# POCZĄTKOWA
# NAUKA FIZYKI

PRZEZ

WŁADYSŁAWA NATANSONA

ZE 140 RYSUNKAMI.

W KSIĘGARNI MICHAŁA ARCTA
W WARSZAWIE
1895.

# POCZĄTKOWA
# NAUKA FIZYKI

PRZEZ
WŁADYSŁAWA NATANSONA

ZE 140 RYSUNKAMI.

W KSIĘGARNI MICHAŁA ARCTA
W WARSZAWIE
1895.

Дозволено Цензурою
Варшава 31 Августа 1894 г.



W DRUKARNI OSSOLINEUM WE LWOWIE
POD ZARZĄDEM JULIUSZA BIRKENMAIERA.

# SPIS RZECZY.

## Rozdział pierwszy.

### O ruchu. O siłach. O ciężkości. O ciążeniu.



## Rozdział drugi.

### O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

## Rozdział trzeci.

### O falach. O głosie.



## Rozdział czwarty.

### O cieple.

## Rozdział piąty.

### O elektryczności.



## Rozdział szósty.

### O promieniowaniu.

## Zakończenie.

# ROZDZIAŁ PIERWSZY.

## O ruchu. O siłach. O ciężkości. O ciążeniu.

---

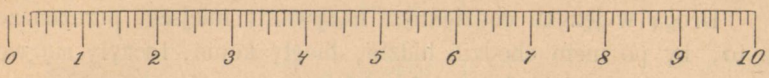
### § 1. Ciała.

Mamy wciąż do czynienia z różnemi rzeczami czyli przedmiotami; w nauce nazywamy je *ciałami*. Sprzęty nasze naprzykład, naczynia, narzędzia, budynki, odzież nasza, potrawy, napoje, dalej kamienie, rośliny, zwierzęta — są to ciała. Drobne ziarnko piasku jest ciałem, olbrzymia góra jest ciałem. Zarówno kawałek żelaza jest ciałem, jak chmura na niebie, jak dym, uchodzący z komina. Woda, płynąca rzeką, jest ciałem; ciałem jest też powietrze, w którem jesteśmy zanurzeni.

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną *objętość*. Góra np. ma pewną objętość i ziarnko piasku ma pewną objętość; tylko góra ma znacznie większą objętość. Wnętrze dzbana ma większą objętość niż szklanka; powiadamy, że dzban ma większą *pojemność* niż szklanka.

Weźmy duży arkusz papieru i niewielki klocek drewniany. Arkusz papieru ma mniejszą *objętość* niż klocek; jeśli włożymy po kolei jedno i drugie do dzbana pełnego wody, zobaczymy, że klocek wypycha znacznie więcej wody. Ale arkusz papieru ma znacznie większą *powierzchnię* niż klocek; istotnie, możemy klocek owinąć papierem i nie tylko raz, ale kilka razy. Dlaczego papier, pomimo znacznej powierzchni, ma nieznaczną objętość? Ponieważ papier ma grubość nieznaczną. Kawałek drutu, równie długi jak ołówek, będzie miał objętość mniejszą niż ołówek, ponieważ jest mniej

część metra; *centymetrem (cm)* setna część metra; *milimetrem (mm)* tysiączna część metra. *Kilometrem* nazywa się tysiąc metrów. Rys. 1. przedstawia decymetr, podzielony na centymetry i milimetry.




Rys. 1.

Rozległość powierzchni, czyli *pole*, można porównywać tylko z innem polem; zatem jednostką pól musi być inne pole, raz na zawsze obrane. Metryczną jednostką pola jest *metr kwadratowy* ($m^2$), czyli pole kwadratu, którego bok ma metr długości. Podobnież mamy *decymetr kwadratowy, centymetr kwadratowy* i t. d. Kwadrat o boku, równym stu metrom, nazywa się *hektarem.*

Jednostką objętości musi być pewna raz na zawsze obrana objętość. Metryczną jednostką objętości jest *metr sześcienny* ($m^3$), czyli objętość sześcianu, którego krawędź ma metr długości. Podobnież mamy *decymetr sześcienny,* czyli krócej *litr;* dalej *centymetr sześcienny* i t. d.

## § 4. Ruch.

Jeśli ktoś stał na środku pokoju a później widzimy go koło drzwi, powiadamy, że *zmienił miejsce* w pokoju. Gdybyśmy byli ciągle nań zważali, bylibyśmy zobaczyli, jak przeszedł od środka pokoju do drzwi; bylibyśmy widzieli, jak się *poruszał.* Każda zmiana miejsca jest wynikiem *ruchu.* Co nie zmienia miejsca, to jest w spoczynku t. j. nie porusza się.

Gdy więc chodzi ktoś, biega lub skacze, jest w ruchu; a gdy siedzi lub leży, jest w spoczynku. Kamień, leżący na ziemi, jest w spoczynku. Gdy go podnosimy, jest w ruchu; jeśli go rzucimy, porusza się, dopóki znów nie upadnie na ziemię. Wóz toczy się po drodze; chmury przeciągają po niebie; koło w maszynie się kręci; huśtawka się kołysze, drzewa się chwieją; wszystko to są przykłady ruchu. W sadzawce woda jest zwykle w spoczynku; w strumieniu, w rzece, w wodotrysku — jest w ruchu.

Każdy ruch odbywa się w jakimś *kierunku;* kamień np., puszczony swobodnie ale nie rzucony, biegnie prosto ku ziemi, czyli *spada.* Idąc prosto przed siebie, odbywamy ruch w kierunku ciągle jednakowym, gdy zaś obchodzimy coś dokoła, ruch nasz ma w każdej chwili coraz to inny kierunek. Ruch wzdłuż jakiejkolwiek linii, prostej czy krzywej, może odbywać się w dwu przeciwnych

sobie kierunkach. Pociąg np., stojący na szynach, może poruszać się bądź naprzód, bądź wstecz. Szufladę można wysuwać i wsuwać. Statki i tratwy płyną po rzece z wodą i pod wodę.

Drogą w języku codziennym nazywamy miejsce, przeznaczone na to, by po niem chodzili ludzie, biegły konie, toczyły się wozy i powozy. Lecz niekiedy nadajemy inne znaczenie temu wyrazowi, gdy np. mówimy: »tędy wypada mi droga« lub »mam daleką drogę do odbycia«. W języku naukowym *drogą* nazywamy linię, po której odbywa się pewien ruch. Kamień, spadając swobodnie, biegnie wprost na dół ku ziemi po drodze prostej *pionowej* t. j. w kierunku, jaki przybiera sznurek, na którym zawieszono ciężarek. Kamień, uwiązany na sznurku i obracany około dłoni, porusza się po drodze kołowej. Poruszając szybko w ciemności zapałkę tlejącą, widzimy smugę ognistą, którą zapałka zostawia po sobie. Gwiazda spadająca daje ślad świetlny na niebie. Statek, płynąc po jeziorze, tworzy smugę na powierzchni wody. W tych razach *widzimy drogę*, którą odbywała zapałka w powietrzu, gwiazda na niebie lub statek po wodzie. Kiedy piszemy kredą na tablicy, mamy drogę kredy po tablicy w postaci liter i wyrazów.

## § 5. Ruch wymaga czasu.

Żeby ujść kilometr po zwykłej drodze, trzeba mniej więcej kwadransa czasu, czyli 15 minut. Jadąc średnim kłusem końskim, przebywa się kilometr mniej więcej w 5 minut. Pociągowi pośpiesznemu na kolei żelaznej wystarcza na przebycie kilometra jedna minuta. Wystrzelona z działa kula przebiega kilometr w ciągu dwu sekund. Nakoniec ziemia nasza w drodze swej około słońca zużywa na przejście kilometra tylko $\frac{1}{30}$-tą część sekundy. Możnaby wystawić sobie, że jakieś ciało pędzi tak, iż przebywa kilometr w czasie jeszcze krótszym, np. w ciągu $\frac{1}{100}$-ej albo $\frac{1}{1000}$-ej części sekundy. Ale nie można pomyśleć, ażeby na przebycie kilometra wcale nie potrzebowało czasu; w tejsamej chwili ciało nie może być u początku i u końca tego kilometra. *Wszelki ruch wymaga czasu.*

Kiedy pieniądz wypadnie komu z ręki, wydaje się, jak gdyby w tejsamej chwili już był na ziemi; lecz tak nie jest. Nietrudno jest pochwycić spadający pieniądz w biegu; zanim więc dobiegnie on ziemi, mamy widocznie czas spostrzedz, co się dzieje i wprawić rękę w ruch, ażeby go pochwycić. Rzeczywiście, pieniądz,

puszczony z odległości półtora metra od ziemi, dobiegnie jej dopiero po upływie przeszło pół sekundy.

## § 6. Prędkość.

Mówi się, że ktoś idzie *prędko*, jeżeli zużywa czas niedługi na przebycie pewnej drogi. Jeżeli kto inny tęsamą drogę przebywa w czasie dłuższym, powiadamy, że porusza się mniej prędko czyli z mniejszą *prędkością*. Zatem prędkość ruchu jest tem znaczniejsza, im krótszy jest czas, potrzebny do przebycia pewnej oznaczonej drogi. Kula ziemska, jak wiemy z § 5-go, biegnie prędzej niż pociąg pośpieszny; pociąg prędzej niż powóz; powóz jedzie prędzej, niż człowiek pieszo idzie.

Wypuśćmy jednocześnie ze stacyi pociąg pośpieszny i towarowy; po upływie godziny pociąg pośpieszny znacznie wyprzedzi towarowy, t. j. w czasie jednakowym odbędzie drogę dłuższą niż towarowy. Zatem, im prędkość ruchu jest większa, tem dłuższa jest droga, przebywana w jakimś oznaczonym czasie. Kto np. jest ścigany, biegnie jak może najprędzej, bo pragnie przebywać w jednakowym czasie drogę dłuższą, niż ścigająca go pogoń.

## § 7. Prędkość stała i zmienna.

Pociąg, stojąc na stacyi, nie ma wcale prędkości. Kiedy z niej wyrusza, jedzie coraz prędzej, nabiera coraz większej prędkości; tu ruch pociągu jest *przyśpieszany*. Rozpędziwszy się należycie, pociąg nie przyśpiesza ale też nie zwalnia biegu; porusza się więc z prędkością *stałą*, czyli porusza się ruchem *jednostajnym*. Nareszcie, zbliżając się do następnej stacyi, na której ma stanąć, pociąg zwalnia biegu, więc zmniejsza swą prędkość. Tu znowu ruch będzie niejednostajny, ale będzie *zwalniany*.

Jeśli pociąg, zupełnie rozpędzony i biegnący jednostajnie, przebywa kilometr w ciągu minuty, przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa, a sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Zatem, czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też, że z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, będzie wszystko jedno, jeśli ruch jest jednostajny. Zupełnie jest inaczej, jeśli ruch nie jest jednostajny. Np., gdy pociąg się rozpędza, nie jest wszystko jedno, czy zważamy drogę, przebytą

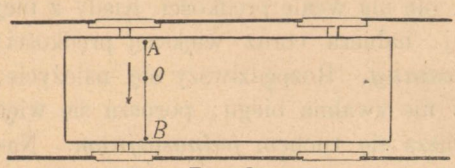
w ciągu pierwszej minuty, czy drogę, przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg przebywa wówczas oczywiście daleko dłuższą drogę, niż gdyby był się ciągle poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie.

## § 8. Ruch, złożony z dwu ruchów.

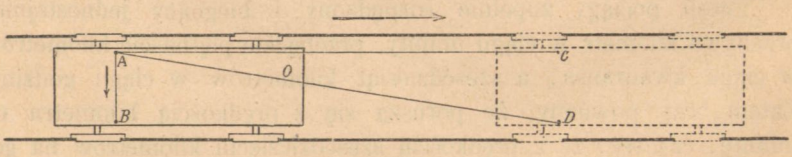
Można jednocześnie chodzić po pokoju i poruszać ręką. Ręka uczestniczy wówczas w ruchu całego ciała t. j. odbywa tensam ruch postępowy, jaki odbywa głowa i tułów; ale prócz tego odbywa swój ruch własny, zupełnie tak, jak gdybyśmy wcale nie szli naprzód, lecz stali w miejscu. Mówimy, że ręka *wykonywa jednocześnie dwa ruchy:* ruch postępowy całego ciała i ruch własny; lub też, że ręka wykonywa ruch, *złożony* z tych dwu ruchów.

Kiedy w wagonie, który toczy się po szynach, siedzimy nieruchomo, jesteśmy *w spoczynku względem wagonu.* Rzeczywiście, gdy wagon jest zamknięty, ściany jego i osoby, które w nim siedzą, wydają nam się nieruchome i, gdyby nie turkot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że się wcale nie poruszamy. Wyjrzawszy przez okno, widzimy odrazu, że uczestniczymy w ogólnym postępowym ruchu wagonu; mianowicie widzimy, że względem ziemi, względem drzew, względem domów, *jesteśmy w ruchu.*

Przypuśćmy, że ktoś po wagonie chodzi wszerz, np. od okna do okna. Przypuśćmy, że rys. 2. przedstawia widok tego wagonu, widziany z góry, czyli innemi słowy widok wagonu, jak gdyby przeciętego płaszczyzną poziomą. Niechaj będzie *O* miejscem człowieka w wagonie. Jeśli wagon stoi wówczas w miejscu, wtedy drogą, po której ruch człowieka się odbywa, jest prosta *A B.* Ale jaką drogę odbywa człowiek, jeśli chodzi po



Rys. 2.



Rys. 3.

wagonie, biegnącym po szynach (rys. 3.)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy: 1. chodzi po wagonie wszerz, jak chodziłby

po nieruchomym wagonie; 2. posuwa się naprzód wraz z wagonem i ze wszystkiem, co wogóle znajduje się w wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi porusza się on w ciągu sekundy od *A* do *B* (rys. 3.); byłaby to jego droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ale wagon w ciągu tej sekundy posuwa się naprzód o długość *AC;* a z nim razem cała droga *AB* jak gdyby posuwała się naprzód, również o długość *AC*. A zatem rzeczywistą drogą człowieka będzie linia *AD*. Istotnie, posuwając w myśli człowieka od *A* do *B* wzdłuż linii *AB* i jednocześnie posuwając całą linią *AB* naprzód wzdłuż linii *AC*, zobaczymy, że ostatecznie człowiek posuwa się wzdłuż linii *AD*.

## § 9. O sile.

Ciała same przez się nie poruszają się nigdy. Przedmioty w pokoju np. stoją nieruchomo, dopóki ich kto nie popchnie, nie potrąci, nie pociągnie. I nie tylko stoły i szafy stoją nieruchomo, które i nam trudno poruszyć, ale też takie przedmioty, które można wprawić w ruch z największą łatwością. Choćby się drzwi np. najlżej otwierały, nie otworzą się one same przez się. Lampa wisząca na sznurze, albo huśtawka, którą poruszyć tak łatwo, pozostawiona sobie, trwa w zupełnym spoczynku. Drzewa i liście na nich, kłosy zboża w polu, które chwieją się i kołyszą za lada podmuchem wiatru, stoją zupełnie nieruchomo w spokojnem powietrzu. Bez pobudzenia zatem, bez podniety z zewnątrz, ciała nie wychodzą ze spoczynku, nie poczynają się ruszać.

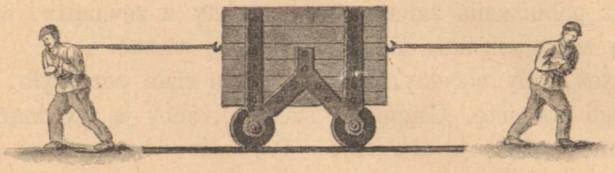
To też, gdy chcemy, żeby się jakie ciało poruszyło, dajemy mu do tego podnietę. Ciągniemy szufladę, żeby ją wysunąć; popychamy okno, ażeby je otworzyć. Poruszamy huśtawkę, ażeby ją rozkołysać; żeby koło wprawić w obrót, naprzemian ciągniemy ku sobie jego korbę i od siebie ją odpychamy. Ciągnienie, pchanie, naciskanie nazywa się w nauce *wywieraniem siły*. Człowiek wywiera siłę zapomocą *mięśni*. Ale nie tylko człowiek ma władzę wywierania *siły*. Kula tocząca się przewraca w kręglach słupki; woda płynąca rzeką porusza młyn wodny; wiatr wznosi kurz do góry, obraca wiatraki, niekiedy zrywa kapelusze z głów a nawet dachy z domów. Sprężyna nakręcona wprawia kółka zegarkowe w ruch, więc musi je popychać i pociągać podobnie, jak ręka ludzka popycha i pociąga korbę koła, które obraca. Rzeczywiście, jeśli skręcimy sprężynę ręką, albo taśmę kauczukową mocno w ręku

wyciągniemy, uczujemy, że sprężyna uciska rękę, że taśma ją ciągnie, zupełnie jak gdyby ktoś ją uciskał lub ciągnął. Próbując młode drzewko zgiąć i pochylić ku ziemi, czujemy, że ono opiera się temu i ciśnie na naszą dłoń. Więc sprężyna skręcona, taśma wyciągnięta, drzewko przygięte wywierają siłę; siłę tę nazywamy *siłą sprężystości.*

## § 10. Równowaga.

Kiedy jakaś siła działa na ciało, wyprowadza je ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w jakimś kierunku (§ 4.); zatem każda siła działa w jakimś kierunku, mianowicie w tym, w którym nadaje ruch. Drzewko np. zgięte ciśnie w tym kierunku, w jakim powraca do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od nacisku.

Wystawmy sobie, że na jakieś ciało działają jednocześnie *dwie siły jednakowe,* lecz mające wprost przeciwne kierunki. Przypuśćmy np., że jedna ciągnie jakieś ciało w prawo a druga w lewo. Ciało nie poruszy się ani w prawo ani w lewo i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że *siły równoważą się;* mówimy, że ciało pod działaniem dwóch jednakowych lecz przeciwnych sobie sił pozostaje *w równowadze.* Jeśli np. dwaj ludzie jednakowo silni staną po dwu stronach wagonu i każdy pocznie ciągnąć



Rys. 4.

ku sobie (rys. 4.), wówczas wagon nie ruszy wcale z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął. Jeśli z jednej strony ciągnąć go będzie dwu ludzi, a z drugiej jeden człowiek, wagon pójdzie w stronę silniejszego ciągnienia; ale wtedy połowa wysiłku dwu ludzi pójdzie na zniweczenie siły trzeciego, który opiera im się z drugiej strony wagonu.

## § 11. Siła ciężkości.

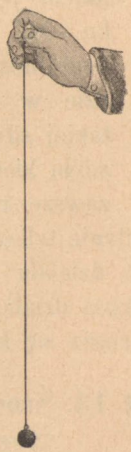
Umocujmy w podłodze jeden koniec taśmy kauczukowej a drugi ciągnijmy ku sobie; taśma ciągnie naszą rękę ku dołowi.

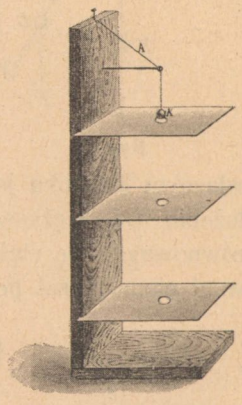
Weźmy duży kamień i trzymajmy go w dłoni; kamień ciągnie naszą rękę ku dołowi podobnie, jak ciągnęła ją taśma. Połóżmy kamień na materacu lub poduszce; kamień przyciska je podobnie, jak gdyby je kto ręką przyciskał. Zawieśmy kamień na drzewku wygiętem; drzewko nie wyprostuje się, jak gdyby je kto przytrzymywał ręką (rys. 5.). Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, iż kamień przyciska i ciągnie. Nazywamy tę siłę *siłą ciężkości*.


Rys. 5.

Trzymajmy kamień w ręku; siła ciężkości działa nań ciągle, ale *równoważymy ją* (§ 10.) siłą naszych mięśni. Otwórzmy rękę; wówczas siła ciężkości sama jedna działa na kamień. Kamień zaczyna się poruszać. Dokąd pójdzie? Nie będziemy go szukali na ścianach, ani na suficie; wiemy, że pójdzie na dół, że będzie *spadał* (§ 4.). Zatem siła ciężkości ciągnie ciała na dół ku ziemi i nadaje im ruch w tym kierunku, jeśli żadna inna siła jej w tem nie przeszkadza.

