podstawę wszystkich naszych obliczeń prądu w elektrotechnice i w badaniach naukowych.

Prawo to zostało odkryte przez niemieckiego nauczyciela gimnazjalnego w r. 1827. Po długim szeregu doświadczeń i rozważań teoretycznych Ohm zdołał wkońcu przeniknąć zawikłane zjawiska i wypowiedział powyższe prawo. Sprawdził on, że prawo to stosuje się do wszystkich przewodników stałych i ciekłych.

W przewodach wodnych spotykamy podobne stosunki. Natężenie prądu wody jest tem większe, im większą różnicę ciśnień wywołuje pompa, a tem mniejsze, im większy jest opór tarcia w rurach. Opór rur wzrasta tem bardziej, im dłuższe i o mniejszym przekroju są przewody.



Ryc. 195. Metalowy wzorzec oma.



Ryc. 195. Metalowy wzorzec oma.

Opierając się na prawie Ohma i oznaczając opór przez r , wyprowadzimy wzór, wyrażający to prawo.

Jeśli napięcie	1 V	wzbudza w oporze	1 om	prąd o natężeniu	1 A,
to „	U	„	„	1 „	„ „ „ „ „ $\frac{U}{A}$
a „	U	„	„ „ „ r	„ „ „ „ „	$\frac{U}{r}$ A.

Zatem

$$i = \frac{U}{r}$$

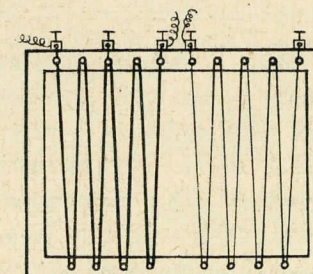
Na podstawie tego równania możemy obliczać natężenie prądu, gdy znamy napięcie i opór. Jeżeli znamy dwie inne wielkości, a chodzi o obliczenie trzeciej, to przekształcamy równanie:

$$U=i\,r$$

$$r = -\frac{U}{\dots}$$

Szczególnie ważne jest pierwsze z tych równań, które pozwala obliczać napięcie. Jeśli w przewodzie o oporze 1 oma międzynarodowego płynie prąd o natężeniu 1 ampera międzynarodowego, to mówimy, że napięcie na końcach przewodu wynosi 1 volt międzynarodowy.

115. Od jakich cech przewodu zależy jego opór? Stosując prądy elektryczne, posługujemy się rozmaitymi przewodami. Jakiego przewodu użyć w każdym poszczególnym wypadku? Jaki prąd w nim powstanie? Czy nie ogrzeje się zbyt wiele wskutek tego? To wszystko zależy od tego, jaki jest opór przewodu, musimy więc umieć przewidywać, jaki będzie w każdym wypadku. Potrzebna nam jest wiadomość, jak opór przewodu zależy od jego długości, przekroju i materiału, z którego jest zrobiony. Do badania używamy drutów, rozpiętych na drewnianych ramach (ryc. 196) lub nawiniętych na tekturowe rury. Jak zawsze przy pomiarach, będziemy zmieniali za każdym razem jeden tylko z czynników, pozostawiając inne bez zmiany.



Ryc. 196. Przyrząd do badania zależności oporu przewodu od jego wymiarów.

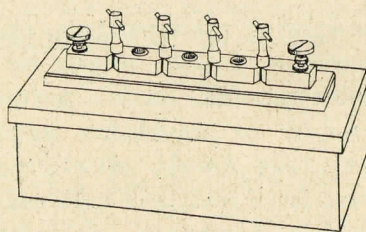
Ćwiczenie 51. Tworzymy obwód z akumulatora, wyłącznika, amperomierza i drutu badanego. Włączamy kolejno różne długości tego samego drutu, np. 1 m, 2 m, 4 m. Za każdym razem odczytujemy wskazanie amperomierza.

budowy przyrządów mierniczych używamy miedzi, by ich opór zrobić jak najmniejszym.

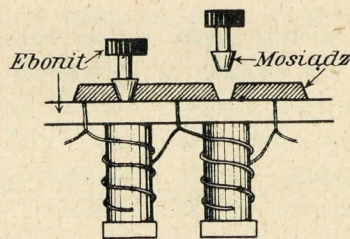
Nie możemy nigdy zmniejszyć długości przewodu poniżej pewnej granicy; prowadząc np. linię przewodów pomiędzy dwiema miejscowościami, nie możemy jej uczynić krótszą, niż odległość tych miejscowości. Możemy zmniejszyć opór przewodów, biorąc możliwie duże przekroje, ale i tu często jesteśmy ograniczeni. W dalekich liniach grube przewody byłyby zbyt kosztowne. W przyrządach grube druty zajęłyby zbyt wiele miejsca. Każdy wypadek wymaga starannego rozważenia wszystkich warunków i pogodzenia rozbieżnych wymagań.

Do oporników, których używamy do osłabiania prądu, bierzemy zwykle stopy miedzi o względnie dużym oporze właściwym; gdy chodzi o taniość — stosujemy żelazo.

Stopy metali mają jeszcze jedną zaletę: opór ich znacznie mniej zmienia się z temperaturą, niż opór czystych metali. Szczególnie przewody z konstantanu mają opory prawie zupełnie stałe; tej okoliczności stop zawdzięcza swoją nazwę. Konstantan stosuje się do wyrobu oporów wzorcowych oraz *oporników wtyczkowych*.



Ryc. 197. Opornik wtyczkowy.



Ryc. 198.

Na ryc. 197 widzimy taki opornik. Składa się on z szeregu szpilek z nawiniętymi na nich drutami; każdy z nich ma opór starannie wymierzony. Końce każdego drutu są przylutowane do 2 klocków metalowych, ustawionych obok siebie tak, że między nimi powstaje wąska przerwa (ryc. 198). W wyżłobienia, zrobione w klockach, szczelnie pasują metalowe wtyczki z izolującymi główkami. Gdy wtyczka jest wetknięta, prąd przechodzi przez nią od klocka do klocka, omijając szpulkę oporową. Gdy wyjmemy wtyczkę, prąd musi przejść przez drut szpulki. Możemy wyjmować jednocześnie kilka wtyczek i włączać kilka oporów. Takie oporniki są używane do różnych pomiarów elektrycznych. Opory są wtedy *połączone szeregowo*; prąd przepływa przez nie kolejno i, jak łatwo zrozumieć, napotyka przytem opór, równy sumie oporów poszczególnych.

Oporniki węglowe lub grafitowe mają duże opory i są stosowane w radjotechnice. Bardzo duże opory można sporządzać z roztworów elektrolitów lub z silitu (miału węglowego lub grafitu, prasowanego z różnymi domieszkami, zwiększającymi opór właściwy).

118. Opór wewnętrzny ogniwa.

Ćwiczenie 54. Powtarzamy ćwiczenie 51, lecz zamiast akumulatora bierzemy ogniwo galwaniczne. Zmniejszamy stopniowo długość włączonego drutu i kończymy zupełnym wyłączeniem go, t. j. połączeniem bezpośrednim ogniwa z amperomierzem.

Z praw Ohma (ust. 113) wynika, że zmniejszanie nieograniczone oporu zewnętrznego r powinno powodować nieograniczone wzrastanie natężenia prądu i . Tymczasem, nawet po wyłączeniu drutu i bezpośrednim zwarcu obu biegunów ogniwa, natężenie pozostaje niezbyt duże, nie przekracza 1—2 A. Widocznie oprócz oporu zewnętrznego na prąd wpływa inny jeszcze opór — jest to *opór wewnętrzny* ogniwa, który prąd napotyka, przepływając przez ogniwo, a w szczególności przez jego ciecz (por. Tabl. IV).

Opór ogniwa zależy od ich rozmiarów i od użytego roztworu; waha się od 0,3 do 2 omów. Opór akumulatorów jest nieznaczny, w małych wynosi około 0,01, w dużych około 0,001 om. Dlatego przy naszych dotychczasowych pomiarach mogliśmy pomijać opór wewnętrzny akumulatora.

Gdybyśmy połączyli bieguny akumulatora krótkim drutem, powstałby prąd o natężeniu kilkuset amperów, który stopiłby drut i zniszczył akumulator. Takie samo *zwarcie* powstaje, gdy połączymy bieguny sieci miejskiej przewodnikiem o małym oporze. Skutki bywają wtedy niebezpieczne, gdyż łatwo może powstać pożar, albo porażenie człowieka przez silny prąd.

119. Prawo Joule'a. Opór przewodów sprawia, że praca prądu zostaje zamieniona w nich na ciepło. Ilość tego ciepła zależy niewątpliwie od oporu. Aby sprawdzić tę zależność, przekształćmy wzór

$$Q = 0,24 U i t.$$

Jeśli r oznacza opór całego przewodu, łączącego zaciski akumulatora, to $U = i r$. Podstawmy tę wartość U do poprzedniego wzoru, otrzymamy

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

Jest to **prawo Joule'a**, w którym ten badacz ujął wyniki swych badań. Wzór ten wyraża przedewszystkiem, że jeśli prąd o danym natężeniu przepływa przez przewodniki o różnych oporach, to w każdym z tych przewodników zostaje wydzielona ilość ciepła, proporcjonalna do jego oporu. To zachodzi np. przy szeregowymłączeniu przewodów. W ćwic. 49 opór drutów doprowadzających był znikomo mały w porównaniu z oporem spiralki; mieliśmy więc prawo zaniedbać ilości ciepła, wydzielane w tych drutach.

Jeśli natomiast przez jeden i ten sam opór przepuszczamy różne prądy, to ilość ciepła jest proporcjonalna do kwadratu natężenia prądu. Jest to zupełnie zrozumiałe, bo, wzmacniając natężenie prądu, wzmacniamy jednocześnie napięcie na jego końcach; wzrastają więc oba czynniki mocy prądu.

Wyjaśnijmy to na przykładzie. Przez przewód o oporze $r = 5 \text{ om.}$ w ciągu czasu $t = 100 \text{ sek}$ przepływa prąd o natężeniu $i_1 = 2 \text{ A}$, drugi raz $i_2 = 4 \text{ A}$. Zgodnie z wzorem Joule'a ilość ciepła wydzielonego

$$Q_1 = 0,24 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 100 = 480 \text{ cal}$$

$$Q_2 = 0,24 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 100 = 1920 \text{ cal.}$$

Na wzbudzenie prądu 2 A musieliśmy przyłożyć do końców przewodu w pierwszym wypadku

$$U_1 = r \cdot i_1 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ V}$$

w drugim wypadku

$$U_2 = r \cdot i_2 = 5 \cdot 4 = 20 \text{ V}$$

Obliczmy teraz ilość ciepła według ustępu 109:

$$Q_1 = 0,24 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 100 = 480 \text{ cal}$$

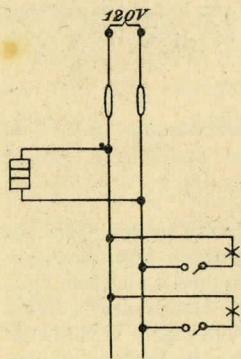
$$Q_2 = 0,24 \cdot 4 \cdot 20 \cdot 100 = 1920 \text{ cal.}$$

Zarówno wartość i jak U wzrosła dwukrotnie.

Pytania.

1. Jaki jest opór właściwy rtęci?
2. Płyty akumulatora o powierzchni 3 dcm^2 są oddalone od siebie o 6 mm . Jaki jest opór warstwy 10% kwasu siarkowego, zawartej pomiędzy płytami?
3. Jaki jest opór płytki mikowej, oddzielającej okładki kondensatora, jeśli grubość tej płytki wynosi $0,1 \text{ mm}$, a powierzchnia 1 dcm^2 ?
4. Drut miedziany ma przekrój 1 mm^2 i długość 1 m . Jaka jest długość innego drutu miedzianego o przekroju $0,1 \text{ mm}^2$, jeśli opory obu drutów są równe? Ile razy masa jednego drutu jest większa od masy drugiego?
5. O ile drugi drut ogrzeje się więcej niż pierwszy, gdy przepuścimy przez oba krótkotrwały prąd o tem samym natężeniu? Który z drutów ma większą powierzchnię stygnięcia i ile razy? Dlaczego w opornikach regulujących nie używamy bardzo cienkich drutów?
6. Drut o oporze 20 om. włączamy do sieci o napięciu 120 V . Obliczyć ilość ciepła wydzielanego w ciągu 1 minuty . Jak ta ilość zmieni się, jeśli będziemy zwiększali opór przewodu?

Ćwiczenie do dyskusji i wykonania w warsztacie.



Ryc. 199.

Projektowanie i budowa grzejnika elektrycznego.

A. Dyskusja.

1) W jakich warunkach będziemy używali grzejnika?

W domu, z sieci o napięciu $U = 120 \text{ V}$, z linii zabezpieczonej stopkami na $i = 6 \text{ A}$.

2) Jakie wynikają stąd nakazy?

Grzejnik mógłby być tylko pod tym warunkiem zasilany najwyższym dopuszczalnym prądem 6 A , gdyby w czasie jego działania nie świeciła się żadna żarówka, włączona do tych samych przewodów, co grzejnik (ryc. 199). Odliczając jakieś 2 A na zasilenie żarówek, otrzymamy na sam grzejnik prąd, nie przekraczający 4 A .

3) Jaki drut wobec tego powinien być użyty na sporządzenie grzejnika?

Taki, aby pod prądem około 4 A ogrzał się do czerwoności, a był trudno topliwy. Najlepszy będzie drut z chromonikieliny. Przytoczona tabela zawiera potrzebne dane w zależności od średnicy.

Drut chromonikielinowy

Średnica mm	Opór 1 metra om.	Najwyższe obciążenie amp.
0,2	33,7	1,06
0,3	14,8	1,75
0,4	8,4	2,55
0,5	5,4	3,4
0,6	3,74	4,4

Z tabelki tej widać, że chcąc w naszych warunkach zbudować grzejnik, któryby dostarczał w jednostce czasu możliwie dużo ciepła, a jednocześnie nie przeciążył sieci, powinniśmy wziąć drut o średnicy $0,5 \text{ mm}$. i użyć prądu o natężeniu $i = 3,4 \text{ A}$.

4) Ile metrów takiego drutu trzeba użyć do grzejnika?

Z prawa Ohma wynika: $r = U/i = 120 : 3,4 = 35,3 \text{ om.}$

Opór drutu powinien wynosić $35,3 \text{ om.}$

Obliczamy długość drutu. Jeśli opór 1 m wynosi $5,4 \text{ om.}$, to drut o oporze $35,3 \text{ om.}$ powinien mieć długość $35,3 : 5,4 = 6,53 \text{ m.}$

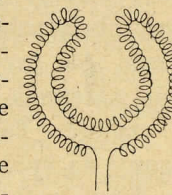
Do grzejnika użyjemy zatem $6,53 \text{ metra}$ drutu chromonikielinowego o średnicy $0,5 \text{ mm}$.

B. Wykonanie.

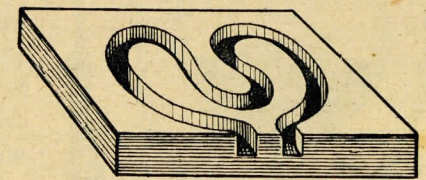
1) Jak najekonomiczniej wykorzystać ciepło, wytworzone przez prąd w tym drucie?

Aby ciepło skupić w „palenisku” o możliwie niewielkiej powierzchni, należy drut zwinąć najpierw w spiralę, a potem w węzownicę, jak na ryc. 200.

Aby zapobiec stratom ciepła przez przewodzenie i promieniowanie, umieścimy węzownicę na podstawie z dobrego izolatora cieplnego, np. na płytce szamotowej z odpowiednio wydrążonym kanalikiem na węzownicę



Ryc. 200.



Ryc. 201.

(ryc. 201). Nadto otoczmy płytę od spodu i z boku blachą polerowaną. W blasze umieścimy na izolacji gniazdo do wtyczki, doprowadzającej prąd z sieci. Spiralka powinna być umieszczona w płytce tak głęboko, aby postawione na grzejniku naczynie nie mogło dotknąć spirali.

2) Jaka będzie wydajność naszego grzejnika?

Obliczmy: $Q = 0,24 i U = 0,24 \cdot 3,4 \cdot 120 = 98$ czyli prawie 100 kaloryj małych na sekundę. Gdybyśmy np. ogrzewali na grzejniku szklankę wody o masie 200 g , i gdyby nie było strat cieplnych, to temperatura tej ilości wody

wzrastałyby prawie o 10° co 2 sek. W rzeczywistości wydajność będzie mniejsza wskutek strat ciepła.

3) Jaki będzie koszt eksploatacji grzejnika przy cenie 51 gr za kWh? Obliczmy zużycie energii w ciągu godziny. Moc prądu wynosi $120 \cdot 3,4 = 408 \text{ W} = 0,408 \text{ kWh}$.

W ciągu godziny prąd zużyje $0,408 \text{ kWh}$. Ponieważ 1 kWh kosztuje 51 gr, więc koszt wykorzystania grzejnika będzie: $0,408 \cdot 51 = 21$ groszy za każdą godzinę.

Po dokonaniu tych obliczeń możemy rozpocząć pracę w warsztacie.

Rozdział V

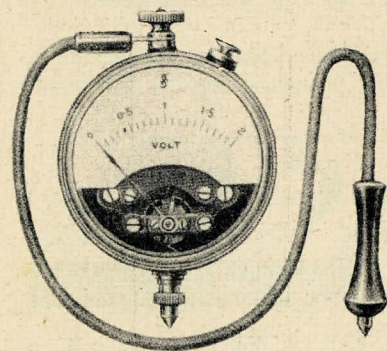
ZASTOSOWANIA PRAWA Ohma

120. Mierzenie napięcia (różnicy potencjału). Jeśli napiszemy prawo Ohma w postaci

$$U = ir$$

to możemy z jego pomocą obliczyć napięcie na biegunach jakiegokolwiek źródła prądu, o ile znamy opór przewodu, który łączy te bieguny, i natężenie wzбудzonego w nim prądu. Ten sposób jest daleko prostszy i dokładniejszy, niż mierzenie skutku cieplnego prądu.

Ćwiczenie 55. Tworzymy obwód z akumulatora, amperomierza i opornika wtyczkowego. Włączamy znany opór, mierzymy natężenie prądu i obliczamy napięcie na biegunach akumulatora.



Ryc. 202. Woltomierz. Jeden styk znajduje się u dołu przyrządu, drugi umieszczony jest na końcu sznura.

przez opór przyrządu, a więc poprostu napięcie, wyrażone w woltach. Nazywamy go też **woltomierzem**.

Ćwiczenie 56. Mierzmy woltomierzem napięcie różnych ogniów oraz baterji kieszonkowej.

Dogodniej byłoby wziąć większy opór i słabszy prąd, gdyż uniknęlibyśmy obciążania akumulatora silnym prądem. Ale przyrząd, użyty do mierzenia natężenia, musiałby mieć większą czułość. Taki właśnie przyrząd widzimy na ryc. 202; jego uzwojenie ma duży opór i bierze tylko nieznaczny prąd z mierzonego źródła. Przyrząd ma jeszcze to udogodnienie, że jego skala wskazuje nie natężenie prądu, lecz iloczyn jego

Woltomierz pozwala nam mierzyć napięcie źródła nawet wtedy, gdy oprócz prądu pomiarowego czerpiemy z niego jeszcze inny prąd roboczy. W tym celu obwody obu prądów włączamy równolegle (ryc. 203).

Ćwiczenie 57. a) Do zacisków akumulatora przyłączamy równolegle dwie gałęzie: jedna zawiera amperomierz i opornik, druga — woltomierz. Przesuwając suwak opornika, zmieniamy natężenie prądu roboczego. Za każdym razem odczytujemy wskazania amperomierza i woltomierza.

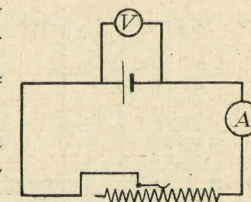
b) Robimy to samo, biorąc ogniwo jako źródło prądu.

Napięcie ogniwa stale maleje, w miarę jak rośnie natężenie prądu roboczego. Dlaczego nie zauważamy tej zmiany w akumulatorze? Przypomnijmy sobie, że opór wewnętrzny ogniwa jest dość duży, a akumulatora — bardzo mały. Teraz wytłumaczmy łatwo różnicę, zauważoną w ćwic. 57.

Powróćmy do podobieństwa pomiędzy prądem elektrycznym a prądem wody. Tam pompa tłoczy wodę i przede wszystkim wytwarza różnicę ciśnień na końcach przewodów; jeśli prąd jest przerwany, to pompa podtrzymuje tę różnicę, ale prąd nie płynie. Działanie pompy oceniamy jej zdolnością do wytwarzania ciśnień. Po otwarciu przewodu powstaje w nim prąd, a jednocześnie powstaje niewielki *spadek ciśnienia*, gdyż praca pompy jest potrzebna do przepędzania wody nie tylko przez przewód, ale i przez samą pompę.

Podobnie praca ogniwa zużywa się na podtrzymanie prądu i przewyciężanie napotykanymi przytem oporów i to zarówno zewnętrznych przewodów, jak i oporu wewnętrznego ogniwa. W samym przewodzie zostaje zużyta tylko część pracy; odpowiada jej różnica potencjału mierzona na jego końcach. Pozostała praca dokonywa się wewnątrz ogniwa, a odpowiada jej *spadek napięcia* wewnątrz samego ogniwa. Cechą, która charakteryzuje ogniwo, nie jest więc napięcie na jego biegunach, gdyż zmienia się ono w zależności od czerpanego prądu. Stałą natomiast jest suma tego napięcia oraz spadku napięcia w samym ogniwie. Tę stałą wielkość nazywamy **siłą elektromotoryczną ogniwa**. Tylko wtedy, gdy ogniwo nie daje prądu, siła elektromotoryczna jest równa napięciu na biegunach. Gdy mierzymy napięcie woltomierzem o dużym oporze, ten warunek jest prawie ściśle spełniony.

Siła elektromotoryczna jest więc zdolnością wytwarzania różnicy potencjału na biegunach. Gdy bieguny łączymy przewodem, powstaje



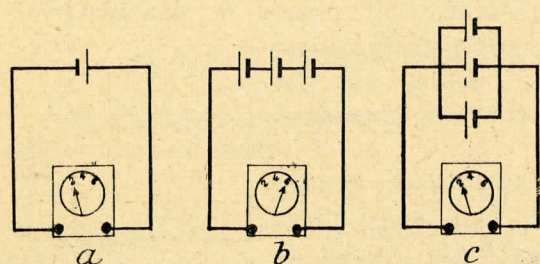
Ryc. 203. Mierzenie napięcia woltomierzem przy jednoczesnym pobieraniu prądu roboczego z ogniwa.

prąd elektryczny, a różnica potencjału zmniejsza się jednocześnie wskutek spadku napięcia, potrzebnego do przepędzenia prądu przez ogniwo.

121. Łączenie ogniw i akumulatorów.

Ćwiczenie 58. Łączymy kilka akumulatorów lub jednakowych ogniw raz szeregowo, raz równolegle (ryc. 204) i za każdym razem mierzymy napięcie tak utworzonej baterji.

Napięcie szeregowo połączonych ogniw jest proporcjonalne do liczby użytych ogniw. Różnice potencjału dodają się przy łączeniu szeregowem. Natomiast napięcie baterji ogniw, połączonych równolegle, jest takie same, jak napięcie jednego ogniwa. Przez łączenie równoległe nie zyskujemy nic na napięciu, jednak stosujemy je często, np. w baterjach akumulatorów, z których ma być czerpany silny prąd.

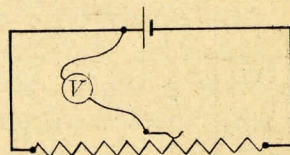


Ryc. 204. Mierzenie napięcia: a) ogniwa, b) ogniw połączonych szeregowo, c) ogniw połączonych równolegle.

Dla jednego akumulatora tak silne obciążenie byłoby zgubne; przy połączeniu równoległym każde ogniwo baterji dostarcza tylko części całkowitego prądu. O obniżeniu oporu wewnętrznego baterji będziemy mówili nieco dalej.

122. Spadek napięcia wzdłuż przewodu. Napięcie jest miarą pracy, jaką prąd 1 A wykonywa w przewodzie. Lecz przecież w części przewodu ta praca jest mniejsza, niż w całym obwodzie, więc napięcie na końcach tej części powinno być mniejsze niż na końcach całego przewodu.

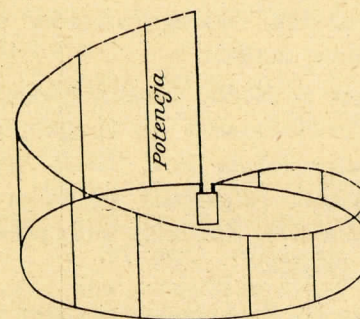
Ćwiczenie 59. Tworzymy obwód z akumulatora i drutu gołego, stalowego lub manganinowego, napiętego na ramce lub rozciągniętego pomiędzy izolującymi podstawkami. a) Jeden zacisk woltomierza łączymy z jednym biegunem akumulatora. Koniec drutu od drugiego zacisku woltomierza przyciskamy mocno do drugiego bieguna (ryc. 205), a następnie przesuwamy go stopniowo wzdłuż napiętego przewodu. b) Woltomierz odłączamy od akumulatora i oba końce drutów doprowadzających przyciskamy do różnych punktów rozpiętego przewodu.



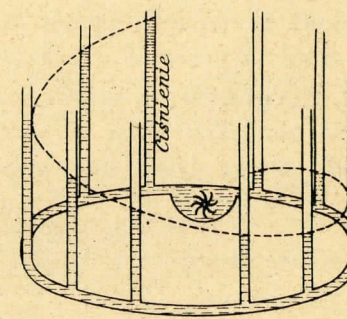
Ryc. 205. Mierzenie spadku napięcia wzdłuż przewodu.

Napięcie panuje nie tylko pomiędzy biegunami źródła prądu, ale i pomiędzy dowolnymi punktami przewodu, przez który płynie prąd

elektryczny. Im bliżej trzymamy na przewodzie druty woltomierza, tem mniejsze jest napięcie, czyli różnica potencjału. To upoważnia nas do tego, by każdemu punktowi przewodu przypisać jakiś potencjał. Niechaj np. potencjał bieguna ujemnego ma wartość zero,¹ wtedy dalsze punkty przewodu mają potencjały coraz to wyższe; na biegunie dodatnim wartość jego będzie największa. Wyobraźmy sobie w każdym punkcie przewodu wystawiony pionowy odcinek, proporcjonalny do panującego tam potencjału; końce tych odcinków utworzą linię, opadającą stopniowo od bieguna dodatniego do ujemnego (ryc. 206). Wzdłuż przewodu, przez który przepływa prąd elektryczny, istnieje spadek potencjału (czytelnik przypomni



Ryc. 206. Rozkład potencjału wzdłuż przewodu, przez który płynie prąd elektryczny.



Ryc. 207. Rozkład ciśnienia wzdłuż rury, przez którą płynie prąd wody.

sobie o warunkach przepływu ciepła, ob. t. I, ust 36). Między dwoma dowolnymi punktami przewodu panuje różnica potencjału tem większa, im punkty te są bardziej od siebie oddalone. Różnice potencjału pomiędzy różnymi punktami przewodu są tym czynnikiem, który wywołuje prąd elektryczny w przewodzie.

Potencjał mierzymy w tych samych jednostkach, co napięcie, t. j. w woltach. Jeśli np. biegun ujemny baterji akumulatorów ma potencjał 0, to biegun dodatni pierwszego ogniwa ma potencjał 2 V, drugiego 4 V i t. d.

W obwodzie wodnym też mamy do czynienia ze stopniowym spadkiem ciśnienia. Jeśli w przewodzie umieścimy co pewien odstęp pionowe rurki, to wzniesienie wody w nich będzie malało od jednego do drugiego końca przewodu (ryc. 207).

Napięcie pomiędzy biegunem A, a punktem C, leżącym w połowie

¹ Możemy tak uczynić, dotykając palcem tego bieguna. W rozdz. VIII przekonamy się, że rzeczywiście potencjał bieguna będzie równy 0.

przewodu AB , jest dwa razy mniejsze, niż napięcie pomiędzy biegunami A i B , gdyż opór AC wynosi połowę oporu AB . Gdybyśmy podwoili natężenie prądu przez użycie dwóch akumulatorów, napięcie podwoiłoby się również. Równanie

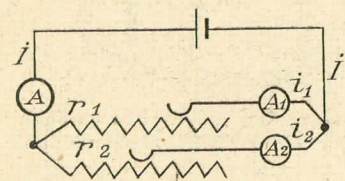
$$U = ir$$

stosuje się też do napięcia na końcach dowolnego oporu r , przez który płynie prąd o natężeniu i .

Siła elektromotoryczna źródła rozdziela się na następujące spadki potencjału: 1) w samym źródle, 2) w drutach doprowadzających, 3) w odbiorniku. Chodzi nam o to, by jak największe napięcie było zużytkowane w odbiorniku, a jak najmniejsze w źródle i w przewodach, gdyż te napięcia są dla nas bez użytku. Dlatego staramy się opory źródła i przewodów uczynić możliwie małymi.

123. Rozgałęzienie prądu. Prąd, idący ze źródła, musimy niekiedy podzielić pomiędzy kilka odbiorników, czyli musimy go **rozgałęzić**.

Prąd główny dzieli się wtedy na odpowiednią ilość *odnóg* czyli *gałęzi*. W ćwiczeniu 57 prąd z akumulatora rozgałęział się na prąd roboczy i pomiarowy. Zbadamy teraz prawa rozgałęzienia prądów.



Ryc. 208. Rozgałęzienie prądu.

Ćwiczenie 60. Prąd płynący od biegunów akumulatora rozgałęziamy na dwa, tak by każda gałąź zawierała opornik wtyczkowy i amperomierz. Do części nierozgałęzionej włączamy trzeci amperomierz i wyłącznik (ryc. 208).

Zmieniamy dowolnie opory r_1 i r_2 . Notujemy wielkość tych oporów, natężenie płynących przez nie prądów i_1 , i_2 , oraz natężenie prądu głównego I . Zapisujemy to w pierwszych pięciu kolumnach tabelki:

Opory odnóg		Natężenie prądu w odnogach		Natężenie prądu głównego	Napięcie	
r_1	r_2	i_1	i_2	I	$i_1 r_1$	$i_2 r_2$
2 om	5 om	1 A	0,4 A	1,4 A	2,0 V	2,0 V
....	...	...				
....	...	...				

Z pomiarów możemy wyciągnąć dwa wnioski.

1) Suma natężeń prądu w odnogach jest równa natężeniu prądu głównego:

$$I = i_1 + i_2.$$

2) Aby łatwiej zorientować się w zależności natężeń prądów w gałęziach od oporów, utwórzmy iloczyn natężenia przez opór dla każdej gałęzi. Z tego obliczenia znajdziemy, że:

$$i_1 r_1 = i_2 r_2.$$

Napiszemy to inaczej

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

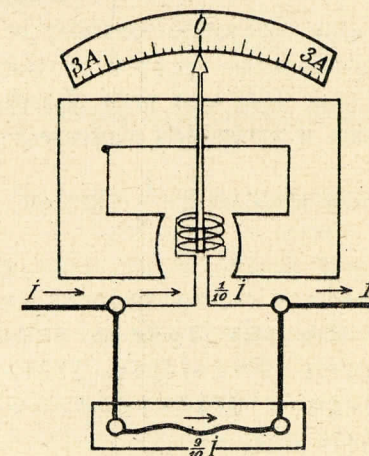
Natężenia prądów w odnogach są odwrotnie proporcjonalne do oporów tych odnóg.

Poznaliśmy dwa bardzo ważne **prawa rozgałęzienia prądów**, odkryte w drugiej połowie XIX w. przez niemieckiego fizyka KIRCHHOFF'a.

Pierwsze prawo mówi, że tyle elektryczności przychodzi w ciągu sekundy do miejsca rozgałęzienia, ile z niego odpływa. Jest to zupełnie zrozumiałe.

Iloczyn ir wyraża napięcie na końcach przewodu. Drugie prawo mówi więc, że na końcach obu przewodów panuje takie samo napięcie; to też jest zrozumiałe, ponieważ końce obu przewodów łączą się z sobą.

Prawa rozgałęzienia prądu znajdują liczne zastosowania; rozpatrzmy tu jedno z ważniejszych. Przypuśćmy, że mamy amperomierz, którego skala dochodzi do 3 A, a chcemy nim zmierzyć prąd o natężeniu kilkunastu A. W tym wypadku do amperomierza włączamy równolegle opór, stanowiący $1/9$ oporu amperomierza (ryc. 209). Prąd w przewodzie głównym dzieli się na dwa prądy, płynące przez amperomierz i przez opór dodatkowy, t. zw. *bocznik*. Prąd w boczniku jest 9 razy większy od prądu w amperomierzu. Prąd główny rozszczepił się jakgdyby na 10 części: dziewięć z nich płynie przez bocznik, a tylko jedna przez amperomierz, który więc mierzy tylko $1/10$ prądu głównego. Jeśli np. na amperomierzu odczytamy 1,6 A, to natężenie prądu głównego wynosi 16 A.



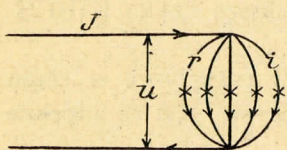
Ryc. 209. Bocznik. Tylko część prądu płynie przez amperomierz, reszta płynie przez bocznik.

124. Łączenie równolegle oporów.

Ćwiczenie 61. Zestawiamy przyrząd tak jak w ćwiczu. 60. Włączamy raz prąd w jednej odnodze, raz w drugiej, w końcu włączamy obie odnogi. Za każ-

dym razem odczytujemy wskazanie amperomierza w części nierozgałęzionej obwodu.

Różnym oporom, włączanym w obwód, odpowiadają różne natężenia prądu, czerpanego z akumulatora. Jeśli dwa albo więcej takich oporów *połączymy równolegle*, to prąd całkowity jest większy, niż przy włączeniu któregośkolwiek z tych oporów oddzielnie. Łączny opór równolegle połączonych przewodów jest więc mniejszy, niż opór któregośkolwiek z tych przewodów. Z tej przyczyny do sieci miejskiej można dołączyć bardzo dużo odbiorników, z których każdy ma znaczny opór: połączone równolegle, mają razem opór niewielki — dlatego z prądnicy płyną prądy o wielkim natężeniu,



Ryc. 210. Połączenie równoległe żarówek.

które stopniowo rozgałęziają się i zasilają wszystkie włączone odbiorniki.

Rozpatrzmy bliżej wypadek, gdy włączamy równolegle dwa, trzy, cztery, ogólnie mówiąc n odbiorników o jednakowych oporach r . Mogą to być np. żarówki jednakowej mocy, włączone do sieci (ryc. 210). Napięcie sieci U wzbudza w każdej żarówce prąd o natężeniu $i = U/r$. Aby

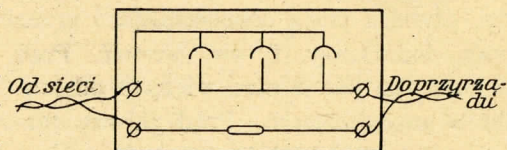
zasiłić wszystkie żarówki, w przewodach sieci musi płynąć prąd I równy sumie prądów rozgałęzionych. Ponieważ gałęzi jest n , więc $I = ni$. Taki sam prąd płynąłby w przewodach, gdyby zamiast n włókien w żarówkach o oporze r każde, włączyć jedno włókno o oporze n

razy mniejszym: $\frac{r}{n}$. Istotnie, według prawa Ohma mielibyśmy

$$I = U : \frac{r}{n} = \frac{U}{r} \cdot n = ni.$$

Łączny opór n jednakowych przewodów, połączonych równolegle, jest n razy mniejszy, niż opór każdego z przewodów oddzielnie.

Na tej zasadzie jest zbudowany *opornik lampowy*, który służy do otrzymywania stosunkowo słabych prądów z sieci miejskiej. W oprawki $A, B, C...$

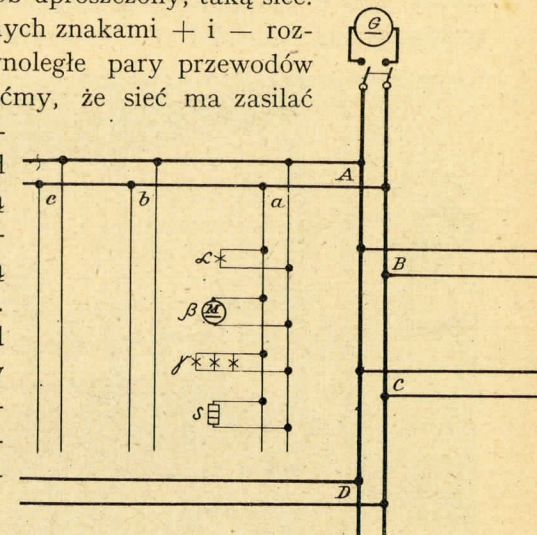


Ryc. 211. Schemat opornika lampowego.

(ryc. 211) można wkręcać żarówki (najlepiej węglowe — ob. ust. 112). Im więcej żarówek wkręcimy i im większej będą mocy, tem mniejszy będzie ich łączny opór, tem silniejszy więc prąd zostanie przepuszczony przez opornik. Łatwo to sprawdzić zapomocą amperomierza technicznego.

125. Sieci elektryczne. Siecią elektryczną nazywamy układ przewodów, które rozprawdzają prąd, wytwarzany w elektrowni, do punktów zapotrzebowania, rozmieszczonych w różnych częściach fabryki, miasta, a nawet kraju. W tych punktach są umieszczone odbiorniki prądu: lampy, silniki, grzejniki, wanny elektrolityczne i t. d. Ryc. 212 wyobraża schematycznie, w sposób uproszczony, taką sieć.

Od biegunów prądnicy, oznaczonych znakami $+$ i $-$ rozchodzą się w różne strony równoległe pary przewodów głównych: $A, B, C, ...$. Przypuśćmy, że sieć ma zasiląć małe miasto. Każda para przewodów głównych prowadzi prąd na jedną z ulic. Śledźmy jedną z par przewodów np. A . W pewnych jej punktach odgałęziają się przewody wtórne $a, b, c, ...$ zasilające poszczególne domy; od każdej z tych par odchodzą znów przewody $\alpha, \beta, \gamma, ...$ do poszczególnych mieszkań; one dopiero prowadzą do poszczególnych odbiorników.



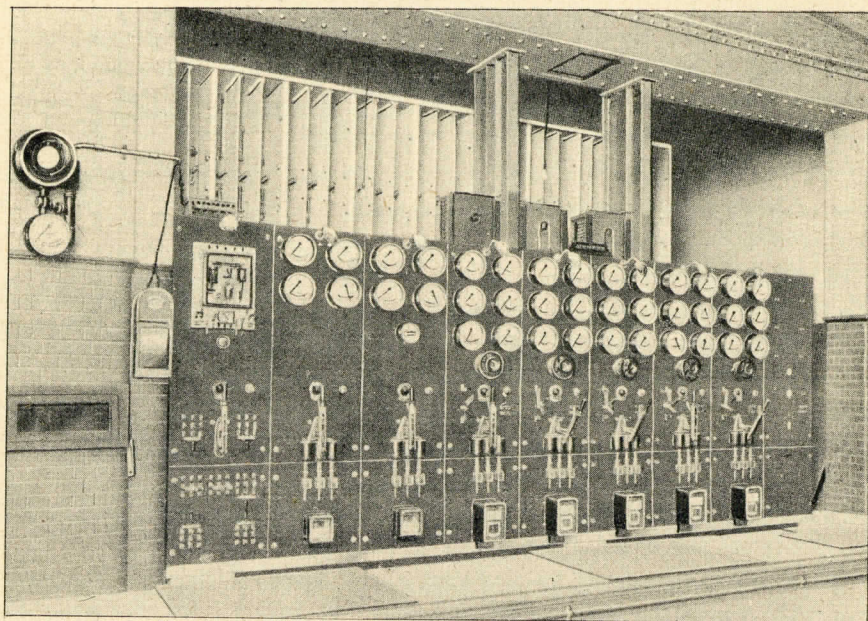
Ryc. 212. Schemat układu przewodów sieci miejskiej.

Żadne z odpowiadających sobie par przewodów $AA, BB, ... aa, bb, ...$ nie łączą się z sobą bezpośrednio. Jeśli odbiorniki są wyłączone, to niema żadnego połączenia pomiędzy układem przewodów idących od bieguna $+$, a układem idącym do bieguna $-$; prąd nie płynie wtedy wcale. Jedyna droga dla prądu od jednego do drugiego bieguna prądnicy wiedzie przez odbiorniki. Przy każdym odbiorniku jest umieszczony oddzielny wyłącznik, zapomocą którego można go włączać do sieci.