Rozważmy to dokładniej. Weźmy *pion*, czyli nić obciążoną ciężarkiem i trzymajmy ją w ręku, jak pokazuje rys. 6. Nić wypręża się i przybiera kierunek linii prostej, którą nazywamy *linią pionową*. Powiadamy, że każdy przedmiot, puszczony zupełnie swobodnie (a zatem poddany działaniu samej tylko siły ciężkości), spada na dół w kierunku pionowym. Trudno jest wypuścić coś z ręki zupełnie swobodnie, nie popchnąć przytem w żadnym bocznym kierunku. Urządźmy więc następujące doświadczenie. Wycinamy otwory w kilku kawałkach tektury (rys. 7.) takie, ażeby mogła przejść przez nie kulka $K$ pionu. Jeśli pion, wisząc swobodnie, będzie przechodził przez środki otworów, wówczas będą one przypadały pionowo jeden pod drugim; musimy przedewszystkiem tak ustawić kawałki tektury. Wciągamy teraz kulkę ponad otwór najwyższy, umocowujemy część nitki w poło-


Rys. 6.

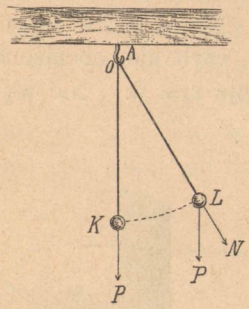

Rys. 7.

żeniu pochyłem i tę część przepalamy, dotykając w *A* płomieniem; wtedy kulka spada bez bocznego popchnięcia. Zobaczymy, że przejdzie przez wszystkie otwory. *Siła ciężkości ma więc kierunek pionowy ku ziemi.*

## § 12. Siła ciężkości w równowadze z innemi siłami.

Gdy zgięliśmy drzewko ręką i trzymamy je nachylone do ziemi, wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą naszych mięśni. Jeżeli drzewko w tem położeniu utrzymuje ciężar, zawieszony na niem (rys. 5.), wtedy siła sprężystości drzewka równoważy się z siłą ciężkości.

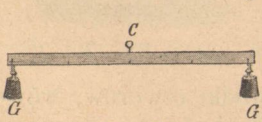
W pionie, wiszącym spokojnie (rys. 6.), nitka wypręża się prosto pod działaniem siły ciężkości. Tu ciężkość kulki pionu równoważy się z mocą, z wytrzymałością nitki; pod działaniem bardzo znacznego ciężaru nitka się urywa, podobnie jak urywa się w ręku pod bardzo mocnem ciągnieniem. Drut metalowy ma większą wytrzymałość niż nitka. Drut taki, np. *OK* (rys. 8.), zakończony kulką i zawieszony na haku *A*, zachowuje się podobnie jak pion. Wisi on spokojnie w położeniu pionowem *OK*, w każdem zaś innem położeniu, np. *OL*, zaczyna opadać ku *OK*. Przyczyna tego jest następująca. Drut może się obracać na haku a zatem będzie w równowadze tylko pod działaniem takiej siły, któraby go ciągnęła w jego własnym kierunku. Lecz ciężkość, która działa zawsze na dół pionowo, przypada w jego własnym kierunku jedynie tylko w położeniu *OK*. Gdyby np. w położeniu *OL* ciężkość działała w kierunku *LN*, mielibyśmy i tam równowagę; ale ciężkość działa tam w kierunku *LP*, więc równowagi niema, drut porusza się ku położeniu *OK*.



Rys. 8.

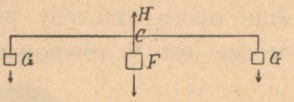
## § 13. Środek ciężkości.

Weźmy drążek drewniany (rys. 9.), wkręćmy w jego środku kółeczko *C* a na końcach uwiążmy jednakowe ciężarki *G*, *G*. Zawieśmy kółeczko na nitce lub na haczyku. Ująwszy nitkę lub haczyk, możemy trzymać drążek w równowadze t. j. tak, żeby się nie przechylał ani w jedną, ani w drugą stronę;



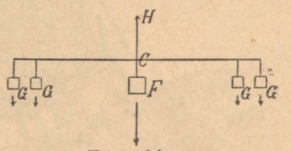
Rys. 9.

możemy nawet, nie psując równowagi, podnosić drążek ku górze. A zatem dwa równe ciężary, działające na końce drążka, równoważą się tutaj z siłą naszych mięśni, działającą na środek drążka. Dzięki drążkowi równoważymy lub podnosimy oba ciężary $G$, $G$ tak, jak gdybyśmy bezpośrednio do nich przyłożyli naszą siłę. Możnaby odwrotnie zastąpić te dwa ciężary $G$, $G$ przez jeden dwa razy większy ciężar $F$, wiszący w pośrodku $C$ drążka (rys. 10.); wówczas potrzeba znów takiejsamej siły $H$, jak poprzednio, ażeby zrównoważyć drążek lub podnieść go do góry.

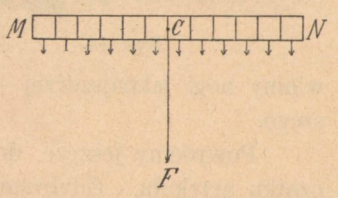


Rys. 10.

Podobnież, cztery ciężary $G$, $G$, $G$, $G$, jak na rys. 11., możnaby zastąpić przez jeden, cztery razy większy ciężar $F$, wiszący w pośrodku. Siły zatem czyli ciężary $G$ składają się tutaj na siłę $F$, która się też nazywa ich *wypadkową* i która je może zastąpić. Podobnież będzie w sztabie $MN$ (rys. 12.); możemy wystawić sobie, że składa się ona z osobnych części, z których każda ma swój ciężar; wszystkie te ciężary składają się na ciężar wypadkowy $F$, działający w punkcie $C$. Ów punkt $C$, w którym jak gdyby skupia się cały ciężar ciała, nazywa się *środkiem ciężkości*. Siła ciężkości działa na każde ciało tak, jak gdyby była przyłożona do jego środka ciężkości.

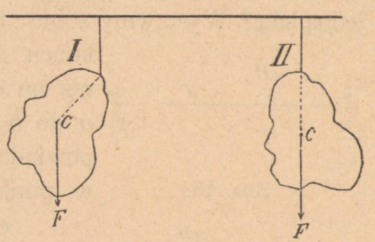


Rys. 11.



Rys. 12.

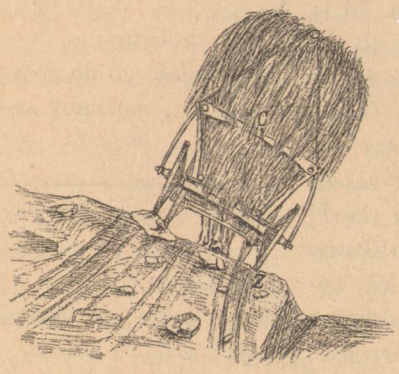
Można np. trzymać sztabę $MN$ (i podobnież każdą laskę np.) w położeniu poziomem w równowadze, podpierając ją jednym palcem w punkcie $C$, czyli w jej środku ciężkości. Jeśli ciało wisi na sznurku (rys. 13.), nie może ono być w równowadze, gdy środek ciężkości nie znajduje się wprost pod nicią, w jej bezpośredniem przedłużeniu. W położeniu więc $I$ ciało nie będzie w równowadze, podobnie jak drut z kulką nie był w równowadze w położeniu $OL$ (rys. 8.). Przeciwnie, w położeniu $II$ ciało będzie w równowadze.



Rys. 13.

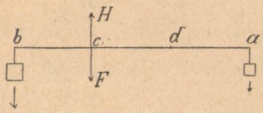
Ciężar ciała, zawieszonego na nici, równoważy się z wytrzymałością nici, a ciężar ciała podpartego — z oporem podstawy.

Ale wiemy, że cały ciężar ciała jest jak gdyby skupiony w środku ciężkości i działa nań na dół pionowo. Zatem: jeżeli linia pionowa, poprowadzona ze środka ciężkości, trafia w podstawę ciała, wtedy ciało *stoi* czyli jest w równowadze. Jeśli zaś ta linia trafia poza obrębem podstawy, ciało przewraca się, bo ciężar jego nie znajduje oporu, któryby go równoważył. Tak więc wóz na równej drodze jest w równowadze, lecz na pochyłości linia, wychodząca pionowo na dół ze środka ciężkości, zbliża się ku kołom. Na rys. 14. widzimy położenie, w którem przechodzi ona właśnie przez koło *(CZ)*: jeszcze najmniejsze pochylenie a wóz musi się wywrócić. Dlaczego trudno jest postawić kij na stole; dlaczego pochylamy się na lewo lub wyciągamy lewą rękę, gdy niesiemy ciężar w prawej; dlaczego, żeby mocno i pewnie stanąć, rozstawiamy nogi jaknajszerzej — łatwo wytłumaczyć na mocy powyższego.

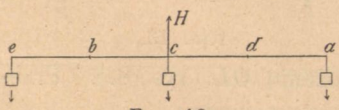


Rys. 14.

Powróćmy jeszcze do drążka, o którym była mowa na początku artykułu. Gdybyśmy uwiązali na jednym jego końcu ciężar dwa razy większy, niż na drugim, drążek, zawieszony w pośrodku, nie byłby już w równowadze; mocniej obciążony koniec przeważyłby t. j. przechyliłby się ku dołowi. W jakiem miejscu trzebaby było wkręcić teraz kółeczko, żeby znowu zrównoważyć oba ciężary jedną siłą? Wystawmy sobie (rys. 15.) drążek, obciążony na jednym końcu *(b)* ciężarem dwa razy większym, niż na drugim *(a)*. Podzielmy odległość od *a* do *b* na trzy równe części: *bc, cd, da;* powiadamy, że trzeba przyłożyć siłę *H* w punkcie *c*, żeby zrównoważyć nią oba ciężary, wiszące w *a* i *b*. Istotnie: przypuśćmy na chwilę, że drążek nasz jest dłuższy, niż wprzódy, mianowicie (rys. 16.) dłuższy o długość *be*, równą każdemu z trzech odstępów *bc, cd, da*. Zamiast podwójnego ciężaru, wiszącego w punkcie *b*, mogłyby wówczas wisieć dwa poje-



Rys. 15.

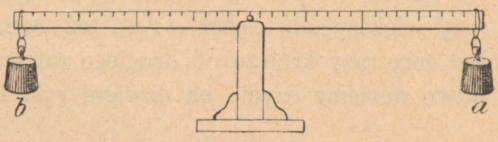


Rys. 16.

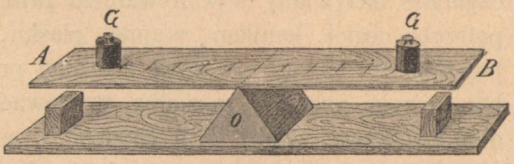
dyncze ciężary w *c* i w *e*, albowiem, jak wiemy, dwa równe ciężary można zastąpić przez jeden, podwójny, wiszący pomiędzy niemi w pośrodku. Przyłożywszy teraz siłę *H* do punktu *c*, równoważymy nią najprzód ciężar w *c* a powtóre także ciężary w *a* i w *e*, ponieważ te dwa ostatnie są równe i wiszą jednakowo daleko od *c*. Zatem ten drążek będzie w równowadze, a temsamem i poprzedni (rys. 15.) będzie w równowadze, gdy przyłożymy siłę *H* w punkcie *c*. Powiadamy jak wprzódy: pewien ciężar *A* i dwa razy większy ciężar *B* składają się na siłę wypadkową *F;* ta wypadkowa działa na punkt, który leży dwa razy dalej od *A* niż od *B*. Tak więc w ciele, składającem się z części niejednakowo ciężkich, środek ciężkości musi przypadać stosunkowo dalej od lżejszych, a bliżej cięższych części. Jeśli laska ma ciężką gałkę, trzeba podpierać ją palcem bliżej gałki, a nie w środku, żeby utrzymać równowagę w położeniu poziomem.

## § 14. Dźwignia.

Jak w § 13., weźmy drążek drewniany (rys. 17.), na końcach uwiążmy dwa jednakowe ciężarki *a*, *b;* lecz zamiast zawieszać go na nitce, utwierdźmy w nim w środku oś i tą osią połóżmy go na podstawce. Oba ciężary, działające na końce drążka, równoważą się teraz z oporem podstawki, który działa na jego środek; drążek będzie więc w równowadze, taksamo jak poprzednio w § 13. Nazywamy podobny przyrząd *dźwignią*, a części jego od osi aż do punktu zawieszenia ciężaru — *ramionami dźwigni*. Zatem dźwignia, przedstawiona na rys. 17., jest równoramienna. Inną dźwignię widzimy na rys. 18.; składa się ona z deseczki, położonej na trójkątnej podstawce *O*. I ona będzie w równowadze, gdy jednakowe ciężarki *G*, *G* stać na niej będą w jednakowej odległości od podstawki. Powiadamy zatem: *potrzeba do ró-*



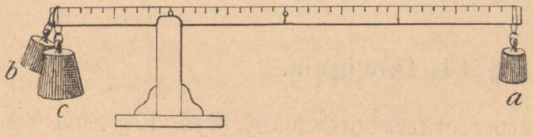
Rys. 17.



Rys. 18.

*wnowagi dźwigni równoramiennej, ażeby ciężary jednakowe działały w odległości jednakowej od osi obrotu*, t. j. żeby działały na *ramiona jednakowe*.

Zawieśmy teraz na dźwigni rys. 17., lub połóżmy na dźwigni rys. 18. ciężary niejednakowe w odległości jednakowej od osi; równowagi nie będzie. Czego więc potrzeba do równowagi, gdy ciężary są niejednakowe? Możemy to wywnioskować z tego, co powiedzieliśmy przy końcu § 13. Weźmy np. jakiś ciężar i inny ciężar, dwa razy większy. Z rys. 15. widzimy, że do równowagi dźwigni, na którą działają takie dwa ciężary, potrzeba, ażeby podstawka (czyli oś obrotu) była umieszczona dwa razy bliżej większego ciężaru, innemi słowy, potrzeba, *ażeby ciężar dwa razy większy działał na ramię dwa razy krótsze*. Gdyby jeden ciężar był trzy razy większy od drugiego, musiałby podobnież dla równowagi działać na ramię trzy razy krótsze. Widzimy taką równowagę na rys. 19.; *a* i *b* są to ciężarki jednakowe, *c* zaś waży tyle, ile *a* i *b* razem wzięte. A zatem ciężar *b* i *c* razem wzięty jest trzy razy większy niż ciężar *a;* to też ramię tego potrójnego ciężaru jest trzy razy krótsze od drugiego ramienia. Podobne doświadczenia łatwo możemy czynić na dźwigni rys. 18.



Rys. 19.

## § 15. O pracy.

Gdy murarze budują dom, wówczas jedni wnoszą cegły, kamienie, wapno i t. d. na wysokość tego piętra, jakie jest w robocie; inni zapomocą lin wyciągają na tę wysokość belki. Taką czynność nazywamy wykonywaniem *pracy*. Do zbudowania domu potrzeba cegieł, kamieni, wapna, piasku, drzewa i t. d., ale nadto potrzeba też *pracy*, potrzeba znacznej pracy; jeden człowiek np., bez niczyjej pomocy, musiałby pracować wiele lat, zanimby cały dom zbudował. Żeby dom zbudować, potrzeba wykonać pewną, określoną pracę; trzeba np. wnieść tyle a tyle cegieł na pierwsze piętro, tyle a tyle na drugie i t. d.; w żaden sposób bez pracy tego dokonać nie można. Żeby zbudować dom trzypiętrowy, trzeba większej pracy, niż żeby zbudować dwupiętrowy. Widzimy zatem,

że *praca* bywa większa i mniejsza; że praca jest czemś, co można mierzyć. Wnieść np. 20 cegieł na pierwsze piętro wymaga pracy dwa razy takiej, jak wnieść ich 10 na tosamo piętro. Wnieść 10 cegieł z dołu na pierwsze piętro, lub wnieść je z pierwszego piętra na drugie — wymaga pracy tejsamej, jeżeli, przypuśćmy, obadwa piętra są jednakowo wysokie. A zatem wniesienie cegieł z dołu na drugie piętro wymaga wówczas dwa razy takiej pracy, jak wniesienie ich na pierwsze. Powiadamy ogólnie: *podniesienie ciężaru o pewną wysokość wymaga pracy tem większej, im znaczniejszy jest ciężar i im większa wysokość, o jaką go podnosimy.*

## § 16. Praca a siła.

Robotnik, wnosząc cegły na wysokość piętra, musi równoważyć ich ciężar siłą swoich mięśni (§ 11.), gdyż inaczej zaczęłyby zaraz spadać ku ziemi. A zatem, żeby wykonać *pracę*, trzeba mieć *siłę*; ale można mieć siłę a nie wykonywać pracy. Naprzykład, jeśli robotnik stoi i trzyma cegłę w ręku nieruchomo, wówczas wywiera siłę, ale nie wykonywa pracy. Jeśli podnosi cegłę w ręku, wykonywa pracę; jeśli, obarczony cegłami, wchodzi na górę, wykonywa jeszcze większą pracę, bo przezwycięża nie tylko ciężar cegieł, ale i swój własny.

Przypuśćmy, że dwóch robotników (np. *A* i *B*) wnosi cegły na wysokość piętra; *A* i *B* mają każdy np. po 100 cegieł do wniesienia. Mają więc jednakową pracę do wykonania; ale *A* jest w stanie dźwignąć odrazu 20 cegieł, gdy *B* tylko 10 może dźwignąć odrazu. Wówczas *A*, żeby swoją pracę wykonać, wejdzie 5 razy na piętro, gdy tymczasem *B*, ażeby swoją wykonać, będzie musiał wejść 10 razy. Przypuśćmy, że piętro ma wysokości 4 metry; w takim razie *A*, licząc wprost w górę, odbędzie ogółem drogę 20 metrów, *B* zaś — drogę 40 metrów. A więc *siła, dwa razy mniejsza, ale pracująca przez drogę dwa razy dłuższą, wykonywa pracę tęsamą.*

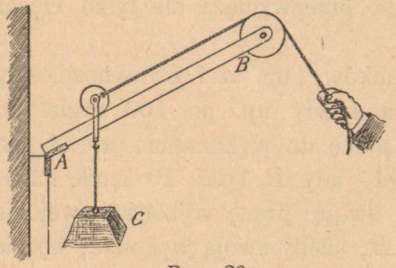
## § 17. O energii.

Robotnik, który bierze 10 cegieł na siebie za każdym razem, gdy wchodzi na piętro, mógłby zapewne udźwignąć 12, gdyby się nieco wysilił, a nawet może 15 i więcej. Ale, podczas gdy mógł,

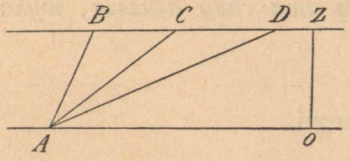
biorąc po 10 cegieł, pójść z niemi do góry np. trzydzieści razy z rzędu, teraz, obarczony 15 cegłami odrazu, zmęczy się znacznie wcześniej. A zatem człowiek może wywrzeć chwilowo siłę większą lub mniejszą, ale pracę może wykonać tylko ograniczoną. W każdym z nas jest jakby pewien zasób pracy, z którego możemy czerpać, jakby pewien *zapas pracy*, który możemy wydawać; gdy wszystek wydamy, nie jesteśmy zdolni do dalszego wykonywania pracy, aż nowy zasób w nas się nagromadzi. Taki zasób pracy, gotowej do wydania, nazywamy *energią*. Gdy ktoś pracuje, wydaje swoją energią, wydaje ją na wykonywanie pracy; jeśli próżnuje, wtedy przechowywa, co prawda, zasób swój nienaruszony, nie wydaje swojej energii, ale nie ma też z niej żadnego pożytku. Energia jest jakby bogactwem, z którego wydatkiem jest praca.