W całej sieci jest utrzymana zasada łączenia równoległego. Poszczególne odbiorniki są przyłączone równolegle do przewodów a, β, γ ; te z kolei dołączają się równolegle do przewodów $a, b, c, ...$, te zaś też równolegle do przewodów głównych $A, B, C, ...$. Te wreszcie łączą się z sobą równolegle przy biegunach prądnicy.

Jeśli w linii a jest włączony odbiornik, a w linii β inny, to linja a doprowadza tyle prądu, ile potrzebują razem linje a i β . Tak samo linja A doprowadza tyle prądu, ile potrzeba razem do $a, b, c, ...$, a elektrownia musi dostarczyć prądu dla wszystkich linii głównych. Bardzo silny prąd z prądnicy rozgałęzia się coraz bardziej, wkońcu do każdego odbiornika dochodzi tylko drobna jego część.

Przewody są zrobione z grubych miedzianych drutów lub kabli o bardzo małym oporze, więc nawet silny prąd wywołuje w nich tylko nieznaczny spadek napięcia. Im silniejszy prąd, tem mniejszy powinien być opór przewodów; zatem najgrubsze kable są użyte do linii głównych, a do pozostałych tem cieńsze, im słabszym prądom mają służyć. Do odbiorników zużywających mało prądu, np. do żarówek, prowadzą już cienkie druty. Wskutek małego spadku napięcia w sieci

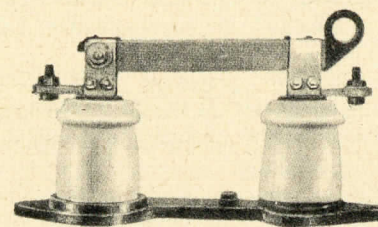


Ryc. 213. Tablica rozdzielcza.

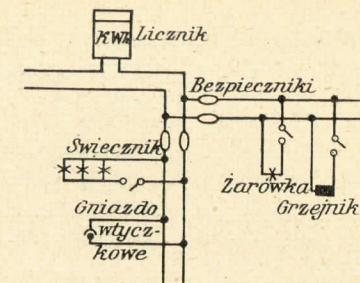
wszystkie odbiorniki otrzymują prąd o prawie równym napięciu. Jednak duże zużycie prądu może wywołać znaczniejszy spadek napięcia w punktach oddalonych, lampy wówczas „przygasają”.

Prąd z prądnicy nie przechodzi do linii sieci bezpośrednio, lecz przez t. zw. *tablice rozdzielcze* (ryc. 213). Styki tych tablic łączą się z jednej strony z prądnicami, z drugiej — z poszczególnymi linjami odbiorczymi. Zapomocą dużych wyłączników (ryc. 214) obsługa elektrowni włącza tę lub inną prądnicę, oraz poszczególne linje główne sieci.

W każdym mieszkaniu mamy następujące urządzenia zasadnicze (ob. ryc. 215). Od przewodów domowych odgałęziają się przewody, obsługujące mieszkanie, przytem w każdym z nich jest włączona stopka (korek). Prócz tego jeden przewód idzie przez *licznik*, który będzie wskazywał ilość zużytej pracy prądu. Od tych przewodów

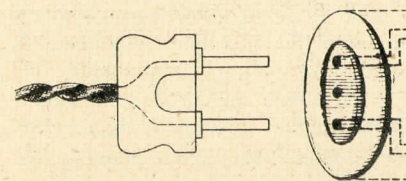


Ryc. 214. Wyłącznik dla silnych prądów.



Ryc. 215. Schemat domowej instalacji elektrycznej.

odłączają się inne do poszczególnych odbiorników. Jeśli to są lampy, to po drodze włącza się przerywacz obrotowy. Dla włączania lamp biurkowych, grzejników i t. d. w ścianie umieszcza się gniazda wtyczkowe, w które wkłada się wtyczki połączone z odbiornikami.



Ryc. 216. Gniazdo i wtyczka.

By przewody chronić od uszkodzeń i zwarć, umieszcza się je w cienkich rurkach, przeprowadzonych w ścianie. Dzięki temu przewody są niewidoczne i tylko ich końce są wyprowadzone nazewnątrz i połączone z kontaktami.

Pytania.

1. Woltomierz ma opór 750 om. i wskazuje napięcie 120 V. Jaki prąd płynie przez woltomierz?
2. W tramwajach elektrycznych prąd płynie z elektrowni po drucie miedzianym, a wraca po dwóch żelaznych szynach. Która z tych dróg przedstawia większy opór, jeśli przekrój drutu wynosi 1 cm^2 , a każdej szyny 25 cm^2 .
3. Płyty akumulatorów są łączone równolegle. Obliczyć opór wewnętrzny akumulatora złożonego z dwóch płyt ujemnych i wsuniętej między nie płyty dodatniej, jeśli opór każdej warstwy cieczy między dwiema płytami wynosi 0,02 om. Jaki będzie opór akumulatora złożonego z 3 płyt ujemnych i 2 dodatnich?
4. Do sieci są przyłączone żarówki w liczbie 10, każda o oporze 600 om. Jak zmienia się opór całej sieci przy kolejnym włączaniu żarówek, jak zmienia się przytem prąd całkowity?
5. Jaki opór miałyby te same lampy, połączone szeregowo?
6. Amperomierz o skali do 1 A ma opór 0,98 om. Chcemy nim mierzyć prąd do 50 A przez zastosowanie bocznika. Jak wielki powinien być jego opór?

Ćwiczenie montażowe.

Projektujemy fragment dekoracyjny z żarówek o mocy 3 W każda, przystosowanych do napięcia 14 V. Chcemy użyć prądu z sieci miejskiej o napięciu 120 V. Bezpieczniki w sieci są na 6 A.

Musimy się dowiedzieć, ile conajwyżej żarówek wolno nam będzie użyć w tych warunkach i w jaki sposób należy je włączyć, by nie uszkodzić żarówek, ani nie przeciążyć sieci.

1) Obliczamy najpierw, ile żarówek możemy połączyć szeregowo. $120 : 14 = 8,4$. Otrzymany iloraz 8 z ułamkiem, oznacza, że do sieci możemy włączyć szeregi po 8 lub 9 żarówek 14-to voltowych. Bezpieczniej będzie włączyć po 9. Te szeregi będziemy włączali równolegle.

2) Jakie będzie natężenie prądu w każdej żarówce, a więc i w każdym szeregu?

$$3 W : 14 V = \text{około } 0,2 A.$$

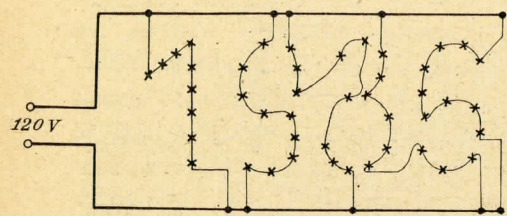
3) Ile powyższych szeregów możemy włączyć, nie przekraczając natężenia 6 amperów, t. j. bez obawy stopienia bezpiecznika?

$$6 A : 0,2 A = 30.$$

4) Ile więc żarówek możemy włączyć ogółem?

$30 \cdot 9 = 270$. Nasz projekt dekoracyjny nie może dysponować większą liczbą żarówek, niż 270. Musimy też pamiętać, że chcąc poprzestać na mniejszej liczbie żarówek, nie możemy brać liczby dowolnej, lecz tylko wielokrotności liczby 9, a więc 9, 18, 27, i t. d.

Przytoczona ryc. 217 wskazuje np., jak z pięciu szeregów po 9 żarówek można utworzyć napis: 1936.



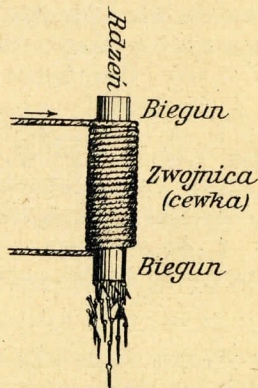
Ryc. 217.

Rozdział VI

O MAGNESACH I ELEKTROMAGNESACH

126. Prądy elektryczne i magnesy. Pomiedzy zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi zachodzą liczne zależności; mają one pierwszorzędne znaczenie dla elektrotechniki, gdyż, jak przekonamy się niebawem, na nich jest oparte działanie najważniejszych i najpotężniejszych źródeł prądu: prądnic. Większość mierników prądu: galwanoskopów, amperomierzy, woltomierzy i t. d. działa na tej samej podstawie. Prosty przykład przedstawia opisany przez nas galwanoskop (ust. 94). W takich przyrządach sygnalizacyjnych, jak telegraf, dzwonki elektryczne, telefony, też stosujemy magnetyczne działanie prądów elektrycznych.

Czytelnik pamięta niewątpliwie, co to jest **elektromagnes** (ryc. 218). Wie, że rdzeń żelazny

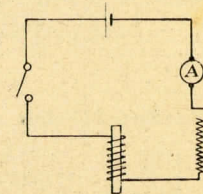


Ryc. 218. Elektromagnes.

jest otoczony *zwojnicą*, zawierającą liczne zwoje izolowanego drutu; wie, że podczas przepływu prądu *bieguny* rdzenia przyciągają ze znaczną siłą zbliżane doń przedmioty żelazne, stalowe i niklowe. Mówimy, że rdzeń nabiera własności magnetycznych. Gdy prąd przerywamy, elektromagnes już nie przyciąga żelaza; rdzeń stracił własności magnetyczne.

127. Magnesy trwałe.

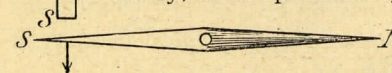
Ćwiczenie 61. Drutem izolowanym obwijamy kilkanaście razy a) pręcik z t. zw. miękkiego żelaza, b) z hartowanej stali. Tworzymy obwód z akumulatora, opornika, wyłącznika, amperomierza i wymienionego powyżej drutu (ryc. 219). Próbuje „siły” elektromagnesu, zawieszając na nim szereg małych jednakowych gwoździików. Zmieniamy natężenie prądu i próbujemy ponownie. Przerywamy prąd i badamy znowu własności magnetyczne rdzeni.



Ryc. 219. Schemat połączenia elektromagnesu ze źródłem prądu.

Zarówno żelazo, jak i stal nabierają własności magnetycznych, gdy stanowią rdzenie elektromagnesów; ich działanie jest tem silniejsze, im silniejszy prąd płynie w zwojnicy. Jednak żelazo miękkie i stal nie zachowują się jednakowo po przerwaniu prądu. Stal nadal może przyciągać przedmioty żelazne, choć nie tak silnie, jak w czasie przepływu prądu; żelazo straciło tę zdolność prawie całkowicie. Ze stali otrzymaliśmy w ten sposób **magnesy trwałe**. Do tego celu są przydatne druty stalowe, używane do kobiecych robót ręcznych. Namagnesowawszy w opisany sposób całą ich paczkę, otrzymamy pewną liczbę igieł magnetycznych, których użyjemy do badania zjawisk magnetycznych.

Ćwiczenie 62. a) Iglę układamy na papierze i posypujemy opilkami żelaznymi; obserwujemy, gdzie są biegunki igły. b) Zawieszając igłę na cienkiej, rozkręconej nici lub umieszczając ją na pływającym korku, stwierdzamy, że po uspokojeniu każda z igieł zwraca się jednym biegunkiem ku północy, drugim ku południowi. Pierwszy biegunek nazywamy **północnym**, drugi — **południowym**. Możemy naznaczyć biegunki północne, obwijając je nitką lub malując. Do biegunków zawieszanej igły zbliżamy raz biegunek północny, a raz południowy drugiej igły (ryc. 220).

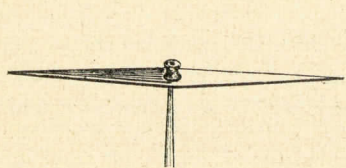


Ryc. 220. Odpychanie się jednoimiennych biegunków magnetycznych.

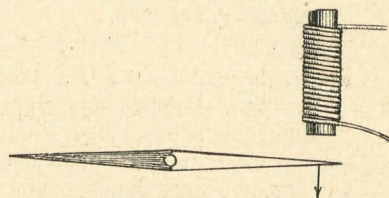
Nasze igły zachowują się zupełnie tak, jak te, które otrzymaliśmy w szkole powszechnej, magnesując druty stalowe przez pocieranie magnesem. Stosuje się do nich to samo prawo: biegunki różnoimiennie przyciągają się, biegunki jednoimiennie odpychają się.

Wygodniejsze od igły magnesowej są „igły“, jakie wyrabiają wytwórnice przyrządów fizycznych (ryc. 221). Mają one kształt bardzo wydłużonego ukośnika i są zaopatrzone w czapeczkę, którą umieszcza się na ostrzu stalowym.

Dla uproszczenia w wyrażaniu się, będziemy oznaczali biegun północny literą *N* (angielskie north), a południowy literą *S* (angielskie south).



Ryc. 221. Igła magnetyczna.



Ryc. 222. Działanie biegunów elektromagnesu na bieguny magnesu.

Doświadczenie Do ruchomej igły magnetycznej zbliżamy bieguny elektromagnesu jak w ćwic. 62 (ryc. 222).

Elektromagnes ma dwa bieguny różne, tak samo jak magnes stały. Czy jest to cechą każdego magnesu, czy też może uda się nam oddzielić biegun północny od południowego?

Ćwiczenie 63. Namagnesowany drut przecinamy na kilka części i badamy każdą z nich, posypując opilkami oraz zbliżając jej końce do ruchomej igły magnetycznej.

Niepodobna otrzymać magnesu, który miałby tylko jeden biegun.

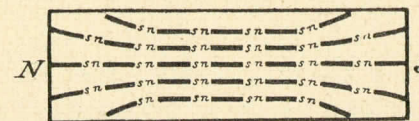
128. Budowa magnesów.

Ćwiczenie 64. Na deseczce układamy dwa magnesy sztabkowe, tak by biegun północny stykał się z południowym. Magnesy posypujemy opilkami, poczem wstrząsamy je.

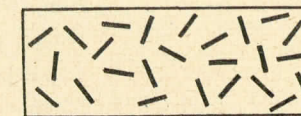
Działania zetkniętych biegunów różnoimiennych zubożniają się w znacznej części, tylko bieguny zewnętrzne są nieosłabione. To samo byłoby, gdybyśmy złożyli z sobą części, na które pocięliśmy igłę magnetyczną. Moglibyśmy magnes dzielić na nie wiem ile części, a każda z nich byłaby samodzielnym magnesem z dwoma biegunami. Duży magnes składa się widocznie z takich *magnesów elementarnych*, ułożonych w szeregi, podobnie jak magnesy w ćwic. 64 (ryc. 223).

Mamy powody do przypuszczenia, że magnesy elementarne istnieją już w żelazie nienamagnesowanym, ale są one tam rozmieszczone bezładnie (ryc. 224); dopiero działanie zwojnicy porządkuje je, skierowując w jednym i tym samym kierunku. Takie same działanie po-

rządkujące wywiera pocieranie gotowym magnesem. Po usunięciu zwojnicy magnesy elementarne w żelazie miękkim powracają do pierwot-



Ryc. 223.



Ryc. 224.

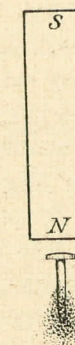
Magnesy elementarne w magnesie i w żelazie nienamagnesowanym.

nego bezładu, pozostają ledwie ślady *magnetyzmu szczątkowego*. W stali magnesy elementarne utrzymują się w stanie uporządkowanym.

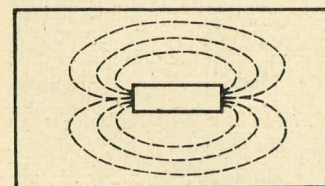
129. Pole magnetyczne.

Ćwiczenie 65. a) Do bieguna magnesu przykładamy główkę gwoździa żelaznego, a ostrze zanurzamy w opilkach. b) Główkę gwoździa zbliżamy do bieguna, nie dotykając go, i powtarzamy obserwację (ryc. 225).

Do nadania żelazu własności magnetycznych wystarcza zetknięcie go z biegunem magnesu, a nawet tylko zbliżenie do niego. Magnesy elementarne w gwoździu zostały uporządkowane, chociaż znajdują się w pewnej odległości od magnesu. Przyciąganie i odpychanie biegunów dwóch magnesów też odbywa się wtedy, gdy bieguny są oddalone od siebie. Działanie magnesu nie ogranicza się do jego bezpośredniego sąsiedztwa; jest on otoczony **polem magnetycznym**, którego istnienie poznajemy tak przez działanie na inne magnesy, jak i przez zdolność namagnesowania żelaza i stali. Pole magnetyczne łatwo uwi-
docznić zapomocą opilek żelaznych.



Ryc. 225. Działanie magnesu na odległość.



Ryc. 226. Linie magnetyczne wzbudzone przez magnes.

Ćwiczenie 66. Po obu stronach magnesu o kształcie sztabki lub podkowy kładziemy listewki drewniane, wszystko przykrywamy arkuszem cienkiej tektury i posypujemy opilkami, przesianymi przez gazę. Lekko wstrząsamy tekturę.

Opilki układają się w wyraźne linie, które nazywamy **liniami pola magnetycznego** lub wprost **liniami magnetycznymi** (ryc. 226). Układ opilek w polu nazywamy *widmem magnetycznym*.

Układ linii magnetycznych w przestrzeni można uwi-
docznić, zbliżając magnes do zawieszonych opilek żelaznych w glicerynie.

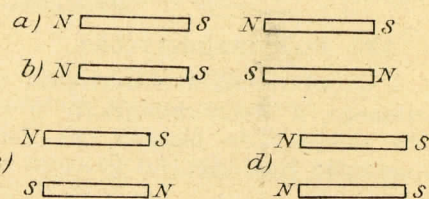
Powstawanie linii magnetycznych łatwo wytłumaczyć; każdy okruszek żelaza, znalazłszy się w polu magnesu, staje się małym magnesem, poczem ustawia się pod wpływem przyciągania i odpychania biegunów magnesu i zczepia się w łańcuchy z sąsiednimi małymi magnesami. Linia magnetyczna w każdym swym punkcie wskazuje, jakie położenie przyjmuje ten niewielki magnes. Możemy to zresztą sprawdzić, umieszczając małą busolkę w rozmaitych miejscach pola (ryc. 227).

Jak widać z rysunku, linie magnetyczne zaczynają się na jednym biegunie, a kończą na drugim; umówiono się nawet przypisać im określony kierunek, idący od bieguna północnego do południowego. Umieszczona w polu busolka wskazuje ten kierunek biegunem północnym.

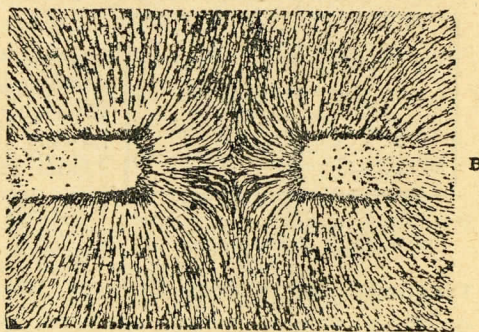
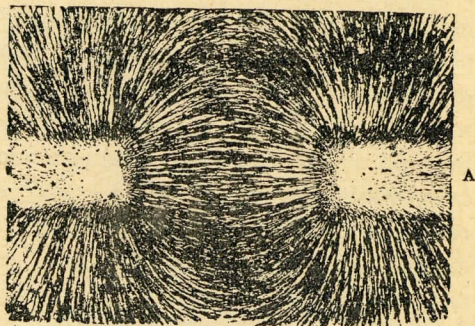
Z rozkładu linii magnetycznych w widmie widać, że działania magnetyczne obejmują końcowe części magnesu czyli bieguny. Pomiędzy nimi istnieje *pas obojętny*, w którym nie można dostrzec żadnych działań magnetycznych.

Ćwiczenie 67. Wytwarzamy widma magnetyczne dwóch magnesów, które układamy albo równolegle, albo jeden w przedłużeniu drugiego, i zwracamy do siebie biegunami albo jednoimiennymi, albo różnoimiennymi (ryc. 228). Za każdym razem możemy sprawdzić, że linie magnetyczne łączą z sobą bieguny różnoimienne. Linia nigdy nie idzie od N do N, ani od S do S, lecz zawsze od N do S (ryc. 229).

130. Żelazo w polu magnetycznym. W zjawiskach magne-



Ryc. 228. Sposoby ułożenia dwóch magnesów.

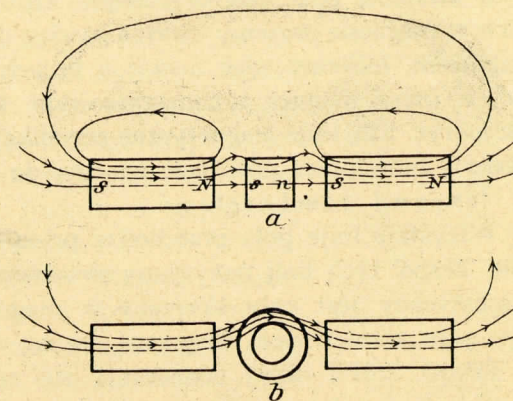


Ryc. 229. Widmo magnetyczne wzbudzone: A) przez dwa bieguny różnoimienne. B) przez dwa bieguny jednoimienne.

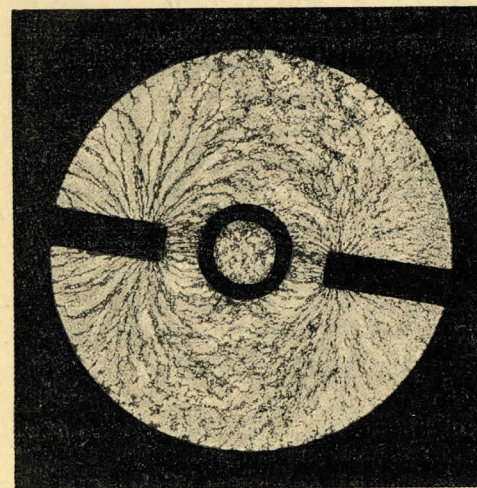
tycznych żelazo zajmuje miejsce uprzywilejowane. Zbadajmy bliżej zachowanie się jego w polu magnetycznym.

Ćwiczenie 68. W polu jednego lub dwóch magnesów umieszczamy a) kostkę, b) pierścień z miękkiego żelaza. Wytwarzamy widma magnetyczne.

Przebieg linii pola (ryc. 230) świadczy wyraźnie, że żelazo stało się magnesem i uzyskało dwa bieguny, na których skupiają się linie; przytem biegun N jest zwrócony ku S magnesu stałego, a S ku N. Linie pola jak gdyby skupiły się w żelazie, większa ich część idzie od bieguna do bieguna pierwotnych magnesów poprzez żelazo; są one tu gęste i wyraźne. O wiele mniej wyraźne linie przebiegają zdala od magnesów. Linie mają ułatwioną drogę przez żelazo, ma ono większą przenikliwość magnetyczną niż powietrze i inne substancje. Widać to szczególnie dobrze we wnętrzu pierścienia żelaznego: jest ono prawie wolne od pola magnetycznego, wszystkie jego linie zostały skupione w żelazie pierścienia (ryc. 231).



Ryc. 230. Przechodzenie linii magnetycznych przez żelazo.



Ryc. 231. Wnętrze pierścienia żelaznego jest wolne od pola.

Czy jednak mamy prawo mówić, że linie przechodzą przez żelazo? Przypomnijmy sobie, co wiemy o budowie magnesów. Wiemy, że i w nich magnesy elementarne układają się w łańcuchy, podobnie jak opilki w polu. Możemy nawet utworzyć magnes z opilek, namagnesowanych i uporządkowanych polem magnetycznym.

Doświadczenie. Rurkę szklaną napełniamy opilkami stalowymi, kładziemy je na stole i pociągamy kilkakrotnie

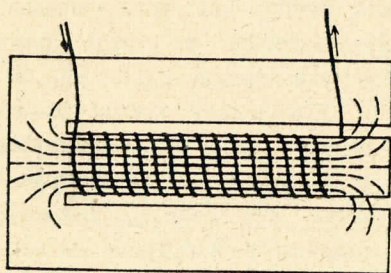
biegunem magnesu od końca do końca. Końce rurki zbliżamy do biegunów igły magnetycznej.

Pomiędzy porządkowaniem opilek, a porządkowaniem magnesów elementarnych nie ma zasadniczej różnicy. I jedno i drugie jest wynikiem działania pola magnetycznego. Łańcuchy magnesów elementarnych w magnecie możemy uważać za ciąg dalszy łańcuchów opilek poza magnesem, możemy więc mówić o liniach magnetycznych, przebiegających przez magnes i namagnesowane żelazo. W takich układach, jak na ryc. 230, linie magnetyczne przenikają kolejno magnes, powietrze żelazo i znów przez powietrze wracają do magnesu. *Linie magnetyczne są liniami zamkniętymi.*

Wszystkie linie pola przechodzą przez magnes, który wytwarza to pole. Zespół tych linii nazywamy *strumieniem magnetycznym*. Strumień magnetyczny jest cały skupiony w magnecie (lub elektromagnecie), a w polu zewnętrznym rozprasza się na większej przestrzeni.

Żelazo, stal i nikiel odznaczają się zdolnością silnego skupiania w sobie linii pola magnetycznego; nazywamy je ciałami *ferromagnetycznymi*.

131. Pole magnetyczne prądu elektrycznego. Prąd, płynący w przewodzie, wytwarza naokoło siebie pole magnetyczne, co poznajemy po ustawianiu się igły magnetycznej w kierunku poprzecznym względem prądu. Najciekawsze dla nas jest pole zwojnicy, przez którą płynie prąd. Z takiego pola korzystaliśmy już przy budowie galwanoskopu; igła magnetyczna zostaje w nim odchylona, dzięki pojawianiu się tego pola. Z położenia igły wnioskujemy, że linie pola magnetycznego wewnątrz zwojnicy są skierowane wzdłuż jej osi. Możemy to potwierdzić następującym doświadczeniem.



Ryc. 232. Pole magnetyczne wzbudzone przez prąd płynący w zwojnicy.

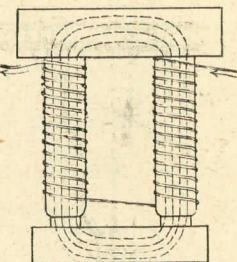
Doświadczenie. Sporządzamy płytkę drewnianą lub z blachy (nie żelaznej!) z dwoma wycięciami. Na część deseczki pomiędzy wycięciami nasuwamy zwojnicę. Deseczkę posypujemy opilkami i przez zwojnicę przepuszczamy krótkotrwałą, ale silny prąd.

Pole zwojnicy ma kształt podobny bardzo do pola sztabki magnetycznej (ryc. 232). Zwojnica zachowuje się też jak słaby magnes.

Ćwiczenie 69. a) Pałeczkę drewnianą owijamy kilkudziesięcioma zwojami drutu izolowanego, przez które przepuszczamy prąd. Końce zwojnicy

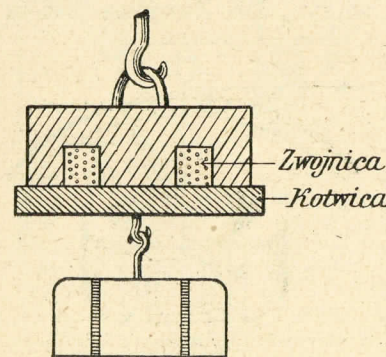
zbliżamy do biegunów igły magnetycznej. b) Powtarzamy to samo, biorąc pałeczkę żelazną zamiast drewnianej.

Wskutek wsunięcia rdzenia żelaznego działanie magnetyczne zwojnicy stało się znacznie silniejsze. Gdy nie było rdzenia, linie przebiegały tylko przez powietrze; po umieszczeniu rdzenia linie przechodzą w znacznej części przez żelazo. Wielka przenikliwość żelaza sprawia wzmocnienie pola. W ten sposób otrzymaliśmy elektromagnes. Im krótsza jest droga linii magnetycznych przez powietrze, tem pole staje się silniejsze, to też elektromagnesy buduje się najczęściej w kształcie podkowy. Gdy przykładamy do jej biegunów kotwicę, pole przebiega tylko w żelazie: linie tworzą zamknięte obwody wewnątrz żelaza (ryc. 233). Otrzymujemy w ten sposób magnes bez biegunów, bo bieguny są tam tylko, gdzie linie pola wychodzą z żelaza na zewnątrz.

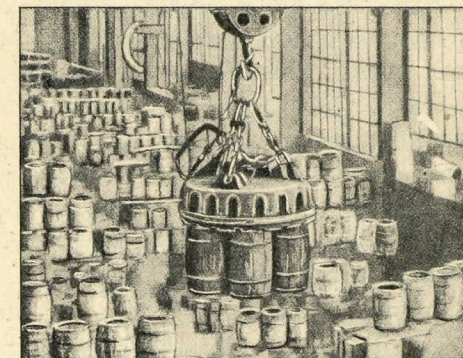


Ryc. 233. Linie magnetyczne elektromagnesu przebiegają przez żelazo rdzenia i kotwicy.

W fabrykach żelaza do podnoszenia ciężkich przedmiotów żelaznych używa się elektromagnesów, których kształt pozwala jeszcze dokładniej zamknąć pole w obrębie żelaza. Załączone ryciny 234 i 235



Ryc. 234. Przekrój silnego elektromagnesu.



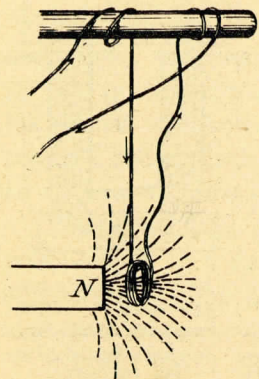
Ryc. 235. Zastosowanie elektromagnesu do dźwigania beczek z żelastwem.

pokazują widok ogólny i przekrój takiego elektromagnesu. W ten sposób można otrzymać bardzo duże siły. Elektromagnes, ważący 2000 Kg, może unieść 16 000 Kg, zużywając przytem około 18 kW mocy prądu.

132. Działanie pola magnetycznego na zwojnicę z prądem. Wiemy już, że zwojnica z prądem zachowuje się jak magnes, musi więc podlegać pewnym siłom, gdy znajdzie się w polu innego magnesu

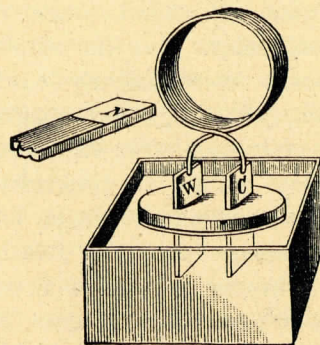
Wymaga tego zresztą i zasada działania i przeciwdziałania. Działaniu zwojnicy na magnes towarzyszy działanie magnesu na zwojnicę.

Doświadczenie. a) Zwojnicę z cienkiego drutu zawieszamy tak, by zwisała na jednym z drutów doprowadzających i zbliżamy ją do magnesu stałego (ryc. 236).



Ryc. 236.

Zwojnica z prądem ustawia się tak, by objąć największą liczbę linii magnetycznych.

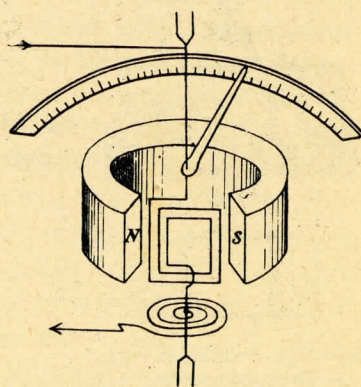


Ryc. 237.

b) Tworzymy pływające ogniwo (ryc. 237), umocowując płytki miedzianą i cynkową do korka, pływającego na roztworze kwasu siarkowego. Obie płytki łączymy drutem, zwinętym w zwojnicę. Do zwojnicy zbliżamy bieguny magnesu.

Zwojnica ustawia się tak, by jak największa liczba linii magnetycznych pola prze-

nikała jej zwoje. To doświadczenie tłumaczy nam budowę pewnego typu amperomierzy, takich, jak na ryc. 238. Zwojnica jest tu ruchoma i umieszczona pomiędzy biegunami silnego magnesu. Jest ona nawinięta na rdzeń żelazny i utrzymywana w położeniu zerowym przez spiralną sprężynkę. Gdy przez zwojnicę przechodzi prąd, stara się ona obrócić tak, by objąć jak największą liczbę linii magnetycznych; skręca przytem sprężynkę i zatrzymuje się w takim położeniu, w którym działanie pola i działanie skręconej sprężyny równoważą się nawzajem. Im silniejszy prąd, tem większe skrócenie zwojnicy; połączona z nią strzałka wskazuje na skali liczbę przepływających amperów.

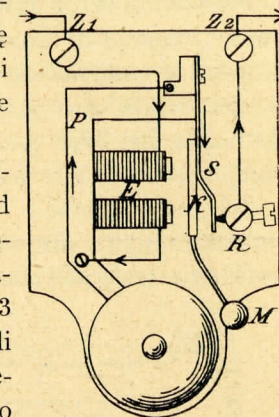


Ryc. 238. Budowa amperomierza o ruchomej zwojnicy.

133. Telegraf. W szkole powszechnej poznaliśmy już zastosowanie elektromagnesu do sygnalizacji zapomocą dzwonka (ryc. 239). Przypomnijmy sobie krótko jego działanie. Prąd z baterji wchodzi przez zacisk Z_1 , opływa zwoje elektromagnesu E , przez żelazną podstawę P dochodzi do sprężynki S ; z niej przedostaje się na śrubkę R i przez zacisk Z_2

powraca do baterji. Wzbudzony elektromagnes przyciąga kotwicę K , złączoną ze sprężynką S i przez to przerywa połączenie jej ze śrubką; prąd zostaje przerywany, a jednocześnie młoteczek M uderza w dzwonek. Ponieważ elektromagnes jest teraz niewzbudzony, więc sprężynka odciąga kotwicę, styka się ponownie ze śrubką — i nowy prąd przechodzi przez przyrząd, powodując nowe uderzenie młoteczka i t. d.

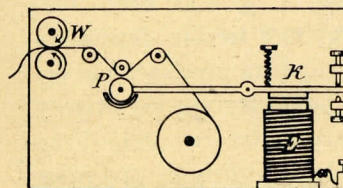
Pierwszy pomysł użycia prądów elektrycznych do przesyłania wiadomości pochodzi od Amp'ere'a. Urzeczywistnili te pomysły dwaj profesorowie uniwersytetu w Gießen: matematyk GAUSS oraz fizyk WEBER. W r. 1833 pomiędzy swymi pracownikami przeprowadzili druty, a przesyłane przez nie prądy z baterji galwanicznej odchyłały igłę magnesową to w jedną, to w drugą stronę. W ten sposób uczeni przesyłali sobie sygnały. Już rok wcześniej amerykanin MORSE opracował pomysł



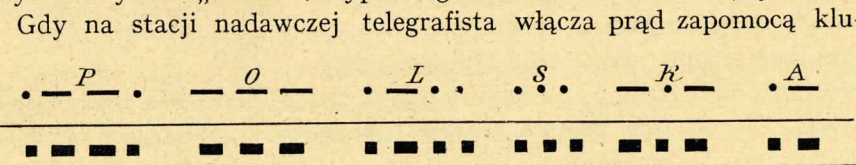
Ryc. 239. Dzwonek elektryczny.

telegrafowania na większe odległości, lecz, nie mając środków, nie był w stanie zrealizować swego projektu. Dopiero w r. 1837 jego trudy zostały uwieńczone pomyslnym skutkiem.

Morse zastosował elektromagnes, którego kotwica była zaopatrzona w rysik; gdy prąd przepływa przez elektromagnes i przyciąga kotwicę, rysik kreśli znaki na przesuwanej pod nim wstążce papieru (ryc. 240). Gdy prąd trwa bardzo krótko, powstaje kropka, gdy prąd płynie nieco dłużej, rysik kreśli kreskę. Alfabet, opracowany przez Morse'a, zawiera różne

Ryc. 240. Aparat telegraficzny Morse'a. Elektromagnes E przyciąga kotwicę K ; kółko P , maczające się w miseczce z farbą, zostaje wtedy przyciągnięte do wstęgi papierowej i robi na niej znak; wstęga jest pociągana przez dwa obracające się walce W .

kombinacje kreszek i kropek, które odpowiadają różnym literom. Oto przykład wyrazu „Polska“, wypisanego alfabetem Morse'a. (Ryc. 241).

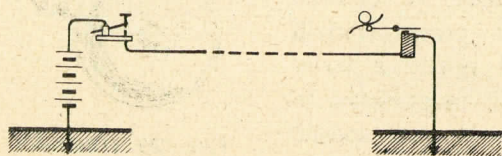


Ryc. 241. Wyraz „Polska“ napisany alfabetem Morse'a.

cza, w sposób, odpowiadający literom alfabetu, na stacji odbiorczej aparat z elektromagnesem kreśli odpowiednie znaki na papierze, przesuwany za pomocą mechanizmu zegarowego.

Pierwotnie do wytworzenia zamkniętego obwodu używano dwóch drutów, łączących obie stacje. Później wpadli ludzie na pomysł, by za jeden z przewodów użyć ziemi, która przewodzi wprawdzie gorzej od metali, ale zato pozostawia prądowi tak wielki przekrój, że oporu jej można nie brać pod uwagę. Schemat linii telegraficznej, obsługiwanej aparatem Morse'a, widzimy na ryc. 242.

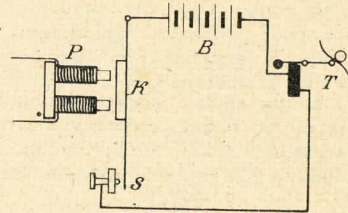
Od czasu Morse'a w sposobach telegrafowania dokonano całego mnóstwa zmian i ulepszeń. Przyrządy stały się wysoce skomplikowane, a wiedza o telegrafii rozwinęła się w obszerny dział nauk technicznych.



Ryc. 242. Przesyłanie sygnałów zapomocą jednego przewodu; drugi przewód jest zastąpiony przez ziemię.

Możemy tu wspomnieć tylko o niektórych prostych, a jednak ważnych udoskonaleniach. Naciskając klucz ręką, można przy wielkiej wprawie nadać w ciągu minuty 30 wyrazów, t. j. 150 liter. Przy olbrzymiej liczbie depesz, jakie musi przesłać każda wielka linia telegraficzna, taka prędkość nie wystarcza. Więc uprzednio w pasku mocnego papieru wybija się otwory, odtwarzające w alfabecie Morse'a treść depeszy (patrz ryc. 241). Przygotowane w większej ilości paski są potem jeden za drugim przesuwane pomiędzy końcówkami klucza, lekko do siebie przyciskaniem. Gdy pomiędzy końcówkami znajduje się nienaruszony papier, nie ma styku i prąd nie płynie. Gdy do klucza wsuwa się otwór, następuje styk i prąd płynie, krócej lub dłużej, zależnie od długości otworu.

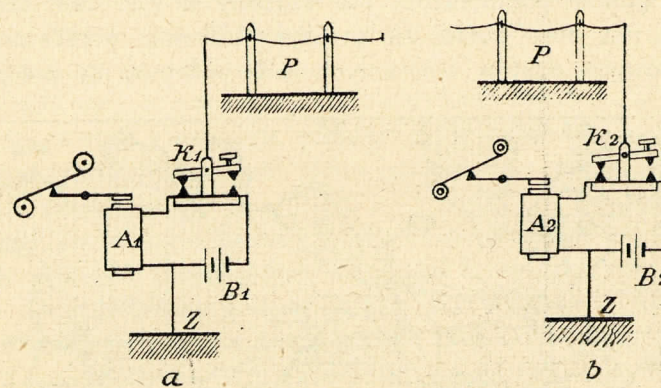
Gdy nie chodzi o wielki pośpiech, np. przy telegrafach kolejowych, używa się aparatów, wystukujących sygnały. Sygnał polega na głośniejszym stuknięciu kotwicy przy zamykaniu prądu oraz słabszym przy przerywaniu prądu i odskakiwaniu kotwicy pod działaniem sprężynki. Dłuższe lub krótsze odstępy pomiędzy stuknięciami odpowiadają kreskom i kropkom alfabetu Morse'a. Wprawny telegrafista od razu tłumaczy te sygnały na litery i zapisuje przesyłaną wiadomość.



Ryc. 243. Przekaźnik (relais); przez przyciągnięcie kotwicy K zamyka obwód baterji B; prąd z niej porusza aparat odbiorczy T.

Sila, z jaką elektromagnes przyciąga kotwicę, musi być dość znaczna, by sygnały mogły być wyraźne. Przy dużych odległościach między stacjami prąd bywa bardzo słaby, niezdolny do wykonania tej czynności. Wówczas stosuje się t. zw. *przekaźnik* (relais), obmyślony przez amerykańskiego fizyka HENRY. Jest to elektromagnes, który przyciąga lekką kotwicę (ryc. 243). To powoduje zamknięcie drugiego obwodu, zasilanego miejscową baterją, w który jest włączony aparat odbiorczy. Można też włączać przekaźnik w środku długiej linii. Nadchodzący ze stacji nadawczej słaby sygnał zostaje wzmacniony przez włączenie drugiej baterji.

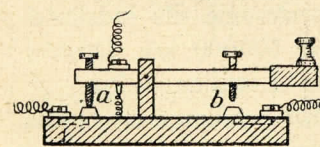
Na rycinie 244 widzimy schemat połączeń dwóch stacji, z których każda jest równocześnie nadawczą i odbiorczą. Każda stacja ma bate-



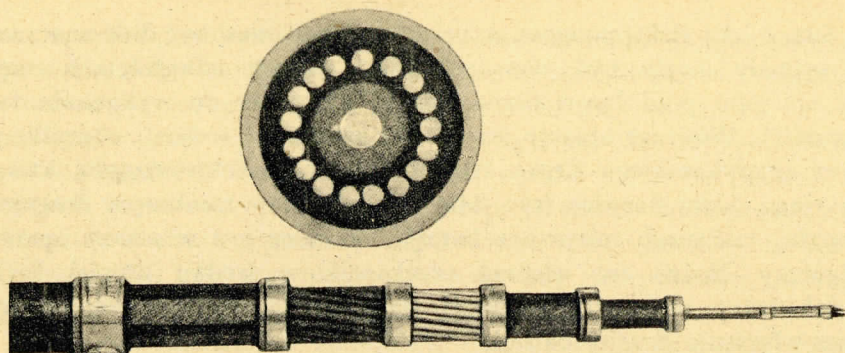
Ryc. 244. Schemat połączenia dwóch stacji telegraficznych, umożliwiający przesyłanie depesz po jednym drucie w dwóch kierunkach.

ryję (B), klucz (K) i aparat odbiorczy (A). Klucze (ryc. 245) są trzymane przez sprężynki tak, że aparaty odbiorcze łączą się z ziemią, a baterje są wyłączone. Jeśli telegrafista stacji I naciska klucz K_1 , to wyłącza aparat A_1 , a włącza baterję B_1 ; prąd płynie przez przewód łączący P do aparatu odbiorczego A_2 , a z niego spływa do ziemi; stacja II otrzymała sygnał. Naciskając klucz K_2 , możemy w ten sam sposób wyłączyć aparat A_2 i przesłać sygnał ze stacji II do I.

Wiele pomysłowości zużyto, by móc przysłać po jednej linii jednocześnie kilka depesz, by aparat odbiorczy od razu drukował otrzymaną depeszę, by wzmocnić jeszcze prędkość przesyłania depesz. Dziś cały świat cywilizowany jest pokryty siecią linii telegraficznych. Nawet przez morza przesyłamy depe-

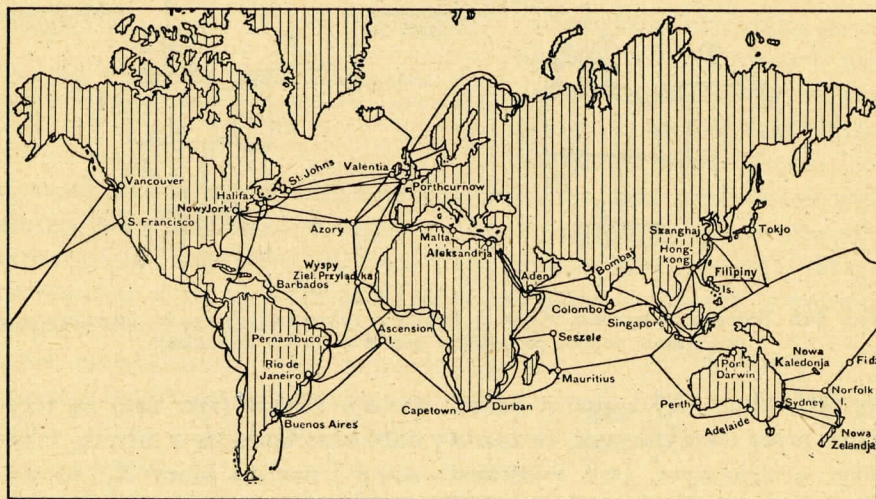


Ryc. 245. Klucz (wyłącznik), używany w układzie jak na ryc. 244.



Ryc. 246. Przekrój i widok kabla podmorskiego.

sze dzięki kablom podmorskim. Jak widzimy na ryc. 246, sam przewód kabla jest dość cienki, ale otoczony kilkoma warstwami izolatorów, stalowych drutów ochronnych oraz pokrywą nie przepuszczającą



Ryc. 247. Mapa rozmieszczenia ważniejszych kabli podmorskich.

jącą wilgoci. Mapa na ryc. 247, zawierająca najważniejsze kable morskie, daje wyobrażenie o tym, jak olbrzymie znaczenie dla ludzkości ma telegrafia zamorska. Kabli takich jest około 500 000 km. Drutów telegrafu lądowego jest w samej Europie około 4 milionów km.

134. Magnetyzm ziemski. Od setek lat ludzie posługują się busolą do wyznaczania stron świata. Pierwotnie sądzono, że igła magnetyczna wskazuje ściśle północ i południe; dopiero Krzysztof KOLUMB podczas swej podróży odkrywczej do Ameryki, stwierdził, że igła zbacza

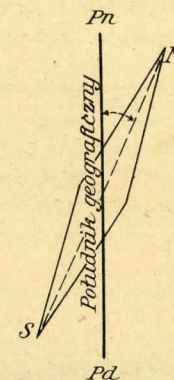
niedaleko od tego kierunku. *Zboczenie magnetyczne* (ob. ryc. 248) w pobliżu Europy odchyliło biegun północny igły ku zachodowi; im dalej posuwano się na wschód, tem zboczenie było mniejsze, a po przekroczeniu pewnej długości geograficznej, igła zaczęła zbaczać ku wschodowi.¹

To odkrycie miało wielkie znaczenie dla żeglugi, a jednocześnie skłoniło uczonych do bliższego zbadania **magnetyzmu ziemskiego**.

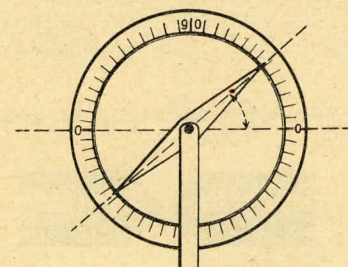
Jeśli igła busoli może się obracać nie tylko około osi pionowej, ale także około poziomej, to nie ustawi się ona poziomo, lecz pochyli się biegunem północnym ku dołowi (ryc. 249); na półkuli południowej nachylony jest biegun południowy. *Nachylenie magnetyczne* wynosi w Polsce około 67° i jest tem większe, im bardziej oddalamy się od równika.

Jeśli igła magnetyczna przyjmuje określone położenie, to jak wiemy z ust. 129, znajduje się w polu magnetycznym. Na powierzchni ziemi istnieje *pole magnetyzmu ziemskiego*.

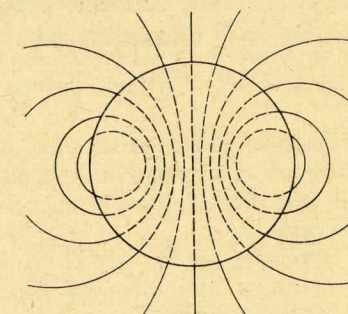
Z tego, co wiemy o kierunku igły busoli, możemy zgrubszą nakreślić przebieg linii tego pola. Przebiegają one prawie równoległe do południków geograficznych. Na wschód od południka 100 długości zachodniej są one pochylone ku zachodowi, na zachód od niego — ku wschodowi. Więc przecinają się gdzieś na tym południku poniżej północnego bieguna geograficznego. Ten punkt nazywamy **biegunem magnetycznym północnym**.² Drugi biegun — południowy,



Ryc. 248. Zboczenie igły magnetycznej od kierunku północ — południe.



Ryc. 249. Nachylenie igły magnetycznej względem poziomu.



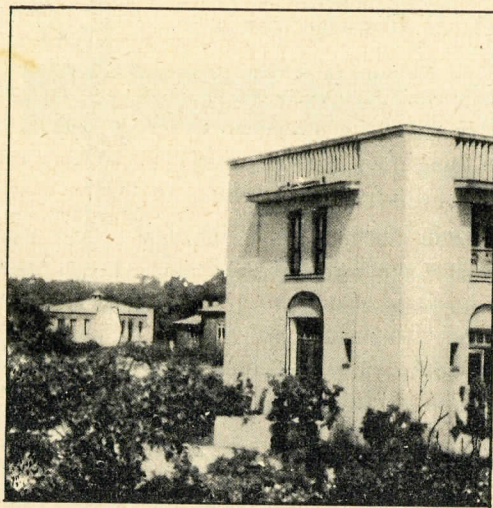
Ryc. 250. Ziemia jako magnes; przybliżony kształt pola magnetycznego ziemi.

¹ Obecnie w Polsce igła magnetyczna zbacza: w Poznaniu o 2° na Z, w Warszawie o 1° na Z, w Równem o 3° na Ws.

² Obecnie pod 72° sz. Pn. i 96° dł. Z.

w którym przecinają się przeciwne końce linii pola, leży teraz na wschodniej części półkuli południowej.³

Linje pola ziemskiego nie biegną równoległe do powierzchni ziemi; im bliżej biegunów, tem są bardziej strome, a na samych biegunach zupełnie pionowe. Pole ziemskie (ryc. 250) jest podobne do pola olbrzymiego magnesu, umie-



Ryc. 251. Obserwatorium magnetyczne w Świdrze pod Warszawą; na pierwszym planie biuro; w głębi budynku, zawierające przyrządy do pomiarów.

szczonego w środku ziemi, nieco pochyło względem jej osi. Ale zjawiska magnetyzmu ziemskiego są w rzeczywistości bardziej skomplikowane; tak proste przypuszczenie nie wystarcza do ich wytłumaczenia.

Jedną z takich komplikacji jest zmienność pola ziemskiego. Zboczenie i nachylenie ulegają ciągłym, powolnym zmianom. Prócz tego występują zmiany silne, ale krótkotrwałe, t. zw. *burze magnetyczne*. Liczne obserwatoria magnetyczne mają za zadanie badanie magnetyzmu ziemskiego, a

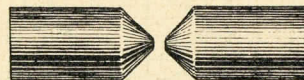
Pytania.

1. Chcąc otrzymać bardzo silne pola magnetyczne, używa się magnesów, których bieguny są zwężone ku końcowi (ryc. 252).

Jaki jest przebieg linii w biegunach i w polu między nimi?

2. Opierając się na regule Ampère'a, wyznacz kierunek linii magnetycznych zwojnicy, w zależności od kierunku prądu.

3. Narysuj przebieg i kierunki linii magnetycznych zwojnicy i magnesu, zwróconych do siebie przyciągającymi się biegunami. Jakie będą kierunki obu pól, gdy zwojnica zostanie nasunięta na magnes?



Ryc. 252.

³ Pod 75° sz. Pd. i 156° dł. Ws.

4. Co się stanie, gdy zwojnicę nasunąć na magnes, obróciwszy ją uprzednio o 180°?

5. Oba końce sztabki żelaznej nawinięto drutem tak, że kierunek obiegu na jednym końcu jest inny niż na drugim. Jaki będzie przebieg linii i rozmieszczenie biegunów elektromagnesu, gdy przez nawinięty drut przepuścimy prąd elektryczny?

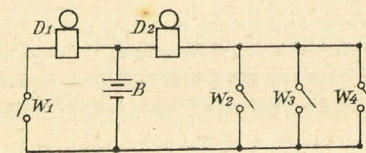
Ćwiczenia montażowe i warsztatowe.

1. Chcemy zainstalować dzwonki elektryczne według następującego planu:

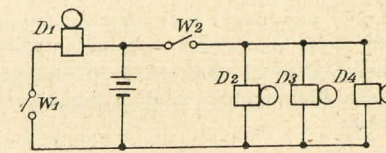
a) W domu. Jeden dzwonek D_1 , zawieszony w przedpokoju, ma dzwonić za naciśnięciem wyłącznika W_1 , umieszczonego zewnątrz mieszkania. Drugi dzwonek D_2 , zawieszony w kuchni, ma dzwonić za naciśnięciem jednego z trzech wyłączników W_2 , W_3 , W_4 , rozmieszczonych w oddzielnych izbach. Instalację ma zasiląć jedna bateria.

Kreślimy schemat instalacji (ryc. 253), poczem przystosowujemy do warunków lokalnych, bacząc, by zużyć jaknajmniej przewodów.

b) W szkole. Jeden dzwonek D_1 , zawieszony w pokoju dyżurnego, ma dzwonić za naciśnięciem wyłącznika W_1 , umieszczonego w kancelarii kie-



Ryc. 253.



Ryc. 254.

rownika szkoły. Trzy inne dzwonki D_2 , D_3 , i D_4 mają dzwonić wszystkie jednocześnie za naciśnięciem wyłącznika W_2 , umieszczonego w pokoju dyżurnego. Instalację zasilą jedna bateria B.

Kreślimy schemat (ryc. 254) i dostosowujemy instalację do warunków lokalnych.

2. Budujemy prosty galwanoskop według wskazówek, podanych w rozdz. I.

3. Budujemy aparat telegraficzny odbiorczy według ryc. 240. Możemy też obmyśleć inny prostszy aparat do przesyłania sygnałów. Budujemy klucz i instalujemy małe stacje telegraficzne wewnątrz szkoły lub w domu.

Rozdział VII

PRĄDY INDUKCYJNE I ICH PRAKTYCZNE ZASTOSOWANIA

135. Z dziejów odkrycia prądów indukcyjnych. Odkrycie magnetycznych objawów prądu elektr., dokonane w r. 1820, stało się niezbitym dowodem, że między zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi istnieje ścisły związek. To też ówczesnym fizykom nasuwało się odrazu przypuszczenie, że skoro zapomocą elektryczności można otrzy-

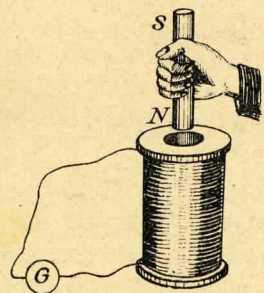
mać zjawiska magnetyczne, to i zamiana odwrotna powinna być możliwa. „Zamienić magnetyzm na elektryczność” — oto notatka, jaką już w r. 1822 zamieścił w swym dzienniku laboratoryjnym jeden z największych uczonych nowożytnych, fizyk angielski FARADAY. Gdyby to się udało, to do wytwarzania prądów nie potrzebaby wcale ogniw elektrycznych.

Długo głowili się rozmaici badacze, poszukując bezskutecznie takiego zjawiska elektr., któreby powstawało jako skutek działania magnesów. Rozmyślał nad tem i Faraday. Przez 10 lat od daty, kiedy to zagadnienie sobie zanotował, powracał Faraday uparcie do tego tematu, szukając jego rozwiązania zarówno na stole laboratoryjnym, jak i na drodze teoretycznych rozważań. Niezrażony licznymi niepowodzeniami prowadził wytrwale swoje badania, wierząc niezachwianie w słuszność swoich przypuszczeń. Aż wreszcie badania jego zostały uwieńczone triumfem, bo oto w r. 1832 pisze w swoim dzienniku:

„...Te rozważania i zaczerpnięta z nich nadzieja otrzymania elektryczności, wzbudzonej przez magnetyzm, skłaniały mnie do wykonywania doświadczeń... Niedawno wreszcie doszedłem do wyników rozstrzygających, które nie tylko spełniły moje nadzieje, ale nadto doprowadziły mnie do wyjaśnienia, jak mi się zdaje zupełnego, zjawisk magnetycznych...”

Odkrycie nowego sposobu wytwarzania prądów elektrycznych, nazywanych przez Faradaya indukcyjnymi, posiada dla techniki niesłychanie doniosłe znaczenie. Potężne bowiem źródła prądu, stosowane dziś powszechnie w elektrotechnice, to tylko zmodyfikowane, technicznie udoskonalone i w wielkiej skali wykonane urządzenia, jakie obmyślił Faraday. Nic dziwnego, że przed niewiele laty, mianowicie w r. 1932, jako w stulecie odkrycia prądu indukcyjnego, cały świat naukowy, a wśród nich i uczelnie polskie, uroczystymi obchodami składał hołd genjuszowi Faradaya.

Zapoznamy się obecnie kolejno z różnymi sposobami wytwarzania tego prądu.



Ryc. 255. Wzbudzenie prądów indukcyjnych zapomocą magnesu.

Ćwiczenie 70. Końcówki zwojnicy łączymy z galwanometrem, tworząc w ten sposób obwód zamknięty, w którym nie ma żadnego źródła prądu.

Następnie wkładamy szybkim ruchem magnes sztabkowy do wnętrza zwojnicy, jak na ryc. 255, i obserwujemy równocześnie zachowanie się wskazówki galwanometru. Po uspokojeniu się wskazówki szybko wyjmujemy magnes, patrząc znów na wskazówkę. Powtarzamy tę czynność kilkakrotnie.

Powtarzamy to samo, wkładając do zwojnicy magnes drugim biegunem i obserwujemy, czy kie-

runki wychylenia wskazówki w czasie wkładania i wyjmowania magnesu są takie same, jak przedtem.

W końcu zmieniamy nieco warunki doświadczenia. Zamiast poruszać magnesem względem nieruchomej zwojnicy, poruszamy zwojnicą względem nieruchomego magnesu, nakładając ją szybko na magnes i zdejmując z magnesu.

Doświadczenia takie wskazują, że ilekroć do zwojnicy wkładamy magnes lub z niej wyjmujemy, wskazówka galwanometru wychyla się, dając tem świadectwo, że w obwodzie płynie wówczas prąd elektryczny. Jest to prąd *indukcyjny*.

Prądy te są krótkotrwałe: trwają one tylko tak długo, jak długo trwa ruch magnesu względem zwojnicy. Z chwilą, gdy magnes przestaje się poruszać, prąd zanika bez względu na to, czy magnes spoczywa obok zwojnicy czy tkwi wewnątrz niej.

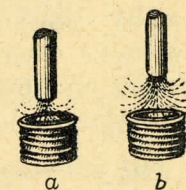
Wychylenia wskazówki odbywają się: podczas wkładania magnesu w jedną stronę, a podczas wyjmowania — w drugą; świadczy to, że kierunek prądu zmienia się w zależności od tego, czy biegun magnesu zbliżamy do zwojnicy, czy oddalamy. Ponadto okazuje się, że zbliżanie bieguna np. *N* wywołuje w obwodzie prąd o takim samym kierunku, jak oddalanie bieguna *S* i naodwrot.

Wreszcie pojawianie się takich samych prądów także na skutek ruchów zwojnicy względem nieruchomego magnesu świadczy, że nie chodzi tu o to, który z elementów jest w ruchu a który w spoczynku; nasuwa natomiast przypuszczenie, że warunkiem powstawania prądów indukcyjnych jest tutaj zmienność pola magnetycznego, które znajduje się wewnątrz zwojnicy. Gdy bowiem odległość zwojnicy od magnesu maleje, wtedy — jak wiemy z rozdziału o magnetyzmie — do wnętrza zwojnicy przenika większa liczba linii magnetycznych (ryc. 256 a). I naodwrot: gdy odległość ta rośnie, wtedy zwoje zwojnicy obejmują mniejszą liczbę linii magnetycznych (ryc. 256 b). W zwojnicy zatem prąd jest tylko wtedy indukowany, kiedy liczba linii magnetycznych, objętych przez zwojnicę, wzrasta lub maleje.

Można się zresztą o tem przekonać, stwarzając te same warunki w odmienny sposób.

Ćwiczenie 71.

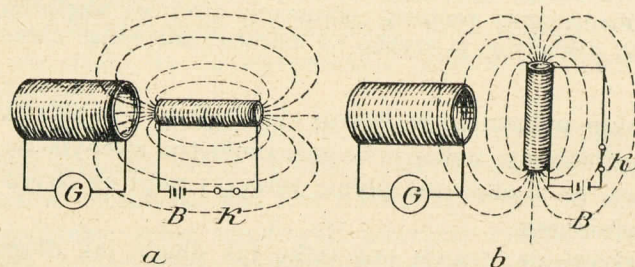
A). Zwojnicę, zawierającą wewnątrz rdzeń żelazny, łączymy z galwanometrem. Gdy zbliżamy do rdzenia magnesu, wskazówka galwanometru wychyla się.



Ryc. 256. Zwojnica obejmuje więcej linii magnetycznych (a) lub mniej (b) zależnie od odległości magnesu.

B). Do zwojnicy Z_2 wkładamy drugą zwojnicę Z_1 (o niewielkiej liczbie zwojów z grubego drutu), włączoną w obwód z baterją B i kluczem K.

Zwojnicę Z_1 , wraz z jej źródłem prądu B i kluczem K, będziemy nazywali obwodem pierwotnym, zwojnicę Z_2 — obwodem wtórnym.



Ryc. 257. Liczba linii magnet., objętych przez obwód wtórny, zależy od jego położenia względem obwodu pierwotnego.

wyjmujemy zwojnicę Z_1 i ustawiamy kolejno w różnych pozycjach względem Z_2 (ryc. 257), zamykając i otwierając jednocześnie klucz K.

Przełączamy końcówki obwodu pierwotnego do przeciwnych biegunów baterji i powtarzamy doświadczenie. W końcu badamy jeszcze raz to samo, włożywszy do zwojnicy Z_1 rdzeń żelazny.

Doświadczenia te dają takie same wyniki, jakie obserwowaliśmy, używając zwykłych magnesów stalowych. Przypuszczenia nasze są więc słuszne: Siła elektromotoryczna indukcji jest wynikiem zmiany liczby linii magnetycznych, objętych przez zwoje zwojnicy. Natomiast obojętną jest rzeczą, z jakiego źródła te linie pochodzą, jak również obojętny jest sposób zwiększania lub zmniejszania ich liczby w obrębie zwojnicy.

136. Od czego zależy siła elektromotoryczna indukcji? Ćwiczenie 72. Łączymy zwojnicę z galwanometrem i wzbudzamy w niej prądy indukcyjne w warunkach następujących: wsuwamy i wyjmujemy magnes kolejno z rozmaitemi prędkościami; jednocześnie obserwujemy i porównujemy, o ile działek wychyla się wskazówka przy szybkim ruchu magnesu, a o ile przy powolnym.

Powtarzamy to samo przy użyciu rozmaitych magnesów: najpierw słabego, następnie silniejszego (można w tym celu złożyć dwa magnesy), w końcu silnego elektromagnesu.

Doświadczenia te wskazują, że wychylenie wskazówki, a więc i siła elektromotoryczna indukcji, jest tem większa, im szybciej wzrasta lub maleje liczba linii magnetycznych, objętych przez zwojnicę. Kierunek siły elektromotorycznej przy wzrastaniu jest zawsze przeciwny, niż przy zmniejszaniu; zależy ponadto od kierunku linii magnetycznych, przenikających zwojnicę.

Wykryta dopiero co zależność jest dla nas ważnem wskazaniem, jak należy konstruować urządzenia do wytwarzania prądów indukcyjnych, aby osiągnąć możliwie wielką siłę elektromotoryczną. W praktyce stosuje się w tym celu dwa różne sposoby, z których każdy czyni zadość powyższemu wskazaniu:

1) Szybkie poruszanie zwojnicy względem silnego magnesu (lub naodwrot) tak, aby liczba linii magnetycznych, obejmowanych przez zwoje, naprzemian wzrastała i malała. Najlepiej nadaje się do tego celu ruch obrotowy. Urządzenia, oparte na tej zasadzie, to t. zw. *prądnice* (także generatory lub dynamomaszyny).

2) Perjodyczne wytwarzanie w obrębie zwojnicy coraz to nowych linii magnetycznych bądź zapomocą prądu, co chwila przerywanego, bądź też przez ustawiczną zmianę kierunku prądu. Urządzenia, oparte na tej zasadzie, to *cewki indukcyjne* i *transformatory*.

Zanim zapoznamy się z temi przyrządami, zapytajmy jeszcze, czy i jaki wpływ na wielkość indukowanej siły elektromotorycznej ma liczba zwojów zwojnicy.

Ćwiczenie 73. Zestawiamy urządzenie w sposób podobny, jak w ćwic. 71, z tą tylko różnicą, że ręczny klucz K zastępujemy przerywaczem automatycznym (np. od dzwonka elektr.), a końcówki zwojnicy, zamiast włączać do galwanometru, trzymamy w rękach. Jeśli liczba zwojów zwojnicy jest dostatecznie wielka, pocujemy mniej lub więcej dotkliwe wstrząsy rąk; są one wynikiem działania prądów indukcyjnych, przebiegających przez nasze ciało. Gdy zmienimy zwojnicę na inną, o jeszcze większej liczbie zwojów, wstrząsy będą jeszcze mocniejsze.

Wzmaganie się fizjologicznego działania prądu ze wzrostem uzwojeń zwojnicy świadczy, że im większa jest liczba zwojów, tem większe pojawia się napięcie na końcówkach zwojnicy. Nic dziwnego: każdy zwój staje się tu siedliskiem siły elektromotorycznej indukcji, każdy jest jakby małym ogniwnem elektr., połączonem szeregowo z dwoma sąsiednimi: poprzednim zwojem-ogniwnem i następnem zwojem-ogniwnem. Cała więc zwojnica to jakby bateria, złożona z tylu ogniw, ile jest zwojów w zwojnicy. Oczywiście, im jest ich więcej, tem większe będzie napięcie na końcówkach takiej „baterji“.

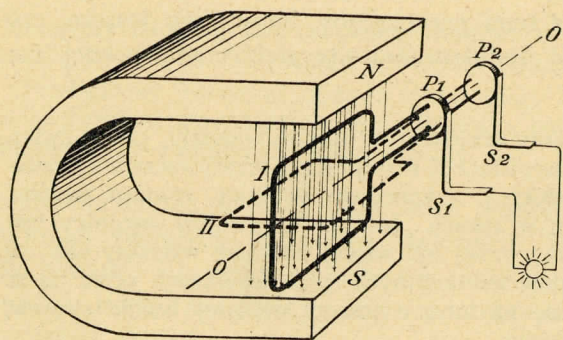
Można to zresztą sprawdzić o wiele dokładniej zapomocą odpowiedniego woltomierza; w zwojnicy są prądy zmiennne, więc potrzebny tu woltomierz inny, niż do prądu stałego (ob. ust. 111, ryc. 183).

Prądnice i silniki elektryczne.

137. Zasada prądnicy na prąd zmienny. Prądnicą nazywamy urządzenie, służące do wytwarzania kosztem pracy mechanicznej elek-

trycznych prądów indukcyjnych. Nietrudno zrozumieć, dlaczego przy wzbudzaniu prądu indukcyjnego wykonywamy pracę. Wszakże prąd indukcyjny, powstający w zwojnicy podczas wsuwania lub wyjmowania z niej magnesu, wytwarza swoje pole magnetyczne, które jest zawsze tak skierowane, że przeciwdziała ruchowi magnesu. Innymi słowy, wsuwając magnes do zwojnicy, odczuwamy takie same odpychanie magnesu, jak gdybyśmy zbliżali do siebie magnesy równoimiennymi biegunami.

X Zasadę budowy i działania najprostszej prądnicy wyjaśnia ryc. 258. W polu magnesu NS wiruje zwojnica (na rycinie narysowano dla prostoty tylko jeden zwój), osadzona na osi OO . Jej końcówki przymocowane są do metalowych pierścieni P_1 i P_2 , osadzonych na osi na izolatorach i wirujących wraz z osią. Do pierścieni przylegają nieruchome



Ryc. 258. Schemat prądnicy dwubiegunowej na prąd zmienny.

Po wprowadzeniu twornika w ruch obrotowy (zapomocą np. maszyny parowej lub w inny sposób), w obwodzie pojawi się prąd elektryczny. Rozważmy bliżej kolejne etapy jednego obrotu zwojnicy. Gdy zwojnica zajmuje chwilowo położenie pionowe I, jak to właśnie jest na rycinie, nie obejmuje ona wcale linii magnet., gdyż jej płaszczyzna zajmuje wtedy względem linii magnet. położenie równoległe. Gdy następnie zwojnica przechodzi do położenia II, obejmuje stopniowo coraz większą liczbę linii magnetycznych; w położeniu II obejmuje ich najwięcej. Przy dalszym obrocie liczba objętych linii znowu się zmniejsza i t. d.

Zwróćmy jeszcze uwagę na tempo tych zmian. Przypuśćmy, że zwojnica zajmuje chwilowo położenie poziome. Gdy będziemy wychylali ją z tego położenia bardzo nieznacznie w jedną czy w drugą stronę, liczba objętych przez nią linii magnetycznych przez to się nie zmie-

szcutki S_1 i S_2 , połączone z zaciskami dynamomaszyny. Od zacisków prowadzą druty do odbiorników prądu. Wszystko razem, t. j. zwojnica, czyli t. zw. twornik prądnicy, dalej pierścienie, szczotki i pozostała reszta drutów stanowi nieprzerwany metaliczny obwód zamknięty (Sprawdź to na rycinie).

nia. A skoro nie ma zmian liczby linii, to nie ma i siły elektromotorycznej w zwojnicy; w momentach więc, gdy wirująca zwojnica przebiega przez położenie poziome, siła elektromotoryczna wynosi zero. Natomiast takie same rozumowanie w odniesieniu do pionowego położenia zwojnicy wykazuje, że wtedy siła elektromotoryczna jest największa.

Uwzględniając jeszcze periodyczną zmienność kierunku przenikania linii magnetycznych przez zwojnicę, widzimy, że prąd, indukowany w zwojnicy, jest prądem zmiennym.

Charakter tego prądu można przedstawić w sposób graficzny za pomocą linii falistej, jak na ryc. 124. Wykres ten ilustruje zarówno periodyczną zmianę kierunku prądu, jak i kolejne wartości natężenia prądu. Częstość tych zmian zależy oczywiście od szybkości obrotów twornika. Na każdy pełny obrót twornika przypada jeden okres T prądu, t. j. zmiana kierunku prądu tam i napowrót. Opisana dopiero co prądnica składa się, jak widzieliśmy, z dwóch zasadniczych części:

1) z nieruchomego magnesu; część ta nazywa się w elektrotechnice stojan albo z łać. stator;

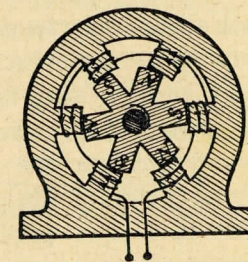
2) z wirujących uzwojeń; ta część nazywa się wirnik albo rotor.

Prądnica, przedstawiona na ryc. 258, jest maszyną dwubiegunową (są tam dwa bieguny magnesu podkowiastego). Można jednak zbudować prądnicę wielobiegunową. Będzie ona miała tę zaletę w porównaniu z dwubiegunową, że nawet przy niezbyt szybkich obrotach wirnika częstość zmian liczby linii magnetycznych będzie dość duża (zależnie od liczby biegunów).

Ponadto można zamienić role wirnika i stojana i otrzymać inny typ prądnicy jak na rycinie 259. Jest to prądnica 6-biegunowa, której wirnikiem jest 6-ramienny magnes stalowy o biegunach naprzemian N i S , stojanem zaś są uzwojenia, rozmieszczone symetrycznie na 6-ciu cewkach. Uzwojenia cewek są nawinięte naprzemian w przeciwnych kierunkach; zabieg ten jest konieczny ze względu na to, aby siły elektromotoryczne indukcji, wzbudzone w nich przez bieguny N i S wirnika, nie znosiły się, lecz sumowały wzajemnie.

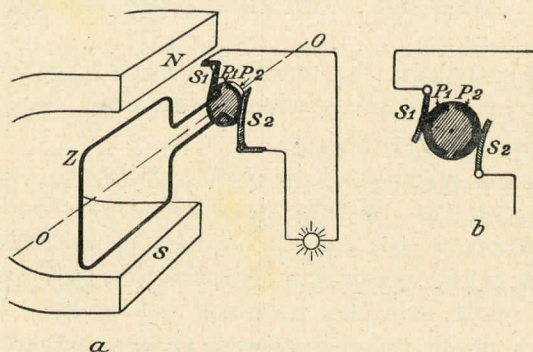
Zazwyczaj w prądnicach stosuje się nie magnesy stalowe, lecz elektromagnesy, zasilane prądem stałym z obcego źródła.

138. Prądnice na prąd stały. Żarówka na ryc. 258 była zasilana prądem, dopływającym do niej naprzemian raz z zacisku S_1 , drugi



Ryc. 259. Schemat prądnicy 6-biegunowej na prąd zmienny.

raz z S_2 . Gdybyśmy chcieli zrobić tak, aby prąd dopływał do żarówki stale przez S_1 , a przez S_2 stale odpływał, moglibyśmy sporządzić jakiś automat, któryby w odpowiednich momentach, t. j. co $1/2$ okresu, przestawiał nam zaciski naprzemian do innych pierścieni.



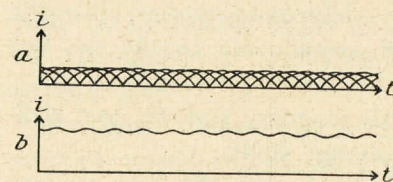
Ryc. 260. a) Schemat prądnicy na prąd stały. b) Kolektor w przekroju poprzecznym.

pierścienie, przymocowane do izolacyjnego krążka, osadzonego na osi i wirującego wraz z nią. Jest to t. zw. *kolektor* prądnicy. Półpierścienie kolektora nie stykają się z sobą. Jedna końcówka uzwojenia Z przyłutowana jest do P_1 , druga do P_2 .

Dzięki obrotowemu ruchowi zwojnicy podchodzą półpierścienie co pół obrotu naprzemian pod szczotki S_1 i S_2 , a zmiana ta odbywa się właśnie w momentach, gdy prąd w zwojnicy zmienia swój kierunek. Wobec tego w zewnętrznej części obwodu kierunek prądu już się nie zmienia; graficzny obraz takiego prądu przedstawia ryc. 261.

Jest to t. zw. prąd *pulsujący*, t. j. prąd o stałym kierunku, lecz zmiennym natężeniu.

Aby złagodzić pulsacje, a zarazem otrzymać większe natężenie prądu, osadza się zwykle na wirniku nie jedną, lecz większą liczbę zwojnic, na krążku zaś odpowiednio większą liczbę odcinków kolektora. Wów-

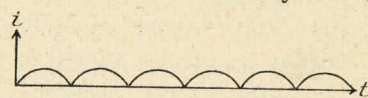


Ryc. 262.

czas w każdej zwojnicy będzie wzbudzony po kolei prąd pulsujący (ryc. 262) a w zewnętrznej części obwodu powstanie z sumowania się tych pulsacji prąd wypadkowy o natężeniu prawie niezmiennym. Jak wygląda taki twornik w rzeczywistości, przedstawia ryc. 263.

Otrzymalibyśmy wtedy w zewnętrznej nieruchomej części obwodu prąd o stałym kierunku, mimo, że w wirniku jest prąd zmienny.

Otóż wynik taki można osiągnąć cokolwiek inaczej, w sposób przedstawiony na ryc. 260. Niech Z oznacza uzwojenie wirnika, O — oś, na której osadzony jest wirnik, a P_1 i P_2 — dwa metalowe pół-



Ryc. 261. Wykres prądu pulsującego.

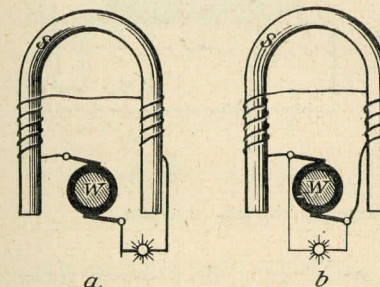
Jak w prądnicach prądu zmiennego, tak i tu stosuje się zwykle nie stalowe magnesy, lecz elektromagnesy. Elektromagnesy te zasilają się prądem, czerpanym z jej własnego twornika. Robi się to w dwojaki sposób:

a) Uzwojenie elektromagnesu (stojana) włącza się szeregowo w obwód twornika (ryc. 264 a).

b) Uzwojenie elektromagnesu dołącza się równolegle do obwodu twornika (ryc. 264 b).

Można też zastosować w jednej i tej samej prądnicie oba sposoby jednocześnie.

W prądnicie takiej na elektromagnes nawinięte są dwa oddzielne uzwojenia, z których jedno połączone jest z obwodem twornika równolegle, drugie szeregowo. Prądnice takie stosuje się tam, gdzie wahania w obciążeniu obwodu zewnętrznego są bardzo duże.

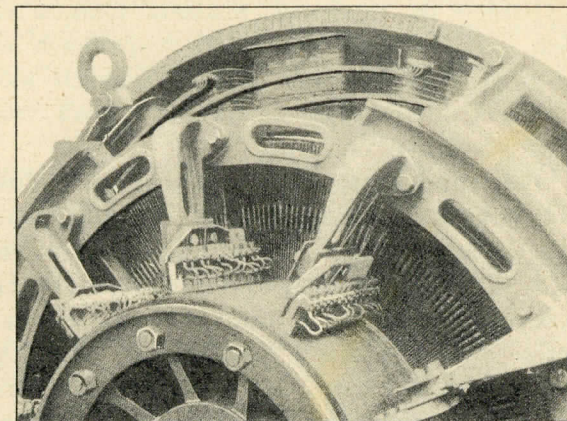


Ryc. 264. Uzwojenia w prądnicach: a) szeregowo, b) równolegle.

W prądnicach prądu stałego na uwagę zasługuje zjawisko wzbudzenia prądu w tworniku, gdy go ze stanu spoczynku wprowadzamy w ruch obrotowy. Jakżeż — zapyta czytelnik — może tu powstać prąd, skoro nie ma tu pola magnetycznego? Otóż tak nie jest. Rdzeń żelazny elektromagnesu posiada zawsze ślady magnetyzmu szczątkowego, które wystarczają, aby przy pierwszym ruchu zwojnicy powstał w niej słaby prąd elektryczny. Ów słaby prąd obiega natychmiast przez zwoje elektromagnesu i wzmacnia go cokolwiek. Wzmocniony elektromagnes wzmacnia z kolei prąd w tworniku, ten znowu zasilą mocniej elektromagnes i t. d. aż do całkowitego nasycenia elektromagnesu. Są to więc prądnice samowzbudzające czyli dynamomaszyny.

139. Silniki elektryczne. Doświadczenie. Łączymy bieguny akumulatorów z zaciskami prądnicy na prąd stały — wirnik prądnicy zaczyna się obracać. Przerywamy prąd — wirnik zatrzymuje się.

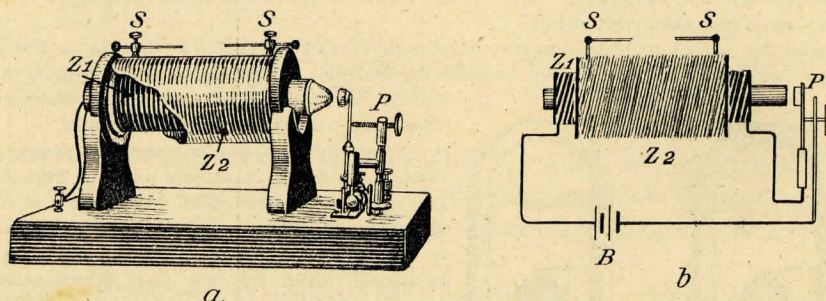
Prądnica, zasilana prądem z obcego źródła, staje się *silnikiem* elektrycznym. W silniku zachodzi zasadniczo to samo zjawisko, co w galvanometrze o ruchomej cewce. W galvanometrze — wobec braku kolektora — ruchomy element, t. j. zwojnica lub igła magnet., może wykonać co najwyżej $1/2$ obrotu. Natomiast w silniku np. dwubiegunowym, kierunek prądu zmienia się w zwojnicy dzięki kolektorowi co $1/2$ obrotu, wobec czego wirnik ciągle się obraca. Tu — w przeciwieństwie do prądnicy — praca prądu elektr. dostarcza pracy mechanicznej.



Ryc. 263. Fragment wielkiej prądnicy.