## § 18. Praca przeciwko ciężkości.

Siła ciężkości działa w kierunku pionowym ku dołowi (§ 11.) a zatem sprzeciwia się podnoszeniu się ciał prosto do góry t. j. ruchowi ich pionowemu do góry. Dlatego też trzeba wykonywać pracę, ażeby podnosić ciała do góry. Spróbujmy teraz podnosić jakieś ciało nie wprost do góry, lecz w kierunku pochyłym. Ciężar *C* np. możemy (rys. 20.) przesuwać po pochyłym drążku *AB* za pośrednictwem sznurka i dwóch kółek, z których jedno toczy się po drążku a drugie, osadzone na końcu, kręci się swobodnie. Ustawmy drążek prawie zupełnie pionowo; ciągnienie będzie wymagało znacznego wysiłku. Nachylajmy drążek ku poziomemu położeniu; ciągnienie będzie wymagało coraz mniejszego wysiłku; siła ciężkości coraz mniej będzie się opierała ruchowi. Ruchowi poziomemu siła ciężkości nie sprzeciwia się wcale. Lecz, im drążek jest bardziej nachylony do poziomu, tem dłuższą drogę musi odbyć ciężar, ażeby się podnieść o pewną wysokość. Przypuśćmy np., że *AO* na rys. 21. wyobraża poziom podłogi w pokoju, a *BCDZ* —



Rys. 20.



Rys. 21.

poziom sufitu. Jeśli w tym pokoju ciężar wznosi się z podłogi na sufit, istotne podniesienie będzie zawsze *OZ*, długość zaś drogi będzie tem większa, im znaczniejsze jej nachylenie *(AB, AC, AD)*. Lecz, jak wiadomo z § 16., *praca* zależy zarazem i od siły, jaka pracuje i od długości drogi, przez którą pracuje; a zatem: *praca, potrzebna do podniesienia ciężaru, nie zależy od nachylenia drogi, lecz tylko od wysokości istotnego podniesienia.*

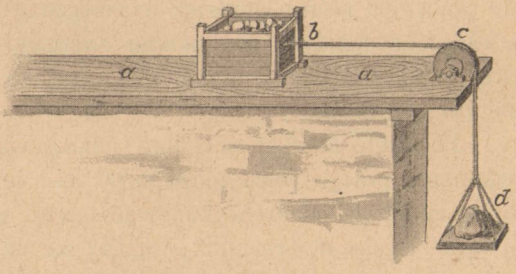
## § 19. Tarcie.

Jeśli siła ciężkości nie sprzeciwia się poziomemu ruchowi, czemuż tedy tak trudno posunąć kamień po ziemi lub skrzynię po podłodze? Oto z powodu *tarcia* kamienia o ziemię, z powodu tarcia skrzyni o podłogę, nie z powodu ciężaru kamienia lub ciężaru skrzyni. Na całkiem inny opór natrafiamy, jeśli chcemy wóz *podnieść*, niż jeśli chcemy go *ciągnąć*. W pierwszym razie mamy do czynienia z ciężarem wozu, w drugim razie z tarciem kół o ziemię i osi o panewki. Co innego więc tarcie a co innego ciężar. Kamień doznaje znacznego tarcia o sukno a znacznie mniejszego o szkło lub lód, tymczasem ciężar kamienia jest oczywiście zawsze takisam, czy kamień leży na suknie, czy na szkle, czy na lodzie.

Pokonywanie oporu, wynikającego z tarcia, wymaga pracy, podobnie jak jej wymaga przezwyciężanie siły ciężkości.

## § 20. Praca siły ciężkości, praca siły sprężystości.

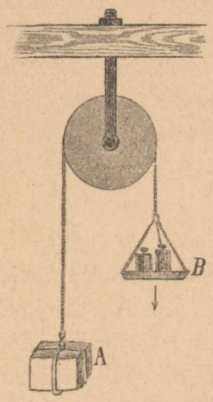
Kiedy człowiek wykonywa pracę, np. podnosi ciężar lub przezwycięża tarcie, możemy powiedzieć, że pracę tę wykonywa siła jego mięśni. Jak siła mięśni człowieka może wykonywać pracę, podobnież każda inna siła może ją wykonywać. Naprzykład siła ciężkości może pracować. Jeżeli np. ciężar *d*, opadając (rys. 22.),



Rys. 22.

za pośrednictwem sznura, przerzuconego przez kółko czyli *bloczek c*, ciągnie skrzynkę *b* po stole *(aa)*, wtedy siła ciężkości będzie wy-

konywała pracę, która wychodzi na pokonanie tarcia. Jeżeli, jak na rys. 23., ciężar większy $B$, opadając, podnosi do góry ciężar mniejszy $A$, wtedy siła ciężkości, działająca na $B$, dostarcza pracy, potrzebnej do pokonania ciężkości ciała $A$ a nadto jeszcze i tej pracy dostarcza, jaką zużywa tarcie sznurka o blok i osi bloka o panewkę, w której się kręci.



Rys. 23.

Podobnie siła sprężystości może wykonywać pracę. Gdy np. zgięte drzewko się wyprostowywa, może podnieść jakiś ciężar do góry lub przezwyciężyć jakieś tarcie; tosamo może uczynić skręcona sprężyna, gdy się rozkręca. W zegarku kieszonkowym siła sprężystości dostarcza pracy, potrzebnej do pokonywania tarcia kółek i osi, w zegarze zaś ściennym czyni to siła ciężkości.

## § 21. Energia skręconej sprężyny, energia podniesionego kamienia.

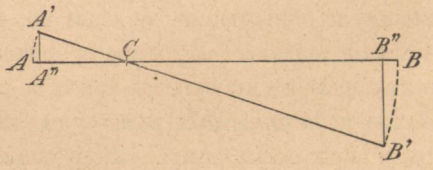
Sprężyna skręcona jest każdej chwili gotowa do wykonania pracy; lecz żeby ją wykonać, musi się rozkręcać. Gdy całkowicie się rozkręci, dalej już nie może dostarczać pracy. Zegarek nakręcony np. idzie przez pewien przeciąg czasu; później zatrzymuje się, bo sprężyna, która go poruszała, jest rozkręcona. A zatem skręcona sprężyna posiada jak gdyby pewien *zasób* pracy, gotowej do wydania; gdy go wyda wszystek, przestaje być zdolna do wykonywania pracy. Ten zasób pracy nazywamy *energią* skręconej sprężyny, podobnie jak energią człowieka nazywaliśmy (§ 17.) zasób pracy, do której człowiek niezmęczony jest zdolny. Powiadamy, że skręcona sprężyna *ma pewną energią*; gdy pracuje, wydatkuje z tej energii; a gdy ją wyda całą, jest wyczerpana, dalszej pracy dać już nie może.

Podobnie kamień lub inny jakikolwiek ciężar jest gotów do wykonania pracy, jeżeli może zejść jeszcze niżej, niż się w danej chwili znajduje; ażeby wykonywać pracę, kamień musi się obniżać. Np. jeśli ciężar $d$ (rys. 22.) obniży się aż do podłogi, nie będzie mógł dalej pracy dostarczać na pokonywanie tarcia. A zatem kamień podniesiony posiada pewien zasób pracy, gotowej do wydania, który też nazywamy *energią* kamienia. Kamień, który już nie może

zejść niżej, wydał energią, jaką posiadał, podobnie jak rozkręcona sprężyna ją wydała.

## § 22. Praca nie tworzy się z niczego.

Różnymi sposobami możemy podnieść ciężar do góry. Możemy go podnosić wprost ręką, albo ciągnąć wzdłuż pochyłego drążka (§ 18.); możemy go ciągnąć za pośrednictwem sznura i bloka (§ 20.), podnosić zapomocą dźwigni (§ 14.) i wielu innymi jeszcze sposobami. Jakimkolwiek sposobem będziemy ciężar podnosili, samo podniesienie pewnego ciężaru o pewną wysokość zużyje pewną, określoną ilość pracy i *ani mniej, ani więcej*. W pewnych razach może odbywać się, oprócz podnoszenia, coś innego, co wymaga pracy dodatkowej, np. tarcie; z takiej dodatkowej pracy możemy coś oszczędzić, ale z właściwej pracy samego podnoszenia niepodobna nic żadnym sposobem oszczędzić. Podnosząc ciężar, nie możemy wykonać mniej pracy i nie możemy wykonać jej w tym celu więcej, bo praca dodatkowa zostanie zawsze zużyta na coś innego, nie na samo podnoszenie. Naprzykład, jeśli oś bloka jest niewysmarowana, podnoszenie ciężaru będzie kosztowało wiele pracy; ale nadmiar pracy naszej nie pójdzie na podnoszenie ciężaru, lecz na pokonanie znacznego tarcia. Ale, jak wiadomo (§ 16.), określoną jakąś pracę może wykonać siła mniejsza i większa. To więc może sprawić jakiś przyrząd, żeby siła mniejsza wykonywała taką pracę, do jakiej bez niego byłaby potrzebna siła większa. Ale *czego żaden przyrząd sprawić nie może, to stworzyć choćby najmniejszą ilość pracy*. Żaden przyrząd nie wykona więcej pracy, niż mu jej dostarczymy. Oto co to znaczy. Na dźwigni można zrównoważyć (§ 14.) duży ciężar małym ciężarem. Niechaj będzie $ACB$ (rys. 24.) dźwignią, $C$ osią obrotu i niechaj $BC = 3$ razy $AC$. W takim razie ciężar, wiszący w $A$, można zrównoważyć w $B$ ciężarem trzy razy mniejszym; dodając jeszcze w $B$ choćby najmniejszy ciężarek, można $A$ *przeważyć* t. j. podnieść ciężar $A$ do góry. *Małą więc siłą można, zapomocą dźwigni, pokonać znaczną siłę*. Ale jeśli ciężar $A$ jest trzy razy większy od $B$, mu-



Rys. 24.

simy go zawiesić trzy razy bliżej osi obrotu. Zatem poruszenie się dźwigni podniosłoby *A* o wysokość trzy razy mniejszą, niż wysokość, o którą obniżyłoby *B*. Tak np. podniesienie się *A'A"* jest trzecią częścią obniżenia się *B" B'*. Gdy zaś praca, zużywana w podnoszeniu (lub dostarczana nam w obniżaniu się ciężaru) zależy nie tylko od wielkości ciężaru, ale i od wysokości przebytej (§ 15., § 18.), przeto widzimy, że dźwignia na podnoszenie *A* wydaje tyle pracy, ile jej dostarcza obniżanie się *B*. Dźwignia więc *nie daje żadnej oszczędności w pracy*; z powodu tarcia osi o panewkę musimy nawet w dźwignię włożyć nieco więcej pracy, niż ona nam zwróci.

## § 23. Praca nie ginie.

Żeby skręcić sprężynę, trzeba wykonać pracę; ale też zato sprężyna, skoro jest skręcona, ma energią (§ 21.), czyli sama teraz może wykonać pracę. A zatem praca, którą wydaliśmy na skręcenie, nie zginęła, nie jest stracona; sprężyna skręcona może nam każdej chwili ją zwrócić. Podobnież, żeby podnieść kamień, trzeba wykonać pracę; ale praca ta nie zginęła, gdyż kamień podniesiony ma energią, więc może nam zwrócić pracę, którą wydaliśmy na podniesienie.

Przypuśćmy, że podnieśliśmy kamień o pewną wysokość i że następnie puściliśmy go swobodnie; kamień spada na dół ku ziemi. Na cóż została tu zużyta praca, którą wydaliśmy dla podniesienia kamienia? Została ona zużyta na przyśpieszenie ruchu ku ziemi. Zdjąwszy np. *nieco* ciężarków z szalki *B* na bloku (rys. 23.), sprawimy, że ciężar *A* pocznie powoli opadać; jeśli nagle wszystko z *B* zdejmiemy, *A* odrazu na dół poleci. Tu zatem praca, której dostarcza opuszczanie się ciała *A*, zużywała się najprzód na pokonywanie ciężkości *B*, a kiedy tego oporu zabrakło, obróciła się na wzmożenie ruchu samego spadającego ciała. Stąd widzimy, że *nadanie jakiemu ciału pewnej prędkości jest także pracą*, wymaga także wykonania pracy. Żeby *rzucić* kamień w górę, trzeba wykonać pracę taksamo, jak żeby go w górę *wciągnąć* lub podnieść; tylko, gdy się go rzuca, wykonywa się pracę odrazu, gdy się go wciąga lub podnosi, wykonywa się ją powoli, stopniowo.

Widzimy dalej, że kamień, gdy został rzucony, nabył przez to pewnej *energii*. Kamień rzucony może coś naprzykład przewró-

cić, złamać lub potłuc; kula wystrzelona może przebić ścianę; tymczasem kamień lub kula, leżąc na ziemi, nie mogą uczynić nic podobnego. Młotek samym swoim ciężarem nie wciśnie gwoździa do deski; trzeba *uderzyć* młotkiem, żeby pokonać opór deski. Mówimy nieraz o *zamachu* lub *rozmachu* ciała, które się porusza; chcemy przez to powiedzieć, że ma ono wówczas energią. *Ciało, które się porusza, posiada pewną energią dzięki temu ruchowi.* A zatem też *praca*, jaką musimy wykonać, ażeby ten ruch ciału nadać, *nie ginie*, nie jest stracona; ciało poruszające się może nam ją zwrócić, bo posiada energią, energią ruchu.

## § 24. Bezwładność.

Pojmujemy teraz, dlaczego ciała same przez się nie przechodzą nigdy ze spoczynku w ruch (§ 9.). Albowiem, gdy ciało się porusza, ma energią ruchu, a tej energii nie może sobie samo przez się wytworzyć; do wytworzenia energii potrzeba bowiem pracy a więc działania siły jakiejś z zewnątrz. Dalej, jeżeli ciało już jest w ruchu, a więc już posiada pewną energią ruchu, wówczas nie może samo przez się tej energii powiększyć a zatem nie może samo przez się począć odrazu poruszać się prędzej. Do tego potrzeba pracy, a więc działania siły zewnętrznej.

Jak samo przez się ciało nie może zwiększyć swej energii, tak też samo przez się nie może jej *zmniejszyć*. Ciało tylko wtedy traci na energii, kiedy wykonywa pracę, więc kiedy przezwycięża opór jakiejś siły zewnętrznej. A zatem *poruszające się ciało odbywa ruch swój bez zmiany, dopóki mu w tem żadna obca siła nie przeszkodzi. I podobnież spoczywające ciało zachowuje spoczynek swój bez zmiany, dopóki go do ruchu żadna obca siła nie zmusi.* Takie zachowywanie się ciał nazywamy ich *bezwładnością*.

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Wyskakując z biegnącego powozu, czujemy, że nasze ciało dąży do zachowania ruchu. Gdy stoimy w biegnącym wagonie a pociąg nagle zwalnia, stopy nasze, oparte o podłogę, zwalniają swój bieg, ale reszta ciała przez bezwładność pochyla się naprzód. Wprost przeciwnie, jeśli stoimy w wagonie nieruchomym, a pociąg nagle ruszy, przechylamy się w tył przez bezwładność. Z podobnego powodu gmachy i budynki pękają i rozpadają się naskutek trzęsienia ziemi; fundamenty

poruszają się nagle, reszta zaś budowli trwa przez bezwładność w swym poprzednim spoczynku. Korzystamy z bezwładności, gdy strząsamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie nam się w ręku, gdy, trzymając za jeden koniec, próbujemy nagle wywijać nim bardzo prędko. Jeżeli, znajdując się w wagonie, upuściliśmy pieniądz na podłogę, wówczas spadnie on do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta nawet i wtedy, kiedy spada przez powietrze (kiedy przeto nic jej nie ciągnie ani nie popycha), zachowuje ruch, jaki miała, zanim została puszczona (por. § 8.). Płynąc czółnem, wyrzućmy piłkę pionowo do góry; nie wpadnie ona do wody poza czółnem, lecz wróci do rąk naszych. A zatem piłka podczas swej drogi w powietrzu zachowuje ruch, jaki miała, zanim została wyrzucona do góry, t. j. ruch czółna.

Jeżeli wózek, popchnięty po drodze, zatrzymuje się, jeżeli rozkołysana huśtawka się uspakaja, jeżeli koło na osi, wprawione w obrót, powoli przestaje się kręcić, dzieje się to wszystko nie dlatego, ażeby te ciała nie miały bezwładności, lecz dlatego, że w swym ruchu muszą przezwyciężać tarcie (§ 19.), a do tego potrzebna jest praca, która też bierze się z energii poruszającego się ciała. To też po gładkiej posadzce kula toczy się dłużej, niż po suknie; po lodzie wózek potoczy się dalej, niż po ziemi. Rozpędzony wagon biegnie długo sam przez się po szynach; łyżwiarz sunie daleko po lodzie mocą samej bezwładności.

## § 25. Masa.

Bezwładność ciał pochodzi więc stąd, że ciało, które się porusza, ma energią; ażeby mu tę energią dać, trzeba wykonać pracę. Ale bardzo rozmaita jest energia, jaką mają rozmaite ciała, poruszające się z jednakową prędkością. Gdyby np. główka młotka była zrobiona z drzewa lub z korka, uderzenie takiego młotka sprawiałoby oczywiście skutki nieporównanie mniejsze, niż uderzenie młotka o główce żelaznej. Żeby to wyrazić, powiadamy, że żelazna główka ma większą *masę*, niż drewniana lub korkowa; to znaczy, że, poruszając się z jednakową prędkością, ma *większą energią ruchu*. Podobnież duży kawał żelaza ma masę większą niż mały kawałek żelaza; ciężkim dużym młotem można wbić gwóźdź w zbitą ścianę, bardzo lekko nim uderzając.

Skoro ciało, przy pewnej prędkości, ma tem większą energią, im większą ma masę, tedy tem znaczniejszej wówczas pracy potrzeba, ażeby w niem tę prędkość wytworzyć. Popchnijmy jednakowo mocno po kolejce (jakie bywają po fabrykach i kopalniach) jeden wózek pusty, a drugi naładowany; pusty potoczy się dalej, więc prędkość, jakąśmy w nim wytworzyli, była większa. Powodem tego była mniejsza jego masa. Że istotnie tak jest, widzimy stąd, że znacznie trudniej jest powstrzymać w biegu wózek naładowany niż wózek pusty, jeśli rozpędzimy jednakowo jeden i drugi. Wózek naładowany ma większą masę, zatem większą energią ruchu przy jednakowej prędkości, więc nic dziwnego, że mu tę jego większą energią odebrać jest trudniej.

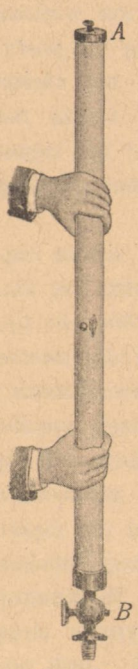
## § 26. Masa a ciężar.