Istnieje też możliwość zasilania silników również i prądem zmiennym. Silniki takie są w wielu wypadkach wygodniejsze od silników na prąd stały. O tych jednak silnikach mówić tutaj nie będziemy. Czytelnik, interesujący się elektrotechniką, znajdzie te rzeczy w literaturze popularno naukowej.

140. Inne zastosowania zjawiska indukcji. Induktor (cewka indukcyjna). Przyrząd ten (ryc. 265) zbudowany jest na tej samej zasadzie, co urządzenie na ryc. 257. Mamy tu rdzeń żelazny, na który nasunięte są jedna na drugą dwie oddzielne zwojnice: pierwotna Z_1 o nieznacznych uzwojeniach z drutu grubego, wtórna Z_2 o znacznie większej liczbie zwojów z drutu cienkiego. W obwód pierwotny włączona jest bateria prądu stałego B i automatyczny przerywacz prądu P (jak w dzwonku elektrycznym). Końcówki uzwojenia wtórnego połączone



Ryc. 265. Induktor. a) model przyrządu, b) jego schemat.

są z zaciskami SS , zaopatrzonemi w poziome otwory, do których można wkładać metalowe pręty i zbliżać je ku sobie na dowolnie małą odległość.

Gdy zamknijemy pierwotny obwód prądu, a przerywacz zacznie ten prąd perjodycznie przerywać, wtedy między końcówkami obwodu wtórnego będą przeskakiwać silne iskry elektryczne. Jeśli liczba zwojów tego obwodu jest dostatecznie wielka, długość iskier dochodzi nawet do kilkudziesięciu centymetrów.

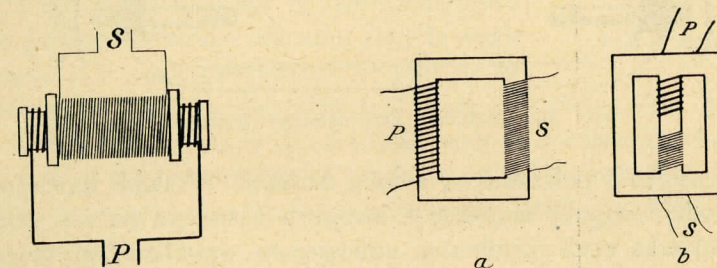
Aby tak długie iskry otrzymać wprost z baterji B , musielibyśmy złożyć ją co najmniej z kilkudziesięciu tysięcy akumulatorów, połączonych ze sobą szeregowo; tylko pod tym bowiem warunkiem dałaby bateria tak wysokie niezbędne do tego napięcie. Tymczasem dzięki induktorowi otrzymujemy je w łatwy sposób z kilkuwoltowego napięcia baterji.

Nie należy jednak sądzić, jakoby wtórne uzwojenie induktora dostarczało nam energii więcej, niż włożyliśmy do jego obwodu pierwotnego. Nie. Energia, oddana nam przez obwód wtórny, jest równa ilo-

ściowo energii, zużytej przez obwód pierwotny (w rzeczywistości jest ona nawet mniejsza, bo zachodzą tu straty na wytwarzanie ciepła). Mianowicie natężenie prądu w obwodzie wtórnym jest zawsze tyle razy mniejsze od natężenia w obwodzie pierwotnym, ile razy napięcie wtórne jest większe od napięcia pierwotnego. Zachodzi tu więc podobieństwo do dźwigni nierównoramiennej lub kół zębatych o różnych przekładniach, które, jak wiemy, pośredniczą w ten czy inny sposób w przenoszeniu pracy, ale nie zmieniają jej ilości.

Induktor znajduje rozległe zastosowanie w laboratorjach fizycznych oraz w lecznictwie.

141. Transformator. Przyrząd ten (ryc. 266), oparty na tej samej zasadzie, co induktor, tem różni się od induktora, że jego obwód pierwotny P połączony jest ze źródłem prądu zmiennego, np. wprost



Ryc. 266. Transformator.

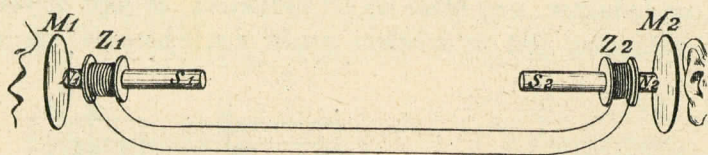
Ryc. 267. Transformatory: a) z rdzeniem dwuramiennym, b) z rdzeniem trójramiennym.

z prądnicą na prąd zmienny. Wówczas w obwodzie wtórnym S powstaną też prądy zmienne, przyczem siła elektromotoryczna indukcji będzie tyle razy większa od napięcia na zaciskach obwodu pierwotnego, ile razy liczba zwojów S jest większa od liczby zwojów P . Można oczywiście ich role zamienić, t. z. połączyć S ze źródłem prądu zmiennego — wtedy S będzie obwodem pierwotnym, a w P , jako obwodzie wtórnym, będzie wzbudzona siła elektromotoryczna odpowiednio mniejsza. Stosunek liczby zwojów $S:P$ nazywamy przekładnią transformatora.

Transformatory mogą też mieć inną postać, np. ze rdzeniem w postaci ramki (ryc. 267 a) albo o rdzeniu trójramiennym (ryc. 267 b) i t. p. Przyrządy te stosuje się tam, gdzie chodzi o zmianę czyli transformowanie prądu zmiennego o niskim napięciu na prąd o napięciu wyższym lub naodwrot. Pierwszy wypadek stosuje się zawsze przy dostarczaniu energii elektr. długimi przewodami na wielkie odległości, gdyż wtedy straty energii są małe, przewody zaś mogą być cienkie, a więc tanie. (Podobnie np. dostarczanie wody na wielką odległość kalkuluje

się taniej rurą wąską pod wielkiem ciśnieniem, niż szeroką, ale pod małym ciśnieniem; szerokie bowiem rury byłyby bardzo kosztowne). Drugi wypadek stosujemy np. przy odbieraniu pracy na końcu linii wysokiego napięcia. Redukcję napięcia stosuje się przy transformowaniu prądu zmiennego z sieci miejskiej oświetleniowej (120 lub 220 woltów) na sieć dzwonekóelektr. (8 woltów); transformatory takie, zainstalowane w wielu mieszkaniach, znane są pod nazwą reduktorów.

142. Telefon. Zasadę najprostszego telefonu, wynalezione go w roku 1875 przez amerykańnika BELL'a, wyjaśnia ryc. 268. Całe to urządzenie składa się z dwóch jednakowych zespołów, umieszczonych na sta-



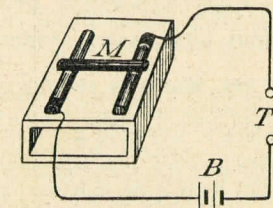
Ryc. 268. Schemat najprostszego telefonu.

cjach końcowych i połączonych z sobą drutami. W skład każdego zespołu wchodzi: magnes sztabkowy, zwojnica nasunięta na ten magnes i żelazna blaszka czyli membrana, umieszczona w pobliżu jego bieguna. W całym obwodzie, złożonym ze zwojów Z_1 i Z_2 i łączących je przewodów, niema żadnego źródła prądu. Blaszka, znajdując się w polu magnetycznym magnesu $N_1 S_1$, jest oczywiście namagnesowana. Gdy zaczniemy mówić, zwracając usta w kierunku blaszki, fale głosowe pobudzają ją do drgań, których charakter zależy od natężenia, wysokości i barwy wymawianych dźwięków. Dzięki tym ruchom pole magnesu $N_1 S_1$ wzmacnia się lub osłabia, a owe zmiany przenikających go linii magnetycznych wzbudzają w zwojnicy Z_1 prąd indukcyjny. Prąd ten przebiega natychmiast przez zwojnicę Z_2 , dzięki czemu wzmacnia się lub osłabia w takim samym stopniu i rytmie także magnes $N_2 S_2$ i przyciąga mocniej lub słabiej blaszkę M_2 . Blaszka ta wykonywa więc takie same drgania, jak M_1 , i odtwarza wiernie wszystkie dźwięki, jakie były wymawiane na stacji nadawczej. W ten sam sposób odbywa się przenoszenie głosu w kierunku odwrotnym od M_2 do M_1 .

Telefon Bella nie nadaje się do użytku na większe odległości, gdyż wzbudzone w nim prądy indukcyjne są bardzo słabe. Można tym sposobem przekazywać mowę z jednej sali do drugiej w obrębie jednego budynku. (Sprawdź to z kolegą, używając do tego celu słuchawek radiowych). Aby móc przesłać głos na duże odległości, trzeba użyć silniejszych prądów elektrycznych z dodatkowego źródła. Daje się

to skutecznie za pośrednictwem t. zw. mikrofonu, wynalezione go przez Hughes'a (czyt. Jus'a).

Doświadczenie. W obwód prądu, zawierającego baterję B i słuchawkę telef. T , włączamy mikrofon M (ryc. 269). Składa się on w najprostszej postaci z trzech kawałków węgla retortowego, z których dwa leżą na deseczce, a na nich spoczywa swobodnie trzeci. Gdy węgle nie ulegają żadnym wstrząsom, w słuchawce nie słychać nic. Skoro jednak pobudzimy je do lekkich wstrząsów (pukając w deseczkę lub kładąc na niej zegarek), w słuchawce odezwią się szmery.

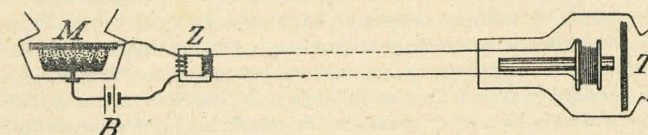


Ryc. 269.
Zasada mikrofonu.

Nietrudno zrozumieć, jaką rolę odegrał tu mikrofon. Węgle mikrofonu, włączone w obwód prądu, stawiają temu prądowi pewien opór. Największy opór jest w miejscach styku węgla górnego z dwoma dolnymi. Dopóki węgle leżą spokojnie, opór mikrofonu nie zmienia się — natężenie prądu w obwodzie jest stałe. Z chwilą atoli, gdy górny węgiel zostanie dociśnięty do dolnych, opór w miejscach styku zmaleje, a w ślad za tem natężenie prądu w obwodzie wzrośnie. Każdemu dociśnięciu węgla odpowiada wzmocnienie prądu, każdemu zluźnieniu — osłabienie.

Mikrofon jest przyrządem tak czułym, że reaguje na najdrobniejsze wstrząsy, nawet wywołane falami głosowymi. Aby uczynić go czulszym, sporządza się mikrofony tak, aby miejsc styków węglowych było jak najwięcej. W tym celu, zamiast górnego pręta węglowego, używa się okrągłej cienkiej płytki węglowej, a zamiast dwu dolnych kawałków, dużej liczby drobnych ziarenek węglowych, umieszczonych w puszcze metalowej (ryc. 270).

Ze względu na to, że doprowadzenie prądu do odległej stacji odbiorczej jest korzystniejsze pod wyższem napięciem niż pod niskim,



Ryc. 270. Schemat instalacji telefonicznej: B — baterja ogniwa, M — mikrofon, Z — transformator, T — słuchawka telefoniczna.

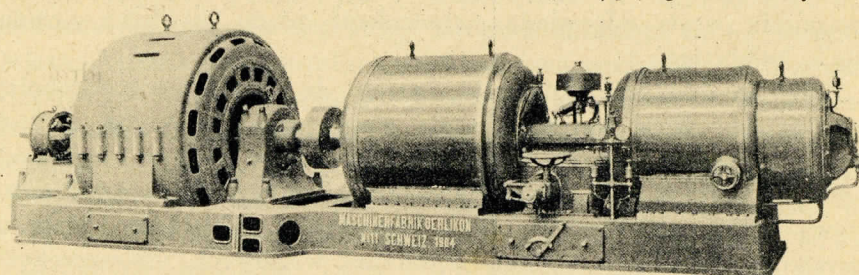
stosuje się w nowoczesnych instalacjach telefonicznych transformatory. Prąd w obwodzie mikrofonowym ma wprawdzie kierunek stały, ale jego natężenie ciągle się zmienia; okoliczność ta umożliwia więc transformowanie go na inne napięcie. Zasadę takiego urządzenia wyjaśnia ryc. 270. Prąd mikrofonowy obiega tylko przez uzwojenia pier-

wotnego obwodu transformatora Z ; do słuchawki dopływa prąd indukcyjny, wzbudzony w obwodzie wtórnym transformatora.

Oczywiście na stacji nadawczej jest jeszcze słuchawka, a na odbiorczej jest również bateria, mikrofon i transformator, umożliwiające przesyłanie mowy także w kierunku odwrotnym. Ponadto, zarówno jeden, jak i drugi zespół wyposażony jest w dodatkowe urządzenia sygnalizacyjne, zapomocą których wywołuje się pożądany numer telefonu celem nawiązania rozmowy z jego właścicielem.

143. Maszyny elektryczne w przemyśle i komunikacji. Elektrownie. Prądy elektryczne, przeznaczone do użytku mieszkańców miast i wsi, produkuje się dziś w zakładach — elektrowniach. Najważniejsze maszyny w elektrowni to prądnice (generatory), napędzane najczęściej turbinami wodnymi lub parowymi. W pierwszym wypadku buduje się elektrownie u stóp wodospadów naturalnych lub sztucznie przygotowanych, w drugim — gdziekolwiek, byleby tam, gdzie regularna dostawa paliwa jest zapewniona. Stąd przesyła się prąd elektryczny przewodami na wielkie odległości i rozdziela licznym konsumentom do ich użytku. Owa niezależność miejsca produkcji energii od miejsc jej spożycia jest największą zaletą tego sposobu jej przenoszenia.

Ponieważ turbina parowa posiada bardzo wielką szybkość obrotów, a z drugiej znowu strony wirnik prądnicy powinien, jak wiemy, wirować możliwie szybko, przeto nowoczesne prądnice buduje się tak, że wirnik osadza się wprost na wale turbiny. Powstaje w ten sposób zespół t. zw. turbogenerator, którego wygląd przedstawia ryc. 271.

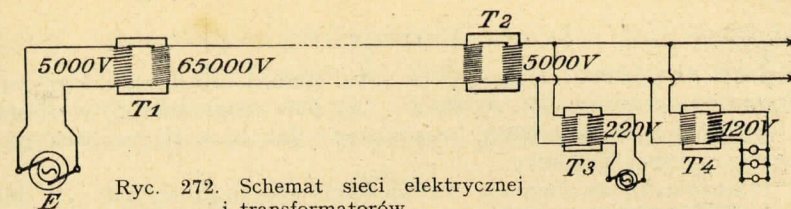


Ryc. 271. Turbogenerator.

Jest w tem coś imponującego, gdy stojąc w hali maszyn obok niewielkiego stosunkowo turbogeneratorsa i wsłuchując się w głucho pomruki, wydobywające się z jego wnętrza, uświadamiamy sobie, iż ten oto „liliput” ciągnie w tej chwili dziesiątki wozów tramwajowych, obraca setki rozmaitych obrabiarek za pośrednictwem sprzężonych z niemi silników elektrycznych i oświetla tysiące żarówek w mieszkaniach i na ulicach miasta.

Zazwyczaj turbogeneratorów jest w elektrowni kilka. Nietrudno ocenić z tego, jak olbrzymia moc wyzwała się z tych maszyn. Dla przykładu wystarczy nadmienić, że np. z pośród turbogeneratorów elektrowni warszawskiej największy (23 000 kW) i dwa mniejsze (po 15 000 kW) zajmują w hali maszyn łączną powierzchnię nie wiele większą od powierzchni dużego pokoju, a wykonywają pracę, której nie podołałaby nawet stu-tysięczna armia robotników.

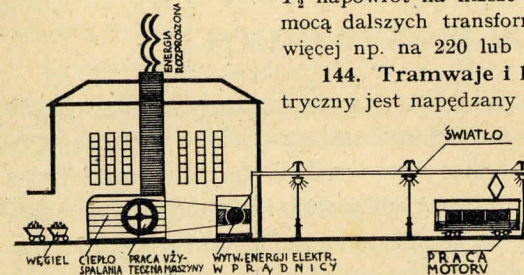
Najwięcej pracy prądu elektrycznego zużywa się do oświetlenia mieszkań i ulic. Ponieważ dla żarówki elektr. jest obojętne, czy zasilający ją prąd jest zmienny, czy stały, elektrownia wytwarza do tego celu prąd taki, jaki jest tańszy w produkcji i wygodniejszy w użyciu. Otóż obie te zalety posiada właśnie prąd zmienny: stąd stosuje się go najczęściej do oświetlenia elektr. Tańsze i bezpieczniejsze jest jego wytwarzanie, ponieważ prądnica na prąd zmienny jest pod względem konstrukcyjnym mniej skomplikowana od prądnicy



Ryc. 272. Schemat sieci elektrycznej i transformatorów.

na prąd stały. Wygodniejszym zaś jest dlatego, że daje się wielokrotnie transformować z jednego napięcia na inne, stosownie do warunków lokalnych, do życzeń poszczególnych konsumentów i t. d.

Cały ten proces przedstawia schematycznie ryc. 272. W elektrowni E , zbudowanej gdzieś daleko, np. przy jakimś wodospadzie, wytwarza się prąd zmienny o napięciu np. 5000 woltów i transformuje go się zaraz w transformatorze T_1 na wysokie napięcie, np. 65 000 woltów, by przetransportować go po izolowanych dobrze drutach na większą odległość do siedziby konsumentów. (W samej prądnicy, choć teoretycznie jest to możliwe, nie wytwarza się nigdy zbyt wysokich napięć z powodu trudności należytego izolowania metalowych części maszyn). W miejscu konsumpcji transformuje się go w transformatorze T_2 napowrót na niższe napięcie np. 5000 V., poczem zapomocą dalszych transformatorów T_3 i T_4 obniża się jeszcze więcej np. na 220 lub 120 V.



Ryc. 273.

144. Tramwaje i koleje elektryczne. Tramwaj elektryczny jest napędzany dwoma silnikami elektr., umieszczonymi pod podłogą tramwaju. Prąd dopływa ze źródła do tramwaju przewodem nadziemnym, stąd przez stykający się z nim pałak do silnika, poczem przez szynę wraca do źródła (ryc. 273). Na tej samej zasadzie opiera się budowa i działanie lokomotywy elektrycznej.

145. Elektryfikacja w Polsce. W kraju naszym mamy 2600 elektrowni, z czego tylko 70 zakładów większych o mocy ponad 500 kW¹⁾. Łączna moc wszystkich naszych elektrowni wynosi około 1,5 miliona kW. Produkują one rocznie około 2,5 miljarda kilowatogodzin energii.

Jest to jednak niewiele. Jeśli uwzględnimy, że we Francji wytwórczość roczna energii elektr. wynosi około 13 miliardów kWh, w Niemczech około 14, w Stanach Zjednoczonych ponad 100 miliardów, a nawet w małej Szwajcarii 5 miliardów — zrozumimy, jak bardzo w tyle pozostajemy pod tym względem za państwami zachodnimi. A przecież nie brak nam ani żelaza na budowę turbogeneratorów ani tanich źródeł siły do ich napędu. Szczególnie wodospady i węgiel nadają się do tego najlepiej. Pierwsze z tego powodu, że są zupełnie bezpłatne; drugie, że przez zbudowanie elektrowni tuż przy kopalni oszczędza się na kosztach przewozu paliwa, a nawet zużywa się paliwo małowartościowe, np. miał węglowy, którego transport na większe odległości wogóle się nie opłaca. Transport zaś energii elektrycznej chociażby do najdalszych zakątków kraju, jak również jej podział pomiędzy rzeszę konsumentów, nie przedstawia — jak wiemy — żadnych zasadniczych trudności.

W ciągu ostatnich lat zrobiliśmy na tem polu i robimy stale pewne postępy. Ale to mało. Szybkie zelektryfikowanie całego kraju, to jedno z naczelnych zadań młodego pokolenia Polski.

¹ Stan z roku 1934.

Pytania.

1. Jakie następstwa pociągają za sobą zmiany obciążenia (np. żarówkami) obwodu prądnic na ryc. 264a? Czy pole magnetyczne, wytwarzane przez elektromagnes, jest wtedy niezmiennie? Jak musi się to odbić na sile elektromotorycznej prądnic?

2. Przeprowadź analogiczne rozumowanie dla prądnic na ryc. 264 b.

Do wykonania w warsztacie.

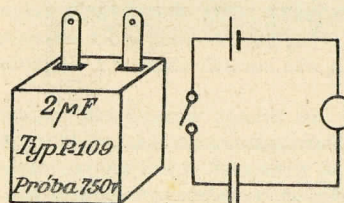
Sporządź model silnika elektrycznego według schematu na ryc. 260, obliczając uprzednio (podobnie jak przy obliczaniu grzejnika, str. 160), ile metrów i jak grubego drutu miedzianego należy użyć na uzwojenie twornika, aby do napędu silnika można było zastosować akumulator, którego najwyższe dopuszczalne obciążenie wynosi 2,4 amp.

Rozdział VIII

O NABOJACH ELEKTRYCZNYCH

146. Kondensatory. Dotychczas rozpatrywaliśmy tylko prądy elektryczne, t. j. poznawaliśmy działania naboju elektrycznego, gdy są w ruchu wzdłuż ciał przewodzących — stałych lub ciekłych. Teraz zachodzi pytanie, czy nie możnaby tych naboju zgromadzić i poznać, jakie wywierają działania, gdy są w spoczynku. Do takiego gromadzenia służą przyrządy, znane niewątpliwie każdemu amatorowi radja. Nazywamy je **kondensatorami** (ryc. 274). Pierwsze nasze pytanie

będzie: czy prąd elektryczny może przejść przez kondensator?



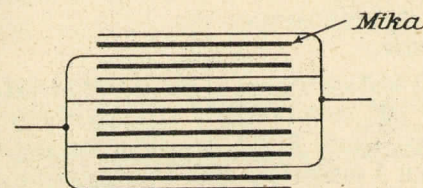
Ryc. 274. Kondensator.

Ryc. 275. Próba przewodzenia prądu przez kondensator.

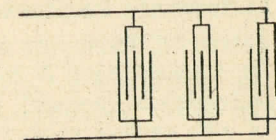
Ćwiczenie 74. Tworzymy obwód z akumulatora, amperomierza lub galwanoskopu, kondensatora i wyłącznika. (Ryc. 275, znaczenie znaków porównaj z zestawieniem na str. 128).

Prąd stały, jaki możemy pobierać z akumulatora, nie przechodzi przez kondensator. Nawet bateria o silnym napięciu nie wywołałaby prądu, płynącego stale przez kondensator. Gdybyśmy go rozebrali, przekonalibyśmy się, że składa się on z licznych płytek z cieniutkiej blachy, poprzedzielanych równie cienkimi warstwami izolatora: papieru parafinowanego albo miki. Płytki są z sobą połączone, ale nie wszystkie: pierwsza, trzecia i dalsze nieparzyste łączą się i tworzą jedną grupę połączonych z sobą blaszek; płytki parzyste też łączą się w drugą grupę

(ryc. 276). Obie grupy nazywamy *okładzinami* albo *zbrojami* kondensatora. Przejście od jednej zbroi do drugiej jest zagrodzone warstwami izolatora: gdy dołączone do obu okładzin zaciski łączymy z akumulatorem, obwód jest przerwany — prąd płynąć nie może.



Ryc. 276. Przekrój kondensatora: płytki metalowe są połączone w dwie grupy, oddzielone od siebie warstwami izolatora.

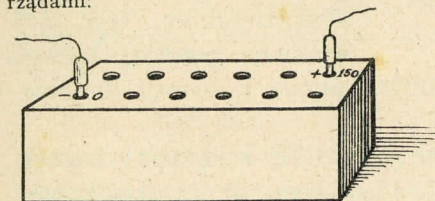


Ryc. 277. Łączenie równoległe kilku kondensatorów.

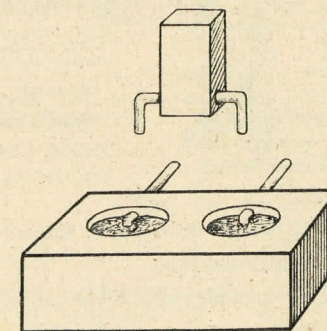
Każdy kondensator ma na sobie wypisaną liczbę „mikrofaradów” (μF), np. $0,5 \mu F$, albo $2 \mu F$. Jest to liczba jednostek „pojemności” kondensatora. Niebawem poznamy znaczenie tych nazw.

Kondensatory możemy łączyć z sobą; najczęściej używa się łączenia „równoległego”, jak wskazuje ryc. 277. Widzimy, że wynik tego jest taki, jakgdybyśmy mieli jeden kondensator, którego każda okładzina składa się z odpowiednich okładzin wszystkich połączonych kondensatorów.

Przy dalszych doświadczeniach będziemy się posługiwali jeszcze następującymi przyrządami:



Ryc. 278. Bateria anodowa.



Ryc. 279. Wyłącznik rtęciowy: rtęć mieści się w dwóch wyzłobieniach w izolującej podstawie.

Baterje anodowe (ob. ust. 96) na 150 V (ryc. 278). Biegun ujemny baterji jest połączony z gniazdkiem, zaopatrzonym znakiem —. Pomiędzy tem gniazdkiem, a dalszemi panuje napięcie tylu woltów, ile głosi napis przy każdym gniazdku. Najwyższe napięcie wynosi więc 150 V. Łącząc 2 baterje szeregowo, możemy otrzymać różnicę potencjałów 300 V.

W miastach, w których sieć miejska jest zasilana prądem stałym, można brać napięcie 120 V wzgl. 220 wprost z kontaktów ściennych. Łącząc szeregowo z baterją anodową (uwaga na znaki biegunów!), można otrzymać napięcie większe.

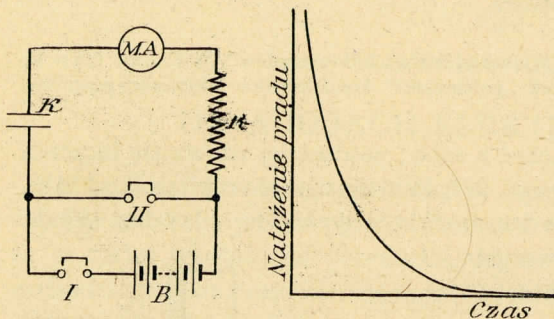
Wielkie opory, równe ułamkom megoma lub jego wielokrotnościom, sporządzone są z sylitu (str. 159).

Wyłączniki parafinowe. Wyłączniki, w których izolatorem jest drewno, nie wystarczają do tak wysokich napięć, jakich będziemy tu używali; posługujemy się więc dobrze

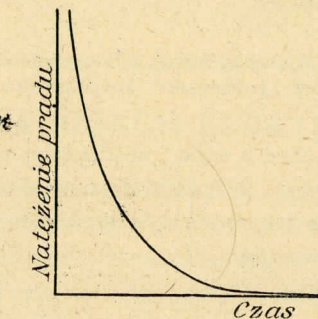
izolującą parafiną. W bloku parafiny drążymy zagłębienia i napełniamy je rtęcią; w parafinę wtapiamy krótkie druciki (ryc. 279), jeden koniec (dobrze oczyszczony) każdego drutu jest zanurzony w rtęci, drugi wystaje nazewnątrz i może być połączony z użytymi przyrządami. Do łączenia metalicznego obu kontaktów rtęciowych służy wygięty gruby drut miedziany o końcach zamalgowanych (pokrytych warstwą rtęci), umocowany na rączce z laku lub ebonitu.

147. Ładowanie kondensatorów.

Ćwiczenie 75. Tworzymy obwód według schematu na ryc. 280 z baterji anodowej B , kondensatora K (na $10 \mu F$, ewentualnie 5 kondensatorów po $2 \mu F$, połączonych równolegle), dużego oporu R (0,5 megoma), miliamperomierza MA albo czulego galwanoskopu z podziałką, oraz 2 wyłączników parafinowych I i II. Oba te wyłączniki trzymamy otwarte. — a) Włączamy całe napięcie 150 V. Zamykamy wyłącznik I i obserwujemy bacznie igłę galwanoskopu. b) Otwieramy wyłącznik I, a zamykamy II i znów bacznie na galwanoskop. c) Powtarzamy całe ćwiczenie, włączając z baterji mniejsze napięcie, np. 100 lub 75 V.¹⁾



Ryc. 280. Schemat połączeń do ładowania i wyładowywania kondensatora.



Ryc. 281. Wykres przebiegu prądu ładowania.

Przy tem urządzeni możemy zauważyć, że prąd płynie, lecz ma inny przebieg, niż te prądy, z którymi mieliśmy dotychczas do czynienia. Dość silny w pierwszej chwili, szybko słabnie i niebawem staje się niedostrzegalny. Ryc. 281 wskazuje przebieg takiego

prądu. Prąd ten, jak widać z rysunku, płynie z baterji do okładzin kondensatora.

Gdy otwieramy wyłącznik I, a zamykamy II, wyłączamy baterję, a zato łączymy z sobą okładziny kondensatora. Teraz płynie prąd o natężeniu i charakterze podobnym, ale o kierunku przeciwnym.

Jak wytłumaczyć te objawy?

Pamiętamy (ust. 104), że prąd elektryczny uważamy za przepływ *nabojów elektrycznych*. Nasze doświadczenie potwierdza to mniemanie: byliśmy świadkami, jak naboje elektryczne przepływały z biegunów baterji na zbroje kondensatora. Dalej nie płyną, bo powstrzymuje je warstwa izolatora. *Naboje gromadzą się na zbrojach kondensatora*. Prąd ładuje kondensator. Zbroje zostały *naelektryzowane*.

¹ Jeśli wychylenia były za pierwszym razem zbyt małe, to nie zmniejszamy napięcia, lecz zwiększamy je, łącząc szeregowo 2 baterje anodowe.

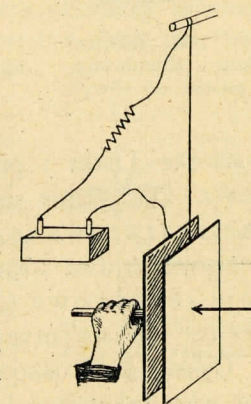
Gdy łączymy z sobą te zbroje (ćwicz. 75 b), naboje przepływają w kierunku przeciwnym: kondensator zostaje wyładowany.

To nam objaśnia też, dlaczego przy użyciu mniejszego napięcia otrzymaliśmy słabszy prąd: do naładowania kondensatora pod mniejszym napięciem potrzebny był mniejszy nabój.

Jeśli prąd o natężeniu 1 A płynie przez 1 sek., to przenosi on ilość elektryczności czyli naboju zwaną 1 **Kulombem**. W czasie t sek. prąd o natężeniu i przenosi nabój $Q = i \cdot t$. Obliczywszy średnie natężenie prądu w naszym doświadczeniu oraz czas trwania ładowania, umiemy w przybliżeniu obliczyć wielkość naboju, dostarczonego kondensatorowi.

148. Wzajemne oddziaływanie naboju elektrycznych. Zachodzi teraz pytanie, czy możemy jakimś sposobem wykazać obecność naboju, dostarczanych z baterji okładzinom kondensatora.

Doświadczenie. Jako okładziny będą nam służyły dwa arkusze t. zw. złotego lub srebrnego papieru (jest to papier, pokryty cieniutką warstwą metalu: miedzi lub cyny). Jeden arkusz, dobrze rozprostowany, zawieszamy na nitce metalowej (od zdobienia choinki) na izolującej podstawie. Drugi naklejamy na sztywną tekturkę, zaopatrzoną w izolującą rączkę. Każdy biegun baterji anodowej łączymy przez duży opór cienkim drutem z metalową powierzchnią jednego z arkuszy. Zbliżamy arkusze do siebie (ryc. 282); tworzą one jakby dwie okładziny kondensatora, oddzielone od siebie warstwą powietrza.



Ryc. 282. Naboje różnoimienne przyciągają się.

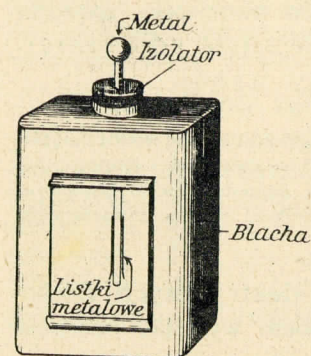
Przewodniki, naelektryzowane przez zetknięcie z dwoma przeciwnymi biegunami baterji, przyciągają się.

Zwróćmy uwagę na to, że arkusze były połączone jeden z jednym, drugi z drugim biegunem baterji. Te bieguny, jak wiemy, różnią się od siebie: jeden z nich ma potencjał wyższy niż drugi. Czy i dostarczane przez nie naboje różnią się pomiędzy sobą?

By odpowiedzieć na to pytanie, spróbujemy zbadać, jak zachowują się naboje, dostarczane dwom przewodnikom z jednego i tego samego bieguna baterji. Do tego będziemy potrzebowali czulszego przyrządu; dość ciężki arkusz papieru zastąpimy cieniutkim i bardzo lekkim paskiem t. zw. folii metalowej.

149. Elektroskop. Zasadniczą część *elektroskopu* stanowi pręt metalowy ze zwisającymi na dolnym końcu listkami bardzo cieniukiej

blaszki cynowej (t. zw. cynfolja), złotej (złoto malarskie) lub glinowej. Listki są otoczone puszką metalową z dwoma oszklonemi okienkami;



Ryc. 283. Elektroskop (zbudowany z puszki od oliwy).

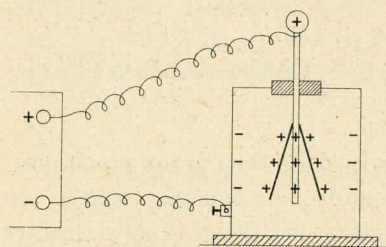
pręcik jest odizolowany od puszki korkiem z ebonitu, parafiny, bursztynu lub innego dobrego izolatora (ryc. 283). Puszka stanowi t. zw. osłonę elektroskopu. W innych postaciach elektroskopu też spotykamy te same zasadnicze części (ryc. 284).

Doświadczenie. Jeden biegun baterji anodowej doziemiamy, a drugi łączymy z gałką elektroskopu. Następnie zmieniamy bieguny i powtarzamy obserwację.

W obu wypadkach nabój mógł przejść z bieguna baterji przez gałkę na pręt i na listki elek-

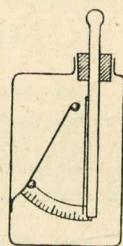
trooskopu. Listki i pręt otrzymały za każdym razem naboje jednakowe. Odchylenie się listków od pręta dowodzi, że przewodniki naelektryzowane jednakowo odpychają się. Istnieją więc rzeczywiście dwa różne rodzaje nabołów elektrycznych, przytem naboje jednakowe (jednoimiennie) odpychają się, a naboje różne (różnoimiennie) przyciągają się.

Osłona elektroskopu nie jest izolowana od stołu, na którym stoi, jest więc tak samo doziemiona, jak jeden z biegunów baterji. Nic się zatem nie zmieni, jeśli ten biegun, zamiast go doziemiać, połączymy bezpośrednio z osłoną.



Ryc. 285. Rozkład nabołów w elektroskopie.

miennym niż listki. Rycina 285 pokazuje, jakie jest wtedy rozmieszczenie nabołów; nabój, dostarczany przez biegun + został na rysunku oznaczony też znakiem +, a nabój z bieguna — znakiem —. Widzimy, że odchylenie jest tu spowodowane nie tylko od-



Ryc. 284. Przekrój elektroskopu o jednym listku.

pychaniem naboju listków przez nabój pręta, ale i przyciąganiem go przez nabój osłony.

Jeśli biegun ujemny oraz osłona są doziemione, to i wtedy na osłonie zbiera się nabój —; nie przedostaje się on do niej bezpośrednio z baterji, lecz napływa z ziemi, przyciągnięty przez nabój + listków i pręta. Rozmieszczenie nabołów jest więc w obu wypadkach takie same, a przeto i wychylenie listków w obu razach jednakowe.

Włączając pomiędzy osłonę a listki mniejsze lub większe napięcia (posiłkując się różnemi gniazdami baterji albo łącząc 2 baterje szeregowo), otrzymujemy odpowiednio mniejsze lub większe odchylenia listków. Odchylenia listków elektroskopu są miarą różnicy potencjału (napięcia) pomiędzy biegunami baterji.

150. Jeszcze o ładowaniu i wyładowaniu kondensatora.

Ćwiczenie 76. Powtarzamy jeszcze ćwic. 75, lecz okładziny kondensatora łączymy z listkami i osłoną elektroskopu (jak na ryc. 286); obserwujemy zachowanie się elektroskopu podczas ładowania i wyładowania kondensatora.

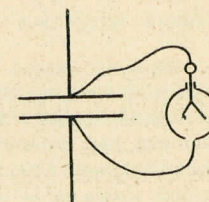
Doświadczenie to świadczy, że różnica potencjałów pomiędzy okładzinami wzrasta w miarę gromadzenia się na nich coraz silniejszych nabołów. To nam tłumaczy stopniowe słabnięcie prądu ładowania: różnica potencjałów pomiędzy każdym z biegunów baterji a połączoną z nim okładziną kondensatora maleje stopniowo, a to, jak wiemy z rozdz. VI, powoduje słabnięcie prądu. Wkońcu potencjały wyrównają się i prąd ustaje.

Przy rozbrojeniu w podobny sposób wyrównywa się różnica potencjału pomiędzy okładzinami. Stąd ważny wniosek: jeśli dwa przewodniki o nierównym potencjale połączyć tak, by pomiędzy nimi możliwy był przepływ elektryczności, to powstający chwilowy prąd wyrównywa ich potencjały (o ile, oczywiście nie zostanie włączona pomiędzy nie jakaś siła elektromotoryczna np. ogniwo, cewka indukcyjna).

Potencjał. Nic się nie zmienia w doświadcz. 76, jeśli puszkę doziemimy — stawiając ją bezpośrednio na stole, a również doziemimy połączony z nią (ujemny) biegun baterji. Teraz elektroskop mierzy różnicę potencjału pomiędzy listkami i biegunem dodatnim a ziemią.

Umówiono się, by potencjał ziemi uważać za równy zero. Tę samą wartość będą miały wszystkie przewodniki, połączone z ziemią, czyli doziemione. W naszym wypadku potencjał zero ma osłona elektroskopu i ujemny biegun baterji. Wychylenie listków wskazuje nam, o ile potencjał listków i bieguna dodatniego baterji różni się od zera, czyli po prostu, jaki jest **potencjał** listków i bieguna dodatniego.

Możemy również doziemić biegun dodatni baterji, a ujemny połączyć z kulką elektroskopu. Listki i teraz odchyłają się i będą wskazywały różnicę pomiędzy biegunem ujem-



Ryc. 286. Mierzenie napięcia za pomocą elektroskopu.

nym a ziemią. Lecz przecież biegun ujemny baterji ma potencjał niższy od potencjału bieguna dodatniego czyli niższy od zera. Liczby mniejsze od zera nazywamy ujemnymi. Jeśli biegun dodatni baterji doziemimy, biegun ujemny ma potencjał ujemny.

151. Zobojętnianie naboju. Ładowanie kondensatora polega, jak już wiemy, na gromadzeniu naboju elektrycznych na jego okładzinach. Wiemy też, że na okładzinie, połączonej z biegunem dodatnim zbiera się inna elektryczność, niż na połączonej z biegunem ujemnym. Przy wyładowaniu naboje znikają z obu okładzin i z połączonych z nimi części elektroskopu: listki są zupełnie opuszczone. Co się stało z nabojami? Nie mogły zginąć, mogły się tylko nawzajem **zobojętnić**. Na tej podstawie przypisano nabojom znaki algebraiczne. Te, które ma okładzina, połączona z biegunem +, nazwano *dodatniemi* (+), te, które napływają z bieguna —, nazwano *ujemnymi* (—). Gdy równe ilości naboju + i naboju — połączą się z sobą, jest tak, jakby wogóle naboju nie było; dodane do siebie dają zero, tak jak dodane do siebie równe wielkości algebraiczne o znakach przeciwnych, dają też zero.

Możemy uważać, że przy rozbrojeniu kondensatora naboje dodatnie przechodzą na okładzinę ujemną, albo że naboje ujemne przechodzą na okładzinę dodatnią, albo że przechodzą jedne i drugie jednocześnie. Przypomnijmy sobie, że zjawiska elektrolizy (ob. ust. 104) doprowadziły nas do podobnego poglądu. Prąd w elektrolitach polega na ruchu katjonów i anjonów w kierunkach przeciwnych, a katjony i anjony unoszą z sobą naboje różne: teraz wiemy, że są to naboje dodatnie i ujemne. Czytelnik sam dojdzie, które jony mają naboje dodatnie, a które ujemne.

152. Pojemność kondensatora. Na okładzinach kondensatora mogą się zbierać mniejsze lub większe ilości naboju elektrycznych, zależnie od tego, czy łączymy je z mniejszym czy większym napięciem. Z ćwic. 75 c wynika, że przy 2 razy większym napięciu prąd jest około 2 razy silniejszy, a czas trwania prądu nie ulega wyraźnej zmianie. Dokładniejsze pomiary wykazują, że ilość naboju na okładzinach kondensatora jest proporcjonalna do panującej pomiędzy nimi różnicy potencjału.

Ale na wielkość naboju ma też wpływ sam kondensator.

Ćwiczenie 77. Ładujemy zapomocą jednej i tej samej baterji (jak w ćwiczeniu 75) kolejno: a) jeden kondensator mniejszy, b) jeden większy (tego samego typu), c) dwa lub więcej mniejszych, połączonych równolegle. Obserwujemy za każdym razem prąd ładowania.

Przy ładowaniu drugiego kondensatora prąd trwa dłużej, niż przy ładowaniu pierwszego; więcej było trzeba naboju, by go doprowadzić do tej samej różnicy potencjału. Powiadamy, że drugi kondensator ma większą **pojemność**. Tak samo jednakowe kondensatory, połączone równolegle, mają większą pojemność, niż każdy z nich z osobna. Ile

razy nabój jest większy, tyle razy większa jest pojemność. Ilość naboju, zgromadzona na okładzinach różnych kondensatorów pod wpływem tego samego napięcia, jest proporcjonalna do ich pojemności.

Zachodzą tu podobne stosunki, jak np. przy wtłaczaniu powietrza do piłki nożnej. Ilość wtłoczonego powietrza zależy od dwóch rzeczy: jest proporcjonalna do pojemności piłki, oraz do ciśnienia, pod którym wtłaczamy powietrze. Pojemność objętościowa stanowi tu analogję do pojemności elektrycznej, a ciśnienie — do różnicy potencjałów.

Jako jednostkę pojemności przyjęto 1 **farad** (F); taką pojemność miałby kondensator, na którego okładzinach napięcie 1 wolta wytworzyłoby naboje, wynoszące po 1 kulombie. Pojemności zwykłych kondensatorów są najczęściej znacznie mniejsze; wyrażamy je w **mikrofaradach** (μF) czyli milionowych częściach farada.

Jeśli 1 V wywołuje na pojemności 1 F nabój 1 Kul,
to $U V$ „ „ „ „ U Kul,
a $U V$ „ „ „ „ $C F$ „ „ $C U$ Kul.

Oznaczając nabój przez Q otrzymamy prostą zależność:

$$Q = C \cdot U.$$

Przykład. Baterja o napięciu $U = 300 V$ ładuje kondensator prądem o przeciętnym natężeniu $i_{sr} = 0,3 mA$ w ciągu czasu $t = 10$ sek. Jaka jest pojemność kondensatora?

Ponieważ, jak zawsze, powinniśmy wyrazić dane wielkości w jednostkach przyjętego układu, więc czynimy to dla natężenia prądu: $i = 0,3 mA = 0,0003 A$.

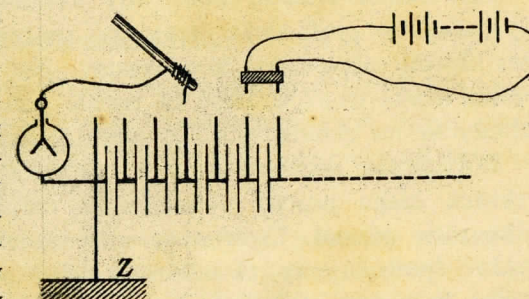
Nabój, dostarczony przez prąd, wynosi $V = i \cdot t = 10 \cdot 0,0003 = 0,003$ Kul.

Pojemność obliczymy, przekształcając wzór $Q = C U$ na $C = \frac{Q}{U}$

$$\text{Mamy } C = \frac{0,003}{300} = 0,00001 F = 10 \mu F.$$

153. Dodawanie napięć. Jeśli rozporządzamy pewną liczbą ogni, a chcemy otrzymać napięcie większe, niż siła elektromotoryczna każdego ogniwa, łączymy je szeregowo. Czy nie możnaby w ten sam sposób zwiększać napięcia, mając szereg naładowanych kondensatorów?

Doświadczenie. Ustawiamy kilka lub kilkanaście jednakowych kondensatorów na izolującej podstawie i łączymy je szeregowo, tak jak wskazano na ryc. 287. Okładzinę pierwszego łączymy z ziemią i z osłoną elektroskopu. Zapomocą pary drutów, wiodących od biegunów baterji, ładujemy pierwszy kondensator. Druk prowadzący do kulki elektroskopu,



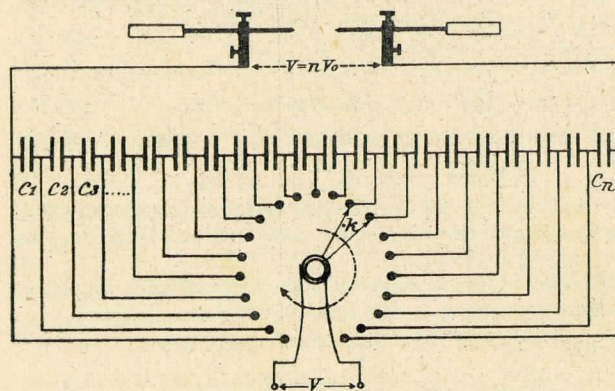
Ryc. 287. Napięcia naładowanych kondensatorów dodają się do siebie.

umocowany do izolującej rączki, stykamy z niedoziemioną okładziną pierwszego kondensatora i patrzymy na wychylenie listków. W ten sposób oceniamy napięcie pierwszego kondensatora.

Teraz w ten sam sposób ładujemy drugi kondensator i mierzymy elektroskopem łączne napięcie obu. Ładujemy trzeci kondensator, znów mierzymy łączne napięcie i t. d.

Im więcej mamy szeregowo połączonych, naładowanych kondensatorów, tem większe napięcie panuje pomiędzy skrajnymi okładzinami tak utworzonej *baterji*. W ten sposób dodajemy napięcia i możemy wytwarzać duże różnice potencjału.

Ryc. 288 przedstawia schemat pomyslowego przyrządu, zwanego „multiplikatorem napięć”. Ułatwia on ładowanie kolejne szeregowo połączonych kondensatorów. Miejsca



Ryc. 288. Schemat multiplikatora napięć.

połączeń sąsiadnych kondensatorów łączą się z szeregiem metalowych guzików, umieszczonych na ebonitowej tarczy. Bieguny baterji są połączone zapomocą sprężyn z dwoma pierścieniami, umieszczonemi na obracającej się osi. Do pierścieni są przymocowane dwa pręty metalowe; końce ich ślizgają się po guzikach; w chwili, gdy dotykają jednocześnie dwóch sąsiadnych guzików, połączony z nim kondensator zostaje

naładowany prądem z baterji. Jeden obrót osi zapomocą korby ładuje kolejno wszystkie kondensatory. Przyrząd zawiera 40 kondensatorów. Jeśli użyjemy do ładowania baterji o napięciu 150 V, to otrzymamy pomiędzy pierwszym a ostatnim kondensatorem napięcie $40 \times 150 = 6000$ V. Baterja o 300 V da różnicę potencjałów 12 000 V. Są to już bardzo silne napięcia, wymagające ostrożnego, umiejętnego obchodzenia się z przyrządem.

154. Iskra elektryczna. Gdy kondensator naładowany rozbrajamy, powstaje prąd elektryczny pod znacznem (przynajmniej w pierwszej chwili) napięciem; kondensator jest więc w stanie dostarczyć pewnej ilości pracy. Ilość ta będzie tem większa, im większe naboje zebrały się na okładzinach i im większe napięcie istnieje między niemi.

Dotychczas wyładowywaliśmy kondensatory przez wielki opór, wskutek czego proces wyładowania trwał dość długo — kilka albo kilkanaście sekund. Usunąwszy opór, zwiększymy ogromnie natężenie prądu i spowodujemy, że całkowita praca zostanie oddana w przeciągu bardzo krótkiego czasu. Przy tak zwiększonej mocy możemy się spodziewać ciekawych zjawisk.

Ćwiczenie 78. Ładujemy kondensator od baterji anodowej. Najlepiej w tym celu umieścić druty, wiodące do biegunów baterji, w izolującej rączce, tak by łatwo było końcami ich dotknąć wystających części okładzin kondensatora (p. ryc. 287). Usuwamy połączenie z baterją i łączymy okładziny krótkim drutem, umieszczonym na rączce izolującej. Powtarzamy próbę, biorąc za każdym razem kondensator o innej pojemności.

Gwałtowne wyładowanie objawia się jasną iskrą, z trzaskiem przeskakującą pomiędzy drutem a okładzinami. Nie trudno zauważyć, że iskra jest tem świetniejsza, im większa pojemność kondensatora, a więc im większy nabój został przez wyładowanie zobojętniony.

Im większe bierzemy napięcie, tem dłuższe otrzymujemy iskry. Długość iskry może nawet służyć do oceniania zgrubsza wielkości napięcia.

Pomiędzy dwiema kulkami o promieniu 1 cm przeskakuje iskra długości 0,1 mm, gdy napięcie wynosi około 1000 V

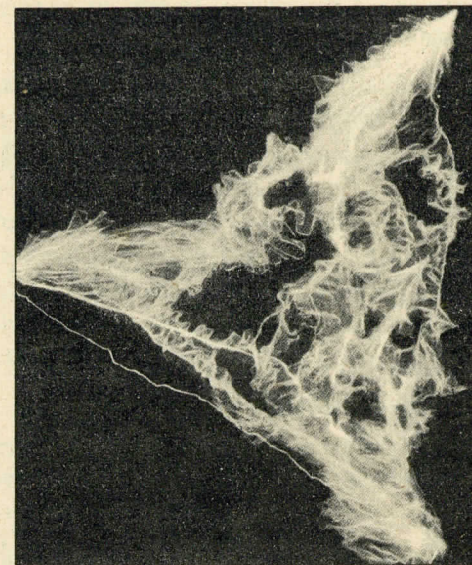
„ 1 „ „ „ „ 5000 V
„ 10 „ „ „ „ 27 000 V i t. d.

Długie iskry otrzymywaliśmy z wtórnego uzwojenia cewki indukcyjnej. Tam też panowały różnice potencjału wyższe, niż w naszej baterji.

O kondensatorach.

155. Pojemność odosobnionych przewodników. Czy tylko zbliżone do siebie okładziny kondensatora mogą otrzymywać nabój przy zetknięciu ze źródłem napięcia? Czy przewodnik, odsunięty od innych przewodników, nie da się naelektryzować?

Ćwiczenie 79. a) Baterję anodową ustawiamy na podstawie izolującej, jeden jej biegun doziemiamy, z drugim biegunem stykamy na chwilę kulkę metalową, osadzoną na ebonitowej rączce; zaraz potem stykamy tę kulkę z gałką elektroskopu. b) Ładujemy baterję kondensatorów (jak w ćwiczeniu 75) i dotykamy kulką okładzin kondensatorów, coraz dalej położonych



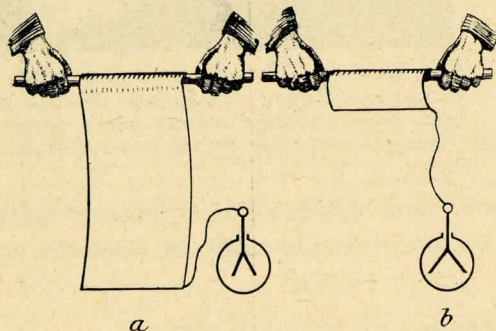
Ryc. 289. Fotografia iskiei o wielkiem napięciu. Zdjęcie trwało czas dłuższy, zawiera więc fotografie szeregu iskiei, przeskakujących pomiędzy trzema przewodnikami.

od kondensatora doziemionego; po każdym dotknięciu stykamy kulkę z elektroskopem.

Kulka, izolowana ebonitową rączką, elektryzuje się. Ma ona widocznie swoją, co prawda bardzo małą pojemność. Gdy jest w zetknięciu z biegunem niedoziemionym baterji lub z okładziną naładowanego kondensatora, kulka pobiera od nich tyle naboju, by jej potencjał stał się równy potencjałowi bieguna, czy też okładziny. Im wyższy jest ten potencjał, tem więcej naboju pobiera kulka. Tym nabojem kulka dzieli się z gałką i listkami elektroskopu; im większy nabój, tem bardziej wzrasta potencjał listków i ich odchylenie.

156. Od czego zależy pojemność przewodnika? Wykonajmy następujący szereg doświadczeń:

Doświadczenie. Pas cynfolji przyklejamy brzegiem węższym do pałeczki ebonitowej, łączymy go cienkim drucikiem z gałką elektroskopu i przenosimy na niego nabój elektryczny z baterji kondensatorów (ryc. 290). Obracając w palcach końce pałeczki, nawijamy na nią cynfolję. Zwracamy uwagę na listki elektroskopu.



Ryc. 290. Zmniejszanie powierzchni przewodnika zmniejsza jego pojemność, a zatem podnosi jego potencjał.

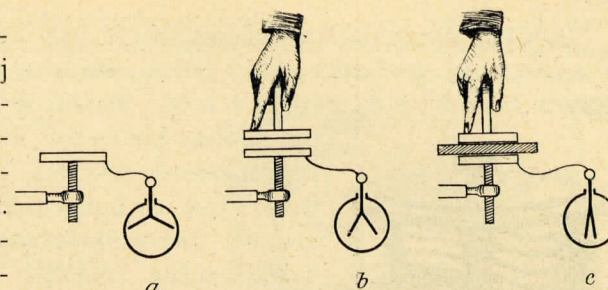
W tem doświadczeniu zmienialiśmy tylko powierzchnię przewodnika; zmniejszała się ona w miarę nawijania. Jednocześnie wzrastał potencjał przewodnika, choć nabój pozostawał niezmieniony; malała więc pojemność przewodnika. Im większa powierzchnia przewodnika, tem większa jest jego pojemność. Nabój gromadzi się widocznie na powierzchni przewodnika.

Ćwiczenie 80. Krążek metalowy umieszczamy na izolującej podstawie, łączymy go z elektroskopem i elektryzujemy jak wyżej. Zbliżamy do niego równoległe drugi krążek, który doziemiamy przez dotknięcie palcem.

Potencjał przewodnika zależy nietylko od udzielonego mu naboju. Gdy zbliżamy do niego drugi, doziemiony przewód, potencjał jego się obniża (ryc. 291 b).

Gdybyśmy chcieli płytkę izolowaną doprowadzić znów do potencjału, jaki miała przed zbliżeniem drugiej płytki, musielibyśmy znacznie powiększyć jej nabój. Dzięki obecności płytki doziemionej, możemy

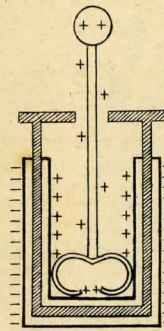
na przewodniku zgromadzić większy nabój przy tym samym potencjale. Nabój jakgdyby się tam zagęszczał, kondensował. To nam tłumaczy nazwę *kondensator*. Użyte przez nas płytki stanowią okładziny kondensatora.



Ryc. 291. Pojemność przewodnika izolowanego (a) zostaje zwiększona przez zbliżenie przewodnika doziemionego (b), a jeszcze bardziej przez wsunięcie izolatora pomiędzy oba przewodniki (c).

W miarę zbliżania płytki doziemionej (o potencjale zero) potencjał płytki izolowanej maleje, zmniejsza się więc różnica potencjału pomiędzy okładzinami. Pojemność kondensatora jest tem większa, im mniejszy jest odstęp pomiędzy okładzinami.

Ćwiczenie 81. Zestawiamy kondensator z dwóch płytek, jak w ćwiczeniu 80; obie płytki umocowujemy w statywie. Jedną zbroję doziemiamy, drugą łączymy z elektroskopem i elektryzujemy. Między zbroję wsuwamy płytkę szklaną. To samo czynimy z płytkami z ebonitu, siarki lub innych izolatorów.



Ryc. 292. Przekrój butelki lejdejskiej.

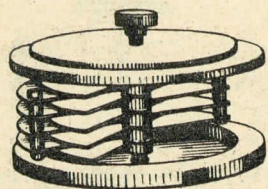
Umieszczenie warstwy izolatora pomiędzy zbrojami kondensatora jeszcze bardziej obniża różnicę potencjału pomiędzy okładzinami (ryc. 291 c), a więc jeszcze zwiększa pojemność kondensatora.

Pierwszy kondensator został zbudowany na początku XVIII wieku w holenderskim mieście Leydzie, a że miał postać butelki, więc nadano mu nazwę *butelki lejdejskiej*. Jest to butelka lub walec szklany, oklejony z zewnątrz cynfolją, która stanowi zbroję zewnętrzną. Zbroję wewnętrzną stanowią: albo wyklejenie wewnętrzne cynfolją (ryc. 292), albo też skrawki cynfolji lub złota malarzkiego; w pierwotnej postaci była to woda, napełniająca butelkę. Pręt połączony ze zbroją wewnętrzną wystaje ponad szyjkę butelki i służy do jej ładowania. Zbroja zewnętrzna jest zwykle doziemiona, gdyż stoi na stole lub jest trzymana w ręku.

157. Budowa i zastosowanie kondensatorów.

Jeśli różnice potencjału pomiędzy okładzinami nie mają być duże, nie grozi przebicie izolatora przez iskrę; możemy wtedy brać bardzo cienkie warstwy izolatora, co znacznie zwiększa pojemność kondensatora. Takimi są kondensatory o stałej pojemności, jakich używamy w aparatach radjotechnicznych i jakimi posługiwaliśmy się w naszych doświadczeniach.

Inny typ kondensatora widzimy na ryc. 293. Jest to kondensator o zmiennej pojemności. Jedną okładzinę stanowi układ równoległych blaszek, połączonych z sobą; blaszki drugiej okładziny mogą się wsuwać pomiędzy nie. Im głębiej wejdą, tem bardziej zwiększą pojemność kondensatora. Ten ruchomy układ jest umieszczony na osi; przez obrót zapomocą główki ebonitowej można zmieniać pojemność kondensatora. Izolatorem jest tu powietrze.

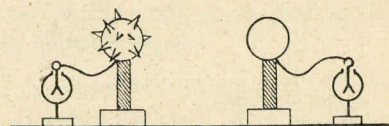


Ryc. 293. Kondensator o zmiennej pojemności.

158. Działanie ostrzy. Przewodnik naelektryzowany i izolowany dość długo utrzymuje swój nabój, ale stopniowo zostaje on rozproszony — spływa przez niedoskonałą izolację, albo uchodzi w powietrze. Różne okoliczności mogą wpływać na ten ostatni proces — między innymi i kształt przewodnika.

Doświadczenie. a) Dwie kule metalowe jedną gładką, drugą zaopatrzoną w szereg kołców umieszczamy na podstawach izolujących (ryc. 294). Do każdej kuli dołączamy elektroskop. Ładujemy obie kule jednakowo silnie, poczem obserwujemy prędkość opadania listków w obu elektroskopach.

b) Do kołców drugiej kuli, już rozbrojonej, zbliżamy silnie naelektryzowany przewodnik i obserwujemy listki połączonego z kulą elektroskopu.



Ryc. 294. Ostrza sprzyjają rozpraszaniu naboju.

Z ostrzy, ostrych krawędzi, załamów, naboje uchodzą łatwiej, niż z powierzchni łagodnie zaokrąglonych. Gdy chodzi nam o jaknajdłuższe utrzymanie naboju, musimy unikać takich zaostreń oraz chropowatości na powierzchni przewodnika.

Druga własność ostrzy, to „ściąganie” naboju ze zbliżonych naelektryzowanych przewodników. W gruncie rzeczy polega ono na rozpraszaniu naboju.

Wyobraźmy sobie, że przewodnik jest naelektryzowany dodatnio; przyciąga on naboje ujemne, znajdujące się w kuli; te, zgromadzone na ostrzach spływają z nich, dostają się do przewodnika i tam zobojetniają naboje dodatnie. W kuli zaś pozostaje nadmiar naboju dodatnich. Pozornie więc nabój dodatni przechodzi z przewodnika do kuli.

159. Inne sposoby wzbudzania naboju. Już starożytnym było wiadomo, że potarty bursztyn (po greku „elektron”) przyciąga lekkie ciała. W XVII w. angielski lekarz GILBERT wykonał liczne doświadczenia i przekonał się, że bardzo dużo ciał posiada tę zadziwiającą własność. Dalsi badacze stwierdzili, że przyciąganie wywierają naboje elektryczne, wzbudzone na potartem ciecie. Możemy to stwierdzić zapomocą naszego elektroskopu.

Ćwiczenie 82a. Suchą pałeczką szklaną, potartą kawałkiem jedwabnej materji, przesuwamy po gałce elektroskopu. Pałeczkę pocieramy jeszcze raz i zbliżamy do gałki.

Rozchylenie listków elektroskopu jest wynikiem przejścia naboju elektrycznego z pałeczki na gałkę i na listki. Podnosi on potencjał listków. Gdy do tak naelektryzowanego elektroskopu zbliżamy znów świeżo potartą pałeczkę, listki rochodzą się jeszcze bardziej. Samo zbliżenie naboju podnosi potencjał listków elektroskopu.

Ćwiczenie 82b. To samo możemy przerobić z pałeczką ebonitową, potartą suknem. Teraz zbliżamy pałeczkę ebonitową do elektroskopu, naelektryzowanego pałeczką szklaną — i naodwrot.

Pałeczki szklane i ebonitowe naelektryzowały się w sposób różny. Naelektryzowawszy elektroskop od baterji kondensatorów, można sprawdzić znak ich naboju. Szkło, potarte jedwabiem, elektryzuje się dodatnio, ebonit, potarty suknem — ujemnie.

Udzielając elektroskopowi kolejno naboju dódatnich i ujemnych, można je nawzajem zobojetnić i otrzymać elektroskop rozbrojony.

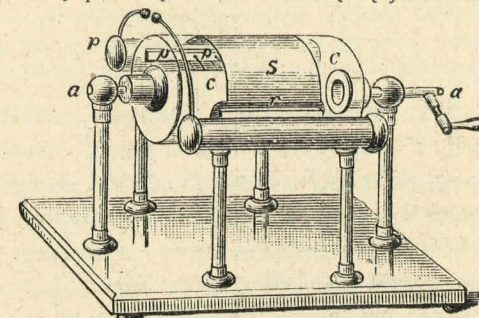
Ćwiczenie 83. Na rączce z laku umocowujemy kawałek rurki gumowej; trzymając rączkę w ręku, wkładamy do rurki suchą pałeczkę szklaną i pocieramy energicznie szkło o gumę. Zbliżamy do naelektryzowanego elektroskopu: najpierw oba ciała razem, potem każde z nich osobno.

Przy pocieraniu elektryzują się oba ciała: jedno uzyskuje nabój dódatni, drugie — równy mu nabój ujemny. Jeśli jedno z ciał przewodzi, nabój uchodzi z niego przez nasze ciało do ziemi. Dlatego nie można np. stwierdzić naelektryzowania sukna, któremu pocieraliśmy ebonit; dlatego rurkę gumową izolowaliśmy od ręki lakiem.

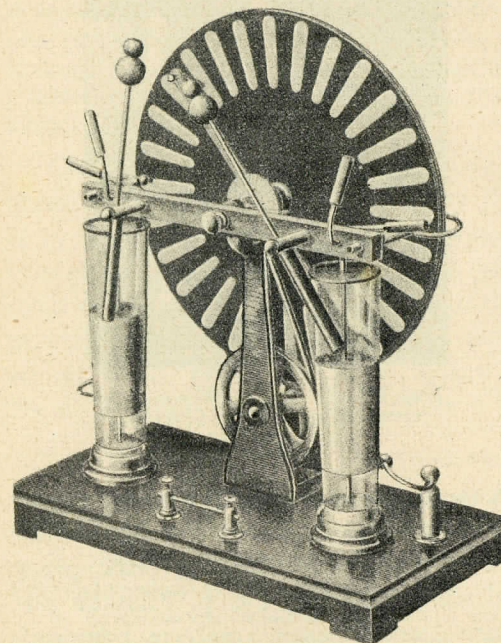
Maszyny elektrostatyczne. Pocieranie przedmiotów, trzymanyh w ręku, dostarcza nam bardzo niewielkich ilości naboju. Aby móc gromadzić je w większej ilości, zastosowano t. zw. maszyny elektrostatyczne, w których ruch obrotowy zapewnia powstawanie coraz nowych naboju.

Pierwsza taka maszyna, zbudowana w wieku XVII przez Guerickego, składała się z kuli siarkowej, obracanej na osi i pocieranej dłonią. Później zastąpiono siarkę przez szkło, najpierw w postaci walca, potem — płyty, pocieranej amalgamowaną

skórą (ryc. 295). Zapomocą ostrzy ściągano nabój ze szkła na t. zw. konduktor, t. j. dużą gałkę metalową lub oklejoną cynfolją.



Ryc. 295. Maszyna elektrostatyczna; elektryczność jest wzbudzona przez tarcie szklanego walca C o płót jedwabiu S.

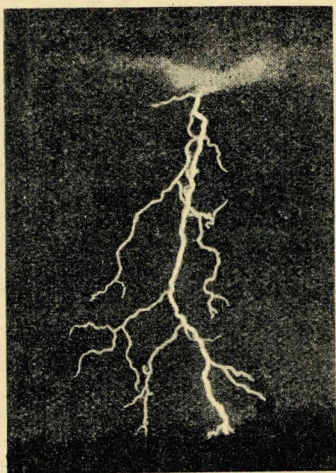


Ryc. 296. Maszyna elektrostatyczna t. zw. influencyjna.

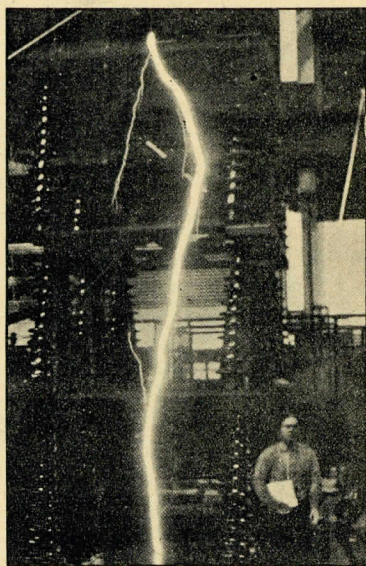
Daleko wydajniejszymi okazały się maszyny t. zw. influencyjne (ryc. 296). Nie będziemy tu opisywali sposobu ich działania, gdyż jest bardzo skomplikowany. Wspomnimy tylko, że tarcie nie gra tu żadnej roli.

Przy pomocy maszyny elektrostatycznej możemy otrzymać wysokie potencjały, o czym świadczą długie iskry, jakie z nich dobywamy. Z konduktorów możemy czerpać naboje obu znaków i wykonywać z nimi różne tu opisane doświadczenia.

160. Błyskawice i pioruny. Widok świetnych iskier elektrycznych, z trzaskiem przeskakujących pomiędzy konduktorami silnej maszyny elektrycznej lub zbrojami kondensatora, niejednemu obserwatorowi nasunął podobieństwo z potężniejszymi jeszcze zjawiskami, jakie spostrzegamy podczas burzy: z błyskawicami i piorunami. Dowodu, że błyskawica nie jest niczem innym, jak olbrzymią iskrą elektryczną, dostarczył wielki amerykański mąż stanu, a zarazem badacz przyrody, Benjamin FRANKLIN.



Ryc. 297. Fotografia pioruna.



Ryc. 298. Fotografia iskry o olbrzymim napięciu, przewyższającym 3 000 000 woltów.

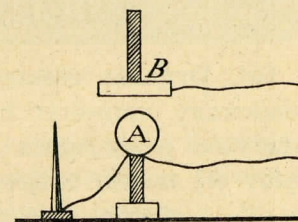
Już w roku 1749 wymienił on szereg zasadniczych podobieństw pomiędzy błyskawicą a iskrą; obie mają tę samą barwę, ten sam zygawkowaty kształt, przechodzą przez metale, topią i zapalają ciała, przez które przechodzą, towarzyszy im silna detonacja i t. p. Franklin powziął myśl, by ściągnąć z chmury „ogień” czyli „materję burzową” dla zbadania jej własności i przekonania się, czy nie jest to zwykła elektryczność. W trzy lata później myśl jego urzeczywistnił francuz DUBILARD, który ustawił wysoki pręt na izolowanej podstawie i podczas burzy otrzymał z niego silne iskry. W tym samym roku Franklin

dokonał próby bardziej bezpośredniej. Zbudował on latawca, do którego listwy umocował zaostrowany na końcu drut. Puszczony w czasie burzy, latawiec wbił się w chmury, a odważny badacz¹ wydobywał iskry ze zmoczonego deszczem sznurka, nabijał z niego butelkę lejdejską i stwierdził, że obserwowane zjawiska są takie same, jak otrzymane przy pomocy maszyny elektrycznej. Natura elektryczna piorunów została stwierdzona w sposób niewątpliwy.

Praktyczna natura Franklina skłoniła go, by obrócił swe odkrycie na pożytek ludzkości. Wiedział, że pioruny często biją w wysokie drzewa i wieże, przytem uszkadzają drewno i mury jako złe przewodniki. Należy więc ustawić koło domu wysoki pręt metalowy, któryby sięgał podstawą wilgotnych (przewodzących) warstw ziemi, a zaostrowym końcem wystawał ponad dach. Przez taki *gromnik* czyli *piorunochron* piorun znajdzie drogę wprost do ziemi i nie uszkodzi domu.

Ostre zakończenie pręta działa też rozbrajająco na chmurę burzową. Zilustrujemy to doświadczeniem.

Doświadczenie. Łączymy metalowy przewodnik *A* z jedną końcówką naładowanej baterji kondensatorów, a izolowaną płytę *B* z drugą. *A* wyobraża dom, *B* — chmurę (ryc. 299). Gdy oba przewodniki zbliżą się dostatecznie, przeskakują między nimi iskry. Gdy połączymy *A* z metalowym ostrzem, iskry przestaną przeskakiwać.



Ryc. 299. Doświadczenie, ilustrujące działanie piorunochronu.

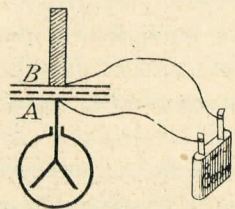
Gromniki robi się obecnie w postaci splecionej grubej linki drucianej; dolny koniec łączy się z grubym prętem metalowym, wbitym głęboko w ziemię, tak że sięga wilgotnych warstw. Linka przebiega wzdłuż domu, przytrzymywana hakami w pewnej odległości od muru; prowadząc linkę, należy unikać silnych zgięć i załamań. Na dachu linka kończy się prętem o jednym lub kilku ostrzach.

Pytania.

1. Jeśli doziemić środek baterji, złożonej z 40 ogniw, każde o sile elektromotorycznej 1,6 V, to jaki będzie potencjał obu biegunów?
2. Niewielki przewodnik, naelektryzowany, łączymy z elektroskopem. Czy elektroskop wskaże potencjał, jaki przewodnik miał przed zetknięciem?
3. Krańcowym okładzinom baterji, złożonej z 15 jednakowych kondensatorów, połączonych szeregowo, nadajemy różnicę potencjałów 300 V. Jaki potencjał będzie miał każdy kondensator? Jakiego będzie miał napięcie, gdyby kondensatory były połączone równolegle?

¹ Przy podobnych doświadczeniach zginął w Petersburgu profesor Richman, rażony potężną iskrą.

4. Dwa jednakowe naboje doprowadzamy do dwóch izolowanych puszek metalowych: dużej i małej. Czy potencjały puszek będą jednakowe?



Ryc. 300.

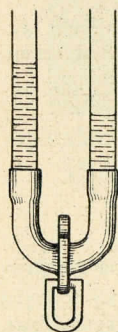
5. Zamiast kulki na pręcie elektroskopu umieszczamy kondensator, złożony z 2 płytek metalowych *A* i *B*, z których jedna jest pokryta warstewką izolującego lakieru (ryc. 300). Z płytkami łączymy bieguny baterji kieszonkowej i doziemiamy płytkę *B*. Listki elektroskopu nie rozchylają się — są na to zbyt mało czułe. Teraz przerywamy połączenie płytki *A* z ogniwem i unosimy w górę płytkę *B*: listki rozchylają się wyraźnie. Objasnij dlaczego?

6. Napięcie pomiędzy chmurą a ziemią wynosiło około 1 000 000 000 V, nabój, który spłynął z chmury przez piorun, wyniósł około 20 kul., czas trwania wyładowania około 0,001 sek. Jakie było średnie natężenie prądu, jaką pracę prąd wykonał i jaka była jego moc?

Rozdział IX

ELEMENTY RADJOTECHNIKI

161. Drgania elektryczne. Rozładowując zapomocą rozbrajacza naładowany uprzednio kondensator, np. butelkę lejdejską, jesteśmy świadkami powstawania iskry elektrycznej. Widzimy jej błysk, słyszymy jej trzask, czujemy towarzyszący temu zjawisku charakterystyczny zapach (powstaje wtedy ozon z tlenu), a jeśli nieopatrznie dotknęliśmy rękami obu okładek butelki, odczuwamy w mięśniach krótkotrwały, dość silny wstrząs; poza tem nic więcej zmysłami nie spostrzegamy.



Ryc. 301.

Wiemy skądinąd, że wszystkie te objawy są wynikiem prądu elektrycznego, jaki przepływa z jednej zbroi na drugą podczas wyładowania. Ale charakteru tego prądu dotychczas bliżej nie poznaliśmy.

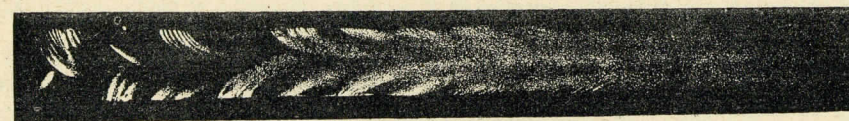
Nie wiemy na razie, czy owo rozbrojenie polega poprostu na jednorazowym przepływie ładunku elektrycznego z jednej okładziny kondensatora do drugiej, czy może jest to proces bardziej zawiły. Do dociekań takich skłaniać nas może chociażby analogja ze zjawiskiem wyrównywania się poziomów wody w naczyniach połączonych (ryc. 301). Tu, jak łatwo sprawdzić doświadczalnie, przepływ wody może odbywać się w dwojaki sposób: gdy przewód zluźnimy tylko nieznacznie, woda będzie sączyć się dość długo, a przepływ jej ustanie bezpośrednio po wyrównaniu się

poziomów. Gdy natomiast przewód zwolnimy całkowicie, woda zacznie się kołysać, przepływając naprzemian z jednego ramienia do drugiego i zatrzyma się dopiero po paru wahaniach.

Podobnie, jak wiemy, zachowuje się wahadło, odchylone z położenia równowagi i puszczone swobodnie — pod warunkiem oczywiście, że ruchy wahadła nie będą hamowane przez zbyt duży opór; wahadło bowiem, zanurzone n. p. w gęstej mazi, nie będzie wykonywać perjodycznych wahań, lecz zatrzyma się odrazu, gdyż jego energia już przy pierwszym ruchu wyczerpie się całkowicie na przewyciężenie dużego oporu mazi.

Wróćmy teraz do zjawiska rozbrajania kondensatora. Otóż uczeni, chcąc się przekonać, jaki charakter ma to rozbrojenie, sfotografowali iskrę elektryczną w bardzo dowcipny sposób przy użyciu zwierciadeł wirujących.

I oto okazało się, że to, co dla naszego oka wydawało się nieprzerwanym światłem, składa się w rzeczywistości z szeregu oddzielnych

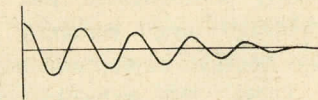


Ryc. 302. Fotografia iskry elektrycznej.

błysków. Z rozmieszczenia zaś plam jasnych i ciemnych na takim zdjęciu widać odrazu, że mamy tu do czynienia z perjodyczną zmianą biegunów na okładkach kondensatora. Świadczy to niezbicie, że iskra elektr. jest wynikiem całej serii bardzo krótkotrwałych prądów elektrycznych, przepływających przez rozbrajacz kolejno tam i napowrót w niesłychanie krótkim odstępie czasu (ryc. 302).

Tego rodzaju prądy szybkozmienne nazywamy *drzganiami elektrycznymi*, albo *oscylacjami*, a obwód, w którym się one odbywają — *obwodem drgań elektrycznych* albo krótko *obwodem drgającym*.

Drgania elektryczne, powstające podczas rozbrojenia butelki lejdejskiej, znikają szybko, o czym świadczy krótkotrwałość iskry elektr. Są to więc t. zw. drgania gasnące — podobnie, jak gasnąciami moglibyśmy nazwać wahania wahadła lub słupa wody na ryc. 301. Energia elektryczna zużywa się tu szybko na wydzielanie ciepła. Graficznie można je przedstawić w postaci linii falistej o malejącej stopniowo amplitudzie aż do całkowitego jej zniknięcia (ryc. 303).



Ryc. 303. Drgania gasnące.

Obmyślono jednak sposoby podtrzymania drgań niegasnących przez ustawiczne zasilanie obwodu drgającego nowymi dawkami energii. Nie wchodząc w opis tych sposobów, nadmieniamy tylko, że są to dodatkowe urządzenia, które spełniają tu analogiczne zadanie, jak mechanizm sprężynowy w zegarze wahadłowym.

162. Od czego zależy częstość drgań w obwodzie drgającym?

Nasuwa się teraz pytanie, czy częstość drgań elektrycznych można w jakiś sposób zmniejszać lub zwiększać według naszego uznania. Czy można poprostu obwód elektryczny nastroić na takie a nie inne drgania własne — podobnie, jak to robiliśmy przy drganiach sprężystych? Od jakich czynników to zależy i jaka jest ta zależność?

Badania, przeprowadzone nad tą sprawą, wykazały, że częstość drgań własnych obwodu drgającego zależy od pojemności kondensatora C oraz od liczby zwojów zwojnicy L . (Ob. ryc. 304, gdzie obwód drgający składa się z kondensatora w postaci butelki lejdejskiej i zwojnicy o jednym tylko zwoju, oraz ryc. 309, gdzie widać kondensator zmienny C i zwojnicę L o wielu zwojach). Mianowicie, im więcej zwojów posiada zwojnica i im większa jest pojemność kondensatora, tem mniejsza jest częstość drgań elektrycznych. Chcąc tedy nastroić obwód elektryczny na pożądaną częstość drgań, możemy to uczynić przez dobór pojemności kondensatora albo wielkości zwojnicy.

Zjawisko to, aczkolwiek jest innej natury niż drgania sprężyste i ruchy wahadła, posiada jednak z niemi dużo cech wspólnych, zwłaszcza pod względem przemian energetycznych. Wiemy, że w ruchu wahadła odbywa się periodyczne przechodzenie energii potencjalnej w kinetyczną i naodwrot. Tu gra jest podobna.

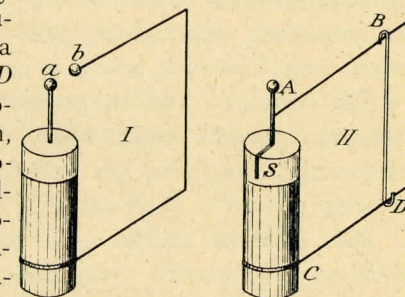
Chwila, gdy kondensator jest najsilniej naładowany (wtedy przez zwojnicę nie płynie prąd), odpowiada momentowi najwyższego wzniesienia się wahadła (wtedy wahadło się nie porusza, lecz ma największą energję potencjalną). Chwila zaś najsilniejszego prądu w zwojnicy (wtedy kondensator jest wyladowany) odpowiada momentowi najszybszego biegu wahadła (wtedy poziom wahadła jest najniższy, ale jego energja kinetyczna największa).

I tak, jak wahadło osiąga ponownie wysoki poziom dzięki swej energii kinetycznej, tak tu kondensator ładuje się ponownie dzięki analogicznemu działaniu prądu. Mianowicie, gdy prąd zmienia swe natężenie z wartości największej na mniejszą, zmienia się w ślad za tem i liczba jego linii magnetycznych w obrębie zwojnicy; zmiana taka wzbudza w zwojach siłę elektromotoryczną indukcji o kierunku zgodnym z prądem; dzięki temu prąd płynie nawet wtedy, gdy potencjały okładzin wyrównały się, i kondensator ładuje się na nowo. Owo

oddziaływanie pola na zwoje własnej zwojnicy nazywamy *indukcją własną* albo krótko *samoindukcją*.