Powiedzieliśmy, że główka młotka żelazna ma większą *masę* niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma większą masę niż mały; że wózek naładowany ma większą masę niż pusty. Ale wiemy, że główka żelazna jest też i cięższa, czyli ma *ciężar* większy, niż drewniana lub korkowa; że duży kawał żelaza ma ciężar większy, niż mały kawałek; że wózek naładowany ma ciężar większy, niż pusty. Pokazuje się więc, że *ciało, które ma większą masę, ma też i większy ciężar.*

Lecz cóż to jest ciężar ciała? Jest to siła, z jaką ziemia ciągnie ciało to ku sobie. Gdy ciało *spada* swobodnie, zbliża się ono ku ziemi pod działaniem tej właśnie siły. Wystawmy sobie, że np. główka od młotka żelazna spada swobodnie i że jednocześnie główka drewniana też spada swobodnie. Zróbmy to doświadczenie; zobaczymy, że spadają one jednakowo prędko. Jeśli zaczęły spadać razem, to razem też dochodzą do podłogi. Jakim sposobem tak się dzieje? Przecież na główkę żelazną działa siła większa, mianowicie większy jej ciężar? Tak jest; ale główka żelazna, która ma ciężar większy, ma też i masę większą. Większa masa potrzebuje właśnie działania większej siły, ażeby nabyć prędkość takąsamą. Wystawmy sobie np., że na zupełnie gładkiej drodze albo na szynach stoją dwa wózki, jeden o masie dwa razy większej niż drugi. Jeśli popchniemy je jednakowo mocno, wózek masywniejszy potoczy się oczywiście z mniejszą prędkością. Ażeby obadwa wózki nabyły jednakowych prędkości, potrzeba dwa razy mocniej popchnąć wó-

zek dwa razy masywniejszy, czyli przyłożyć doń siłę dwa razy większą. Zupełnie podobnie mają się rzeczy ze spadającemi ciałami. Jeśli ciała bardzo masywne i mniej masywne spadają jednakowo prędko, to widocznie na ciała masywniejsze działa siła przyciągania ziemi większa, na mniej masywne — siła mniejsza. Jeśli masa jakaś *A*, dwa razy większa od innej *B*, spada dokładnie taksamo, jak *B*, to widocznie siła przyciągania ziemi, działająca na *A*, czyli ciężar *A* jest też dwa razy większy od ciężaru *B*. *Skoro wszystkie ciała, spadając swobodnie, nabywają prędkości jednakowych, jest to dowodem, że ciężary ciał są do siebie w stosunku takim, w jakim są masy tych ciał.*

Mogłoby się wydawać, że nie wszystkie ciała nabywają prędkości jednakowych w spadaniu swobodnem, np. kamyk, moneta, kulka metalowa spadają widocznie prędzej, niż lekkie piórko lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednakowoż, że spadanie, jakie widujemy zwyczajnie, *odbywa się w powietrzu;* a ciało, poruszające się w powietrzu, doznaje *oporu*. Powiewając np. wachlarzem lub arkuszem tektury, czujemy opór powietrza. Trzeba uwolnić ciała spadające od tego oporu, ażeby podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.



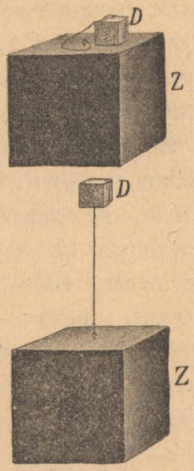
Rys. 25.

## § 27. W próżni wszystkie ciała spadają równie prędko.

W następującem doświadczeniu uwalniamy się od oporu powietrza. Z rury szklanej (rys. 25.), zaopatrzonej w kurek *B* (który można zaśrubować na talerzu pompy pneumatycznej, zob. § 50.) wyciągnięto powietrze; trzymamy ją kurkiem do góry, tak że kulka metalowa i piórko (które włożono do rury przed jej zamknięciem) leżą przy końcu *A*. Przewracamy teraz rurę raptownie; widzimy, że kulka i piórko *spadają razem i jednocześnie dochodzą do spodu*. Otworzywszy kurek i wpuściwszy tym sposobem powietrze, przekonywamy się, że piórko przybiega później do spodu rury niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka niż spadanie kulki? — Albowiem opór powietrza zależy od powierzchni ciała a nie od jego masy. Piórko ma większą

powierzchnię niż kulka, więc doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc skutek tego oporu na piórku będzie większy.

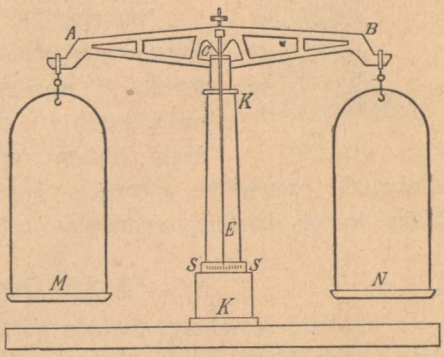
Weźmy kawałek żelaza *Z* (rys. 26.) i kawałek drzewa *D* i przywiążmy je do siebie zapomocą sznurka. Kładziemy drzewo na żelazie (rys. 26. u góry) i puszczamy je swobodnie. Gdyby cięższe żelazo miało jakąkolwiek dążność do spadania prędszego, nicby mu nie przeszkadzało wyprzedzić drzewo, odłączyć się od niego, wyprężyć sznurek, jak na rys. 26. u dołu. Ale tego bynajmniej nie widzimy: oba ciała spadają razem i dobiegają ziemi razem, jak na rys. 26. u góry. Przeciwnie, gdybyśmy ujęli *D* w rękę, pozwolili żelazu *Z* zawisnąć (rys. 26. u dołu) i w tem położeniu ciała puścili, wówczas w temsamem położeniu dobiegają ziemi. To dowodzi, że kawałek drzewa nie ma żadnej dążności do spadania prędszego niż kawałek żelaza; obadwa ciała dążą do poruszania się z jednakową prędkością pod wpływem ciężkości.



Rys. 26.

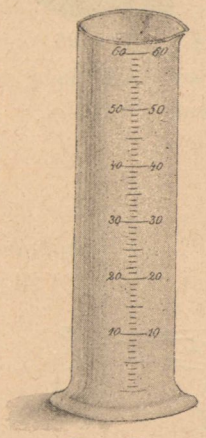
## § 28. Mierzenie mas.

Powiadamy zatem, że wszystkie ciała spadają *jednakowo prędko* pod wpływem samej tylko ciężkości. To, jak wiemy (§ 26.), jest dowodem, że *masy większe mają też ciężary większe, mianowicie większe w tymsamym stosunku.* Zatem, *żeby mierzyć masy, trzeba mierzyć ciężary ciał.* Do tego celu służy *waga.* Składa się ona z belki *AB* (rys. 27.), w której pośrodku mieści się na dół zwrócony trójkątny słupek czyli pryzmat *C;* tym pryzmatem belka spoczywa na podstawce *K* tak, iż ostrze pryzmatu stanowi oś, około której belka się waha. Belka dźwiga z dwóch stron szalki *M, N;* w pośrodku opatrzona jest we wskazówkę *E;* kołysanie się



Rys. 27.

belki poznajemy po ruchu tej wskazówki przed podziałką *SS*. Waga taka działa zupełnie jak dźwignia z rys. 17. i 18. w § 14., wogóle jak dźwignia równoramienna. Dopóki szalki są puste, belka znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie. Skoro naciśniemy łagodnie jedną szalkę, belka zaczyna się kołysać, ale się nie przewraca. Kiedy na jednej szalce, np. na prawej, leży ciało cięższe niż na drugiej, szalka prawa przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając ciężaru, doprowadzamy do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w pośrodku skali lub też wychyla się w obie strony jednakowo daleko. Na szalkach leżą wówczas ciała, których ciężary są *równe*. W ten sposób porównywamy ciężary różnych ciał z ciężarem umyślnie przygotowanych ciężarków; ciężar ich jest znany, t. j. porównany z jednostką ciężaru. Temsamem, jak wiemy, porównywamy też i *masy* ciał, które ważymy, z masą ciężarków a za ich pośrednictwem — z masą, obraną za jednostkę. Za jednostkę masy obrano *gram (g)*, t. j. masę jednego centymetra sześciennego czystej wody. Dziesięć gramów nazywamy *dekagramem*, tysiąc gramów — *kilogramem*, tysiączną zaś część grama — *miligramem*. A zatem milimetr sześcienny wody ma masę miligrama, czyli waży miligram; litr (czyli decymetr sześcienny) wody waży kilogram, metr sześcienny wody waży tysiąc kilogramów.



Rys. 28.

Na rys. 28. widzimy kubek szklany *dzielony*: skala nacięta na szkle oznacza, że aż do kreski 10 np. mieści się w nim dziesięć gramów wody i t. d. Mając wagę i dokładne ciężarki, można przyrządzić taki kubek albo też sprawdzić rzetelność gotowego kubka. Można też i na odwrót, mając kubek dzielony, sporządzić gramowe ciężarki.

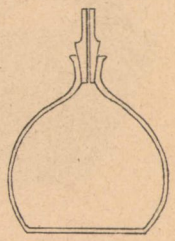
## § 29. Gęstość.

Zróbmy sześciany, mające po centymetrze długości w krawędzi, a więc równe każdy centymetrowi sześciennemu. Zróbmy jeden z ołowiu, drugi z żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (np. jodłowego), szósty z korka. Widzimy odrazu, że sześcian ołowiany jest najcięższy, a korkowy najlżejszy. Ale zapomocą wagi możemy poznać dokładniej, że:

| sześcian | waży około | | sześcian | waży około |
|---|---|---|---|---|
| ołowiany | 11 gramów | — | z lodu | $\frac{9}{10}$ grama |
| żelazny | $7\frac{1}{2}$ „ | — | z drzewa | $\frac{1}{2}$ „ |
| szklany | $2\frac{1}{2}$ „ | — | z korka | $\frac{1}{4}$ „ |

Gdyby można było zrobić z wody taką samą bryłkę, równą centymetrowi sześciennemu, ważyłaby ona jeden gram. Widzimy więc, że w pewnej objętości ołowiu, żelaza i szkła mieści się masa większa, niż w tejsamej objętości wody; a w pewnej objętości lodu, drzewa i korka mieści się masa mniejsza, niż w tejsamej objętości wody. Mówi się, że ołów, żelazo i szkło są *gęstsze* a lód, drzewo i korek — *mniej gęste* niż woda. Gęstością nazywa się liczba gramów w centymetrze sześciennym. A zatem woda ma gęstość 1, ołów ma gęstość 11, żelazo $7\frac{1}{2}$, szkło $2\frac{1}{2}$, lód 0·9, drzewo jodłowe 0·5, korek 0·25.

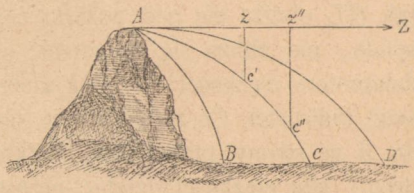
Rtęć jest cieczą taksamo jak woda, ale ma gęstość bardzo znaczną. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa kubki jak na rys. 28. Jeśli do jednego wlejemy 10 centymetrów sześciennych rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 centymetrów sześciennych wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem gęstość rtęci wynosi 13·5. Gęstość alkoholu (wyskoku) wynosi 0·8, a gęstość oliwy 0·9. Mierzymy gęstość tych cieczy najlepiej zapomocą bańki szklanej (rys. 29.), którą ważymy najprzód pustą, później pełną wody (aż do jakiejś kreski w wydrążonym koreczku), pełną alkoholu, oliwy i t. d. Odejmując za każdym razem ciężar bańki pustej, znajdziemy ciężary wody, alkoholu, oliwy, które wypełniały tęsamą objętość a stąd gęstość alkoholu i oliwy.



Rys. 29.

## § 30. Ruch ciała rzuconego.

Gdy puszczamy jakie ciało swobodnie, biegnie ono na dół po linii pionowej (§ 11.). Lecz jak się ciało poruszy, gdy je rzucimy z pewną prędkością w jakim bocznym kierunku? Będzie odbywało dwa ruchy jednocześnie (§ 8.): ten, który my sami nadaliśmy i ten, który wytwarza siła ciężkości. Przypuśćmy, że z wieży lub góry wystrzelono kulę armatnią w kierunku *AZ* (rys. 30.). Gdyby nie było

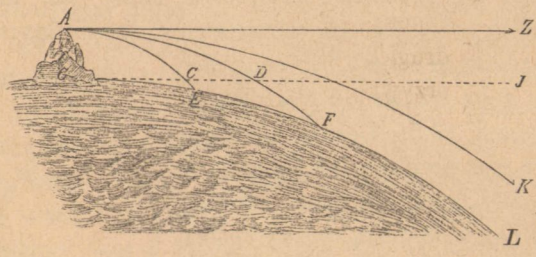



Rys. 30.

ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku *AZ* i przez bezwładność musiałaby biedz w tym kierunku coraz dalej i dalej. Ale siła ciężkości od pierwszej chwili pociąga kulę ku dołowi. Dlatego, zamiast do *z* np., kula dochodzi do *c'*; zamiast do *z''*, dochodzi do *c''* i t. d.; jednem słowem odbywa drogę *AC*. Gdyby wystrzelono kulę z większą prędkością (np. zapomocą silniejszego naboju), zdążyłaby ona pobiedz dalej w stronę *AZ*, zanimby ciężkość zdołała pociągnąć ją o tyleż, jak wprzódy, ku dołowi; zatem przy większej początkowej prędkości drogą kuli będzie np. *AD*. W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą będzie np. *AB*.

## § 31. Bieg księżyca dokoła ziemi.

Wiemy, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy więc ruch naszej kuli, pamiętając o tem. Na rys. 31. widzimy część ziemi *GEFL*. Gdyby ziemia była płaska, kula, wystrzelona z *A*, byłaby spadła, jak powiedzieliśmy, w *C*; istotnie więc spadnie nie w *C*, lecz w *E*. Wystrzelona silniej, spadnie nie w *D*, lecz w *F*. Widzimy, że powierzchnia ziemi *GL* obniża się coraz bardziej pod poziom linii *GJ* tak, jak linie *AE* i *AF* obniżają się pod poziom *AZ*; tylko, że linie *AE* i *AF* obniżają się prędzej, więc dochodzą do powierzchni ziemi *GL*. Możemy jednak pomyśleć, że wystrzelono kulę z wierzchołka *A* z taką prędkością, że pobiegnie ona po drodze *AK*, t. j. po drodze, która obniża się zupełnie taksamo pod poziom *AZ*, jak *GL* obniża się pod poziom *GJ*. Wówczas kula, chociaż ciągle spada, nie zbliża się do ziemi; o ile bowiem kula zniża się pod działaniem ciężkości, o tyleż zniża się powierzchnia ziemi wskutek swej kulistości. Co zatem stanie się z kulą? okrąży ziemię i powróci do *A* ze strony przeciwnej. Gdyby nagle, w któremś miejscu tej drogi, siła ciężkości działać przestała, kula pobiegłaby dzięki bezwładności po linii takiej, jak *AZ* w miejscu *A*; ale tak być nie może, bo siła ciężkości jest czynna ciągle, bez przerwy. Więc działanie ciężkości polega na tem, że zakrzywia ona ustawicznie drogę naszej



Rys. 31.

kuli i tym sposobem nie pozwala jej odbiedz od ziemi; a znowu bezwładność kuli krążącej nie pozwala jej uledz ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w największych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami. Księżyc znajduje się jeszcze znacznie wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. Teraz rozumiemy, dlaczego księżyc obiega wciąż naszą ziemię dokoła, ani nie spadając na nią, ani nie odbiegając od niej. Bo *księżyc krąży tak, jak nasza kula, która pobiegła po drodze AK.* Zatem ta sama siła przyciągania ziemi, która nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion i zmusza upuszczone jabłko do spadania, tasama siła nie pozwala księżycowi odbiedz po linii takiej, jak *AZ* w miejscu *A* (rys. 31.), lecz ustawicznie zakrzywia jego drogę i zmusza go tym sposobem do krążenia dokoła ziemi.

Jak powiedzieliśmy w §§ 26-ym i 28-ym, im większą masę ma jakie ciało, tem też większy ma ciężar, a mianowicie większy w tymsamym stosunku. Ponieważ zaś ciężar ciała to siła przyciągania, jaką ziemia na to ciało wywiera, więc powiadamy: siła przyciągania ciała przez ziemię jest tem większa, i w takim stosunku, im większa i w jakim stosunku większa jest masa tego ciała.

## § 32. Ciążenie powszechne.

Jak księżyc dokoła ziemi, podobnie krąży ziemia dokoła słońca. Utrzymując się w odległości 149 milionów kilometrów od słońca i obiegając w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem, ziemia nasza w ciągu sekundy przebiega blisko 30 kilometrów (dokładniej 29·6). Ziemię, ożywioną taką znaczną prędkością, utrzymuje na wodzy przyciąganie słońca, albowiem przyciąganie działa pomiędzy słońcem a ziemią podobnie, jak działa ono pomiędzy ziemią a księżycem. Bryła słoneczna utrzymuje swem przyciąganiem na wodzy nie tylko ziemię, lecz również i inne ciała niebieskie, które widujemy nocą jako świetne gwiazdy i które nazywamy *planetami.* Słońce przyciąga ziemię i planety, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia dokoła siebie.

Dokoła niektórych planet biegną księżyce, podobnie jak dokoła naszej ziemi; planety przyciągają swoje księżyce, podobnie jak ziemia nasza przyciąga nasz księżyc, jak słońce przyciąga ziemię i planety.

Co więcej: i nasz księżyc przyciąga naszą ziemię; i nasza ziemia przyciąga słońce; i planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. *Przyciąganie pomiędzy ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne;* dlatego nazywamy je także *ciążeniem.* Jest ono tem większe, im większe są masy przyciągających się ciał. Ziemia więc przyciąga kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest dokładnie jednakowe, ponieważ zależy zarazem od masy ziemi i od masy kamienia; ale tasama siła nadaje ciału prędkość tem mniejszą, im masa tego ciała jest większa (§ 25). Owóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa, niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają spadać ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy, niż bieg kamienia ku ziemi.

Pomiędzy wszystkiemi bez wyjątku ciałami na świecie zachodzi takie wzajemne ciążenie. Kulkę pionu przyciąga nie tylko ziemia ale także np. i góra, tylko słabiej, bo ma znacznie mniejszą masę niż ziemia. Toteż w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz nieco się ku niej odchyla. Podobnież woda oceanów jest przyciągana przez słońce i księżyc; stąd powstaje zjawisko, zwane *przypływem i odpływem morza.* Powiadamy, jednem słowem, że *ciążenie jest powszechne.*

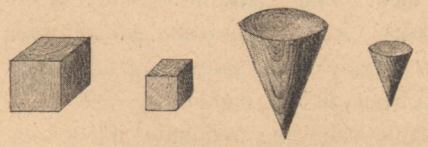
Ciążenie powszechne panuje w świecie i rządzi ruchem ciał niebieskich i ziemskich. Odkrył to i udowodnił uczony, nazwiskiem *Newton* (czyt. Niuton), który żył temu lat dwieście. Tem odkryciem zasłużył na cześć i uwielbienie całej ludzkości.

---

# ROZDZIAŁ DRUGI.

## O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

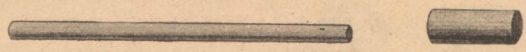
### § 33. Objętość a postać.



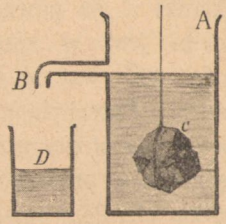
Rys. 32.

Każde ciało ma pewną *postać.* Cegła np. ma postać prostopadłościanu, świeca i ołówek — postać walca, lejek ma postać stożka. *Postać* jest to własność zupełnie inna niż *objętość* (§ 1.). Dwa sześciany np. lub dwa stożki na rys. 32. mają jednakową

postać, lecz niejednakową objętość. Dwa walce na rys. 33. mają przeciwnie jednakową objętość, postać zaś niejednakową. W ogóle dwa ciała *różnej* i niepodobnej postaci mogą mieć objętość *jednakową*. Weźmy naczynie *A*, opatrzone w wypływ boczny *B*, rys. 34.; napełnijmy je wodą, a kiedy wypływ przez *B* ustanie, wprowadźmy ciało *C* i zbierzmy w *D* wodę, którą *C* wypchnęło. Ciało *C* ma tyle centymetrów sześciennych objętości, ile gramów waży woda zebrana (§ 28.). Jakakolwiek jest postać ciała *C*, objętość jego będzie takasama, jak objętość wody w *D*. Jeśli kamień, ręka, roślina wypychają jednakową ilość wody, mają objętość jednakową, równą objętości wody wypchniętej.



Rys. 33.




Rys. 34.

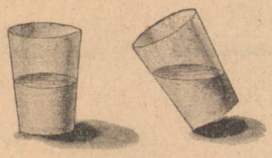
## § 34. Ciała stałe i ciekłe.