Możemy więc teraz powiedzieć, że częstość drgań elektrycznych zależy od pojemności kondensatora i od wartości samoindukcji w obwodzie. Częstość drgań, stosowana w radjotechnice, zwłaszcza w radjofonji jest naogół wysoka i dochodzi do setek tysięcy a nawet więcej drgań na sekundę (np. w radiostacji warszawskiej: 224 000 drgań na sekundę, w krakowskiej — ponad milion drgań i t. d.). To też obwody takie nazywamy obwodami wysokiej częstości.

163. Rezonans elektryczny. Doświadczenie. Ustawiamy obok siebie równolegle dwa jednakowo nastrojone obwody, zawierające po jednej butelce lejdejskiej i dla uproszczenia eksperymentu po jednym tylko zwoju „zwojnicy“ (ryc. 304). Obwód pierwszy posiada przerwę ab , przez którą podczas rozbrojenia butelki będą przeskakiwały iskry elektryczne. Obwód II posiada ruchome metalowe ramię BD , które można przesuwac wzdłuż drutów AB i CD i w ten sposób dostroić go bardzo dokładnie na taką samą częstość drgań, na jaką nastrojony jest obwód I. Ponadto do pręta, wystającego z butelki II, przymocowany jest pasek staniolu S , którego drugi koniec dochodzi prawie do okładki zewnętrznej, nie dotykając jej jednak.



Ryc. 304. Przyrząd, ilustrujący rezonans elektryczny. I = nadajnik. II = odbiornik.

Gdy butelkę I naładujemy i rozbroimy, wtedy okaże się, że przy pewnym położeniu ramienia BD w ślad za iskrą przebiegającą przez przerwę ab , pojawia się isierka także w drugim obwodzie z butelką II (w szczelinie między końcówką staniolu a krawędzią zewnętrznej okładki), pomimo żeśmy tej butelki wcale nie ładowali.

Pojawienie się iskry w obwodzie II jest świadectwem, że odbywają się tam drgania elektryczne. Zostały one wzbudzone z odległości przez drgania obwodu I. Jest to więc zjawisko rezonansu, podobne do tego, z jakim spotkaliśmy się w akustyce przy falach głosowych.

Że chodzi tu rzeczywiście o rezonans, świadczy zanikanie iskier, a więc i drgań w obwodzie II, gdy obwód ten „rozstroimy“, przesuwając nieco ramię BD do innego położenia.

Zjawisko to nie powinno nas dziwić. Wszakże oba układy I i II stanowią razem jakby transformator, którego obwodem pierwotnym jest układ I, a wtórnym — układ II; brak rdzenia żelaznego nic tu zasadniczo nie zmienia. Siła elektromotoryczna, pojawiająca się w obwodzie II, jest tu indukowana działaniem szybkozmiennych pól ma-

gnetycznych, wytwarzanych przez obwód I. Układ I możemy nazwać „nadajnikiem” sygnałów iskrowych, układ II — „odbiornikiem” tych sygnałów.

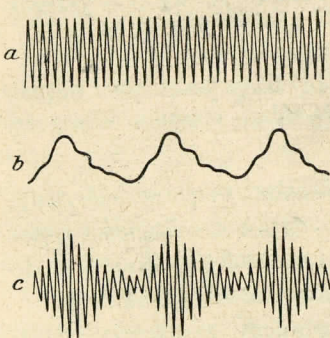
Stwierdzono, że pola, wytwarzane przez prąd elektryczny, nie rozprzestrzeniają się momentalnie, lecz ze skończoną prędkością, docierając do miejsc dalekich później, niż do bliskich. Prędkość ta na ogół jest olbrzymia; np. w próżni i w powietrzu wynosi ona prawie ściśle 300 000 km/sek.

Z chwilą, gdy prąd w obwodzie zanika, pole „odrywa się” od przewodnika prądu i oddala się od niego z wspomnianą wyżej szybkością — podobnie jak od miejsca zakłócenia powierzchni wody „odrywa się” krąg wody i umyka ku krańcom stawu. Od naszego nadajnika odrywają się co chwila takie pola i mkną w dal, zachowując między sobą równe odstęp; linie magnetyczne odrywających się pól posiadają naprzemian przeciwne kierunki, ponieważ zmienia się ustawicznie kierunek prądu w nadajniku.

Jak widzimy, owo rozprzestrzenienie się pól, wytwarzanych przez nadajnik, posiada cechy fali; istotnie są to fale natury elektromagnetycznej. Długością fali jest tu odległość między dwoma mknącymi za sobą polami o tych samych kierunkach.

164. Zasada radja. Opisane wyżej zjawiska stanowią podstawę wielkiego wynalazku ostatnich lat, jakim jest *radjo*. W naszych przykładach obwód wzbudzający I był stacją nadawczą, obwód zaś pobudzany II — odbiornikiem radjowym. Jak widzieliśmy, odbiornik tylko wtedy reaguje na działające

nań fale, jeśli jest z nimi w rezonansie. Jednakże tego rodzaju nadajnik nie nadaje się do wysyłania sygnałów we wszystkich kierunkach. Łatwo to sprawdzić doświadczalnie:



Ryc. 305.

Doświadczenie. Ustawiamy obwód II, nie równoległe, jak przedtem, lecz prostopadłe względem obwodu I i powtarzamy doświadczenie; stwierdzamy, że w tych warunkach obwód II nie reaguje na sygnały obwodu I.

W doświadczeniu tem linie magnetyczne, wytwarzane przez obwód I, nie przenikają obwodu II, więc nie dziwnego, że nie indukują w nim siły elektromotorycznej (porównaj z ryc. 257). Z tego powodu radjowe stacje nadawcze posiadają obwody „otwarte” (anteny), które wysyłają fale na wszystkie strony. W takie same obwody (anteny) są wyposażone i odbiorniki radjowe.

Jednakże takie radjostacje iskrowe nadawałyby się jedynie do wysyłania sygnałów telegraficznych, np. znaków Morse’a; do radjofonji, czyli do nadawania mowy, muzyki i t. p. nie nadają się. W nadawczej antenie radjofonicznej odbywają się drgania wypadkowe, złożone z dwu następujących składników: 1) drgań niegasnących (ryc. 305a) i 2) prądu pulsującego, jaki powstaje w obwodzie z mikrofonem, gdy ktoś mówi do mikrofonu (ryc. 305b). Oba te składniki dają w rezultacie drgania wypadkowe o zmiennych amplitudach, jak to przedstawia ryc. 305c; mianowicie gdybyśmy połączyli szczytowe punkty wykresu c jedną linią ciągłą, otrzymalibyśmy linię b, wyobrażającą drgania akustyczne.

Dzięki temu na falach, wysyłanych przez antenę, są jakby wyrzeźbione cechy dźwięków, schwytanych przez mikrofon. Uformowane, czyli zmodulowane w ten sposób fale natrafiają na anteny radjoodbiorników i wzbudzają w nich takie same prądy, jakie były w antenie nadawczej.

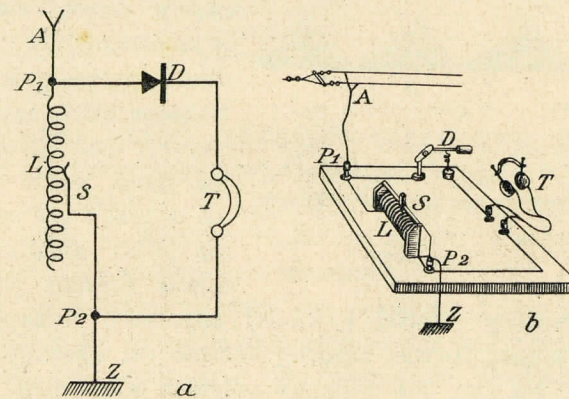
165. Budowa i działanie odbiorników radjowych. Ryc. 306a przedstawia schemat najprostszego radjoodbiornika kryształkowego.

Zarówno w tym, jak i w innych odbiornikach, odróżniamy dwa obwody: a) wysokiej częstotliwości i b) niskiej częstotliwości.

1) Obwód wysokiej częstotliwości składa się z anteny *A*, zwojnicy *L*, oraz doziemienia, sięgającego od ruchomego suwaka *S* do ziemi *Z*. Suwak *S* służy do tego, aby przez przesuwanie go wzdłuż zwojnicy *L* włączyć do obwodu pożądaną liczbę zwojów ze zwojnicy.

2) Obwód niskiej częstotliwości, składa się z reszty widocznych na rysunku drutów; zawiera on t. zw. detektor kryształkowy *D* i słuchawkę telefoniczną *T*.

Oba te obwody są zawsze w ten lub inny sposób z sobą sprzężone. W naszym schemacie sprzężenie jest bezpośrednie, polegające na bezpośrednim zetknięciu (przylutowaniu) obu obwodów w punktach *P*₁ i *P*₂.

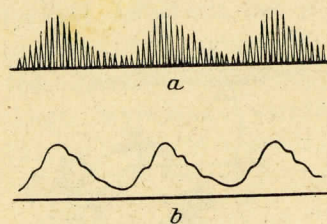


Ryc. 306. Schemat (a) i model (b) radjoodbiornika kryształkowego.

Przypuśćmy narazie, żeśmy odrzucili obwód niskiej częstotliwości i mamy przed sobą tylko obwód częstotliwości wysokiej. Wtedy prądy indukcyjne, wzbudzone przez nadciągające fale, przebiegałyby naprzemian od anteny A przez górną część zwojnicy L i przez S do ziemi i napowrót tą samą drogą z ziemi do anteny.

Fale, wysyłane przez antenę nadawczą, są zmodulowane. Znaczy to, że poszczególne impulsy (podniety), niesione przez te fale, aczkolwiek uderzają o antenę odbiorczą w równych odstępach czasu, nie są pod względem natężenia jednakowe. Przeciwnie, jedne z nich są silniejsze, inne słabsze. Stąd i drgania elektryczne, wzbudzone przez nie w antenie odbiorczej, są pod względem amplitudy coraz to inne, jak to przedstawia graficznie ryc. 305c. Cóż teraz stanie się, skoro do naszego obwodu antena-zwojnica-ziemia dołączymy drugi obwód boczny z kryształkiem D i słuchawką T ?

Detektor kryształkowy posiada tę własność, że zachowuje się względem prądu elektrycznego tak samo, jak zawór pompy wodnej względem prądu wody. Przepuszcza on prąd tylko w jednym kierunku, a nie przepuszcza w kierunku przeciwnym. Dzięki temu w obwodzie bocznym



Ryc. 307.

mamy prądy nie dwukierunkowe, lecz jednokierunkowe pulsacje, których charakter przedstawia graficznie ryc. 307a. Pulsacje takie, zasilając elektromagnes słuchawki, działają na membranę słuchawki tak samo, jakby działał prąd nieprzerwany o przebiegu, przedstawionym na rycinie 307b. Membrana będzie więc wykonywać drgania powolne (stąd nazwa tej

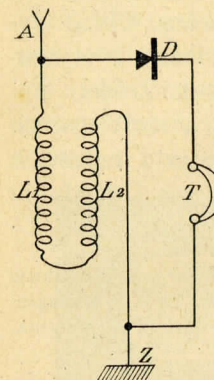
bocznicy: obwód niskiej częstotliwości), wydając dźwięk o charakterystycznej barwie, zależnej właśnie od ukształtowania owych pulsacji.

Na ryc. 308 widzimy schemat odbiornika, różniący się tem od poprzedniego, że tu, zamiast zwojnicy z ruchomym suwaczkiem, mamy dwie zwojnice, włączone szeregowo w obwód wysokiej częstotliwości. Zwojnice te można ustawiać wzajemnie pod dowolnymi kątami (równolegle, ukośnie i t. p.), a czynności te prowadzą do tego samego celu, co przesuwanie suwaczka S w poprzednim schemacie, t. z. służą do strojenia odbiornika. Przez ustawienie zwojnic pod różnymi kątami osiągamy rozmaite wartości indukcji własnej, która, jak wiemy, jest jednym z czynników, decydujących o częstotliwości drgań własnych układu. Taka para zwojnic, wmontowana jak na ryc. 308, nazywa się warjometrem.

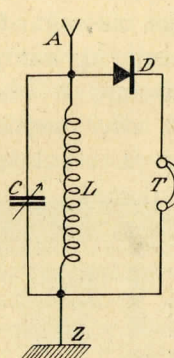
Ryc. 309 przedstawia schemat odbiornika, w którym elementem służącym do strojenia obwodu wysokiej częstotliwości, jest kondensator

obrotowy C . (Kółko zwojnicy nic się tu nie robi, gdyż ta jest tutaj stała i nieruchoma).

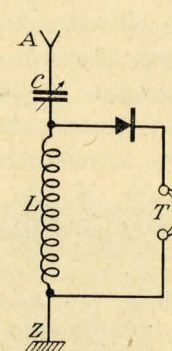
Sposób włączenia kondensatora w obwód wysokiej częstotliwości, podany na ryc. 309, nazywa się włączeniem równoległym. Można jednak



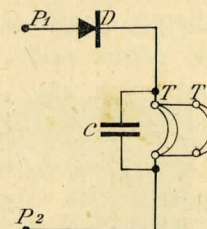
Ryc. 308. Radjoodbiornik z warjometrem.



Ryc. 309. Strojenie radjoodbiornika za pomocą kondensatora, włączonego „równolegle”.



Ryc. 310. Strojenie radjoodbiornika za pomocą kondensatora, włączonego „szeregowo”.



Ryc. 311. Doświadczenia z obwodem niskiej częstotliwości.

włączyć ten sam kondensator inaczej, mianowicie szeregowo, jak to przedstawia ryc. 310. Łączenie szeregowe stosujemy do odbioru fal krótkich; równoległe — do długich. W odbiornikach bywają często urządzenia, pozwalające jednym ruchem ręczki przełączyć kondensator z układu równoległego na szeregowy i naodwrot.

Omówione schematy odznaczają się tem, że posiadają tylko po jednym elemencie, służącym do strojenia odbiornika. Ale jest rzeczą zrozumiałą, że można do tego celu użyć obu elementów strojeniowych. Np. możemy zabrać kondensator ze schematu ryc. 309, (odczepić go wraz z jego drutami od punktów P_1 i P_2) i dołączyć go do schematu na ryc. 306, (wstawić go po lewej stronie zwojnicy L i przylutować końce jego drutów w punktach P_1 i P_2). Strojenie będzie wówczas odbywać się za pomocą obu przyrządów równocześnie, t. j. suwakiem i kondensatorem.

A obwód niskiej częstotliwości? Czy i tu są dopuszczalne jakieś zmiany?

Jako przykład niech służy schemat na ryc. 311. Widzimy tu w obwodzie niskiej częstotliwości dwa dodatki: 1) Jeszcze jedna para słuchawek, dołączona równoległe do poprzedniej pary. 2) Dodatkowy kondensator C , dołączony równoległe do słuchawek. Jest to konden-

sator stały. Pełni on tam rolę kozła ofiarnego, w którego godzą ciosy-pulsacje, przedstawione na ryc. 307 a. Dzięki jego obecności membrana słuchawki znajduje się w warunkach korzystniejszych, gdyż kondensator „wyrównywa” te pulsacje nadając im charakter jak na ryc. 307 b.

Odbiornik kryształkowy pracuje tylko tym niewielkim zasobem energii, jaki zostanie schwytany przez antenę odbiorczą. Chcąc zasilić odbiornik większym zapasem energii, używamy odbiorników lampowych. Odbiorniki takie czerpią energję z własnych źródeł, np. z baterji ogni i akumulatorów lub z sieci miejskiej, a nadbiegające fale pełnią tylko rolę kierowniczą, t. z. regulują rytm i natężenie czerpanych stąd prądów. Bliższe wiadomości o budowie i działaniu lamp radiowych znajdzie czytelnik w literaturze specjalnej.

W Polsce mamy 8 radjofonicznych stacyj nadawczych; największą w Warszawie o mocy 120 kW, a inne słabsze w Katowicach, Krakowie, Lwowie, Łodzi, Poznaniu, Toruniu i Wilnie. Liczba radioabonentów wynosi u nas niewiele ponad $\frac{1}{2}$ miliona, gdy np. w Niemczech przeszło 4 miliony.

Do wykonania w warsztacie.

Wykonaj odbiornik radiowy według wzoru na ryc. 306 b lub według innych poznanych schematów. Szczegóły co do liczby zwojów w zwojnicy i t. p. znajdziesz w książeczkach popularno-naukowych.

Rozdział X

ZJAWISKA ELEKTRYCZNE W GAZACH ROZRZEDZONYCH

166. Wyładowania w gazach rozrzedzonych. Wiemy, że powietrze atmosferyczne jest izolatorem, jednak pod wpływem wysokiego napięcia pojawia się w nim smuga dobrze przewodząca o świetnym blasku — nazywamy ją iskrą elektryczną. Już w połowie XVIII wieku wykryto, że w gazach o niższym ciśnieniu potrzebne jest mniejsze napięcie, by wzbudzić iskrę tej samej długości.

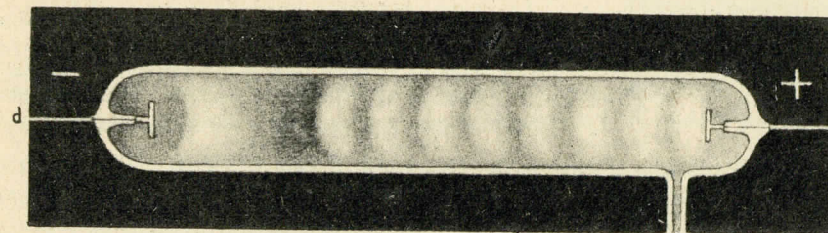


Ryc. 312. Rura próżniowa.

Doświadczenie. Będziemy się posługiwać długą rurą szklaną z dwiema wtopionymi na końcach elektrodami i z boczną rurką, przez którą można wypompować powietrze (ryc. 312). Elektrody łączymy z dwiema izolowanymi kulkami, między którymi wzbudzamy napięcie za pomocą baterji kondensatorów, maszyny elektrycznej lub cewki

indukcyjnej. Kulki ustawiamy w takiej odległości, by między nimi przeskakiwały iskry. Ustawiliśmy w ten sposób nasze przyrządy, zaczynamy rozrzedzać powietrze w rurze.

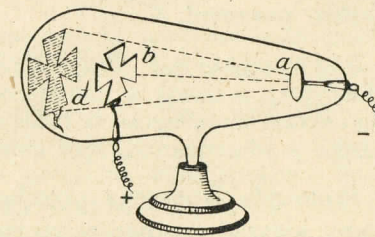
Gdy ciśnienie w rurze zacznie się zmniejszać, iskry przeskakują nie pomiędzy kulkami, lecz pomiędzy elektrodami, pomimo, że odległość elektrod jest znacznie większa niż odległość kulek. Iskra jest przytem szersza, mniej błyszcząca, o barwie purpurowej. Gdy ciśnienie spada do paru milimetrów rtęci, całe wnętrze rury zaczyna świecić czerwonym światłem, tylko blisko katody pozostaje ciemna przestrzeń, t. zw. ciemnia Faraday'a (ryc. 313).



Ryc. 313. Wyładowania elektryczności w gazach rozrzedzonych.

Świecenie gazów rozrzedzonych przy wyładowaniach elektrycznych znalazło zastosowanie w t. zw. *rurkach neonowych*, używanych w miastach do reklam świetlnych. Rurki te są napełnione gazem neonem, czystym lub z domieszką innych gazów; zależnie od tych domieszek rurki świecą różnemi barwami. Do świecenia neonu potrzeba dość wysokiego napięcia; prąd do zasilania lamp neonowych musi być więc uprzednio transformowany (ob. ust. 141). Ostatnio są robione próby zastosowania rur, napełnionych parami różnych metali (sodu, wapnia, cezu), do oświetlania ulic.

Przy dalszem jeszcze rozrzedzaniu do kilku tysięcznych milimetra rtęci (co daje się osiągnąć tylko bardzo dobrymi pompami), świecenie gazu w rurze zanika, natomiast szkło rury, szczególnie w miejscach nawprost katody, zaczyna świecić żółtawym światłem. Angielski fizyk CROOKES (czytaj Kruks), który pierwszy robił doświadczenia w tak wysokiej próżni, ustawił pomiędzy katodą a ścianką blaszkę w kształcie krzyża (ryc. 314). Na ściance pojawił się wyraźny cień; kształt jego dowodzi jasno, że świecenie jest wzbudzone



Ryc. 314. Rura Crookes'a.

przez jakieś promienie, które wychodzą z katody, prostopadłe do jej powierzchni, a padając na ściankę szklaną, wzbudzają w niej świecenie. Promienie te Crookes nazwał **promieniami katodowymi**.

Promienie te mogą być odchylane przez magnesy i kondensatory naelektryzowane; schwytane w puszkę metalową, umieszczoną w rurze, elektryzują ją nabojem ujemnym. Te i inne jeszcze właściwości pozwalają rozstrzygnąć, jaka jest natura tych promieni. Są one złożone z niezmiernie małych nabołów elektryczności ujemnej, wyrzucanych z olbrzymią prędkością (do 100 000 km/sek) z katody.

Stwierdzono też, że naboje te są zawsze jednakowe, niezależnie z jakich metali są elektrody i jakim gazem napętniona rura. Te same naboje towarzyszą jonom ujemnym w elektrolizie; jony dodatnie powstają przez to, że atom traci taki właśnie nabój ujemny, stając się przez to naładowanym dodatnio. Są to najmniejsze naboje, jakich istnienie nauka zdołała stwierdzić. Te naboje elementarne nazwano *elektronami*.

167. Promienie Röntgena. Odkrycie Crookes'a dało początek całej serii odkryć nowych rodzajów promieniowania. W ostatnich latach XIX wieku monachijski fizyk RÖNTGEN zauważył, że ekran, pokryty pewnym związkiem chemicznym, umieszczony w pobliżu rurki próżniowej, świecił, chociaż pomiędzy ekranem a rurką znajdowały się różne przedmioty nieprzezroczyste. Dokładne zbadanie tego niespodziewanego zjawiska przekonało go, że ścianka szklana, na którą padają promienie katodowe, staje się źródłem nowych promieni, które przenikają przez ciała, nieprzezroczyste dla zwykłych promieni. Na ryc. 315 widzimy postać, jaką nadano rurom próżniowym, przeznaczonym do wytwarzania takich właśnie **promieni Röntgena** czyli **promieni X**. Katoda w kształcie wklęsłej miseczki wysyła wiązkę promieni katodowych i skupia je na płytce z trudno topliwego metalu. Jest to tak zwana antykatoda, która staje się źródłem promieni X.

Doświadczenie. Rurę Röntgena łączymy z biegunami silnej cewki indukcyjnej, a nawprost antykatody ustawiamy świecący ekran. Pomiędzy rurą i ekranem umieszczamy różne przedmioty, np. portmonetkę z pieniędzmi, pudełko z odważnikami, rękę ludzką i t. p.

Promienie Röntgena przechodzą przez różne ciała, które przywykliśmy uważać za nieprzezroczyste, są jednak przytem częściowo pochłaniane. Różne ciała pochłaniają je w różnej mierze, najsilniej me-

tale. Stąd np. mosiężne odważniki rzucają silniejszy cień, niż drewniane pudło; kości, które zawierają sole wapnia, silniej niż mięśnie (ryc. 316). Najsilniej pochłaniają metale ciężkie np. ołów. Promienie X wywołują nie tylko świecenie, ale i czernienie płyt fotograficznych. To pozwala utrwać wytworzone przez nie obrazy.

Promienie Röntgena pozwalają nam „dojrzeć” takie rzeczy, których nie moglibyśmy zobaczyć zapomocą zwykłego światła. Toteż zyskały one szerokie zastosowanie. Najdoniośszem jest możność prześwietlenia ciała ludzkiego; przy jego udziale lekarz może stwierdzić obecność w ciele różnych obcych przedmiotów, np. igieł, odłamków pocisków; dostrzega również wrzody, nowotwory i inne schorzenia tkanek wewnętrznych (ryc. 316 a). Przy cierpieniach przewodu pokarmowego chory spożywa papkę z nieszkodliwych dla zdrowia soli metalu bizmutu; fotografie röntgenowskie, robione podczas przesuwania się papki przez przewód pokarmowy, zdradzają kształty tej części, w której się właśnie znajduje (ryc. 316 b).

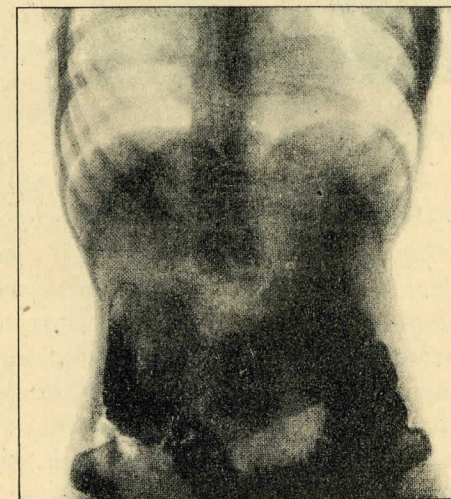
Promienie X mają też działanie lecznicze, gdy naświetlać nimi np. chorobę skórę. Musi to robić lekarz specjalista, gdyż stosowane nieumiejętnie mogą wywołać chorobę organów, na które padają.

Inne zastosowanie znalazły te promienie do prześwietlania paczek podejrzanych w urzędach celnych. Można nimi też wykryć zafałszowania produktów spożywczych, np. obecność w mące domieszek mineralnych, dodatek obcych tłuszczów do masła i t. p.

Niemniej ważne jest zastosowanie promieni Röntgena do badań naukowych; pozwoliły one tak głęboko wnikać w budowę materji, w szczególności w budowę ciał krystalicznych, jak żadne z dotychczasowych metod badania.



Ryc. 316 a. Rentgenogram zębów; widać dziury oraz plomby.



Ryc. 316 b. Rentgenogram jamy brzusznej: widać część jelit, napełnioną nieprzezroczystym dla promieni bizmutem.

168. Ciała promieniotwórcze. Zaledwie w trzy lata po odkryciu promieni Röntgena, w r. 1896 nasza rodaczka p. Marja SKŁODOWSKA-CURIE (1867—1934) zaczęła ogłaszać



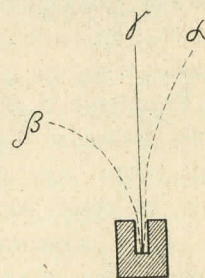
Ryc. 317. Marja Curie-Skłodowska (1867—1934).

wyniki swoich prac, prowadzonych do spółki ze swym mężem Piotrem CURIE. Wyniki tych badań były zdumiewające. Doprowadziły one do odkrycia kilku nowych, nieznanych dotychczas pierwiastków, obdarzonych niezwyklei własnościami. Mogą one wysyłać promienie bardzo przenikliwe, które są w stanie wzbudzać świecenie, czernić płytę fotograficzną i t. d. Najważniejszym z pierwiastków, odkrytych przez pp. Curie, jest **rad.** Później wykryto cały szereg pierwiastków o podobnych choć słabszych działaniach. Nazwano je **pierwiastkami promieniotwórczymi.**

Bliższe zbadanie promieni, wysyłanych przez ciała promieniotwórcze, wykryło, że mają one naturę złożoną; w skład ich wchodzi trzy rodzaje promieniowania (ryc. 318): jedno, t. zw. *promienie beta* są tej samej natury co promienie katodowe, są to więc naboje ujemne o prędkości olbrzymiej, większej jeszcze niż w promieniach katodowych. Drugi rodzaj — to *promienie gamma*, podobne do promieni Röntgena. Trzeci rodzaj promieni, t. zw. *promienie alfa*, są to jony dodatnie czyli atomy materjalne, naelektryzowane dodatnio i wyrzucane z prędkością wielką, lecz mniejszą niż promienie beta.

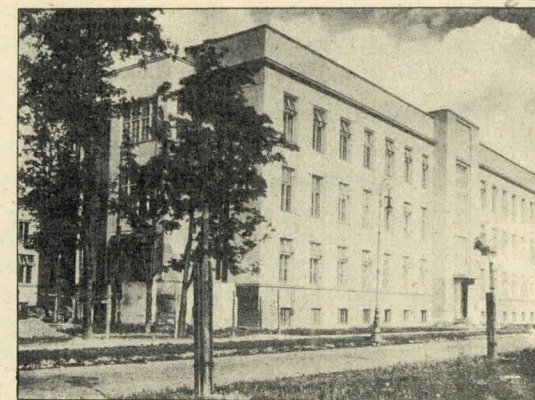
Znakomity fizyk kanadyjski RUTHERFORD (czyt. Rerford) wyjaśnił te zjawiska niezwykle śmiałą hipotezą. Przypuścił on, że atomy pierwiastków promieniotwórczych rozpadają się, eksplodują, wyrzucając z siebie części składowe, a mianowicie elektrony i atomy pierwiastka helu. Elektrony tworzą promienie beta, a atomy helu — promienie alfa. Powstaje atom uszczuplony, o mniejszej masie — zjawia się nowy pierwiastek. Niektóre z tak powstających pierwiastków trwają tylko krótko, gdyż ulegają dalszemu rozkładowi. Hipoteza Rutherforda znalazła potwierdzenie w olbrzymiej ilości odkrytych faktów. Pierwiastek chemiczny przestał być w oczach nauki czemś niezmiennem, a jego atom czemś niezniszczalnym.

Promienie gamma ciał promieniotwórczych są bardziej jeszcze przenikliwe niż promienie Röntgena. Znalazły one zastosowanie w leczeniu



Ryc. 318. Promienie, wysyłane przez rad.

jednej z najstraszniejszych chorób — raka. W Warszawie w roku 1932 otwarto Instytut Radowy im. Marji Skłodowskiej-Curie, ufundowany ze składek społeczeństwa polskiego. Jest on poświęcony leczeniu raka zapomocą radu i promieni Röntgena, oraz badaniom naukowym nad promieniotwórczością radu. W ten sposób społeczeństwo uczciło wielką uczoną.



Ryc. 319. Instytut Radowy im. M. Curie-Skłodowskiej w Warszawie.

Pytanie.

Dlaczego ludzie, pracujący przy promieniach Röntgena, noszą okulary ze szkła zawierającego sole ołowiu, a podczas naświetlań okrywają blachami ołowianymi części ciała pacjenta, które nie mają być naświetlane?

Część III

O ŚWIETLE

Rozdział I

ROZCHODZENIE SIĘ ŚWIATŁA

169. Zjawiska świetlne; źródła światła. Wiadomo każdemu z własnego doświadczenia, jak bezradnym jest człowiek, gdy znajdzie się w miejscu nieoświetlonym, np. w pokoju, pogrążonym w ciemności. Zdany jedynie na zmysł dotyku, posuwa się wtedy jak ślepiec, powoli, ostrożnie, od sprzętu do sprzętu, chwytając się ich skwapliwie. I choćby najsilniej swój wzrok wytężył, nic mu to nie pomoże, gdyż oczy nasze są tylko odbiornikiem światła, a nie jego źródłem.

Dopiero błysk żarówki elektrycznej, świecy, czy lampy naftowej, sprawia, że otoczenie nasze staje się widoczne. Żarówka, świeca, lampa — to najpospolitsze sztuczne źródła światła, którymi — w braku słońca — zazwyczaj się posługujemy. Żadne z nich jednak nie dorówna najpotężniejszemu naturalnemu źródłu światła, jakim jest słońce.

Oko nasze widzi nie tylko ciała, świecące własnym światłem, ale i ciała, oświetlone przez inne źródło światła; np. oko widzi zarówno świecącą lampę, jak i oświetloną przez nią ścianę. Mówimy, że ściana odbija światło i dzięki temu staje się widzialna.

Jednakże nietrudno o przykłady takich ciał, które, mimo iż są oświetlone, pozostają nadal niewidoczne albo prawie niewidoczne, np. powietrze, szyba szklana i t. p. — powiadamy, że ciała te przepuszczają światło, czyli są przezroczyste. Ale bywa też inaczej. Np. sadza wydaje nam się czarną, zarówno w obecności światła, jak i po ciemku — w tym wypadku powiadamy, że światło zostało przez ciało pochłonięte.

Rozchodzenie się światła, jego przenikanie przez ciała przezroczyste, odbijanie się od ciał, pochłanianie przez ciała, powstawanie barw i t. d. — oto typowe zjawiska, które są przedmiotem badań *optyki* czyli nauki o świetle. Badania te opłaciły się człowiekowi sowicie. Poznawszy bowiem prawa, rządzące temi zjawiskami,

nauczył się człowiek wykorzystywać je do swoich potrzeb, budując mnóstwo pożytecznych przedmiotów, jak lustra, okulary, aparaty fotograficzne, mikroskopy, lunety i t. p.

Zapoznamy się kolejno z podstawowymi prawami optyki oraz z ich praktycznym zastosowaniem. Niektóre z nich poznał już czytelnik w szkole powszechnej; przypomnimy je tutaj pokrótce.

170. Przepuszczanie, pochłanianie i odbijanie światła. Doświadczenie. W zaciemnionej sali ustawiamy żarówkę elektryczną (lub inne źródło światła) i otaczamy ją zasłoną, zaopatrzoną w niewielki otwór.

Zasłaniamy otwór kolejno płytkami szklanymi o różnych grubościach (lub nakładając kilka płytek na siebie) i obserwujemy, jak wpływa to na zmianę jasności otworu.

Powtarzamy to samo, używając płytek nieco okopconych lub ze szkła dymnego, następnie, zamiast płytek, płaskościennych naczyń szklanych, napełnionych wodą czystą i wodą z tuszem, potem kartek papieru i t. p.

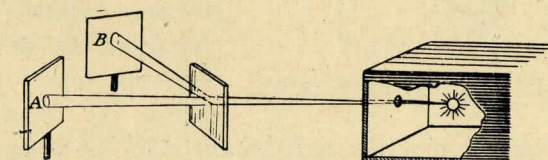
Doświadczenia te pouczają, że przenikanie światła przez ciała zależy od rodzaju ciał i ich grubości. Trudno byłoby określić wyraźną granicę między ciałami przezroczystymi i nieprzezroczystymi. Np. woda w niezbyt grubej warstwie przepuszcza światło, o czym świadczy chociażby możliwość widzenia dna płytkiego potoku; natomiast do dna głębokiego oceanu światło już nie dociera. I naodwrot, niektóre ciała, pospolicie uważane za nieprzezroczyste np. złoto, będą przepuszczać światło, o ile nadamy im postać dostatecznie cieniutkich blaszek.

Woda, szkło, powietrze, czy inne ciała, przepuszczają zawsze tylko część wnikającego w nie światła — resztę pochłaniają. Ciała „doskonale“ przezroczyste, t. j. przepuszczające światło bez żadnego uszczerbku, nie znamy; nawet najwyższy gatunek szkieł optycznych pochłania pewien nieznaczny odsetek światła.

Czy światło, padające na płytkę, wnika w nią w całości?

Doświadczenie. W zaciemnionej sali obserwujemy na ścianie lub na ekranie jasną plamę świetlną *A*, którą tworzy smuga światła, wychodząca z otworu przyrządu, jak w dośw. poprz. Przecinamy smugę ukośnie płytką szklaną i obserwujemy pojawiającą się na innej ścianie (lub innym ekranie) drugą plamę *B*, utworzoną na skutek częściowego odbicia się światła od płytki (ryc. 320).

Poruszamy płytką, nachylając ją pod różnymi kątami względem smugi. — Obserwujemy, jak w zależności od nachylenia płytki plama *B* ciemnieje lub



Ryc. 320.

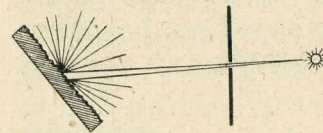
rozjaśnia się, a przytem zmienia swe położenie na ścianie. Plama *A* też zmienia swoją jasność: ciemnieje, gdy plama *B* staje się jaśniejszą, i na odwrót.

Powtarzamy to samo z płaskościennem naczyniem, napelnionem wodą.

Doświadczenia te wskazują, że światło tylko częściowo przenika do ciała przezroczystego, częściowo zaś odbija się od jego powierzchni. Zmiana jasności plamy *A* podczas poruszania płytki świadczy, że ilość przepuszczonego światła zależy od kąta nachylenia płytki względem padającej na nią smugi: Gdy smuga pada na płytkę prostopadle, wtedy plama *A* jest najjaśniejsza, czyli płytka przepuszcza wtedy największą ilość światła; w miarę pochylania płytki, płytka przepuszcza coraz mniej światła, natomiast coraz więcej odbija. To samo dzieje się i w wodzie.

Doświadczenie. Powtarzamy to samo, co w doświad. poprzednim z tą różnicą, że teraz smugę świetlną przecinamy kolejno: 1) zwierciadłem płaskim (lustrem), 2) białym kartonem, 3) okopconą płytką blaszaną.

Doświadczenia tego rodzaju wskazują, że lustro odbija światło prawie całkowicie (plama *B* jest bardzo jasna, plama *A* znika zupełnie), przyczem odbita smuga świetlna biegnie wyraźnie w jednym tylko kierunku, zależnym od kąta nachylenia lustra względem smugi.



Ryc. 321. Rozpraszanie światła.

Biały, lecz chropowaty karton odbija również światło, ale to odbicie ma inny charakter. O ile przy odbiciu od lustra wszystkie ściany sali (oprócz plamy *B*) są ciemne, to teraz cała sala się rozjaśnia,

ściany i niektóre przedmioty stają się widoczne. Znaczy to, że chropowaty karton odbija światło nie w jednym, lecz we wszystkich kierunkach, czyli je rozprasza (ryc. 321).

Wreszcie ciała czarne, jak np. sadza, ani nie przepuszczają ani nie odbijają światła, lecz pochłaniają je prawie całkowicie.

171. Prostolinjowe rozchodzenie się światła.

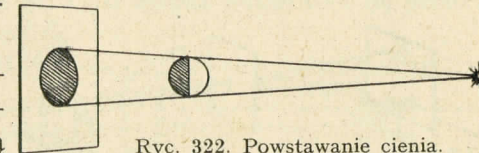
Ćwiczenie 84. Ustawimy między źródłem światła a okiem szereg przegródek z małemi otworami, stwierdzamy, że światło tylko wtedy dochodzi do oka, gdy źródło światła, oko i wszystkie otwory znajdują się na linii prostej.

Światło rozchodzi się po liniach prostych, które nazywamy *promieniami świetlnymi*; mówimy zazwyczaj: ze źródła światła rozchodzi się promienie świetlne. Wskazują to również prostolinjowe smugi świetlne w zaciemnionej sali lub w przerwach pomiędzy chmurami; smugi te widzimy dzięki rozpraszaniu się światła na rozmaitych pyłkach, znajdujących się w powietrzu.

172. Cienie i półcienie. Doświadczenie. *a)* Między źródłem światła (niewielkich rozmiarów, np. świecy) a ekranem ustawiamy kulę drewnianą; na ekranie widzimy okrągły cień (ryc. 322).

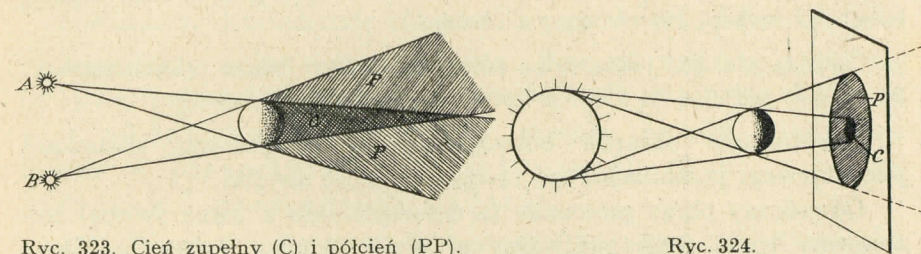
b) Zamiast jednej świecy, ustawiamy dwie *A* i *B* obok siebie, jak na ryc. 323; teraz powstaje coś innego: silny cień *C* i słabsze półcienie *PP*.

c) Zamiast świec ustawiamy inne, większe źródło światła, np. żarówkę elektryczną o matowej bańce szklanej; na ekranie powstaje teraz okrągły niowy półcień *P* (ryc. 324).



Ryc. 322. Powstawanie cienia.

Cienie i półcienie są wynikiem prostolinjowego rozchodzenia się światła; powstają one wtedy, gdy promienie świetlne padają na ciała nieprzezroczyste, jak w tym wypadku na kulę drewnianą. Cień zupełny *C* jest miejscem, dokąd nie docierają promienie ani ze źródła *A* ani z *B*; natomiast półcień *P* jest tylko częściowo oświetlony przez jedną ze świec (w dośw. *b*), wzgl. tylko

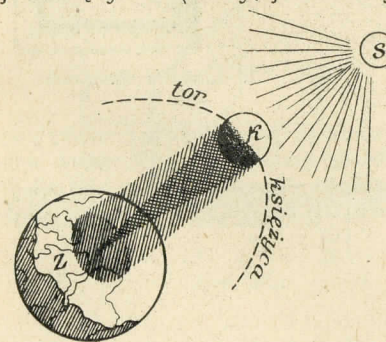


Ryc. 323. Cień zupełny (C) i półcień (PP).

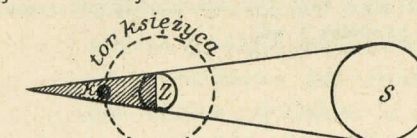
Ryc. 324.

przez część źródła światła (w dośw. *c*). Wyjaśnia to dostatecznie konstrukcja geometryczna na rycinach 323 i 324.

Doświadczenia te wyjaśniają zarazem przyczynę i warunki, w jakich powstają zaćmienia słońca czy księżyca. Oto na ryc. 325 widzimy, jak księżyc *K* (który, jak wiemy, krąży dookoła ziemi) znalazł się właśnie pomiędzy ziemią *Z* i słońcem *S*. W tych warunkach jego cień pada na pewien niewielki obszar ziemi, uniemożliwiając mieszkańcom tego obszaru ujrzanie słońca; w obrębie tego obszaru jest w tej chwili zaćmienie cał-



Ryc. 325. Warunki powstawania zaćmienia słońca.



Ryc. 326. Warunki powstawania zaćmienia księżyca.

kowite słońca. Dokoła tego rozciąga się większy krąg, objęty półcieniem, gdzie jest zaćmienie częściowe. Po chwili księżyc posunie się cokolwiek dalej; w ślad za tem zaćmienie obejmie inny obszar ziemi.

Analogiczne warunki zaćmienia księżyca przedstawia rycina 326.

173. Obrazy, utworzone przez małe otwory. Ćwiczenie 85. Przed ekranem ustawiamy 3 świece A , B , i C tak, aby ich płomień tworzyły wierzchołki trójkąta w płaszczyźnie równoległej do ekranu (ryc. 327), poczem wstawiamy między ekran a świecę zasłonę z małym otworem w środku. — Stwierdzamy, że na ekranie pojawiają się 3 obrazy tych świec; stanowią one również wierzchołki trójkąta A_1 , B_1 , C_1 , ale odwróconego względem

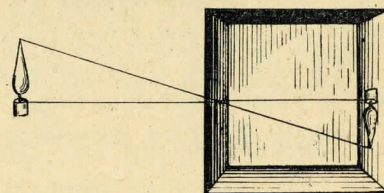
trójkąta ABC . Gasimy świece po kolei, obserwując jednocześnie, w jakiej kolejności znikają ich obrazy na ekranie.

Ćwiczenie 86. Jedną tylko świecę ustawiamy blisko otworu zasłony; na ekranie pojawia się obraz odwrócony płomienia tej świcy.

Powstawanie obrazów odwróconych w powyższych warunkach jest objawem prostoliniowego rozchodzenia się światła.

Odwrócony obraz płomienia (w doświadczeniu z jedną świecą) zrozumieć lepiej, jeśli podzielimy w myśli płomień świcy na części (górną i dolną, prawą i lewą) i będziemy uważali każdą z nich za oddzielne źródło światła.

Doświadczenie to wyjaśnia dostatecznie zasadę t. zw. *ciemni optycznej*, gdzie ekranem jest przeświecająca matowa szyba lub natłuszczony papier (ryc. 328).



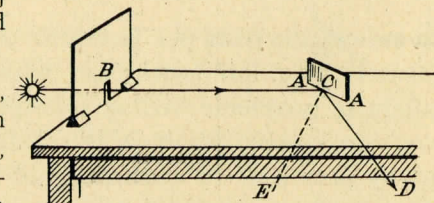
Ryc. 328. Ciemnia optyczna.

Uczeni zbadali, że światło, podobnie jak głos, nie rozprzestrzenia się momentalnie, lecz rozchodzi się na wszystkie strony ze skończoną prędkością: najszybciej w próżni i w powietrzu, mianowicie z prędkością 300 000 km/sek; w innych ciałach wolniej, np. w szkłe około 200 000 km/sek. Są to szybkości olbrzymie. Gdyby jakiś wózek poruszał się z taką samą szybkością jak sygnał świetlny, to okrążyłby całą kulę ziemską w niespełna $\frac{1}{8}$ sek.

ODBICIE ŚWIATŁA. ZWIERCIADŁA

174. Prawo odbicia światła. Ćwiczenie 87. Naprzeciw wąskiej smugi, przepuszczonej przez szczelinę przyrządu, jak na ryc. 329, ustawiamy lusterko. Kreślimy na papierze, położonym uprzednio na przyrządzie, ślad krawędzi lusterka AA oraz dwie proste BC i CD wzdłuż widocznych na papierze jasnych smug świetlnych: padającej ze szczeliny na lusterko i odbitej od lusterka.

Wyjmujemy kartkę z przyrządu, kreślimy na niej (już przy pełnym świetle) prostopadłą CE do prostej AA , czyli t. zw. *prostopadłą padania* w punkcie C , gdzie padała na lustro smuga świetlna i w końcu porównujemy z sobą kąty: *kąt padania* BCE z kątem *odbicia* ECD .



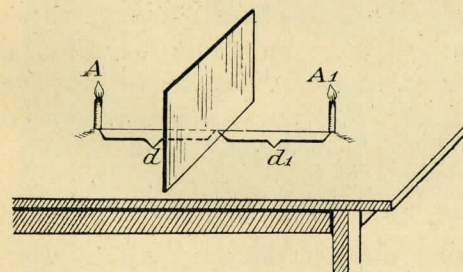
Ryc. 329. Odbicie światła.

Powtarzamy doświadczenie kilkakrotnie przy różnych kątach padania.

Poznaliśmy prawo odbicia światła: Promień świetlny odbija się od lustra (czyli zwierciadła) zawsze w ten sposób, że jego kąt odbicia jest równy kątowi padania; przytem promień odbity leży zawsze w płaszczyźnie, przechodzącej przez promień padający i prostopadłą padania.

175. Obrazy w zwierciadłach płaskich. Ćwiczenie 88. a) Ustawiamy naprzeciw lustra dowolny przedmiot, np. świecę lub ołówek, i zbliżając go lub oddalając względem lustra, obserwujemy zachowanie się jego obrazu w lustrze.

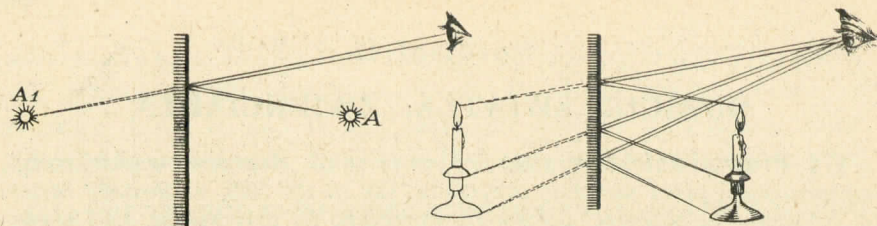
b) Powtarzamy to samo, używając zamiast lustra płaskościenną płytki szklanej (ryc. 330). Ustaliwszy świecę A w dowolnej odległości d od płytki, obserwujemy w niej, jak w lustrze, obraz świcy A_1 i, patrząc ciągle przez szybę, ustawiamy w A_1 drugą świecę w takiej odległości d_1 od szyby, by jej kontury zwały się z obserwowanym obrazem. Wkońcu mierzymy odległość d_1 i porównujemy ją z odległością d_2 .



Ryc. 330.

Obrazy przedmiotów w zwierciadłach płaskich znajdują się zawsze w takiej samej odległości za lustrem, jak odległość przedmiotu od lustra.

Tworzenie się tych obrazów wyjaśniają ryciny 331 i 332. Rozważmy najpierw powstawanie obrazu jednego tylko punktu świecącego. Gdy



Ryc. 331.
Geometryczne wyznaczenie obrazu w zwierciadle.

na zwierciadło pada pęk promieni, wychodzących z punktu świecącego A (oświetlonego lub świecącego własnym światłem), wtedy zwierciadło odbija te promienie według znanego nam prawa odbicia. Oko obserwatora, do którego wpadają te odbite promienie, doznaje złudzenia, jak gdyby promienie te wychodziły ze wspólnego punktu A_1 , znajdującego się za lustrem; obraz taki nazywamy pozornym albo urojonym. (Podobne wrażenia odnosi także nasze ucho przy zjawisku odbicia fal głosowych; dopatruje się ono źródła głosu tam, skąd przyszło echo). Ze względu na równość kątów padania i odbicia, obraz A_1 , jak to wskazuje konstrukcja geometryczna, leży na prostej, poprowadzonej prostopadłe od A do lustra i w takiej samej od lustra odległości.

Jeśli przed lustrem znajduje się nie jeden punkt, lecz przedmiot, złożony z wielu punktów, wtedy możemy znaleźć jego obraz, rozbijając przedmiot (w myśli) na punkty i stosując do każdego z nich konstrukcję geometryczną, jak na ryc. 332.

176. Zastosowanie poznanych praw w życiu codziennym. Człowiek nie jest zdolny zmienić praw natury. Gdy jednak pozna je i zrozumie, potrafi je wykorzystać umiejętnie do swego użytku.

Tak więc zrozumiałwszy prawa rozchodzenia się i odbicia światła, budujemy nasze mieszkania w ten sposób, aby jak najwięcej okien dać po stronie południowej; w tej bowiem stronie najdłużej w ciągu dnia znajduje się słońce, którego światło jest niezbędne dla naszego zdrowia. Pomieszczenia po stronie północnej, gdzie promienie słoneczne są rzadkim gościem albo wogóle nie docierają, przeznaczamy nie na izby mieszkalne, lecz na komory, spiżarnie i t. p. Chropowate ściany mieszkania, zwłaszcza powałę, malujemy zazwyczaj na białą, by umożliwić równomierne rozpraszanie światła po całym mieszkaniu i jaknajbardziej zmniejszyć pochłanianie.

Sposób rozstawienia mebli również nie jest bez znaczenia. A więc biurko w pokoju, czy ławki w klasie, ustawiamy względem okien tak, aby siedzące w nich osoby miały okna (źródła światła) po lewej ręce; w przeciwnym wypadku osobie piszącej przeszkadzałby ustawicznie cień, rzucany na pismo przez prawą rękę. Tak samo postępujemy ze

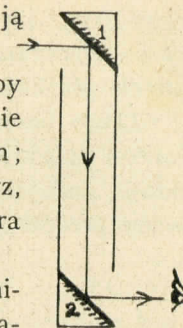
sztucznym źródłem światła, np. z lampą, stawiając ją po lewej ręce, gdy piszemy wieczorem.

Lustro w pokoju ustawiamy w takim miejscu, aby twarz osoby, zwróconej do lustra, była dostatecznie oświetlona, a więc zwrócona jednocześnie w stronę okien; wtedy promienie świetlne padają z okna wprost na twarz, stąd rozpraszają się i padają na lustro, a odbite od lustra wpadają do oczu.

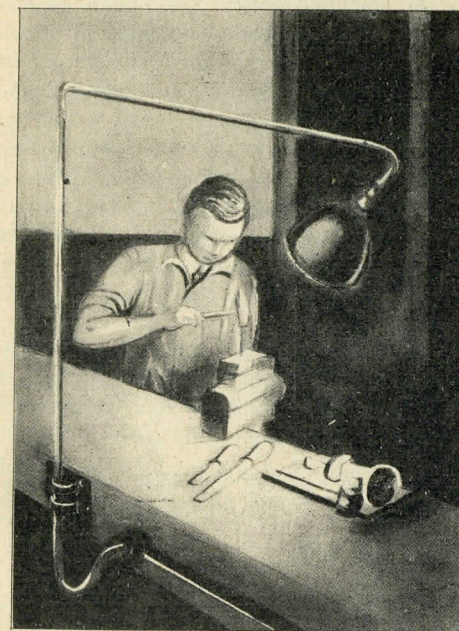
Zwierciadła mają również zastosowanie w komunikacji, zapobiegając w dużym stopniu zderzeniu się samochodów. I tak kierowca samochodu ma przed sobą umocowane lusterko, w którym widzi obraz pędzącego z tyłu drugiego samochodu. W innym lustrze, umieszczonym niekiedy na skrzyżowaniu ulic, widzi także obraz innego samochodu, nadjeżdżającego właśnie z bocznej ulicy.

Ciekawym zastosowaniem zwierciadeł są t. zw. periskopy, t. j. przyrządy, pozwalające obserwować np. powierzchnię morza z wnętrza łodzi podwodnej, zanurzonej w wodzie, albo teren bojowy ze schronu w głębi ziemi. Zasadę periskopu wyjaśnia ryc. 333.

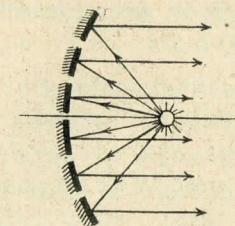
Promienie świetlne, wysyłane przez przedmiot, padają na lustro 1, odbijają się od niego i padają na drugie lustro 2, a stąd po ponownym odbiciu wpadają do oka obserwatora. W wielu innych przypadkach,



Ryc. 333.
Schemat periskopu.



Ryc. 334. Reflektor skupia światło w pożądanym miejscu.



Ryc. 335. Zasada działania reflektora.

gdzie chodzi o rzucenie skupionego światła na poszczególne przedmioty (np. w oknach wystawowych, w fabrykach przy warsztatach robotników) używa się zwierciadeł wklęsłych, zwanych reflektora-

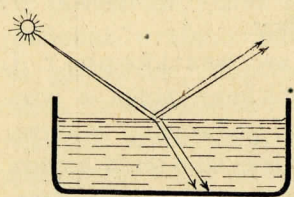
rami (ryc. 334). Skupiające działanie reflektora zrozumiemy od razu, skoro wyobrazimy sobie, że jest on złożony z licznych malutkich lusterek płaskich, ustawionych pod rozmaitemi kątami (ryc. 335).

Także liczne przyrządy naukowe wyposażone są w lustra. Między innymi znajdujemy je w mikroskopach (ob. ryc. 356), gdzie małe lustro odbija padające na nie promienie świetlne i skierowuje je na obserwowany przedmiot.

Rozdział III

ZAŁAMANIE ŚWIATŁA

177. Załamanie światła przy przechodzeniu z jednego ośrodka do innego. Doświadczenie. W zaciemnionej sali wpuszczamy smugę światła ukośnie do wody, znajdującej się w naczyniu szklanym, jak na ryc. 336. Obserwując bieg promieni w powietrzu i w wodzie, stwierdzamy, że promienie, wszedłszy do wody, zmieniły pierwotny kierunek biegu; promienie świetlne załamały się na granicy powietrza i wody. (Część ich odbija się od powierzchni wody).



Ryc. 336. Załamanie światła w wodzie.

Zmieniamy kierunek promieni padających, powiększając kąt padania α . *Kątem padania* — ob. ryc. 340, nazywamy kąt α , zawarty między promieniem padającym BC i t. zw. *prostopadłą padania*, t. j. prostą, wykreśloną prostopadle do powierzchni AA , stanowiącej granicę między dwoma różnymi ośrodkami przezroczystymi. Kąt zaś β , zawarty między prostopadłą padania i promieniem załamanym CF , nazywamy *kątem załamania*. Stwierdzamy, że ze wzrostem kąta α wzrasta i kąt β , ale znacznie wolniej; jest on zawsze mniejszy od kąta α .

Zmniejszamy kąt padania aż do 0° , t. z. wpuszczamy promień do wody wzdłuż prostopadłej padania. — Kąt załamania maleje, dochodząc w końcu również do 0° ; gdy promienie padają prostopadle do wody, wtedy nie załamują się.

W doświadczeniu tem poznaliśmy nowe prawo optyki: Gdy promienie świetlne wchodzi ukośnie z powietrza do wody, załamują się ku prostopadłej padania.

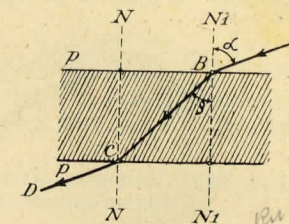
Czy dotyczy to także innych ciał przezroczystych?

Ćwiczenie 89. Przygotowujemy ten sam przyrząd, jakim posługiwaliśmy się przy pomiarze kątów padania i odbicia światła, z tą różnicą, że teraz, zamiast lusterka, użyjemy płaskościenną płytki szklanej.

Smugę, biegnącą ze szczeliny, przecinamy ukośnie naszą płytką i kreślimy na podłożonej kartce papieru krawędzie płytki pp , a następnie kolejny bieg smugi: w powietrzu — AB , w szkłe — BC i znowu w powietrzu — CD (ryc. 337).

Powtarzamy doświadczenie przy innych kątach padania i innych grubościach płytek (składając ew. dwie płytki razem).

Doświadczenie to wskazuje, że nie tylko w wodzie, ale i w szkłe załamuje się światło. Stwierdzono, że załamanie takie następuje zawsze na granicy dwu różnych ośrodków przezroczystych. Przytem załamanie odbywa się w tym sensie, że przy przechodzeniu światła z powietrza do wody lub szkła promienie świetlne załamują się *ku* prostopadłej padania. Wodę i szkło nazywamy ciałami optycznie gęstszymi od powietrza. Przy przejściu zaś światła z ośrodka optycznie gęstszego do rzadszego promienie załamując się, odchylają się *od* prostopadłej padania.



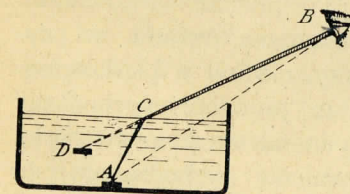
Ryc. 337. Załamanie światła przy przechodzeniu przez płaskościenną płytkę szklaną.

Sprawdzamy to na kartce, uzupełniając obraz, otrzymany z doświadczenia, prostopadłymi padania NN i N_1N_1 , jak na ryc. 337.

Zrozumiawszy prawo załamania światła, łatwo nam teraz wytłumaczyć przyczynę wielu złudzeń, jakim ulegamy przy niektórych zjawiskach świetlnych, np. pozorne przełamanie wiosła w wodzie, łyżeczki w herbatce i t. p. Przyczynę tego wyjaśnia od razu następujące doświadczenie:

Doświadczenie. Na dno blaszanego naczynia kładziemy jasny guzik i oddalamy się tak daleko, aby go stracić z oczu, t. zn. aby prosta AB , łącząca guzik z okiem, została przecięta ścianką naczynia. Następnie, nie ruszając się z miejsca, każemy komuś nalać wody do naczynia; guzik staje się od razu widoczny.

Oczywiście możność zobaczenia guzika po napełnieniu naczynia wodą zawdzięczamy załamaniu się światła. Weźmy pod uwagę wąski pęk promieni, wychodzący z guzika A w kierunku C (ryc. 338). Pęk ten, dotarłszy do powierzchni wody, załamuje się na niej i wpada do oka obserwatora. Dzięki temu guzik staje się dla obserwatora widocznym,

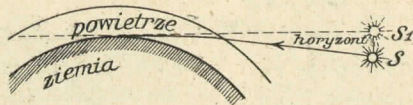


Ryc. 338. Złudzenie optyczne, polegające na zjawisku załamania światła.

przyczem obserwator doznaje złudzenia, że guzik znajduje się w miejscu D , t. j. bliżej powierzchni wody. Tego rodzaju złudzeń doznajemy też, gdy patrzymy z brzegu na dno rzeki; rzeka wydaje się nam płytsza, niż jest w rzeczywistości.

Załamanie światła w powietrzu atmosferycznym sprawia, że możemy widzieć słońce nawet wtedy, gdy znajduje się

ono już poniżej horyzontu (t. j. przed wschodem i po zachodzie słońca). Wyjaśnia to rycina 339. Pęk promieni, wysłany przez słońce S ,

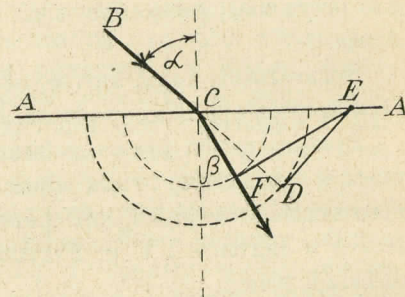


Ryc. 339. Załamanie promieni słońca w powietrzu atmosferycznym.

wchodzi w coraz gęstsze warstwy powietrza, dzięki czemu załamuje się stopniowo i przybiera kształt łuku; gdy wreszcie wpadnie do oka obserwatora, obserwator doznaje złudzenia, jak gdyby promień

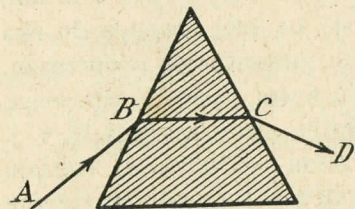
nadszedł od S_1 , tam też wyobraża sobie położenie słońca. Takiego samego złudzenia doznajemy przy obserwacji gwiazd. Przyczyną zjawiska załamania jest zmiana szybkości światła przy przejściu z jednego ośrodka przezroczystego do drugiego, np. z powietrza do szkła. Jeśli znamy szybkości światła w obu ośrodkach, możemy znaleźć dla każdego kąta padania α odpowiadający mu kąt załamania β konstrukcją geometryczną w sposób następujący:

Niech prosta AA oznacza granicę dwu ośrodków, np. nad AA powietrze i pod AA szkło (ryc. 340), i niech BC oznacza promień światła, padającego na powierzchnię szkła pod kątem α . Wiedząc, że szybkość światła w powietrzu wynosi $v_1 = 300\,000$ km/sek, a w szkłe $v_2 = 200\,000$ km/sek, czyli że ich stosunek $v_1 : v_2 = 3 : 2$, kreślimy z punktu C (jako środka) dwa półkola o promieniach $r_1 = 3$ i $r_2 = 2$, poczem przedłużamy BC aż do przecięcia się z większym półkolem w punkcie D , tu kreślimy styczną i przedłużamy ją aż do przecięcia z prostą AA w punkcie E , stąd wykreślamy styczną do mniejszego półkola i wreszcie przez ten punkt stycznej prowadzimy promień CF . Znalazioną tą drogą wartość kąta β może czytelnik sprawdzić doświadczalnie. Uzasadnienie tej konstrukcji musimy odłożyć na wyższy stopień nauczania fizyki.



Ryc. 340.

178. Załamanie w pryzmacie. Ćwiczenie 90. Robimy doświadczenie, podobnie jak na ryc. 337, z tą różnicą, że zamiast płaskościenną płytką, przecinamy smugę świetlną szklanym klinem, czyli t. zw. pryzmatem (ryc. 341).



Ryc. 341. Załamanie światła w pryzmacie.

Rezultat załamania światła w pryzmacie jest inny, niż był w płaskościennnej płytce. Tam promień, wychodzący z płytki, był tylko nieco przesunięty względem promienia wchodzącego do płytki, lecz kierunku biegu nie zmienił.

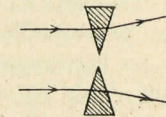
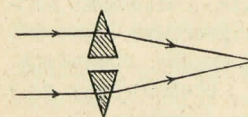
Tu promień CD , wychodzący z pryzmatu, zmienia kierunek względem kierunku AB , w jakim padał na pryzmat; dzięki

pryzmatowi następuje odchylenie promienia od jego kierunku pierwotnego.

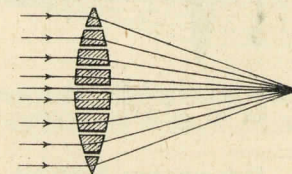
Ćwiczenie 91.

A) Składamy razem dwa pryzmaty podstawami, jak na ryc. 342 (lewy rysunek), i wstawiamy ten układ w bieg dwu równoległych smug świetlnych, wychodzących z dwu szczelin zasłony; smugi, po przejściu przez pryzmaty, przecinają się wzajemnie, czyli są zbieżne.

B) Te same pryzmaty ustawiamy wierzchołkami ku sobie; smugi świetlne rozchodzą się teraz — są rozbieżne (ryc. 342 — prawy rys.).



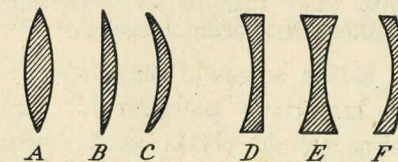
Ryc. 342.



Ryc. 343. Układ pryzmatów o różnych kątach łamiących skupia wiązkę promieni równoległych.

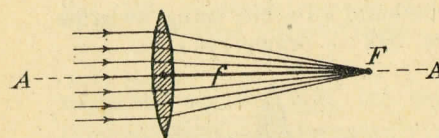
Rzecz jasna, że zamiast dwóch, możemy użyć większej liczby pryzmatów o różnych kątach łamiących, jak to wskazuje ryc. 343. A wówczas taki zespół pryzmatów pozwoli nam uzyskać z wiązek promieni równoległych pęki zbieżne lub rozbieżne, zależnie od tego, czy ułożymy pryzmaty podstawami ku środkowi, czy nazewnątrz. O wiele prościej otrzymamy podobne rezultaty, gdy użyjemy do tego celu gotowych już, oszlifowanych odpowiednio soczewek.

179. Soczewki. Na ryc. 344 widzimy dwie grupy soczewek o rozmaitych kształtach: A — dwuwypukła, B — płaskowypukła, C — wklęsłowypukła, D — płaskowklęsła, E — dwuwklęsła i F — wklęsłowypukła. Pierwsza grupa A , B i C to soczewki skupiające, gdyż każda z nich jest jak gdyby układem pryzmatów, złożonych podstawami ku środkowi soczewki; druga grupa D , E i F to soczewki rozpraszające, gdyż każda z nich przypomina nam układ pryzmatów, złożonych podstawami na zewnątrz. Po tych właśnie cechach odróżnimy je łatwo nawet pociemku: wystarczy chwycić soczewkę w środku palcami i przesunąć palce ku brzegom soczewki: gdy soczewka okaże się grubsza w środku niż na obwodzie, jest ona skupiająca.



Ryc. 344. Soczewki: skupiające (A , B , C) i rozpraszające (D , E , F).

Promienie wiązki światła słonecznego, jaka pada na soczewkę, możemy uważać za *równoległe* względem siebie. Promienie te, dzięki załamaniu w soczewce, przecinają się w jednym miejscu, nieomal w punkcie; punkt ten nazywamy *ogniskiem* soczewki skupiającej (F , ryc. 345). Odległość f ogniska od soczewki nazywamy odległością ogniskową, albo krótko *ogniskową* danej soczewki. Prostą AA' (przechodzącą



Ryc. 345. Ognisko (F) i ogniskowa (f) soczewki skupiającej.

przez środek soczewki i prostopadłą do obu jej powierzchni) nazywamy osią główną soczewki.

Doświadczenie. Ustawiamy soczewkę prostopadle do promieni słonecznych, a po przeciwnej jej stronie, równoległe do niej, biały kartonik i obserwujemy na nim jasną okrągłą plamę świetlną.

Przesuwamy kartonik, zbliżając i oddalając go od soczewki; plamka zwiększa się lub maleje.

Zatrzymujemy kartonik w tem położeniu, przy którym plamka jest najmniejsza, i mierzymy odległość f soczewki od plamki na kartoniku.

Obserwujemy jeszcze działanie skupionych na kartoniku promieni: W miejscu skupienia F papier zaczyna dymić; palec, przytrzymany tam przez chwilę, odczuwa silne gorąco; główka zapalniczki zapłonie tam ogniem.

Odwracamy soczewkę przeciwną stroną do słońca; wszystkie objawy są takie same i przy tej samej odległości kartonika.

Promień świetlny, biegnący wzdłuż osi głównej soczewki, nie zmienia kierunku po przejściu przez soczewkę (nic dziwnego, bo środkową część soczewki możemy uważać za małą płytkę płaskościenną); wszystkie pozostałe promienie, równoległe do osi, skupiają się po przeciwnej stronie soczewki w jej ognisku.

Ćwiczenie 92. Mierzmy (przy użyciu promieni słonecznych) ogniskowe kilku różnych soczewek skupiających i wykreślamy na kartkach bieg promieni dla każdej soczewki.

Różne soczewki mają różne ogniskowe. Długość ogniskowej zależy od krzywizny powierzchni soczewki: im bardziej kształt soczewki zbliża się do płytki płaskościennej, tem większa jest jej ogniskowa.

Doświadczenie. W zaciemnionej sali ustawiamy przed soczewką źródło światła tak, by znalazło się w ognisku soczewki (soczewka winna mieć możliwie dużą średnicę; źródło światła możliwie niewielkie — „punkt“ świecący). — Obserwujemy wiązkę równoległych promieni, wychodzącą z soczewki.

Jeśli punkt świecący (wzgl. niewielkie źródło światła) znajduje się w ognisku soczewki, wtedy wysłane przezeń promienie, po przejściu przez soczewkę, są względem siebie *równoległe*. Jest to bardzo prosty i często stosowany sposób otrzymywania równoległych wiązek światła.

180. Obrazy w soczewkach skupiających. Ćwiczenie 93. Na ławie optycznej po jednej stronie soczewki skupiającej ustawiamy źródło światła, np. dużą żarówkę tak, by jej odległość od soczewki była większa od ogniskowej soczewki. Po przeciwnej stronie soczewki przesuwamy biały ekran dopóty, dopóki nie ujrzymy na nim wyraźnego obrazu naszej żarówki; obraz żarówki jest odwrócony. Mierzmy wysokości: obrazu (H) i przedmiotu (h) oraz odległości: obrazu od soczewki (b) i przedmiotu od soczewki (a) i porównujemy stosunki $\frac{H}{h}$ i $\frac{b}{a}$.

Oddalamy żarówkę od soczewki — obraz na ekranie zanika; pojawia się dopiero po zbliżeniu ekranu do soczewki i jest mniejszy niż przedtem. Mierzmy i porównujemy znowu $\frac{H}{h}$ i $\frac{b}{a}$.

Zbliżamy żarówkę stopniowo do ogniska, odsuwając jednocześnie ekran od soczewki — obraz na ekranie gwałtownie się powiększa, aż wreszcie zanika i nie daje się już wcale uchwycić na ekranie.

Gdy odległość a przedmiotu świecącego od soczewki jest większa od ogniskowej f soczewki, wtedy soczewka wytwarza obraz, dający się chwycić na ekran. Obraz taki nazywamy *rzeczywistym*, ponieważ powstające wówczas jasne plamy na ekranie nie są złudzeniem naszego oka, lecz rzeczywistym skupianiem się w tych miejscach promieni, wysyłanych przez świecący przedmiot.

Odległość b obrazu od soczewki zależy od odległości a przedmiotu od soczewki. Im a jest większe, tem b jest mniejsze, i naodwrot; gdy jednak wartość a zbliża się do wartości f soczewki, wtedy b gwałtownie rośnie i obraz nam umyka — przy $a=f$ obraz rzeczywisty wcale nie powstaje.

Na szczególną uwagę zasługuje przypadek, gdy $a=2f$; wtedy, jak wykazuje doświadczenie, jest także $b=2f$. Przypadek ten ułatwia nam dokonanie pomiaru ogniskowej soczewki, gdy z tej czy innej przyczyny nie możemy korzystać z promieni słonecznych. Wystarczy w tym celu na ławie optycznej zestawzić układ tak, aby odległość obrazu stała się równą odległości przedmiotu, a wtedy połowa jednej z tych odległości daje nam długość ogniskowej danej soczewki.

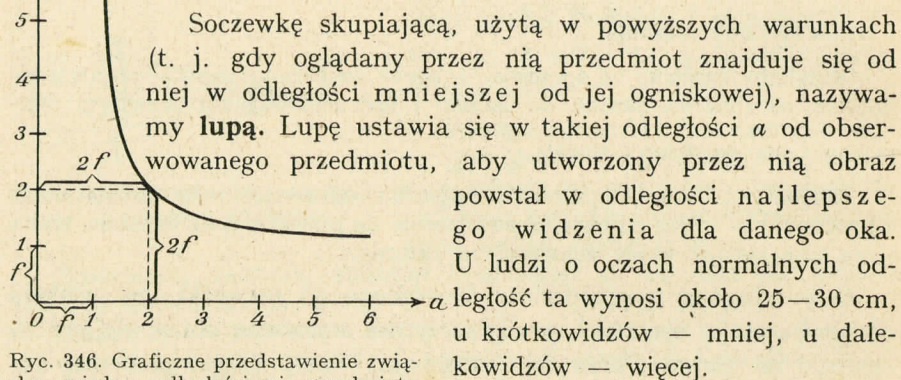
Wszystko to można ująć graficznie w sposób, przedstawiony na ryc. 346. Z wykresu tego widać odrazu, jak przy niewielkich wartościach a nawet mała zmiana tej wartości powoduje gwałtowną zmianę odległości b .

Wielkość obrazu jest, jak widzieliśmy, tem większa, im bliżej ogniska znajduje się przedmiot. W przypadku $a=2f$ obraz jest tak samo wielki jak przedmiot. Obrazy rzeczywiste są zawsze odwrócone.

Porównując każdorazowe stosunki b/a i H/h , stwierdzamy, że są one równe: $b/a = H/h$.

Ćwiczenie 94. Ustawiamy przedmiot świecący przed soczewką w odległości mniejszej, niż ogniskowa soczewki. Przesuwamy ekran wzdłuż całej ławy optycznej i dalej poza ławę — na ekranie niema obrazu. Usuwamy ekran i patrzymy przez soczewkę na świecący przedmiot — zamiast przedmiotu widzimy powiększony jego obraz.

Oddalamy powoli przedmiot od soczewki aż do ogniska — widzimy, że obraz oddala się i powiększa, aż wreszcie znika.



Ryc. 346. Graficzne przedstawienie związku między odległościami przedmiotu świecącego i jego obrazu od soczewki.

Obrazy takie nazywamy *pozor-nymi* albo *urojonymi*. Obraz pozorny jest powiększony i nieodwrócony czyli prosty. Powstaje on wtedy, gdy odległość przedmiotu od soczewki jest mniejsza od ogniskowej soczewki.

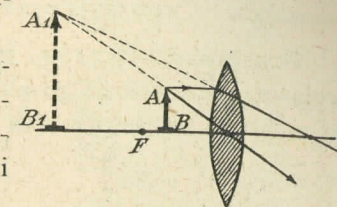
181. Wyznaczanie obrazów zapomocą konstrukcji geometrycznej. Jeśli znamy ogniskową f soczewki i odległość a przedmiotu od soczewki, możemy wyznaczyć położenie i wielkość obrazu sposobem geometrycznym, jak na ryc. 347. Rozumujemy przytem i wykonywamy konstrukcję w następującej kolejności:

Niech strzałka AB wyobraża nasz przedmiot świecący. Podzielmy ją w myśli na szereg punktów i uważajmy każdy z nich za oddzielne źródło światła. Weźmy pod uwagę którykolwiek z punktów, np. najwyżej położony A . Z punktu tego wychodzi w kierunku soczewki pęk promieni, który po przejściu przez soczewkę skupi się znowu w jednym punkcie, tworząc tam obraz A_1 . Jak wyznaczyć geometrycznie A_1 ? Wystarczy w tym celu śledzić bieg dwu dowolnych promieni tego pędu aż do ich przecięcia. Najdogodniej wykreślić jeden m , przechodzący przez środek soczewki, drugi n — równoległy do osi głównej soczewki. O pierwszym m wiemy, że przejdzie on przez soczewkę, nie zmieniając kierunku; drugi n

Ryc. 347. Wyznaczanie położenia i wielkości obrazu zapomocą konstrukcji geometrycznej.

musi przejść przez ognisko F soczewki. Wykreśliwszy zgodnie z tem drogi obu promieni, otrzymujemy ich punkt przecięcia A_1 . W podobny sposób postępujemy z innymi punktami strzałki AB , dzięki czemu otrzymamy odpowiadające im obrazy A_1B_1 .

Przesuwając następnie strzałkę AB bliżej lub dalej od soczewki i wykreślając dla każdego położenia taką samą konstrukcję, stwierdzimy, że istotnie stosunki $\frac{b}{a}$ i $\frac{H}{h}$, oraz ich zależności, otrzymane tą drogą, zgadzają się z tem, co obserwowaliśmy w naszych doświadczeniach.

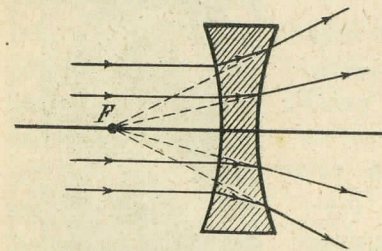


Ryc. 348. Geometryczna konstrukcja obrazu pozornego, widzianego przez lupę.

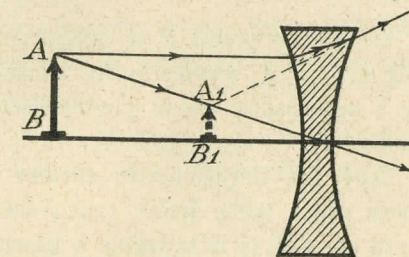
Rycina 348 przedstawia konstrukcję obrazu pozornego A_1B_1 przedmiotu AB . Tu promienie, po przejściu przez soczewkę, nie skupiają się, lecz są rozbieżne. Oko doznaje wrażenia, jak gdyby promienie wychodziły z punktu A_1 , a nie z A .

182. Obrazy w soczewkach rozpraszających. Ćwiczenie 95. Ustawiamy prostopadle do promieni słonecznych soczewkę rozpraszającą a po przeciwnej stronie kartonik. Na kartoniku pojawia się okrągła przyćmiona nieco plama, otoczona jasnym pierścieniem.

Przyczynę powstawania jasnego pierścienia dokoła przyćmionego krążka nietrudno wyjaśnić. Wszak promienie równoległe, po przejściu przez soczewkę, są przez nią odchylane na zewnątrz; tworzą więc poza soczewką pęk promieni rozbieżnych. Każdy punkt pierścienia jest



Ryc. 349. Załamanie promieni świetlnych w soczewce rozpraszającej. F = urojone ognisko soczewki.



Ryc. 350. Obraz pozorny A_1B_1 przedmiotu AB , widziany przez soczewkę rozpraszającą.

oświetlany nie tylko przez promienie idące bezpośrednio od słońca (z pominięciem soczewki), ale jeszcze dodatkowo przez odchylone promienie skrajne; środkowa część pozostaje zato przyćmiona.

Przedłużając ów rozbieżny pęk w tył, jak na ryc. 349, otrzymamy pozorny ich punkt zbieżności F ; jest on jakby ogniskiem soczewki

rozpraszającej — nazywamy go ogniskiem urojonem takiej soczewki.

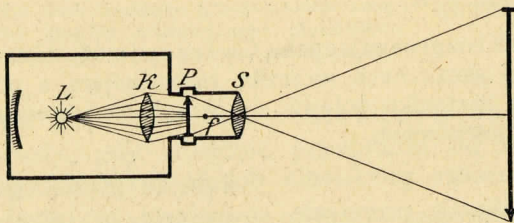
Ćwiczenie 96. Obserwujemy jakikolwiek przedmiot przez soczewkę rozpraszającą — widzimy pomniejszony obraz pozorny tego przedmiotu.

Powstawanie obrazów, wytworzonych przez soczewkę rozpraszającą, wyjaśnia konstrukcja geometryczna na ryc. 350. Niechaj czytelnik sam to wykreśli, rozumując tak samo, jak przy soczewkach skupiających.

Rozdział IV

NARZĘDZIA OPTYCZNE

183. Latarnia projekcyjna. Jeśli przedmiotem świecącym na ryc. 351 będzie jakieś przeźrocze P (t. zn. szybka z fotografią lub z malowidłem), oświetlone od tyłu silnym źródłem światła L , wtedy soczewka



Ryc. 351. Schemat latarni projekcyjnej. L = źródło światła, K = kondensor, P = przeźrocze, S = soczewka.

S , ustawiona przed P w odległości nieco większej niż jej f , wytworzy na ekranie powiększony i odwrócony obraz rzeczywisty tego przedmiotu.