Kawałek drzewa leży na stole; ma on pewną postać, np. jest długim i cienkim prostopadłościanem. Jeśli go położymy na boku, postawimy pionowo lub wstawimy do szklanki, *nie zmieni postaci*, pozostanie takim prostopadłościanem jak przedtem. Podobnie zachowa się kawałek żelaza, kawałek szkła, kawałek kauczuku. Każdy ma własną postać i zachowuje ją bez względu na ciała, przy których lub na których się znajduje. Nazywamy dlatego kawałek drzewa ciałem *stałem;* kawałek żelaza, szkła, kauczuku jest podobnież ciałem stałem. Zupełnie inaczej zachowuje się *woda*. Woda nie ma wcale własnej postaci; nie można powiedzieć: »kawałek wody«. Nalana do szklanki, woda przybiera postać jej wnętrza; przelana do karafki, przybiera postać wnętrza karafki (rys. 35.). *Woda zmienia postać z wszelką łatwością.*

Rys. 35.

Przypatrzmy się postaci wody w jakiemkolwiek naczyniu. Wszędzie, gdzie styka się ze ścianą naczynia, woda przylega do ściany i przyjmuje jej postać; lecz od góry, na powierzchni swobodnej, gdzie styka się z powietrzem, woda układa się *płasko*

*i poziomo*, co można sprawdzić zapomocą pionu (§ 11.). Jeśli przechylimy naczynie, woda zmieni postać, ale w taki sposób (rys. 36.), że powierzchnia jej pozostanie płaska i pozioma. Woda jest przykładem *ciała ciekłego* czyli *cieczy*.


Rys. 36.

Prócz wody jest jeszcze wiele innych cieczy. Np. cieczą jest miód; i miód także wypełnia całkowicie dolną część szklanki a na powierzchni układa się płasko i poziomo. Zatem, dopóki jest w spoczynku, miód zachowuje się podobnie jak woda; gdy jest w ruchu, zachowuje się pod pewnym względem inaczej. Przechylając szklankę z miodem, widzimy, że zmienia on postać *powolniej* niż woda, bardziej opieszale, jak gdyby przezwyciężał jaką przeszkodę. Można dojrzeć przytem, przez bardzo krótką chwilę, powierzchnię cieczy w położeniu pochyłem, czego w wodzie dostrzedz niepodobna. Taksamo jak miód zachowuje się olej, syrop, gliceryna. Przybierają one *ostatecznie* kształt naczynia i rozlewają się poziomo i płasko; dlatego nazywamy je *cieczami*. Ale czynią to opieszale, zużywają na to stosunkowo wiele czasu; dlatego nazywamy je cieczami *lepkiemi*. Inaczej mówimy, że są to ciecze mało *ruchliwe*, gdy przeciwnie woda, alkohol, eter — są to ciecze bardzo ruchliwe.

## § 35. Ściśliwość cieczy.

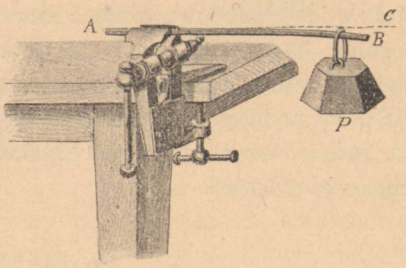
Woda zmienia postać z wszelką łatwością (§ 34.); ale co innego postać, a co innego objętość (§ 33.). Woda zmienia postać z łatwością, lecz objętość zmienia przeciwnie z największą trudnością. Gdy wkładamy palec do wody, ustępuje ona łatwo, lecz podnosi się zaraz dokoła, tak iż zachowuje dawną objętość. Spróbujmy przeszkodzić wodzie w jej dążności do zachowywania objętości bez zmiany. Weźmy (rys. 37.) walec z tłokiem szczelnie przystającym i próbujmy tłok wcisnąć do wody. Nie zdołamy popchnąć tłoka ani o milimetr ku dołowi, jeśli woda nie przeciśnie się pomiędzy tłokiem a ścianą naczynia. Tu bowiem usiłujemy zmienić już nie postać, lecz objętość wody, mianowicie usiłujemy objętość tę zmniejszyć czyli wodę *ścisnąć;* to zaś wymagałoby siły, której człowiek wywrzeć nie może. Woda jest więc


Rys. 37.

bardzo trudno ściśliwa czyli bardzo *mało ściśliwa*. Uczeni przekonali się dokładnie, o ile woda jest ściśliwa. Przypuśćmy, że walec (rys. 37.) ma 10 $cm^2$ w przekroju i zawiera wody 10 *cm* wysoko; należałoby wówczas położyć na tłok 2000 *kg*, ażeby posunąć go o 1 *mm* ku dołowi.

## § 36. Sprężystość ciał stałych.

Pręcik drewniany posiada własną postać (§ 34.), ale pod działaniem *siły* (§ 9.) może ją zmienić. Jednym końcem np. umocowany w śrubsztaku czyli imadle (rys. 38.) a obciążony na drugim, pręcik wygina się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ jednak w pewnem położeniu *AB* pręcik jest w równowadze t. j. nie wygina się dalej, musiała więc zjawić się w nim siła, która równoważy ciężkość ciała *P*, *siła sprężystości* pręta, znana nam z §§ 9., 20. W pręcie niewygiętym *AC* nie było tej siły, w pręcie zginanym pojawia się ona i staje się coraz większa, im bardziej go zginamy. Jeśli uwolnimy pręt od działania siły obcej, siła sprężystości przywraca go do zwykłej postaci (jeśli wygięcie nie było zbyt znaczne), ale też w miarę powracania do tej postaci sama coraz bardziej słabnie i niknie.



Rys. 38.

Doświadczamy podobnież sprężystości pręta stalowego albo pałeczki szklanej; wyginane na końcu albo zginane w pośrodku, okazują one także sprężystość. Taśma kauczukowa wyciągana, piłka, ściskana w dłoni, sprężyna skręcana również okazują sprężystość. Cóż w ogóle czynimy, gdy ciała wyginamy, zginamy, wyciągamy, ściskamy, skręcamy? Zmieniamy w ogóle postać tych ciał. Zatem powiadamy: *sprężystość ciał stałych występuje na jaw, gdy zmieniamy postać tych ciał. Ciała stałe mają sprężystość postaci.*

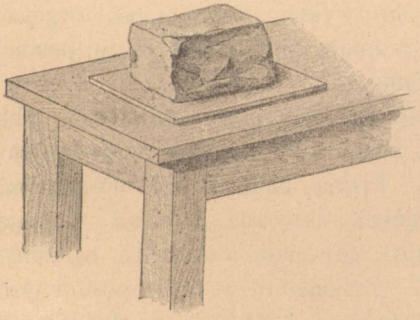
## § 37. Sprężystość ciał ciekłych.

Przypuśćmy teraz, że położyliśmy 2000 *kg* na tłok w przyrządzie rys. 37., § 35.; wskutek tego tłok obniżył się o 1 *mm*,

woda ścisnęła się więc o jedną setną część swej pierwotnej objętości. Dalej tłok nie poruszy się ani o najmniejszą część milimetra; woda stawia teraz opór, który równoważy ciężar 2000 *kg*. Powiadamy zatem, że w wodzie ściskanej pojawia się siła, która sprzeciwia się dalszemu ściskaniu; pod działaniem tej siły z jednej strony, a ciężaru z drugiej, tłok znajduje się w równowadze. Gdybyśmy nagle zdjęli ciężar, tłok poszedłby do góry, odepchnięty przez wodę, która wróciłaby do dawnej objętości. A zatem mieliśmy tutaj w wodzie siłę, zupełnie podobną do sprężystości w drzewie, w szkle, kauczuku lub stali. Lecz gdy w wodzie objawia się ona przy zmianie *objętości*, w ciałach stałych objawia się przy zmianach *postaci*. Możemy więc powiedzieć: *woda ma sprężystość objętości*. Podobnie jak woda, zachowują się i inne ciecze. Sprężystość objętości jest ogólną cechą ciał ciekłych. Jak już wiemy, ciała ciekłe nie stawiają oporu zmianie postaci; prędzej czy później każda ciecz (§ 34.) poddaje się działaniu siły, dążącej do zmiany jej postaci. A zatem *ciecze mają sprężystość objętości, lecz nie mają sprężystości postaci.*

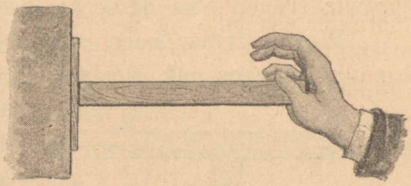
## § 38. Ciśnienie.

Deseczka, leżąca na stole i dźwigająca ciężar na sobie (np. kamień, jak na rys. 39.) jest *przyciśnięta* do stołu, wywiera *ciśnienie* na stół. Ciśnieniem nazywamy więc siłę, działającą na powierzchnię ciała. W przykładzie powyższym ciśnienie sprawia siła ciężkości; takie ciśnienie działa z góry na dół pionowo, ponieważ siła ciężkości działa w tym kierunku. Lecz i inne siły mogą sprawiać ciśnienie, np. siła naszych mięśni, siła sprężystości; a te siły mogą sprawiać ciśnienie i w innych kierunkach. Przyciskając np. deseczkę do ściany ręką, czy bezpośrednio, czy za pośrednictwem np. pręta (rys. 40, str. 35.), wywieramy na ścianę ciśnienie w kierunku poziomym.



Rys. 39.

Połóżmy tensam kamień (rys. 39.) raz na deseczkę, mającą 100 $cm^2$ pola, drugi raz na deseczkę, mającą 200 $cm^2$. Tasama siła rozpościera się w pierwszym razie na 100, w drugim razie na 200 $cm^2$. Zatem na 1 $cm^2$ wypadnie w pierwszym razie dwa razy więcej siły, niż w drugim. Widzimy zatem, że trzeba odróżniać siłę całkowitą, czyli

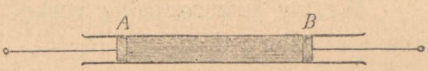


Rys. 40.

*ciśnienie całkowite* na pewną powierzchnię, od *ciśnienia na jednostkę pola*, czyli od ciśnienia *jednostkowego*. Ciśnienie całkowite jest dla obu deseczek jednakowe, mianowicie równe ciężarowi kamienia. Ciśnienie jednostkowe jest dwa razy większe na mniejszej deseczce niż na większej. Tensam ciężar na deseczkach, mających 50 $cm^2$, 25 $cm^2$ pola, dałby ciśnienie jednostkowe cztery, ośm razy większe. Stąd łatwo zrozumieć, dlaczego nóż kraje: ostrze noża jest to powierzchnia o bardzo małem polu, więc siła naszych mięśni wytwarza na niem bardzo znaczne ciśnienie. Tosamo tłómaczy działanie nożyc, dłuta, piły a także stosunkową łatwość, z jaką gwóźdź lub igła wchodzą w ciała zbite.

## § 39. Ciśnienie cieczy.

Jak za pośrednictwem pręta można wywrzeć ciśnienie (§ 38.), podobnież można je wywrzeć za pośrednictwem wody. Weźmy rurkę (rys. 41.) $AB$, pełną wody i zamkniętą tłokami, które przystają szczelnie do rurki, lecz łatwo w niej mogą się poruszać.

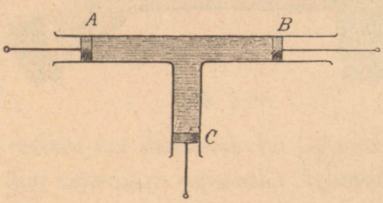



Rys. 41.

Opieramy tłok $A$ o deseczkę z rys. 40. i wywieramy siłę na drugi tłok $B$; wówczas za pośrednictwem wody przyciśniemy deseczkę do ściany. *Zatem woda może przenosić ciśnienie.* Ciśnienie to nie ma tu nic wspólnego z ciężarem wody; ciśnienie działa poziomo, jeśli rurka leży poziomo, gdy tymczasem siła ciężkości działa na dół pionowo. Jakimże sposobem woda przenosi ciśnienie? Zważmy, iż unieruchomiliśmy tłok $A$, oparłszy go przez deseczkę o ścianę; zatem, usiłując wepchnąć tłok $B$, usiłujemy temsamem ścisnąć wodę, zmniejszyć jej objętość, jak w § 35. Nic dziwnego, że woda opiera się temu; woda ma sprężystość objętości (§ 37.). Sprężystość wody

opiera się naszemu działaniu na *B* a zarazem za pośrednictwem *A* sprawia ciśnienie na deseczkę i ścianę.

Weźmy teraz drugą rurkę, jaką rys. 42. przedstawia w położeniu *poziomem*, tak właśnie, jak gdyby rurka leżała na papierze.

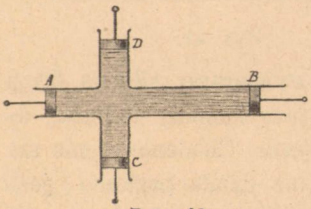


Rys. 42.

Opatrzona jest ona w boczne kolanko a w niem w tłok trzeci *C*, rozległością równy dwóm pierwszym. Umocujmy tłok *A*, tłokowi *C* pozwólmy poruszać się swobodnie i wciskajmy *B*; co się stanie? Woda będzie ustępowała przed *B* i będzie pchała przed sobą tłok *C*; albowiem w ten sposób będzie ona zmieniała *postać* tylko a nie *objętość* a temu woda nie sprzeciwia się (§ 34.). Przeciwnie, gdybyśmy umocowali i *C*, woda cisnęłaby nań taksamo, jak ciśnie na *A*. Zatem *i w bok woda przenosi ciśnienie*. Oczywista, że i na ściany rurki woda ciśnie taksamo jak na tłoki, mianowicie, że rozpycha rurkę o tyle, o ile na to pozwala sprężystość szkła czy innego materyału, z którego rurka jest zrobiona. Powiadamy więc, że woda nie tylko *przenosi* ale i *roznosi ciśnienie* na wszystkie strony. Tożsamo czynią wszystkie ciecze.

## § 40. Ciecz może wykonywać pracę.

Weźmy jeszcze jedną rurkę, opatrzoną w dwa poziome kolana i w cztery tłoki *A*, *B*, *C*, *D* jednakowo rozległe; rys. 43.



Rys. 43.

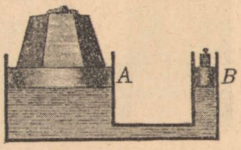
przedstawia ją widzianą z góry. Co powiedzieliśmy o tłoku *C*, stosuje się także do czwartego tłoka *D*. A zatem, gdy wywieramy ciśnienie na *B* (rys. 43.), takież ciśnienie wywierane jest na *A*, na *C* i na *D*. Z jednego ciśnienia robią się trzy ciśnienia. Tego możemy dokonać zapomocą wody i tłoków, podobnie jak zapomocą dźwigni możemy podnosić do góry trzy kilogramy siłą ciężaru jednego kilograma (§ 14.). Ale czego *nie możemy* dokonać zapomocą dźwigni, to *stworzyć* choćby najmniejszą ilość pracy (§ 22.); i tego zapomocą wody i tłoków także dokonać *nie możemy*. Istotnie: wiemy, od czego zależy praca, jaką wykonywamy, pchając tłok, lub jaką tłok wyko-

nywa, pchając coś przed sobą. Zależy ona zarazem od siły, która pcha (t. j. od całkowitego ciśnienia na tłok) i od długości drogi, którą tłok przebywa. Weźmy teraz trzy rurki: rurkę z dwoma tłokami *AB* (rys. 41.), z trzema *ABC* (rys. 42.) oraz z czterema *ABCD* (rys. 43.); przypuśćmy, że w każdej wepchnęliśmy tłok *B* o 1 *cm*, dawszy swobodę ruchu wszystkim pozostałym. W rurce *AB* (rys. 41.) tłok *A* wysunie się nazewnątrz o centymetr; w rurce *ABC* (rys. 42.) każdy z dwóch tłoków *A*, *C* wysunie się o pół centymetra, w rurce zaś *ABCD* (rys. 43.) każdy z trzech tłoków *A*, *C*, *D* wysunie się tylko o trzecią część centymetra. Zatem, im więcej tłoków, tem więcej ciśnień, ale tem krótsze drogi, które tłoki przebywają; pomnażając liczbę tłoków, *nie zyskujemy* więc bynajmniej *na pracy*, rozdrabniamy ją tylko.

## § 41. Prasa hydrauliczna.

W rurce *ABC* (rys. 42.) tłoki *A* i *C* doznają każdy takiego ciśnienia, jakie wywieramy na *B*. Tak jest bez względu na to, czy *A* i *C* znajdują się daleko od siebie czy też blizko siebie. Zatem *tak będzie i wtedy*, kiedy je *połączymy* ze sobą i utworzymy z nich jeden tłok, dwa razy większy. Powiadamy więc: na tłok, dwa razy większy niż *B*, działa ciśnienie *całkowite*, dwa razy większe niż na *B*. Podobnie na tłok o polu trzy razy większem działa ciśnienie *całkowite*, trzy razy większe. Innemi słowy: *ciśnienie na jednostkę pola jest wszędzie w cieczy jednakowe.*

Na tej zasadzie budowane bywają *prasy hydrauliczne*, których zadaniem jest zamiana niezbyt znacznych całkowitych ciśnień, jakie człowiek może wywrzeć, na ciśnienia całkowite bardzo znaczne. Wystawmy sobie dwa walce, połączone ze sobą i w nich dwa tłoki, jak na rys. 44. Przypuśćmy, że tłok *A* ma pole 25 razy większe niż tłok *B*; w takim razie, położywszy na tłoku *A* 25 *kg*, dość będzie położyć na *B* 1 *kg*, ażeby osiągnąć równowagę. Tu zatem ciężarem, małoco większym nad 1 *kg*, możemy podnieść do góry 25 *kg*, podobnie jak na dźwigni (§ 22.); ale i tu nie zyskamy na *pracy*, gdyż trzeba będzie wcisnąć tłok *B* na dół o 25 *cm*, ażeby podnieść *A* do góry o 1 *cm*.

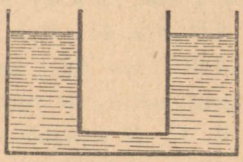


Rys. 44.

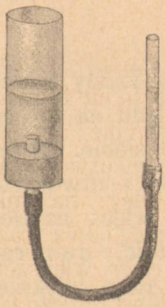
## § 42. Naczynia połączone.

Do naczynia z wodą wprowadźmy ściankę, nie dotykając nią dna (rys. 45.); powierzchnia wody nie zmienia się przez to. Lecz przez wprowadzenie ścianki rozdzieliliśmy poprzednie naczynie na dwa mniejsze naczynia, połączone ze sobą od spodu; istotnie: naczynie z rys. 45. nie różni się tu właściwie od naczyń, połączonych zapomocą rurki, jakie widzimy na rys. 46. Powiadamy zatem: w naczyniach połączonych poziomy cieczy stoją jednakowo wysoko. Tak będzie oczywiście, czy naczynia są jednakowego czy różnego przecięcia; zawsze w nich ciecz stoi na jednakowym poziomie, jak też stać będzie w naczyniu, rys. 45., choćbyśmy posunęli ściankę ku brzegowi. Tak np. w dwóch rurkach szklanych (rys. 47.), z których jedna jest szersza od drugiej (łączymy je zapomocą korka i rurki kauczukowej, jak pokazuje rysunek), woda stoi jednakowo wysoko. Zniżając węższą rurkę, zobaczymy, że woda tryska z niej do góry; na tej zasadzie działają wodotryski.

Rys. 45.

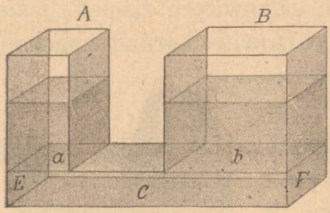


Rys. 46.



Rys. 47.

Zastanówmy się teraz, dlaczego w naczyniach połączonych ciecz musi stać jednakowo wysoko. Wystawmy sobie dwa naczynia, połączone kanałem poziomym, jak na rys. 48; przypuśćmy, że pierwsze $A$ ma 10, a drugie $B$ ma 20 $cm^2$ w przecięciu; więc że np. płaszczyzna $a$ ma 10, płaszczyzna $b$ ma 20 $cm^2$ pola. Jakie ciśnienia wywiera woda na te płaszczyzny? Płaszczyznę $a$ uciska ciężar wody, stojącej nad nią w naczyniu $A$, podobnież płaszczyznę $b$ uciska ciężar wody, stojącej nad nią w naczyniu $B$. Widzimy, że wody w naczyniu $B$ jest dwa razy tyle, ile w $A$, a zatem na płaszczyznę $b$ działa całkowite ciśnienie dwa razy większe, niż na płaszczyznę $a$. I tak właśnie być powinno według § 41.; powiedzieliśmy tam: na tłok (lub na płaszczyznę, co nie stanowi różnicy) dwa razy większy, musi działać całkowite ciśnienie,




Rys. 48.