Aby nie dopuścić do ekranu innych promieni prócz tych, które rzuci soczewka, umieszcza się całe to urządzenie w blaszanej skrzynce z otworem na soczewkę S . Otrzymujemy w ten sposób najprostszą latarnię projekcyjną, która w przyćmionej sali może służyć do wyświetlania obrazów. Soczewkę S latarni nazywamy *objektywem*; składa się on zwykle nie z jednej, lecz z zespołu kilku soczewek, celem uzyskania wyraźnych i jasnych obrazów.

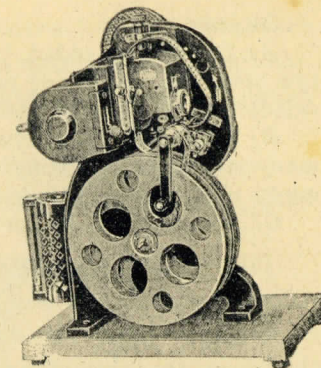
Aby zwiększyć jasność obrazu, trzeba możliwie silnie oświetlić przeźrocze; służy do tego dodatkowy zespół soczewek K , zwany *kon-*



Ryc. 352. Taśma filmowa (wielkość naturalna).

densorem. Kondensor, umieszczony między źródłem światła a przeźroczem, chwytą szeroki pęk promieni, wychodzących ze źródła i skupia je na przeźroczu.

Latarnia projekcyjna jest też używana do wyświetlania filmów w kinoteatrach. Film jest taśmą, złożoną z długiej serii kolejnych przeźroczy (ryc. 352); przesuwany szybkimi skokami przed obiektywem latarni, daje na ekranie złudzenie ciągłości. Wygląd takiego aparatu przedstawia ryc. 353.



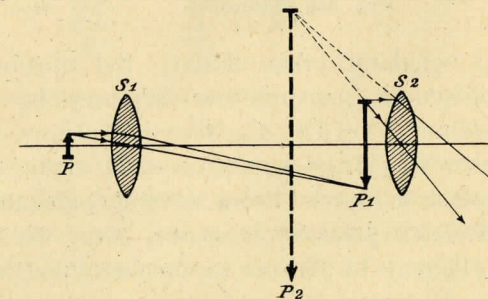
Ryc. 353. Mały aparat filmowy wąskotaśmowy.

184. Aparat fotograficzny jest jakby odwróceniem latarni projekcyjnej. Składa się ze skrzynki, t. zw. ciemni optycznej, z otworem na soczewkę, zwaną *objektywem* (ryc. 354). Gdy przed soczewką ustawimy w odpowiedniej odległości przedmiot świecący AB , soczewka rzuci na tylną ścianę aparatu jego obraz rzeczywisty zmniejszony A_1B_1 . Tam właśnie zakłada się kliszę fotograficzną w celu jej wyświetlenia. (Gdybyśmy w miejscu A_1B_1 ustawili jakiś przedmiot świecący, np. oświetlone przeźrocze, otrzymalibyśmy w AB powiększony i odwrócony obraz tego przedmiotu — aparat pełniłby wtedy rolę latarni projekcyjnej).

Aby umożliwić fotografowanie przedmiotów z rozmaitych odległości a , soczewkę aparatu daje się wysuwać, a przez to można zmieniać jego odległość b od tylnej ściany aparatu.

185. Mikroskop i luneta. Ćwiczenie 97. Zapomocą soczewki S_1 wytwarzamy na ławie optycznej powiększony obraz rzeczywisty P_1 przedmiotu P . Na ten obraz patrzymy przez drugą soczewkę S_2 , traktując ją jako lupę; widzimy przez nią odwrócony powiększony obraz P_2 (ryc. 355).

Taki zespół soczewek S_1 i S_2 stanowi podstawę mikroskopu i lunety. W przyrządach tych soczewkę S_1 nazywamy *objektywem*, S_2 — *okularem*.



Ryc. 355. Otrzymywanie obrazu zapomocą zespołu, złożonego z dwu soczewek: S_1 = soczewka przedmiotu i S_2 = okularu.

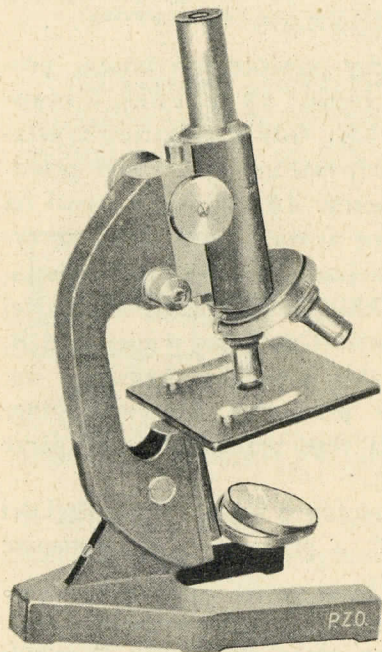
Ćwiczenie 98.

A) Zestawiamy układ, jak w ćwiczeniu poprzednim, używając na obiektyw soczewki o długiej ogniskowej; przez otrzymaną w ten sposób *lunetę*, oglądamy odległe drzewa, kominy i t. p.

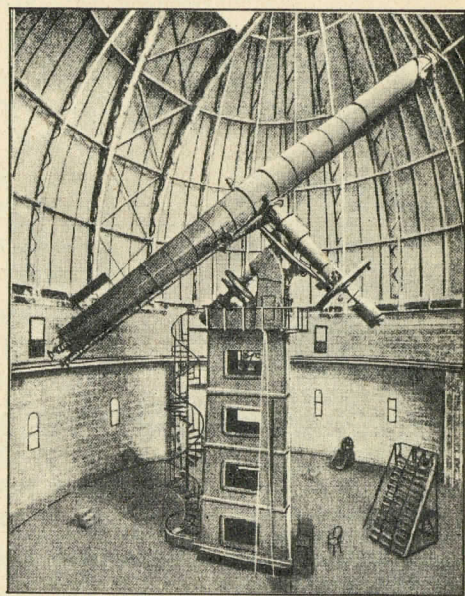
B) Zmieniamy obiektyw na inny o krótkiej ogniskowej; przez otrzymany *mikroskop* oglądamy skrawki papieru, tkaniny czy inne drobne przedmioty umieszczone blisko obiektywu.

C) Sprawdzamy oba przypadki konstrukcją geometryczną.

Jak widać, zasadnicza różnica między mikroskopem a lunetą polega na tem, że obiektyw mikroskopu ma ogniskową krótką, a obiektyw lunety — długą. Nic dziwnego. W obu przyrządach chodzi o to, aby obraz rzeczywisty, wytworzony przez obiektyw



Ryc. 356. Mikroskop.



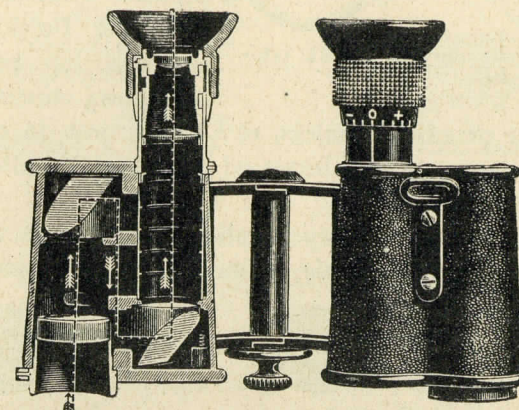
Ryc. 357. Wielka luneta astronomiczna.

(i oglądany przez okular), był możliwie wielki. Mikroskop służy do oglądania przedmiotów drobnych, które możemy umieszczać dowolnie blisko obiektywu; musimy tu więc użyć na obiektyw soczewki silnie powiększającej, czyli o krótkiej ogniskowej. Natomiast w lunecie, która służy do oglądania przedmiotów wielkich, ale daleko położonych, chodzi o to, aby obrazu zbytnio nie zmniejszać; osiągamy to właśnie zapomocą obiektywu o długiej ogniskowej.

Podobnie, jak w latarni projekcyjnej, tak w lunecie i mikroskopie soczewki obiektywów i okularów nie są pojedyncze, lecz są zespołami,

złożonemi z paru soczewek o różnych krzywiznach i sporządzonych z różnych gatunków szkła. Zabieg ten ma na celu uzyskanie jak najbardziej czystych i wyraźnych obrazów. Wygląd mikroskopu i lunety przedstawiają ryciny 356 i 357.

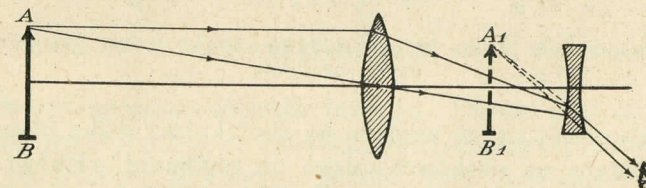
W lunecie, jaką poznaliśmy, obrazy są odwrócone. Okoliczność ta jest często niewygodna, gdyż utrudnia szybką orientację, np. przy



Ryc. 358. Lornetka pryzmatyczna (Bieg promienia świetlnego i jego kolejne odbicia od ścianek pryzmatów wskazują strzałki).

oglądaniu pozycji i ruchu nieprzyjaciela w czasie wojny. To też lunety, używane do tych celów, są wykonane tak, że dają obrazy nieodwrócone. Są to t. zw. lornetki, np. polowe, teatralne i t. p. Lornetka składa się z dwóch lunetek, po jednej dla każdego oka.

Obrazy nieodwrócone można otrzymać różnemi sposobami. Np. na ryc. 358 odwrócenie uzyskujemy dzięki systemowi lusterek w każdej

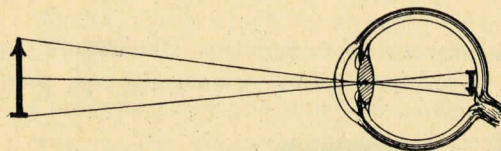


Ryc. 359. Schemat lunety Galileusza.

lunetce; jest to t. zw. lornetka pryzmatyczna, gdyż rolę lusterek pełnią tu ściany pryzmatów. Rycina 359 przedstawia inny sposób, prowadzący do tego samego celu: tu okular jest soczewką rozpraszającą S_2 . Jest to t. zw. luneta Galileusza.

186. Oko. Budowa oka, traktowana ze stanowiska optyki, przypomina budowę ciemni optycznej, jak np. w aparacie fotograficznym.

Przez soczewkę oczną wpadają promienie, wysyłane przez przedmiot świecący, do wnętrza oka (ryc. 360). Dzięki łamiącemu działaniu soczewki ocznej powstaje na tylnej ścianie gałki, t. j. na siatkówce oka, odwrócony i pomniejszony obraz rzeczywisty tego przedmiotu.

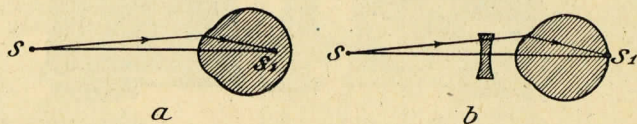


Ryc. 360. Powstawanie obrazu w oku człowieka.

Soczewka oczna posiada zdolność spłaszczania się i pogrubiania. Dzięki temu zwiększa ona lub zmniejsza swą ogniskową stosownie do tego,

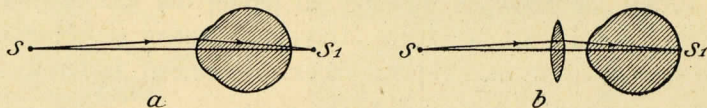
czy patrzymy na przedmiot daleki, czy bliski; jest to t. zw. *akomodacja* oka, sprawiająca, że niezależnie od odległości przedmiotu — jego obraz pada na siatkówkę.

U krótkowidzów, u których gałka oczna jest za długa, obrazy przedmiotów dalekich tworzą się, mimo akomodacji oka, przed siat-



Ryc. 361. Powstawanie obrazu w oku krótkowidza: a) bez okularów, b) przy użyciu okularów.

kówką. Aby więc umożliwić sobie wyraźne widzenie, krótkowidz używa okularów wklęsłych, które sprawiają przesunięcie obrazu w głąb oka, jak to widzimy na rycinie 361. U dalekowidzów mamy



Ryc. 362. Powstawanie obrazu w oku dalekowidza: a) bez okularów, b) przy użyciu okularów.

zjawisko odwrotne; tu, ze względu na zbyt krótką gałkę oczną, umiejscowienie obrazu na siatkówce osiąga się zapomocą okularów wypukłych (ryc. 362).

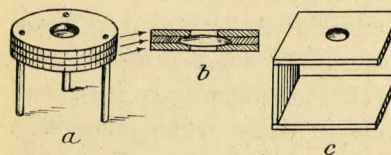
Pytania.

- 1) Jak powinny być w sadzie rozmieszczone drzewa, aby wszystkie (nisko i wysokopienne) miały dostateczną ilość światła?
- 2) Do jakich celów używamy zwierciadeł, reflektorów? Jak są urządzone reflektory przy latarniach ulicznych?
- 3) Ogniskowa f obiektywu w aparacie fotograficznym wynosi 6 cm, wysokość kliszy do tego aparatu $h=9$ cm. Jak wysokie przedmioty można

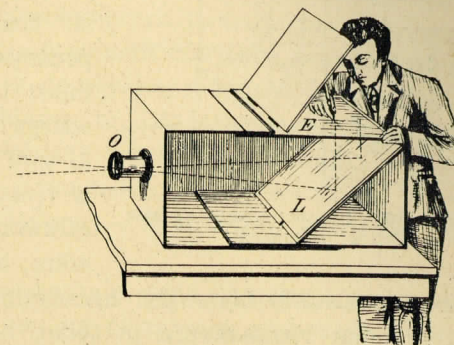
sfotografować tym aparatem z odległości 30 cm? (Daj rozwiązanie metodą graficzną na podstawie wykresu ryc. 346).

4) Księżyc ma średnicę równą 3 480 km i jest oddalony od powierzchni ziemi mniej więcej o 380 000 km. Jak wielki obraz księżyca można otrzymać zapomocą obiektywu wielkiej lunety astronomicznej o ogniskowej $f=9,5$ m?

5) Czy można widzieć przez mikroskop przedmiot, umieszczony pod obiektywem w odległości mniejszej, niż ogniskowa obiektywu?



Ryc. 363. Prosty model lupy: a) lupa na trójnogu, b) sposób wykonania uchwytu na soczewkę, c) lupa w ramce.



Ryc. 364. Aparat do kopjowania obrazów z natury: O = obiektyw, L = lustro, E = matówka.

Do wykonania w warsztacie.

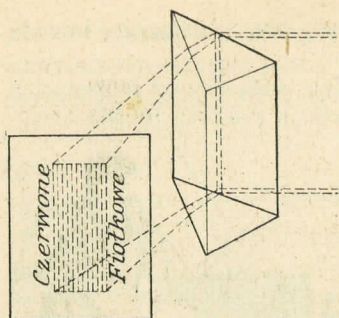
- 1) Sporządź lupę z soczewki o krótkiej ogniskowej, osadzonej na trójnogu lub w ramce, jak na ryc. 363. Wysokość trójnogu, wzgl. ramki, powinna być nieco mniejsza, niż ogniskowa soczewki.
- 2) Wykonaj prosty aparat fotograficzny według wzoru, podanego na ryc. 354.
- 3) Wykonaj, według wzoru na ryc. 364, aparat do kopjowania obrazów wprost z natury. (O = obiektyw, L = lustro, E = płyta szklana, na której kładzie się cienki papier celem wykreślenia na nim obrazu).

Rozdział V

O WIDMACH

187. Rozszczepienie światła białego. Nieraz, gdy słońce świeci i promienie jego wpadają do mieszkania, obserwujemy barwne plamy, tańczące po ścianach lub suficie pokoju. Jeśli będziemy badali, skąd pochodzi ich światło, znajdziemy zawsze jakiś przedmiot przezroczysty, najczęściej szkło szlifowane, oświetlone promieniami słonecznymi. Białe światło słońca zamienia się w nich na światło barwne. W jaki sposób to się odbywa?

Doświadczenie. Z promieni równoległych wydzielamy ciekawą wiązkę, stawiając na jej drodze ekran z wąską szparą (ryc. 365). Promienie mogą być słoneczne, albo promienie lampy, ustawionej w ognisku soczewki skupiającej. Wiązka pada na biały ekran i tworzy tam jasną kreskę. Na dro-



Ryc. 365. Rozszczepienie światła w pryzmacie.

dze wiązki ustawiamy trójkątny *pryzmat szklany*, tak by jego krawędź była równoległa do szpary.

Wskutek załamania światła w pryzmacie jasna kreska zostaje przesunięta ku podstawie pryzmatu, ale jednocześnie zamiast białej linii widzimy dość szeroką wstęgę barwną. Rozpoznajemy w niej taki sam szereg barw, jakie obserwujemy w tęczy: najmniej odchylona jest barwa czerwona, potem idzie pomarańczowa, żółta, zielona, niebieska i fioletowa. Wi-

docznie światło białe jest mieszaniną tych różnobarwnych promieni, a pryzmat **rozszczenia** je tylko, odchylając je jedno mniej, inne więcej. Powstaje barwna wstęga, którą nazywamy **widmem** (ryc. 366).



Ryc. 366. Rozkład barw w widmie światła białego.

188. Barwy ciał w świetle białym. Gdy światło słońca przechodzi przez kolorowe szyby okien kościoła, na podłodze ścielą się barwne plamy. I teraz światło białe przemieniło się w barwne, ale przyczyna tego jest inna.

Doświadczenie. Na drodze promieni, tworzących widmo w doświadczeniu poprzednim, ustawiamy kawałki kolorowego szkła: czerwonego, żółtego, niebieskiego.

Szkło czerwone przepuszcza promienie tylko z czerwonej części widma, a pozostałe zatrzymuje, **pochłania**. Podobnie zachowują się inne szkła zabarwione; przepuszczają tylko część promieni słonecznych. Ich zabarwienie jest wynikiem tego, że zawarty w nich barwnik pochłania pozostałe części światła białego.

Umieścimy w widmie światła białego papier kolorowy lub pęczek barwnej włóczki, np. koloru żółtego. Jeśli w pokoju usuniemy wszelkie inne źródła światła, włóczka wyda nam się jaskrawo żółtą w żółtej części widma, a czarną w miejscach pozostałych. Żółty barwnik odbija tylko promienie żółte — inne pochłania. Tak samo barwnik niebieski pochłania wszystkie promienie prócz niebieskich.

Jeśli barwnikiem, np. farbą wodną, pomalujemy biały papier i oświecimy go, światło przenika warstwę farby, odbija się od powierzchni papieru i wraca znów przez farbę. Jeśli barwnik był żółty, to zostaną pochłonięte promienie czerwone, niebieskie i fioletowe, pozostaną tylko żółte z domieszką niecałkowicie pochłoniętych pomarańczowych i zielonych. Barwnik niebieski pochłania promienie czerwone, pomarańczowe i żółte, a przepuszcza niebieskie z domieszką zielonych i fioletowych. Jeśli zmieszamy farbę żółtą i niebieską, to, jak łatwo sprawdzić, tylko promienie zielone nie będą pochłaniane przez oba barwniki; wszystkie inne zostaną pochłonięte albo przez jeden, albo przez drugi. W rezultacie otrzymamy zabarwienie zielone — fakt znany każdemu, kto mieszał farby do malowania.

Barwy ciał, na których powierzchnię pada światło, są wynikiem pochłaniania. Światło przenika na nieznaczną głębokość, odbija się tam od powierzchni ziarenek barwnika, i powraca, tracąc po drodze promienie pochłaniane przez barwnik.

Istnieją jeszcze inne przyczyny barwnego wyglądu powierzchni ciał. Gdy na rozległą powierzchnię wody puścić kroplę oliwy lub nafty, kropla rozlewa się po wodzie i tworzy cieniutką warstwę, która mieni się różnymi barwami. Nie możemy jednak w tym miejscu mówić o przyczynach zabarwienia takich cienkich błonek.

189. Widma. Widmo światła słonecznego możemy dostrzec w inny jeszcze sposób.

Ćwiczenie 99. Przez trzymany w rękę płaski pryzmat szklany spoglądamy na wąski pasek białego papieru, umieszczony na ciemnym tle, lub na pionową kreskę, nakreśloną kredą na czarnej tablicy.

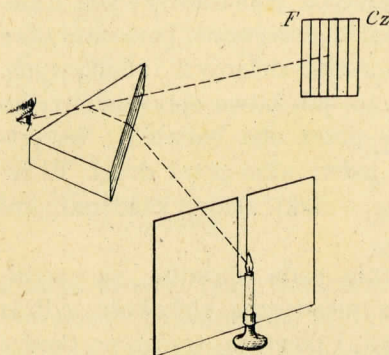
Widziany obraz kreski jest nie tylko odchylony, ale i wielobarwny. Poznajemy tę samą kolejność barw, co w doświadczeniu poprzednim. Barwy leżą jedna przy drugiej, bez żadnej przerwy; mówimy, że widmo światła słonecznego jest **ciągłe**.

Ćwiczenie 100. Świecący płomień palnika gazowego zasłaniamy ekranem z czarnego papieru, w którym wycięto wąską szparę. Spoglądamy przez pryzmat na szparę, oświetloną płomieniem palnika (ryc. 367).

Dopuszczamy powietrze do palnika, by otrzymać płomień nieświecący i umieszczamy w nim kawałek waty azbestowej, nasiąkniętej mocnym roztworem soli kuchennej (chlorku sodu).

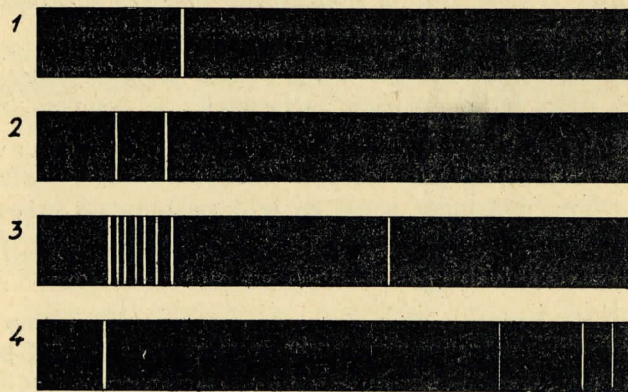
Liczne doświadczenia stwierdziły, że światło, wysyłane przez ciała stałe rozżarzone, składa się z wielu barw i daje zawsze widmo ciągłe. W płomieniu świecącym palnika świecą cząsteczki węgla, wydzielane przez rozkład gazu świetlnego. Światło, zabarwione przez wprowadzenie do płomienia chlorku sodu, wysyła światło o jednej tylko barwie

pomarańczowo żółtej. Zamiast widma ciągłego, otrzymujemy jedną tylko linię: jest to **widmo linjowe**. W tym wypadku składa się ono z jednej linii pomarańczowo żółtej. Ściśle taką samą linię daje płomień, zabarwiony czystym sodem lub innymi związkami chemicznymi



Ryc. 367. Obserwacja widma.

Przyrząd, zwany *spektroskopem*, pozwala otrzymać linie widmowe tak wąskie, że nie zachodzą jedna na drugą, są przeto dobrze wyodrębnione; prócz tego pozwala wyznaczyć każdej linii ściśle określone miejsce w widmie. Widma, których linie widzimy na rycinie 368, otrzy-



Ryc. 368. Widma linjowe par i gazów. 1. sól, 2. lit, 3. stront, 4. wodór.

mano za pomocą tego właśnie przyrządu. Okazało się przytem, że widmo sodu składa się w rzeczywistości z dwóch linii, bardzo blisko siebie położonych. Niektóre pierwiastki mają widma bardzo złożone, np. widma różnych metali zawierają ich po kilka tysięcy.

Rysunek schematyczny spektroskopu widzimy na ryc. 369. Badane źródło światła oświetla wąską szparę, leżącą w ognisku soczewki; blaszka ze szparą i soczewka są umie-

szczone we wspólnej rurce metalowej, zwanej kolimatorem, która nie dopuszcza obcego światła. Z kolimatora wychodzi równoległa wiązka światła, pada na szklany pryzmat, w którym zostaje załamana i rozszczepiona, poczem wpada do obiektywu lunety. Luneta jest tak nastawiona, że widzimy w niej obraz szpary. Gdy szparę oświetlamy światłem jednorodnym, np. zabarwionem chlorkiem sodu, w lunecie widzimy jedną tylko jasną linię barwy pomarańczowo żółtej. Światło, złożone z kilku barw, np. światło zabarwione litem, rozpada się na kilka linii. W wypadku światła słonecznego i innych ciał rozżarzonych otrzymujemy nieprzerwaną wstęgę, której barwy przechodzą stopniowo jedna w drugą, od czerwieni do fioletu.



Ryc. 369. Schemat spektroskopu.

Gazy wytwarzają również widma linjowe, gdy są silnie rozrzedzone w rurce z elektrodami i poddane wyładowaniom elektrycznym.

Takie świecenie gazów jest przyczyną t. zw. **zórz północnych**, przepięknego zjawiska na niebie, obserwowanego często w okolicach podbiegunowych. Przyczyną świecenia są promienie katodowe, wysyłane przez powierzchnię słońca.

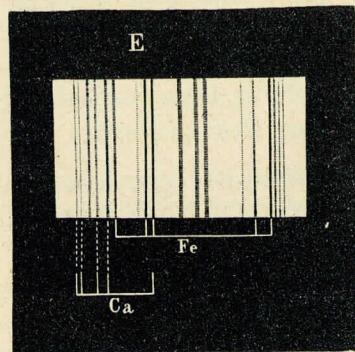
190. Analiza widmowa. Okoliczność, że każdy pierwiastek ma własne, charakterystyczne dla niego widmo linjowe, pozwala wykrywać obecność tych pierwiastków w różnych ciałach, gdy zbadamy widma światła, przez nie wysyłanego. Takie wykrywanie obecności pierwiastków zostało zastosowane przez znanych nam już uczonych Kirchhoffa i Bunsena i zostało przez nich nazwane **analizą widmową**. Jest to nadzwyczaj czuły sposób wykrywania pierwiastków. Jeśli nie zachować specjalnych ostrożności, w spektroskopie zawsze występuje linia sodu, niezależnie od tego, jaki pierwiastek badamy. Jest to skutek obecności niezmiernie małych ilości soli kuchennej w powietrzu. Parę dziesięciomilionowych części miligrama litu lub sodu wystarcza, aby poznać obecność tych pierwiastków.

Na początku XIX wieku monachijski optyk FRAUNHOFER, obserwując widmo słoneczne zbudowanym przez siebie spektroskopem, zauważył, że nie jest ono zupełnie ciągłe, lecz poprzecinane licznymi poprzecznymi liniami, tak wąskimi, że przy powierzchownej obserwacji uchodzą uwagi. Powstawania tych **linii Fraunhofera** (ob. ryc. 366) nie umiano dość długo wytłumaczyć. Najważniejsze linie oznaczono literami: od *A* do *H*; *D* jest podwójną linią sodu. Dopiero odkrycie przez Kirchhoffa i Bunsena **widm absorbcyjnych** wyjaśniło zagadkę.

Jeśli mamy ciało rozżarzone o wysokiej temperaturze, jak np. węgleń, łuku wolty lub drucik metalowy żarówki, to otrzymamy od niego w spektroskopie widmo ciągłe. Jeśli pomiędzy tem ciałem a szparą spektroskopu umieścić płomień gazowy, zabarwiony solą sodu, to w widmie ciągłym ukaże się ciemna linia, ściśle w tem miejscu,

w którym pojawiała się jasna linja widma sodu. Sód, obecny w płomieniu, pochłania czyli *absorbuje* to samo światło, które sam wysyła. Takie widmo nazywamy **widmem absorbcyjnym** sodu. W podobny sposób można otrzymać widma absorbcyjne innych pierwiastków. Te widma również mogą służyć jako środek analizy widmowej.

Spójrzmy teraz na zestawienie części widma słońca, usianego linjami Fraunhofera, z widmem różnych pierwiastków (ryc. 370). Widzimy,



Ryc. 370. Linje Fraunhofera.

że linje widma emisyjnego pierwiastków zgadzają się z linjami absorbcyjnymi widma słonecznego. Dla większości pierwiastków ziemskich znaleziono odpowiedniki w ciemnych linjach widma słonecznego.

Tłumaczenie tego zadziwiającego faktu jest proste. Głębsze warstwy bryły słonecznej są rozżarzone do wysokiej temperatury (przeszło 6000°) i wysyłają widmo ciągłe. Są one jednak otoczone przez warstwę gazów i par o temperaturze już nieco niższej. Zawarte w tej warstwie pierwiastki absorbują promienie słońca, każdy te, które sam wysyła. Linje Fraunhofera zdradzają obecność na słońcu tych samych pierwiastków, jakie wchodzą w skład ziemi i jej atmosfery.

Bardzo ciekawem było odkrycie jednego ze składników atmosfery, gazu helu. Badając widmo górnej warstwy gazów, otaczających słońce, znaleziono takie linje, które nie dały się zidentyfikować z żadnym z widm pierwiastków ziemskich. Przypuszczano, że są one widmem jakiegoś pierwiastka, który występuje na słońcu, a jest nieobecny na ziemi; nazwano go nawet helem (po grecku: helios=słońce). Później dopiero wykryto obecność helu w atmosferze ziemskiej. Dzięki analizie widmowej został on odkryty wpraw na słońcu, oddalonem od nas o 150 milionów kilometrów, niż w naszym bezpośrednim otoczeniu.

Spektroskop w połączeniu z lunetą pozwala nam badać skład chemiczny słońca, a nawet sięgnąć jeszcze dalej w przestwór nieba. Zbadano widma tysięcy gwiazd i przekonano się, że są one różnych typów: jedne podobne do widma słońca, inne — linjowe, świadczące, że są wysyłane przez rozżarzone gazy. Jednak wszystkie pierwiastki, których obecność stwierdzono w ciałach niebieskich, znajdują się też na naszej małej ziemi.

Dzięki analizie widmowej niebo zaczęło nam zdradzać niedostępne dotychczas tajemnice. Przed myślą człowieka roztoczyły się nowe, oszałamiające horyzonty.

Spis treści.

Część I.

Rozdział I. O równowadze sił Str. 3

Wstępne wiadomości o siłach

Ciężar ciał. Środek ciężkości: 1. Ciężar ciał. — 2. Środek ciężkości. — 3. Rola środka ciężkości w równowadze ciał podpartych lub zawieszonych. — Mierzenie sił (statyczne): 4. Porównywanie sił na podstawie ich równowagi. — 5. Ciężarowe jednostki siły. — 6. Graficzne przedstawienie siły. — 7. Dynamometr. — 8. Działanie i przeciwdziałanie. — Równowaga sił w maszynach prostych: 9. Co nazywamy w fizyce maszynami prostymi? — 10. Równowaga sił przy użyciu dźwigni. — 11. Inne maszyny, podlegające prawu dźwigni. — 12. Równia pochyła. — 13. Jeszcze o równowadze sił. — Pytania.

Rozdział II. O pracy i energii 26

14. Co uważamy w fizyce za pracę i jak ją mierzymy? — 15. Ciężarowe jednostki pracy. — 16. Moc (Dzielność). — 17. Praca dodatnia i ujemna. — 18. Zachowanie pracy przy użyciu maszyn prostych. — 19. Prawo zachowania pracy. — 20. Śruba. — 21. Praca a energia. — 22. Energia potencjalna. — 23. Przechodzenie energii. — 24. Tarcie. — Pytania.

Rozdział III. O siłach i ruchach 38

25. Jeszcze o siłach, które się równoważą. — 26. O rodzajach ruchów. — 27. Prędkość ruchów. — 28. Jednostki prędkości. — 29. Obliczanie prędkości. Ruch jednostajny. — 30. Zastosowania wzorów na ruch jednostajny. — 31. Ruch ciał pod wpływem sił. — 32. Wpływ oporów na ruch ciał. — 33. Zasada bezwładności. — 34. Prawa oporu ośrodka. — 35. Ruch ciała w ośrodku, stawiającym opór. — 36. Ruchy po linii krzywej. — Pytania.

Rozdział IV. O spadaniu ciał 59

37. Wszystkie ciała spadają jednakowo. — 38. Spadanie ciał po równi pochyłej. — 39. Spadek swobodny. — 40. Kiedy ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. — Ruchy złożone: 41. Rzut poziomy. — 42. Tor rzutu poziomego. — 43. Rzut ukośny. — Pytania.

Rozdział V. O ciężeniu powszechnym i o masie ciał 70

Ciążenie i ciężar: 44. Układ planetarny. — 45. Siły grawitacji. — 46. Ciężar ciał a ciężenie powszechne. — O masie ciał: 47. Ciężenie i masa. — 48. Jednostki masy. — 49. Jak masa ciała wpływa na jego ruch. — 50. Prawa ruchu. — Pytania.

Rozdział VI. Przemiany energii 78

51. Energia kinetyczna. — 52. Od jakich cech ciała i ruchu zależy energia kinetyczna. — 53. Przemiany energii. — 54. Powstawanie ciepła z pracy. —

55. Powstawanie pracy z ciepła. — 56. Ciepło jest jedną z wielu postaci energii. — Pytania.

Rozdział VII. O źródłach pracy i silnikach 89

Silniki wodne i powietrzne: 57. Źródła pracy na ziemi. — 58. Silniki wodne. — 59. Silniki wietrzne. — Silniki cieplne: 60. Rodzaje silników cieplnych. — Silniki parowe: 61. Kotły parowe. 62. Maszyny parowe tłokowe. — 63. Turbiny parowe. — 64. Sprawność silników cieplnych. — Silniki spalinowe: 65. Zasada działania silników spalinowych. — 66. Silniki benzynowe. — 67. Budowa samochodu. — 68. Silniki w komunikacji wodnej i powietrznej. — 69. Samolot. — 70. Komunikacja samochodowa i lotnicza w Polsce. — Pytania.

Rozdział VIII. O drganiach i falach 105

71. Zjawiska, polegające na ruchach drgających. — 72. Ruch drgający. — 73. Czy i jak można zmieniać drgania własne układu. — 74. Drgania proste i złożone. — 75. Ruch falowy. — 76. Fale poprzeczne i podłużne. — 77. Długość fali. — 78. Zjawisko rezonansu. — Drgania i fale głosowe: 79. Źródła głosu. — 80. Znamiona dźwięków. — 81. Fale głosowe. — 82. Rezonans akustyczny. — 83. Szybkość fal głosowych. — 84. Odbicie fal. Echo. — 85. Rezonans w instrumentach muzycznych. — 86. Fonograf i gramofon. — 87. Ultradźwięki i ich zastosowanie.

Część II.

Rozdział I. Wiadomości wstępne o prądzie 119

88. Prądy elektryczne w życiu. — O źródłach prądu: 89. Laboratoryjne źródła prądu elektrycznego. Praktyczne wskazówki obchodzenia się z akumulatorami. — 90. Techniczne źródła prądu elektrycznego. — 91. Inne przyrządy do doświadczeń z prądem elektrycznym. — Objawy prądu elektrycznego: 92. Działania zasadnicze prądu. — 93. Dalsze wiadomości o działaniu magnetycznym prądu. — 94. Galwanoskop. — 95. Graficzne oznaczenie obwodu i jego części składowych. — 96. Dobry i zły przewodnik. — 97. O obwodzie elektrycznym. — 98. Opór obwodu. — 99. Napięcie elektryczne. — Pytania.

Rozdział II. Elektroliza. Natężenie prądu 134

100. Rozkład niektórych związków chemicznych. — 101. Wzmianka historyczna. — 102. Prawo Faradaya. — 103. Woltametry i amperomierze. — 104. Przewodzenie prądów w elektrolitach. — 105. Zastosowania elektrolizy. — 106. Praca prądu w zjawiskach elektrochemicznych. — Pytania. — Ćwiczenia warsztatowe.

Rozdział III. Ciepłe działanie prądu elektrycznego. Napięcie 143

107. Prawa wytwarzania ciepła przez prąd. — 108. Jednostki pracy i mocy, używane przy pomiarach elektrycznych. — 109. Jednostka napięcia elektrycznego. — 110. Moc prądu. — 111. Zastosowania ciepła, wytwarzanego przez prąd. — 112. Oświetlenie elektryczne. — Pytania. — Ćwiczenia montażowo-warsztatowe.

Rozdział IV. Opór przewodów. Prawo Ohma 153

113. Jak natężenie prądu zależy od napięcia i od oporu. — 114. Jednostka oporu. — 115. Od jakich cech przewodu zależy jego opór? — 116. Opór właściwy. — 117. Zastosowania dobrych przewodników. — 118. Opór wewnętrzny

ogniów. — 119. Prawo Joule'a. — Pytania. — Ćwiczenie do dyskusji i wykonania w warsztacie.

Rozdział V. Zastosowania prawa Ohma 162

120. Mierzenie napięcia (różnicy potencjału). — 121. Łączenie ogniów i akumulatorów. — 122. Spadek napięcia wzdłuż przewodu. — 123. Rozgałęzienie prądu. — 124. Łączenie równoległe oporów. — 125. Sieci elektryczne. — Pytania. — Ćwiczenie montażowe.

Rozdział VI. O magnesach i elektromagnesach 172

126. Prądy elektryczne i magnesy. — 127. Magnesy trwałe. — 128. Budowa magnesów. — 129. Pole magnetyczne. — 130. Żelazo w polu magnetycznym. — 131. Pole magnetyczne prądu elektrycznego. — 132. Działanie pola magnetycznego na zwojnicę. — 133. Telegraf. — 134. Magnetyzm ziemski. — Pytania. — Ćwiczenia montażowe i warsztatowe.

Rozdział VII. Prądy indukcyjne i ich praktyczne zastosowanie 187

135. Z dziejów odkrycia prądów indukcyjnych. — 136. Od czego zależy siła elektromotoryczna indukcji? — Prądnice i silniki elektryczne: 137. Zasada prądnicy na prąd zmienny. — 138. Prądnice na prąd stały. — 139. Silniki elektryczne. — 140. Inne zastosowania zjawiska indukcji. — 141. Transformator. — 142. Telefon. — 143. Maszyny elektryczne w przemyśle i komunikacji. — 144. Tramwaje i koleje elektryczne. — 145. Elektryfikacja w Polsce. — Pytania. — Do wykonania w warsztacie.

Rozdział VIII. O nabojach elektrycznych 202

146. Kondensatory. — 147. Ładowanie kondensatorów. — 148. Wzajemne oddziaływanie naboju elektrycznych. — 149. Elektroskop. — 150. Jeszcze o ładowaniu i wyladowywaniu kondensatorów. — 151. Zobojętnianie naboju. — 152. Pojemność kondensatora. — 153. Dodawanie napięć. — 154. Iskra elektryczna. — O kondensatorach: 155. Pojemność odosobnionych przewodników. — 156. Od czego zależy pojemność przewodnika. — 157. Budowa i zastosowanie kondensatorów. — 158. Działanie ostrzy. — 159. Inne sposoby wzbudzania naboju. — 160. Błyskawice i pioruny. — Pytania.

Rozdział IX. Elementy radjotechniki 218

161. Drgania elektryczne. — 162. Od czego zależy częstość drgań w obwodzie drgającym. — 163. Rezonans elektryczny. — 164. Zasada radja. — 165. Budowa i działanie odbiorników radjowych. — Do wykonania w warsztacie.

Rozdział X. Zjawiska elektryczne w gazach rozrzedzonych 226

166. Wyladowania w gazach rozrzedzonych. — 167. Promienie Röntgena. — 168. Ciała promieniotwórcze. — Pytania.

Część III.

Rozdział I. Rozchodzenie się światła 232

169. Zjawiska świetlne. — 170. Rozpraszanie, pochłanianie i odbijanie światła. — 171. Prostolinjowe rozchodzenie się światła. — 172. Cienie i półcienie. — 173. Obrazy, utworzone przez małe otwory.

Rozdział II. Odbicie światła. Zwierciadła 237

174. Prawo odbicia światła. — 175. Obrazy w zwierciadłach płaskich. — 176. Zastosowanie poznanych praw w życiu codziennym.

Rozdział III. Załamanie światła 240

177. Załamanie światła przy przechodzeniu z jednego ośrodka do innego
178. Załamanie w pryzmacie. — 179. Soczewki. — 180. Obrazy w soczewkach skupiających. — 181. Wyznaczanie obrazów zapomocą konstrukcji geometrycznej. — 182. Obrazy w soczewkach rozpraszających.

Rozdział IV. Narzędzia optyczne 248

183. Latarnia projekcyjna. — 184. Aparat fotograficzny. — 185. Mikroskop i luneta. — 186. Oko. — Pytania. — Do wykonania w warsztacie.

Rozdział V. O widmach 253

187. Rozszczepienie światła białego. — 188. Barwy ciał w świetle białym. — 189. Widma. — 190. Analiza widmowa.

Henryk Horodeński
BIAŁYSTOK
ul. Szosa Wschodnia № 32