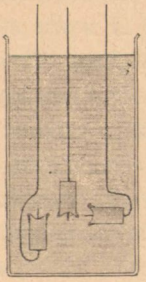
dwa razy większe, jeśli wszystko, ciecz i tłoki, ma być w równowadze. Dlaczego zaś wody w naczyniu $B$ (nad płaszczyzną $b$) jest dwa razy tyle, ile w naczyniu $A$ (nad $a$)? Dlatego, że w $B$ i w $A$ woda stoi jednakowo wysoko; ponieważ $b$ ma pole dwa razy większe niż $a$, więc w razie *nierówności* poziomów stosunek ilości wody i stosunek ciężarów byłby inny. Np. gdyby w $a$ woda stała wyżej, całkowite ciśnienie na $a$ byłoby więcej niż połową całkowitego ciśnienia na $b$, zatem w kanale $ECF$ ciśnienie na jednostkę pola nie byłoby wszędzie jednakowe, lecz większe w lewym końcu. Wówczas woda nie mogłaby być w równowadze, lecz musiałaby popłynąć na prawo, aż wysokości poziomów w naczyniach wyrównałyby się.

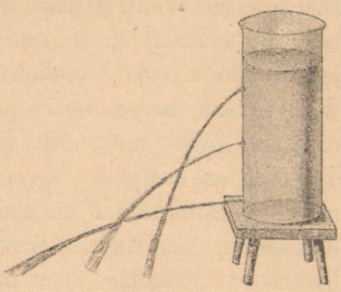
Do rurek połączonych (rys. 47.) nalejmy rtęci: stanie w nich jednakowo wysoko. Nalejmy 10 *gr* wody nad rtęć w rurce węższej; jeśli rurka szersza ma np. 5 razy większą średnicę, więc 25 razy większe przecięcie, będziemy musieli nalać do niej, nad rtęć, 250 *gr* wody, ażeby przywrócić równość rtęciowych poziomów. W ten sposób zbudowaliśmy przyrząd podobny, jak na rys. 44.: rtęć gra tu rolę cieczy a woda nad rtęcią działa tutaj tak, jak tam ciężary, położone na tłokach.

## § 43. Im głębiej w cieczy, tem większe ciśnienie.

Gdybyśmy ustawili stos cegieł, leżących jedna na drugiej, wówczas każda cegła dźwigałaby na sobie wszystkie nad nią leżące, zatem byłaby przyciśnięta ciężarem tem większym, im położona jest niżej, im dalej od wierzchu. W naczyniu z wodą dzieje się podobnie. Każda warstwa wody dźwiga na sobie warstwy, nad nią leżące, więc jest przyciśnięta ciężarem tem większym, im niżej jest położona w cieczy, im dalej od powierzchni. Ciśnienie tego ciężaru, jak wszelkiego ciężaru, jest z góry na dół pionowe; ale warstwa, która doznaje tego ciśnienia, nie tylko *przenosi* je na dół, lecz i *roznosi na wszystkie strony,* rozprowadza i wywiera je we wszystkich kierunkach; albowiem ciecze czynią tak zawsze (§ 39.). Powiadamy zatem: *ciśnienie w cieczy wynika z jej ciężkości; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem jest większe. Ciśnienie to, chociaż wynika z ciężkości cieczy, działa nie tylko na dół pionowo, lecz zarówno we wszystkich kierunkach.* Możemy to sprawdzić w następujący sposób. Małą szklankę obwiązujemy mocno cienką błoną kauczukową, do której przylepiono

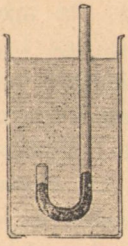
lekką wskazówkę (rys. 49.). Wprowadzona do wody, błona wydyma się na wewnątrz szklanki. Im szklankę zanurzamy głębiej, tem bardziej błona się wydyma; ale nie stanowi to żadnej różnicy, czy na tymsamym poziomie trzymamy szklaneczkę błoną na dół, czy do góry, czy na bok. Na przyrządzie, jaki przedstawia rys. 50., spostrzegamy podobnież, że woda ciśnie w bok, nie tylko na dół; powtóre spostrzegamy, że ciśnie tem znaczniej, im dalej od powierzchni. Albowiem strumień z dolnego otworu dobiega dalej, niż z górnego; stąd wnosimy, (por. § 30.), że znaczniejsza siła go wypchnęła.


Rys. 49.


Rys. 50.

Wystawmy sobie naczynie z wodą, widziane z boku; rys. 51. przedstawia je jakby przecięte płaszczyzną pionową. Pomyślmy sobie w niem centymetr kwadratowy *a*, leżący poziomo, np. o 3 *cm* pod powierzchnią. Aż do tej powierzchni stanęłyby więc na nim trzy sześciany, z których każdy miałby objętość 1 $cm^3$, ważyłby przeto 1 gram. A zatem na kwadracik *a* działa od góry ciśnienie ciężaru 3 gramów. Ale takież ciśnienie działa na sąsiednie kwadraciki, leżące obok *a* na tymsamym poziomie, bo i one także znajdują się o 3 *cm* od powierzchni; to ciśnienie przenosi się pod *a*, działa na *a* pionowo do góry (§ 39., § 42.) i równoważy się tam z pierwszem ciśnieniem, które działało pionowo ku dołowi. Weźmy takisam kwadracik *b*, równy także 1 $cm^2$, lecz głębiej np. o 6 *cm* od powierzchni położony. Działa nań ciśnienie 6 gramów od góry ku dołowi i równocześnie takież ciśnienie od dołu ku górze. Weźmy trzeci takiżsam kwadracik *c*, stojący pionowo o 9 *cm* pod powierzchnią; działa nań ciśnienie 9 gramów w stronę prawą i takież ciśnienie w lewą.

Rys. 51.

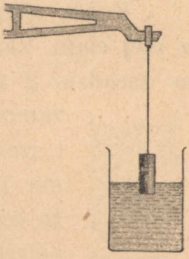

Rys. 52.

Weźmy rurkę szklaną, zgiętą w dwa nierówne ramiona (rys. 52.); nalejmy do niej rtęci i wprowadźmy pod wodę, nie zanurzając otworu dłuższego ramienia. Zobaczymy, że rtęć pod-

nosi się w prawem, dłuższem ramieniu; a mianowicie: gdy poziom lewy jest zanurzony o 13·5 *cm* pod powierzchnię wody, różnica poziomów rtęci jest równa 1 *cm*. Jeśli zanurzymy poziom lewy o 27 *cm* pod powierzchnię, różnica poziomów podwoi się i wyniesie 2 *cm*. Jeśli zanurzymy rurkę trzy razy głębiej, różnica poziomów wyniesie 3 *cm*. Dlaczego tak się dzieje, rozumiemy z poprzedzającego. Dlaczego zaś poziomy rtęci oddalają się od siebie właśnie o 1 *cm*, ile razy poziom w krótszem ramieniu oddalimy o 13·5 *cm* od powierzchni wody? Dzieje się to dlatego, że różnica w słupach rtęci ma równoważyć słup wody, zaczynający się od poziomu rtęci w krótszem ramieniu i sięgający powierzchni; rtęć zaś jest, jak wiadomo (§ 29.), 13·5 razy gęstsza od wody, czyli 13·5 razy cięższa od niej w jednakowej objętości.

## § 44. Ciecz usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

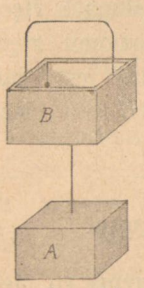
Zawieśmy na wadze walec (rys. 53.) i zrównoważmy go ciężarkami po drugiej stronie. Zanurzając walec do wody, zobaczymy, że ciężarki przeważają, tak zupełnie, jak gdyby walec był stracił na ciężarze. Jakim sposobem tak się dzieje? Przypomnijmy sobie (§ 35.), że kiedy walec wkracza do wody, woda podnosi się dokoła w naczyniu. A zatem walec, obniżając się w wodzie, musi podnieść pewną ilość wody do góry; dlatego ciężar walca musi przezwyciężyć ciężar wody podnoszonej. Zupełnie podobnie, gdy na bloku, na dźwigni albo na wadze większy ciężar przeważa inny mniejszy, wówczas go wprawdzie przeważa, ale sam przez to traci tyle, ile ma do zwalczenia. Np. jeśli 3 kilogramy, obniżając się, muszą podnosić jeden kilogram po drugiej stronie dźwigni lub wagi, wówczas działają one tak, jak gdyby były dwoma kilogramami. Taksamo walec, ważący np. 75 gramów, jeśli, obniżając się musi podnieść np. 10 gramów wody do góry, działa na wagę tak, jak gdyby miał tylko 65 gramów.



Rys. 53.

Lecz jakąż ilość wody musi podnieść do góry walec, gdy obniża się? Oczywiście tyle centymetrów sześciennych, ile centymetrów sześciennych ze swej własnej objętości zanurza pod wodę, a jeśli zanurza się cały, to tyle centymetrów sześciennych, ile ich

posiada we własnej objętości. Lecz ile centymetrów sześciennych wody walec podnosi, tyle gramów pozornie traci na ciężarze swoim. Powiadamy więc: *ciało, zanurzone w cieczy, traci pozornie tyle na ciężarze, ile waży ciecz, której miejsce zajmuje.* Sprawdźmy to. Zważmy ciało *C* najprzód w sposób zwykły, potem zanurzmy je do naczynia, rys. 34., tak jak opisano w § 33. i zważmy je powtórnie, zanurzone w wodzie. Przekonamy się, że ciało zanurzone zachowuje się tak, jak gdyby ważyło mniej, a mianowicie o tyle mniej, ile waży woda, wypchnięta przez nie do naczynia *D* (rys. 34.). Możemy to doświadczenie i tak wykonać. Bierzemy kostkę *A* (rys. 54.) i taką skrzynkę *B*, żeby kostka *A* dokładnie ją zapełniała. Zawieszamy jedną pod drugą i równoważymy je po jednej stronie wagi; następnie wprowadzamy kostkę *A* do wody. Równowaga ustaje; lecz przywracamy ją, napełniwszy wodą skrzyneczkę *B*. Tak właśnie powinno być według poprzedniego prawidła.



Rys. 54.

Każda ciecz usiłuje więc wyprzeć do góry wszelkie zanurzone w niej ciało. Zkąd bierze się ta siła? Możemy na to odpowiedzieć na zasadzie § 43. Wystawmy sobie mały sześcian np. szklany, zanurzony w wodzie (rys. 55., na którym naczynie i sześcian widzimy z boku). Przypuśćmy, że sześcian ma po 1 centymetrze szerokości, długości i wysokości; że ścianka górna *b* leży pod powierzchnią wody o 4 *cm* odległości; w takim razie ścianka dolna *c* leży pod nią o 5 *cm* odległości. Zatem według § 43. ciśnienie wody na górną ściankę *b* równa się ciężarowi 4 gramów a ciśnienie wody na dolną ściankę *c* równa się ciężarowi 5 gramów. Pierwsze ciśnienie działa z góry na dół, drugie z dołu do góry. Te ciśnienia nie równoważą się, skoro drugie, działające od dołu, jest większe; na sześcian działa ostatecznie z dołu do góry siła, równa ciężarowi 1 grama. (Na ścianki boczne *a*, *a* działają równe ciśnienia, wprost przeciwne sobie, więc znoszą się one dokładnie). To zatem jest przyczyną parcia do góry, którego doznaje nasz sześcian i wskutek którego, zajmując objętość 1 $cm^3$, traci pozornie 1 gram na ciężarze. Gdyby miał objętość np. 15 $cm^3$, traciłby pozornie 15 gramów na ciężarze.

Rys. 55.

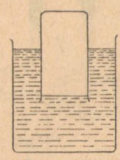
Wystawmy sobie (rys. 56.) kawałek drzewa, przypuśćmy o objętości 10 $cm^3$. Jeśli zanurzymy go do wody, woda wypiera go do góry siłą 10 gramów. Tymczasem kawałek drzewa o objętości 10 $cm^3$ waży tylko 5 gramów (§ 29.); siła ciężkości ciągnie go na dół siłą 5 gramów. Zatem kawałek drzewa nie może tonąć w wodzie, ani bujać w niej swobodnie, lecz musi iść do góry. Gdy dojdzie do powierzchni, kawałek drzewa pocznie wynurzać się z wody; im bardziej się wynurzy, tem mniejszego parcia do góry będzie doznawał od cieczy. Oczywista, że przestanie wynurzać się wtedy, kiedy parcie cieczy stanie się równe jego ciężarowi. Powiadamy zatem: *ciało pływające zanurza się tak, że ciężar cieczy, której miejsce zajmuje, jest równy całemu jego ciężarowi.* Możemy to sprawdzić zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 34., § 33. Napełniwszy naczynie *A* wodą aż do ustania wypływu, kładziemy na wodę kawałek drzewa lub korka. Ciało to wypchnie do *D* tyle gramów wody, ile samo waży.


Rys. 56.

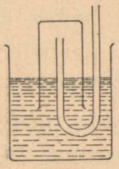
Łatwo teraz wytłumaczyć, dlaczego pod wodą poruszamy ręce i nogi tak swobodnie, jak gdyby były pozbawione ciężaru; dlaczego dźwigamy łatwo pod wodą ciężary, których nie możemy wznieść po nad wodę; dlaczego duża pusta beczka może wydobyć z dna rzeki ciężki kamień; dlaczego kawałek mosiądzu lub szkła tonie a kubek mosiężny lub butelka szklana nie tonie; dlaczego trudno jest utrzymać się na nogach w rzece w wartkim prądzie, jeśli woda sięga do szyi; dlaczego lód pływa po wodzie a żelazo po rtęci (zob. § 29.).

## § 45. Powietrze.

Bardzo często zapominamy o powietrzu, w którem jesteśmy zanurzeni. Nie widzimy powietrza, nie posiada ono zapachu, zazwyczaj nie przeszkadza naszym ruchom; dlatego zwracamy na nie mało uwagi. Naprzykład powiadamy, że szklanka, w której nic nie dostrzegamy, jest *próżna* czyli *pusta*. Tymczasem rzeczywiście nie jest ona pusta; zawiera ona coś, co, gdy jest ściskane, stawia opór. Zanurzając szklankę do wody dnem do góry (rys. 57.), zobaczymy, że woda nie wchodzi do szklanki; poziom jej w szklance jest niższy, niż nazewnątrz szklanki. Takby


Rys. 57.

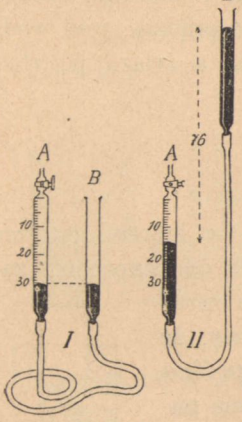
być nie mogło, według § 42., gdyby na wodę w szklance nie działało jakieś ciśnienie, nie pozwalające wyrównać się obu poziomom. Powiadamy zatem: powietrze stawia opór, gdy jest ściskane; *powietrze ma sprężystość objętości* (§ 37.). Powietrze stawia tu opór dlatego, że nie może ujść, że wdzieranie się wody do szklanki musiałoby zmniejszyć *objętość*, jaką powietrze zajmuje. Lecz *postaci* własnej powietrze nie posiada, podobnie jak nie posiada jej woda. Zmienione w swej postaci, nie okazuje ono dążności do przybrania jej napowrót, jak to czyni stal albo kauczuk. Powietrze nie ma więc sprężystości postaci. Pomyślmy, jak dalece bylibyśmy skrępowani w codziennych naszych czynnościach, gdyby powietrze miało sprężystość postaci. Pozwólmy ujść powietrzu, zawartemu w szklance, rys. 57., wprowadźmy np. szklankę razem z rurką, jak na rys. 58., a zobaczymy, że woda podnosi się w szklance do poziomu tegosamego, na jakim stoi dokoła.



Rys. 58.

## § 46. Ściśliwość powietrza.

Powietrze zatem ma sprężystość objętości, jak woda; zobaczmy, jak znaczną ma sprężystość objętości. Wiemy, że woda (§ 35.) jest *bardzo mało ściśliwa*. Zapomocą przyrządu, którym posługiwaliśmy się w § 35. t. j. zapomocą walca z tłokiem (rys. 37.), moglibyśmy przekonać się, o ile powietrze jest ściśliwe. Ale trudno zbudować go tak, ażeby tłok, chodząc łatwo, przystawał szczelnie; dlatego zastąpmy tłok wraz z ciężarem przez słup rtęci. Zbudujmy przyrząd, jaki przedstawia rys. 59. Rurka *A*, opatrzona kurkiem, ma podziałkę, wskazującą, ile zawiera się w niej $cm^3$, poczynając od kurka. Zapomocą wytrzymałej rurki kauczukowej rurka ta łączy się z drugą *B*. Otwieramy w *A* kurek i doprowadzamy rtęć w rurce np. do liczby 30. Oba poziomy rtęci stoją jednakowo wysoko (rys. 59., I). Zamykamy teraz kurek; zatem w *A* zamknęliśmy pewną ilość powietrza takiego, jakie nas dokoła otacza, czyli *atmosferycznego;* tę ilość powietrza będziemy ściskali. Podnosimy rurkę *B* i widzimy: 1) że objętość powietrza w *A*

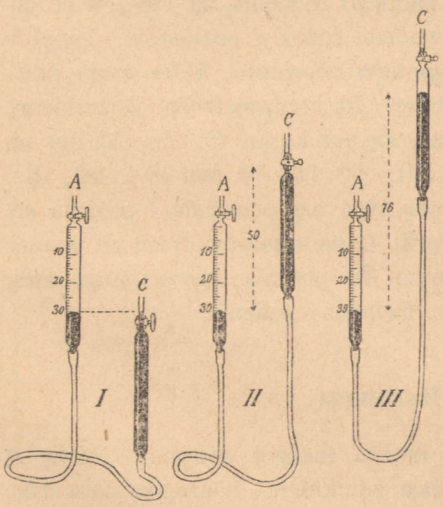



Rys. 59.

zmniejsza się; 2) że odległość pomiędzy poziomami rtęci wzrasta (rys. 59., II). Widzimy, że powietrze jest *łatwiej* t. j. *bardziej ściśliwe* niż woda; niezbyt wysokimi słupami rtęci można zmniejszyć znakomicie jego objętość. Zobaczmy, jakich słupów rtęci potrzeba, ażeby powietrze, uwięzione w przyrządzie, ścisnąć do dwóch trzecich, do połowy, do jednej trzeciej objętości pierwotnej; podnośmy rurkę *B*, dopóki rtęć w *A* nie dojdzie do żądanej kreski na podziałce. Przekonamy się, że pionowa odległość pomiędzy poziomami wyniesie 38 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie na podziałce do 20; że wyniesie 76 *cm* i nareszcie 152 *cm*, gdy w *A* rtęć dojdzie na podziałce do 15, do 10. Zobaczymy dalej (§ 49.), co te liczby znaczą.

## § 47. Ciśnienie powietrza.

Przekonaliśmy się, że ilość powietrza, jaką zamknęliśmy w rurce *A* pomiędzy rtęcią a kurkiem, wywiera pewne ciśnienie, gdy zajmuje objętość 20 $cm^3$. Powstaje pytanie, czy nie wywiera ona już wówczas ciśnienia, gdy zajmuje pierwotną swą objętość 30 $cm^3$? Wprawdzie widzimy wówczas oba poziomy na wysokości jednakiej (rys. 59., I); ale możemy to wytłómaczyć obecnością powietrza także i w rurce *B*. Bo jeśli zamknięte w *A* powietrze ciśnie na rtęć, tedy także powietrze, znajdujące się w *B*, ciśnie na rtęć, mianowicie ciśnie równie silnie, skoro w *A* zamknęliśmy zwykłe powietrze atmosferyczne. Żeby się więc przekonać, czy powietrze w *A* (rys. 59.) wywiera ciśnienie, należałoby doświadczenie tak urządzić, żeby nad rtęcią w *B* *nie było* wcale powietrza. Możemy tego dopiąć, biorąc zamiast otwartej rurki *B* rurkę *C*, zaopatrzoną w kurek (rys. 60.). Najprzód obniżamy rurkę *C* tak, że rtęć przechodzi w niej po za kurek i nieledwie przelewa się górą (rys. 60., I). W tem położeniu *zamykamy* kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. (Kurek *A* może być przytem bądź



Rys. 60.

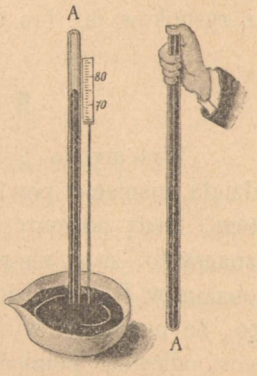
otwarty, bądź zamknięty). Podnosząc rurkę *C*, widzimy, że rtęć w niej nie opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. 60, II). Podnieśmy jeszcze wyżej; np. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o metr ponad rtęć w *A*. Wówczas stanie się coś nowego. Rtęć w *C* odrywa się od kurka, opada i zatrzymuje się na wysokości 76 *cm* ponad poziomem w *A* (rys. 60, III). Jeśli podniesiemy rurkę *C* jeszcze wyżej, poziom rtęci nie podniesie się w niej, ani się nie zniży, lecz zostanie wzniesiony o 76 *cm* ponad poziom w *A*. *Powiadamy, że w rurce C, pomiędzy rtęcią a kurkiem, mamy teraz próżnię.* Istotnie, powietrze tam dostać się nie mogło ani przez kurek (jeśli jest szczelny), ani przez rtęć, ani przez szkło. Zresztą, opuszczając teraz rurkę *C* na dół, dostrzegamy, że rtęć mocno uderza o szkło, wydając odgłos dziwnie suchy; znak, że tam niema powietrza, które jakby poduszka łagodziłoby uderzenie rtęci. Czemuż w położeniu III. (rys. 60.) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 *cm* wyżej od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci, 76 *cm* wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto tam niema żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykłe powietrze* (jakie nas otacza) *wywiera ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centymetrów.* Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się od kurka *C*, dopóki był on wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 *cm* (rys. 60, II). Rozumiemy także dlaczego, skoro rtęć się oderwała i próżnia się utworzyła, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Bo próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

## § 48. Barometr.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. 61., str. 47.), u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości przenoszącej 76 *cm*, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki się zanurzył. Rtęć spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 *cm* nad poziomem w płaskiem naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki *S*, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy,

długi na 65 *cm*. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła.

Powiadamy, że ciśnienie powietrza utrzymuje słup rtęci, podniesiony w rurce *A*, czyli *równoważy* ciężar tego słupa. Gdybyśmy wzięli rurkę szerszą, np. rurkę *B* o przecięciu dwa razy większem niż przecięcie *A*, czy słup w niej podniesiony będzie miał również 76 *cm*? Gdyby tak było, słup w rurce *B* zawierałby dwa razy tyle rtęci, ważyłby zatem dwa razy więcej niż słup w *A*; mogłoby się więc wydawać, że w *B* słup powinien być niższy; *ale tak nie jest*. Ciężar słupa w *B* będzie dwa razy większy niż ciężar słupa w *A*; ale też będzie się rozpościerał na *pole* dwa razy większe. *Ciśnienie* zatem *na jednostkę pola* (§ 38.) będzie jednakowe. Możemy więc powiedzieć, że *miarą ciśnienia powietrza jest słup rtęci o wysokości 76 cm;* nie potrzebujemy dodawać, jak wielkie jest przecięcie słupa. Przeciwnie, jeżeli chcemy porównać ciśnienie powietrza z ciśnieniem, sprawianem przez pewien ciężar, np. przez kilogram, na swoją podstawę, musimy określić pole tej podstawy; kilogram bowiem inaczej ciśnie na pole o 10 $cm^2$ niż na pole o 20 $cm^2$. Przypuśćmy np., że rurka *A* (rys. 61.) ma 1 $cm^2$ przecięcia; słup podniesionej w niej rtęci zawiera więc 76 $cm^3$ a zatem (§ 29.) waży $76 \times 13{,}5 = 1026$ gramów. Zatem słup rtęci w rurce *A* wywiera ciśnienie przeszło kilograma na każdy centymetr kwadratowy przecięcia, na którem łączy się z rtęcią szerokiego naczynia; takie jest ciśnienie powietrza.



Rys. 61.

*Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy.* Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 62.). Np. na stół o rozległości jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą ciężaru 10260 kilogramów.

Rys. 62.

Ciśnienie powietrza nie jest zresztą dokładnie stałe, lecz ulega ciągłym acz nieznacznym zmianom, zwłaszcza przy nagłej zmianie pogody. Gdy burza np. nadciąga, ciśnienie powietrza zazwyczaj się zmniejsza. Powiadamy zatem, że ciśnienie powietrza bywa większe lub mniejsze niż ciśnienie słupa 76 *cm* wysokości, które też dlatego nazywa się *normalnem* (czyli zwyczajnem) *ciśnieniem atmosferycznem* lub krócej *atmosferą*. Do mierzenia ciśnienia powietrza służą

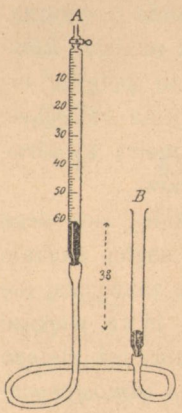
przyrządy, zwane *barometrami*, zbudowane podobnie, jak przyrządy z rysunków 60. lub też 61.

## § 49. Objętość a ciśnienie.

Wróćmy do § 46. Wiemy, że na rtęć w rurce *B* (rys. 59.) działa ciśnienie powietrza atmosferycznego, czyli 1 atmosfera. Zatem, kiedy poziomy w *A* i *B* stoją jednakowo wysoko (rys. 59.), znaczy to, że powietrze w *A* wywiera ciśnienie, równe 76 *cm*; kiedy poziom w *B* stoi wyżej niż w *A* o pewną liczbę centymetrów, znaczy to, że powietrze w *A* wywiera ciśnienie tylu centymetrów, ile wynosi odległość pomiędzy poziomami, więcej 76 *cm*. Ażeby znaleść ciśnienie powietrza w *A*, trzeba więc dodać zawsze 76 *cm* do odległości pomiędzy poziomami. W § 46. powiedzieliśmy, jakie muszą być odległości pomiędzy poziomami, ażeby powietrze, które zajmowało z początku 30 $cm^3$, ścisnęło się do 20, do 15, do 10 $cm^3$. Obliczmy teraz ciśnienia, które powietrze wywierało w tych objętościach.

| Objętość powietrza w *A* | Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B* | Ciśnienie powietrza w *A* |
|---|---|---|
| 30 $cm^3$ | Zero | 76 *cm* czyli 1 atm. |
| 20 $cm^3$ | 38 *cm* | 114 *cm* czyli 1·5 atm. |
| 15 $cm^3$ | 76 *cm* | 152 *cm* czyli 2 atm. |
| 10 $cm^3$ | 152 *cm* | 228 *cm* czyli 3 atm. |

Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zmniejszała się do połowy (np. z 30 na 15, z 20 na 10 $cm^3$), ciśnienie powiększało się w dwójnasób. Tak zachowuje się powietrze. *Ile razy zmniejszymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy powiększy się jego ciśnienie.*



Rys. 63.

Zmniejszaliśmy objętość powietrza; czy nie możemy jej powiększać? Opuśćmy na dół rurkę *B* (rys. 63.), zamiast ją podnosić do góry. Zobaczymy, że poziom w rurce *A* będzie stał wyżej, niż w rurce *B*. To znaczy, że powietrze w rurce *A* wywiera teraz ciśnienie *mniejsze*, niż powietrze atmosferyczne, t. j. mniej niż jedną atmosferę. Jeżeli np. poziom *A* stoi o 19, o 38 *cm* wyżej niż *B*, to znaczy, że powietrze w *A* ma ciśnienie o 19, o 38 *cm* mniejsze od 1 atmosfery, a więc ciśnienie 57 *cm*, 38 *cm*. Teraz więc trzeba *odjąć* odległość po-

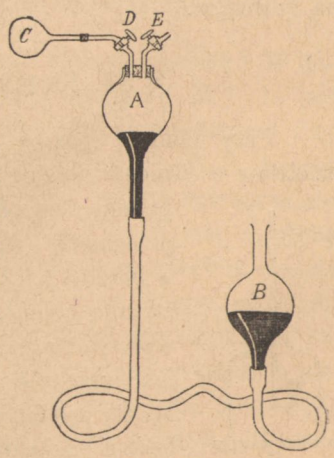
wierzchni od 76 *cm*, żeby znaleść ciśnienie powietrza w rurce *A*. W ten sposób znajdziemy:

| Objętość powietrza w *A* | Odległość pomiędzy poziomami *A* i *B* | Ciśnienie powietrza w *A* |
|---|---|---|
| 40 $cm^3$ | 19 *cm* | 57 *cm* = 0·75 atm. |
| 60 $cm^3$ | 38 *cm* | 38 *cm* = 0·50 atm. |

Porównajmy te ciśnienia z dawniejszemi, jakie mieliśmy przy objętości 20 $cm^3$ oraz 30 $cm^3$. Widzimy, że, kiedy objętość powietrza zwiększała się w dwójnasób (np. z 20 na 40, z 30 na 60 $cm^3$, ciśnienie zmniejszało się do połowy. *Ile razy zwiększymy objętość pewnej ilości powietrza, tyle razy zmniejszy się jego ciśnienie.* Jest to prawidło takiesame, jak poprzednie.

## § 50. Pompy pneumatyczne.

Ostatnie doświadczenie naprowadza na pomysł zbudowania tak zwanej pompy pneumatycznej, która służy do pompowania powietrza z pewnego naczynia. Wystawmy sobie balon szklany *A* (rys. 64.), do którego wchodzą dwie rurki. Jedna prowadzi do naczynia *C*, z którego chcemy wyciągnąć powietrze i ta może być zamknięta kurkiem *D*. Druga prowadzi wprost na zewnątrz i może być zamknięta kurkiem *E*. Możemy zniżać lub podnosić rtęć w balonie *A*, zniżając lub podnosząc balon *B*, który łączy się z pierwszym rurką kauczukową. Najprzód rtęć w balonie *A* podnosimy aż do kranów *D* i *E*. Następnie zamykamy *E*, łączymy *D* z naczyniem *C* i opuszczamy rtęć w *A*. Rtęć, opadając, pozostawiałaby w balonie próżnię, gdyby nie powietrze w *C*, które napływa do *A*. Że jednak ta ilość powietrza, która pod ciśnieniem jednej atmosfery zajmowała objętość naczynia *C*, rozchodzi się teraz po obu naczyniach *C* i *A*, przeto już teraz mamy w *C* ciśnienie zmniejszone. Jeśli np. objętość *A* jest trzy razy większa niż objętość *C*, wtedy ciśnienie w *C* zmniejszyło się z jednej atmosfery do $^1/_4$ atmosfery (§ 49.). Teraz zamykamy *D*, podnosimy rtęć do góry w *A* i otwie-



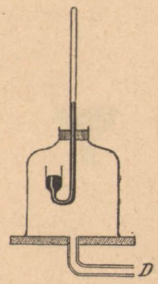
Rys. 64.

ramy kurek *E*. Tym sposobem wypędzamy na zewnątrz powietrze, które napłynęło było z *C* do *A*. Podniósłszy rtęć jak można najwyżej, znów zamykamy *E*, otwieramy *D* i opuszczamy rtęć, jednem słowem, powtarzamy, co czyniliśmy przed chwilą. Powietrze z *C* rozejdzie się znów po przyrządzie, ciśnienie w *C* zmniejszy się z $\frac{1}{4}$ do $\frac{1}{16}$ atmosfery. Taksamo postępować będziemy dalej. Po kilku poruszeniach rtęci otrzymamy w *C* bardzo małe ciśnienie, t. j. usuniemy ztamtąd powietrze prawie zupełnie. (Przy doświadczeniach z pompą przydatny bywa *talerz* (rys. 65.), przez który prowadzi rura do pompy; na talerzu umieszcza się przedmioty, które mają znaleść się w próżni, przykrywając je przyszlifowanym dzwonem szklanym. Dla szczelności brzeg tego dzwonu smaruje się łojem). Opisana pompa ma tłok, zrobiony, rzec można, z rtęci. Budują też pompy pneumatyczne o tłokach drewnianych lub metalowych, obciągniętych skórą. Zamiast kurków *D* i *E* robią wtedy *zastawki*, które otwiera samo powietrze, napływające z pod dzwonu lub wypychane na zewnątrz.


Rys. 65.

## § 51. Skutki ciśnienia powietrza.

Przy pomocy pompy pneumatycznej sprawdzamy, co powiedzieliśmy o ciśnieniu powietrza. Wstawmy np. pod dzwon (rys. 65.) butelkę, zaopatrzoną w korek, przez który przechodzi rurka wyciągnięta (rys. 67.); w butelce tej znajduje się woda. Gdy pompa zacznie działać, woda tryska z rurki. Albo też wprowadźmy barometr pod dzwon pompy, jak wskazuje rys. 66. Słup w barometrze będzie spadał coraz niżej, im dłużej pompa będzie działała. Zamknijmy wylot rury w talerzu (rys. 65.) palcem lub dłonią; w miarę pompowania czujemy, że coś wtłacza nam skórę do rurki. Postawmy na talerzu szeroką rurę szklaną, której otwór górny obwiązaliśmy pęcherzem lub błoną kauczukową; wskutek działania pompy błona staje się wklęsłą ku dołowi i wkońcu pęka. Wszystkie te skutki sprawia ciśnienie powietrza.

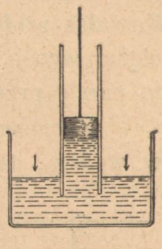


Rys. 66.


Rys. 67.

Nie wydają się one nam dziwne, skoro ciśnienie to równa się, jak doszliśmy, przeszło kilogramowi na centymetr kwadratowy.

Weźmy rurkę, w której porusza się tłok (rys. 68.); zanurzamy ją dolnym otworem do wody i podnosimy tłok. Tym sposobem tworzy się pod tłokiem próżnia, którą natychmiast napełnia woda, bo wciska ją tam ciśnienie powietrza zewnętrznego. Na tej zasadzie polega działanie pomp wodnych w zwykłych studniach. Gdybyśmy zanurzyli rurkę naszą z tłokiem (rys. 68.) do rtęci, wiemy, że wciągnęlibyśmy ją na wysokość 76 *cm* ale nie wyżej. Woda jest 13·5 razy mniej ciężka od rtęci, więc można podnieść w ten sposób wodę o wysokość 13·5 × 76 *cm* czyli o wysokość przeszło 10 metrów, ale nie wyżej. Zwyczajna pompa nie może podnieść wody o większą wysokość.



Rys. 68.

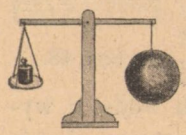
## § 52. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało zanurzone.

Zkąd bierze się ciśnienie w powietrzu atmosferycznem? W naczyniu pełnem wody mamy też ciśnienie; wiemy (§ 43.), że jest ono poprostu ciężarem wody. Czy taksamo jest w powietrzu? Czy powietrze ma ciężar? Niebawem przekonamy się (§ 53.), że *powietrze ma ciężar;* zauważmy tymczasem, iż, gdyby powietrze nie miało ciężaru, ani dym z komina ani para z kotła nie mogłyby podnosić się w powietrzu do góry. Istotnie: dlaczego korek w wodzie idzie do góry? Bo w jednakowej objętości jest lżejszy od wody (§ 44.). Więc dym i para w jednakowej objętości są lżejsze od powietrza, skoro w niem idą do góry. Lecz gdyby powietrze nie miało ciężaru, dym i para nie mogłyby być lżejsze od powietrza.

Sprawdźmy to. W miastach sprzedają jako zabawkę kauczukowe baloniki. Sama kauczukowa powłoka w baloniku jest oczywiście cięższa od powietrza; ale gaz, którym balonik jest napełniony, tak zwany gaz oświetlający, jest lżejszy od powietrza; balonik więc idzie w powietrzu do góry, podobnie jak w wodzie próżna zakorkowana butelka. W takisam sposób bywają urządzane wielkie *balony,* którymi ludzie wznoszą się w powietrze. Umieszczony pod dzwonem pompy pneumatycznej balonik wzlatuje aż do szczytu dzwonu, lecz wnet opada na talerz, skoro pod dzwonem zrobimy próżnię; istotnie więc *ciało, zanurzone*

*w powietrzu, doznaje parcia do góry, taksamo jak ciało, zanurzone w wodzie* (§ 44.). Parcie, którego doznaje balonik, jest większe, niż jego ciężar; dlatego balonik wzlatuje do góry. Kawałek szkła albo metalu nie wzlatuje do góry w powietrzu, bo ciężar jego jest znacznie większy niż parcie do góry; zawsze jednak to parcie przeciwdziała ciężarowi t. j. pozornie go zmniejsza.

Zobaczmy, czy pozorna strata w powietrzu jest, tak jak w wodzie, tem większa, im większa jest objętość ciała. Weźmy małą ważkę, na której zrównoważyliśmy (rys. 69.) lekką, pustą w środku kulę ciężarkami, śrutem lub rtęcią. Zrównoważyliśmy ją w *powietrzu;* a ponieważ kula ma objętość większą, niż ciężarki, więc powinna doznawać parcia do góry większego. Zatem kula *naprawdę* musi być cięższa niż ciężarki a równoważy się z nimi jedynie dzięki pomocy parcia powietrza. Istotnie: wstawmy ważkę pod dzwon pompy i wyciągnijmy powietrze a zobaczymy, że strona ważki, po której wisi kula, przechyla się ku dołowi.


Rys. 69.

## § 53. Ciężar powietrza.

Ciało, zanurzone w wodze, traci (§ 44.) pozornie na ciężarze tyle, ile waży woda, której miejsce zajmuje. Zobaczmy, czy tosamo stosuje się do powietrza. Przypuśćmy, że kula w przyrządzie rys. 69. ma 1000 $cm^3$ czyli 1 litr objętości; dalej, że jest zrobiona z bardzo cienkiej blachy, tak że waży kilkanaście gramów; w takim razie ciężarki zajmują tylko kilka $cm^3$ i możemy pominąć parcie, którego doznają w powietrzu. Zrównoważywszy kulę w powietrzu, widzimy, jak powiedziano, że w próżni kula przeważa. Teraz, zrównoważywszy kulę w powietrzu, dodajmy jeszcze 1·2 grama po stronie ciężarków; wówczas w *powietrzu* ciężarki będą *przeważały,* ale *w próżni będzie równowaga.* To dowodzi, że ciężar kuli zmniejsza się w powietrzu wskutek parcia o 1·2 grama. Zatem litr powietrza musi *ważyć* 1·2 grama.


Rys. 70.

Żeby to sprawdzić, potrzeba dokładnej wagi oraz bani szklanej z kurkiem (rys. 70.). Zapomocą pompy pneumatycznej usuwamy z bani powietrze; następnie, zamknąwszy kurek, zawieszamy banię na wadze i równoważymy ją śrutem lub

rtęcią. Nareszcie otwieramy kurek i dokładamy ciężarków tyle, ile potrzeba do przywrócenia równowagi. Dołożymy w tym celu 1·2 grama, jeśli bania aż do kurka ma litr objętości. Zatem rzeczywiście: *litr powietrza waży 1·2 grama.* Czy nie popełniliśmy tu jednak błędu, skoro bania, ważona w powietrzu, musiała tracić na ciężarze? Nie popełniliśmy błędu, bo nie szło nam o ciężar bani, lecz o *przybytek* w jej ciężarze, spowodowany tem, że weszło do niej powietrze. Ilekolwiek bania traciła na ciężarze, wszystko jedno, bo traciła zarówno w pierwszem, jak w drugiem ważeniu. Jeśli nie znamy objętości bani, ważymy ją po raz trzeci pełną wody. Ile gramów musimy teraz dołożyć (do śrutu lub rtęci, które równoważyły banię w pierwszem ważeniu) tyle $cm^3$ bania ma objętości.

Powietrze ma zatem stosunkowo znaczny ciężar. Duży pokój może mieć długości i szerokości np. po 5 *m* a wysokości 4 *m*; w takim razie zawarte w nim powietrze waży 120 *kg*. Litr wody waży kilogram, zatem powietrze jest około 850 razy mniej ciężkie niż woda t. j. ma gęstość $\frac{1}{850}$.

## § 54. Gęstość a ciśnienie.

Wystawmy sobie litr powietrza atmosferycznego, np. nad rtęcią w rurce *A*, rys. 63. Mamy w nim, jak wiemy, 1·2 grama powietrza. Przypuśćmy, żeśmy objętość tego powietrza powiększyli w dwójnasób; zmusiliśmy tym sposobem 1·2 grama do rozejścia się po objętości dwóch litrów. Zatem w pierwszym litrze zostało tylko 0·6 grama powietrza; 0·6 grama powietrza przeszło do drugiego. Widzimy więc, że ciężar litra powietrza zmniejszył się do połowy i że gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy. Powiadamy: *w jakim stosunku zwiększamy objętość pewnej ilości powietrza, w takim stosunku zmniejsza się jego gęstość.*

Lecz jeśli zmienia się objętość, którą zajmuje 1·2 grama powietrza, to zmienia się także jego ciśnienie. Zajmując jeden litr, 1·2 grama wywiera ciśnienie 76 *cm* rtęci; rozszerzywszy się do objętości podwójnej, będzie wywierał (§ 49.) ciśnienie dwa razy mniejsze. Zatem, gdy gęstość powietrza zmniejszyła się do połowy, ciśnienie zmniejszyło się również do połowy. Możemy powiedzieć na zasadzie § 49.: *w jakim stosunku zmniejszymy gęstość pewnej ilości powietrza, w takim zmniejszy się jego ciśnienie.*

Dlatego mówi się o powietrzu, które wywiera ciśnienie, mniejsze niż atmosferyczne, że jest *rozrzedzone*. Innemi słowy, w danej objętości może być powietrza więcej i mniej; jeśli jest go 2 gramy, ciśnienie jest dwa razy większe, niż jeśli jest go gram; jeśli jest go 3 gramy, ciśnienie jest trzy razy większe. Każdy gram powietrza sprawia więc swoje ciśnienie, czy w owej objętości są inne gramy powietrza, czy ich niema. Ciało, które ma takie własności, nazywamy *ciałem gazowem* albo *gazem*. Powietrze zatem jest ciałem gazowem. Lecz, jak prócz wody jest wiele innych ciał ciekłych, podobnie prócz powietrza jest wiele innych ciał gazowych, o czem dowiemy się dokładniej z Chemii, a także z rozdziału o cieple.

## § 55. O wysokości atmosfery.

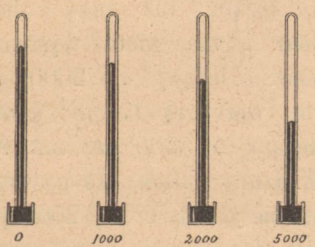
Kula ziemska jest przykryta powłoką powietrza. Wejdźmy na wysoką wieżę, wstąpmy na szczyt góry, wznieśmy się balonem — znajdziemy tam wszędzie powietrze. A zatem żyjemy w głębi ogromnego oceanu powietrza, jak rośliny dna morskiego, które żyją w głębi ogromnego oceanu wody. Jak wysoko sięga ten ocean powietrza, ta *atmosfera*, jak go nazywają? Gdzie się ona kończy? Mimowoli nasuwa się takie pytanie.

Zdawałoby się, że łatwo można na nie odpowiedzieć. Wystawmy sobie 1 $m^2$, leżący poziomo na ziemi. Wiemy (§ 48.), że ciśnienie powietrza cięży na nim ciężarem 10260 *kg*. A ponieważ ciśnienie powietrza wynika z ciężaru powietrza (§ 52.), więc 10260 *kg* jest to ciężar słupa powietrza, który wznosi się na podstawie metra kwadratowego od ziemi aż do krańców atmosfery. Ponieważ zaś metr sześcienny powietrza waży 1·2 *kg* (§ 53.), zdawałoby się przeto, że wspomniany słup, ażeby módz pomieścić w sobie 10260 *kg* powietrza, powinien składać się z $\frac{10260}{1{\cdot}2}$ czyli z 8550 sześcianów, mających każdy po metrze wysokości. Czy zatem atmosfera ma 8550 metrów wysokości? Bynajmniej tak nie jest, atmosfera sięga znacznie wyżej, jak to zaraz zobaczymy.

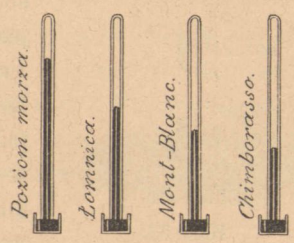
## § 56. Im wyżej, tem powietrze rzadsze.

W wodzie, im głębiej, tem ciśnienie większe (§ 43.); tak być musi, skoro ciśnienie w wodzie w pewnej głębokości — to

ciężar wody, powyżej leżącej. W powietrzu jest podobnie: ciśnienie w atmosferze w pewnej wysokości — to ciężar powietrza, powyżej leżącego. A zatem *w miarę oddalania się od powierzchni ziemi ciśnienie powietrza musi być coraz mniejsze;* my zaś, na dnie atmosfery, mamy *największe* ciśnienie powietrza. Że tak jest, okazuje się w każdej podróży balonem. Przy wzlocie balonu, na powierzchni ziemi, barometr pokazywał (przypuśćmy) 76 *cm*; w takim razie na wysokości 1000 *m*, 2000 *m*, 5000 *m* będzie pokazywał



Rys. 71.



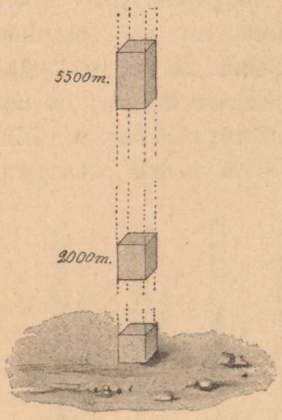
Rys. 72.

tak, jak to przedstawia rys. 71. Sprawdzono też, że na szczytach gór ciśnienie jest mniejsze niż w dolinach; na wyniosłych płaskowzgórzach — mniejsze niż u poziomu morza. Rys. 72. przedstawia wysokość barometru u poziomu morza, na szczycie tatrzańskim Łomnicy, na górach Mont-Blanc i Chimborasso.

Jeśli ciśnienie w atmosferze jest coraz mniejsze, im dalej od ziemi, to powiadamy (§ 54.): *im dalej od ziemi, tem gęstość powietrza jest mniejsza, tem powietrze jest rzadsze.* Istotnie, w górach i w balonie znajdujemy coraz rzadsze powietrze, im wyżej się wznosimy. Dlaczego nie dostrzegamy w wodzie podobnego przyrostu gęstości ku dołowi, np. w dużym zbiorniku? Bo woda jest (§ 35.) nadzwyczaj mało ściśliwa. Ciężar wysokiego nawet słupa wody jest jeszcze zbyt słaby, ażeby mógł ścisnąć wodę w sposób dostrzegalny. A zatem słup wody jest podobny do stosu cegieł, leżących na sobie a słup powietrza byłby raczej podobny do stosu materaców sprężynowych, leżących na sobie: im który niżej leży, tem mocniej jest ściśnięty.

To tłómaczy, dlaczego otrzymaliśmy błędny wypadek, obliczając wysokość atmosfery w artykule poprzednim. Obliczaliśmy, jak wysoki musi być słup, mający za podstawę 1 $m^2$, ażeby mógł pomieścić 10260 *kg* powietrza. Gdyby 1·2 *kg* powietrza zajmowało zawsze 1 $m^3$, słup ten musiałby mieć, jak powiedzieliśmy, 8550 *m*

wysokości. Ale 1·2 *kg* powietrza tylko tuż nad powierzchnią ziemi zajmuje 1 $m^3$; im wyżej zaś, tem powietrze jest rzadsze, więc tem większą objętość brać trzeba, żeby znaleść w niej zawsze 1·2 *kg*. Idźmy w naszym słupie do góry, poczynając od ziemi (rys. 73.); dzielmy go na takie prostopadłościany, ażeby każdy mieścił w sobie 1·2 *kg* powietrza. Prostopadłościan, leżący tuż przy ziemi, jest sześcianem i ma metr wysokości. Prostopadłościan, leżący o 2000 metrów od ziemi, ma 1 *m* 27 *cm*; prostopadłościan, leżący o 5500 *m*, ma 2 *m* wysokości. Widzimy zatem, że na wysokości 2000 *m* nie pomieści się 2000 prostopadłościanów, lecz mniej; na wysokości 8550 *m* nie pomieści się 8550 prostopadłościanów, nie pomieści się zatem 10260 *kg* powietrza. Atmosfera musi sięgać znacznie wyżej niż 8550 *m*.



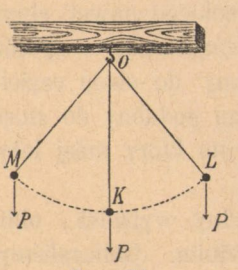
Rys. 73.

# ROZDZIAŁ TRZECI.

## O falach. O głosie.

### § 57. Ruch wahadłowy.

Jak w § 12., zawieśmy na haku drut, zakończony kulą (rys. 74.). Wiemy, że drut wisi spokojnie tylko w położeniu pionowem *OK*. Gdy go odchylimy np. do *OL* t. j. gdy podniesiemy kulę aż do miejsca *L* i następnie ją puścimy, zacznie się ona poruszać ku *K*, ale nie zatrzyma się w miejscu *K*, przejdzie po za *K*, np. aż do *M*. Dlaczego? Ponieważ kula jest bezwładna i ponieważ, przybiegając do *K*, ma ona prędkość a więc i energią, nabytą na drodze *LK*. A zatem kula przejdzie po za *K*, jakkolwiek w miejscu *K* siła ciężkości *(KP)* nie skłania jej do dalszego ruchu (por. § 12.); będzie się ona wznosiła dopóty, dopóki energia jej nie

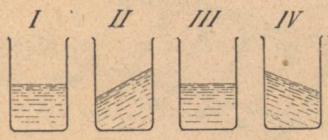


Rys. 74.

Powiadamy więc, że tu w szeregu wahadeł ruch wahadłowy *postępuje*, posuwa się czyli *rozchodzi się* z pewną prędkością. Istotnie: potrzeba na to pewnego czasu, ażeby którekolwiek położenie (np. największe wychylenie się na lewo) udzieliło się od wahadła *A* aż do wahadła *F* t. j. ażeby posunęło się ono o odległość *AF*. Widzimy dalej, że same wahadła, wahając się, nie posuwają się ani ku jednemu ani ku drugiemu końcowi deseczki *MN;* wahają się one poprzecznie czyli prostopadle do kierunku *MN*. Tylko ruch ich, ruch wahadłowy, posuwa się czyli postępuje w kierunku *MN*.

## § 59. Kołysanie się wody.

Woda w szklance ma powierzchnię poziomą, dopóki jest w spoczynku; ale popchnijmy szklankę po stole a powierzchnia pocznie się zaraz kołysać: z poziomej (rys. 76, I) staje się pochyłą (II), ale tylko na chwilę, gdyż zawraca natychmiast w stronę przeciwną (III, IV). Łatwo bowiem zrozumieć, że woda nie może trwać w położeniu takiem, jak na rys. 76, II lub 77. Wystawmy sobie wewnątrz wody pionowo stojący kwadracik *a;* na rys. 77. widzimy go z boku. Woda z prawej strony kwadracika *a* znajduje się dalej od powierzchni, niż z lewej a zatem z prawej strony *a* woda ciśnie (por. § 43.) silniej niż z lewej. Więc woda nie może zostać w tem położeniu, podobnie jak wahadło nie może zostać w położeniu *OL* (rys. 74.). Woda płynie ze strony prawej na lewą, przybiera położenie III (rys. 76.), lecz przez bezwładność porusza się dalej i dochodzi do IV, podobnie jak wahadło, doszedłszy do położenia *OK*, przez bezwładność porusza się dalej i dochodzi do *OM* ze strony przeciwnej.



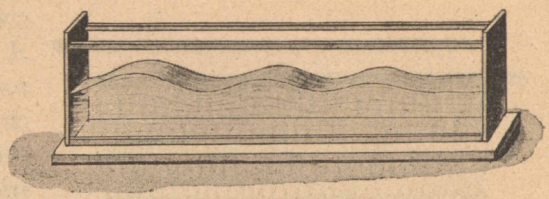
Rys. 76.

Rys. 77.

## § 60. Fala na wodzie.

Weźmy koryto pełne wody (rys. 78., str. 59.) i puśćmy dużą kroplę na powierzchnię u końca koryta. W ten sposób wprawiliśmy wodę u końca koryta w ruch wahadłowy. Jak w szeregu

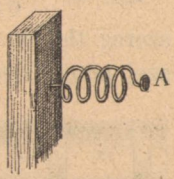
wahadeł (§ 58.) ruch udziela się coraz dalszym wahadłom i rozchodzi się wzdłuż całego ich szeregu, podobnie w korycie, które jest jakby szeregiem szklanek, połączonych ze sobą, ruch wahadłowy wody u końca koryta udziela się dalej i rozchodzi się po całem korycie; widzimy wtedy zmarszczkę lub *falę*, która biegnie po powierzchni. Posypmy powierzchnię wody miałem korkowym lub drzewnym; zobaczymy, że pływające cząsteczki podnoszą się i opadają, gdy fala przebiega, ale nie posuwają się ani naprzód, ani wstecz. A zatem, gdy fala przebiega, nie sama woda posuwa się naprzód, lecz tylko jej kołysanie się, jej ruch wahadłowy posuwa się naprzód, czyli *postępuje* wzdłuż koryta. Podobnież, gdy na powierzchnię wody w stawie lub rzece rzucimy kamień, wstrząśnienie powierzchni rozchodzi się we wszystkich kierunkach i dlatego widzimy fale w postaci kół, rozbiegających się po powierzchni.



Rys. 78.

## § 61. Fale w sprężynie.

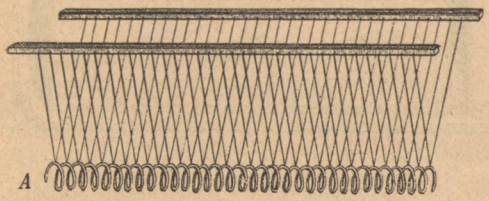
Weźmy krótką sprężynkę (zrobioną przez skręcenie drutu koło rury), umocujmy ją na jednym końcu (rys. 79.) a na drugim przytwierdźmy kawałek papieru *A* dla uwidocznienia ruchu sprężyny. Jeśli sprężynę ściśniemy, budzi się w niej siła sprężystości; zatem, gdy ją puścimy, sprężyna nie pozostanie ściśnięta, lecz pocznie powracać do pierwotnej długości, a gdy ją dosięgnie, wydłuży się jeszcze nieco przez bezwładność. Znak *A* będzie się poruszał na lewo i na prawo, będzie się *wahał*, podobnie jak kula wahadła, jak kawałek korka na kołyszącej się wodzie.




Rys. 79.

Zróbmy teraz podobną, lecz długą sprężynę, do 2 *m* np. mającą. (Dobrze jest wziąć drut miedziany o grubości 2 *mm*, każdemu skrętowi dać około 7 *cm* średnicy i zrobić około 70 skrętów na długości 2 *m*). Zawieśmy sprężynę, jak na rys. 80., str. 60. Uderzając koniec *A* młotkiem, ściśniemy naprzód tylko kilka pierwszych skrętów sprężyny; lecz ściśnięcie to udziela się niebawem

dalej i biegnie przez sprężynę aż do drugiego końca. Powiadamy, że *fala ściśnięcia przebiegła tu przez sprężynę*. Gdybyśmy, przeciwnie, pociągnęli koniec *A* ku sobie, bylibyśmy rozciągnęli w pierwszej chwili kilka pierwszych skrętów i *fala rozciągnięcia* byłaby przebiegła sprężynę. Pociągnijmy scyzorykiem prędko po skrętach sprężyny a ściśniemy kilka skrętów i rozciągniemy kilka następnych tak, że, jedna za drugą, fala ściśnięcia *B* i fala rozciągnięcia *C* przebiegają sprężynę (rys. 81.).

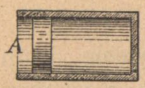


Rys. 80.

Rys. 81.

## § 62. Fala w powietrzu.

Powietrze jest również ciałem sprężystem; w powietrzu ściśniętem budzi się siła sprężystości podobnie, jak w sprężynie ściśniętej. Tłok np. *A*, bardzo lekki (rys. 82.), wepchnięty nagle do rurki, poruszałby się dzięki sprężystości powietrza naprzód i wstecz, podobnie jak znak *A* na sprężynie (rys. 79.), gdyby nie przeszkadzało mu tarcie o ścianki. Wystawmy sobie rurę pełną powietrza i w niej szereg tłoków ruchomych (rys. 83.). Ściśnięcie powietrza w pierwszej przegródce *a* udzieli się niebawem dalszym przegródkom *b*, *c*, *d* t. j. pobiegnie przez rurę aż do drugiego jej końca, podobnie jak ściśnięcie kilku pierwszych skrętów w sprężynie (rys. 80.) pobiegło przez nią aż do drugiego jej końca. Powiemy wówczas, że *fala ściśnięcia* czyli *zgęszczenia biegnie przez powietrze*. Podobnie może biedz przez powietrze fala *rozrzedzenia*. Tarcie o ścianki przeszkadzałoby tutaj posuwaniu się fali; ale, jak zaraz zobaczymy, gdy w powietrzu rozchodzi się *głos*, taka właśnie fala biegnie przez powietrze, pomimo, iż nie jest ono ujęte w żadne stałe przegrody.

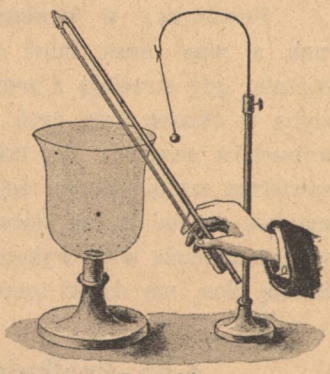


Rys. 82.

Rys. 83.

## § 63. Powstawanie głosu.

Uderzmy brzeg dzwonu lub pociągnijmy po nim smyczkiem; słyszymy *głos*. Zkąd głos powstaje? Możemy łatwo dowieść, że dzwon *drga*, dopóki głos się rozlega. Czujemy drganie dzwonu, dotykając go ostrożnie palcem lub ustami; jeśli dotkniemy za mocno, stłumimy drganie i zaraz też umilknie głos, który słyszymy. Zbliżajmy lekkie wahadełko (rys. 84.) do dzwonu, wydającego głos; będzie ono odskakiwało, potrącane raz wraz przez drgający dzwon. Struna dźwięcząca podrzuca lekkie skrawki papieru czyli »koniki«, które pozawieszaliśmy na niej; wygląda też jak gdyby grubsza, dopóki wydaje głos. Widzimy więc, że *każde ciało drga gdy wydaje głos.*



Rys. 84.

## § 64. Głos rozchodzi się w powietrzu.

Jeśli drgający dzwon znajduje przed sobą palec, uderza o palec; jeśli spotyka wahadełko, uderza o wahadełko; a że zazwyczaj znajduje przed sobą powietrze, więc uderza o powietrze t. j. ściska czyli zgęszcza pierwszą, przylegającą doń warstwę powietrza. To ściśnięcie czyli zgęszczenie udziela się dalej, jak w sprężynie (rys. 80.), jak w rurce *abcd* (rys. 83.) i tym sposobem w powietrzu rozchodzi się *fala zgęszczenia*. Ale tymczasem dzwon, odbywając drugą część drgania, poczyna się cofać i pociągać za sobą czyli rozrzedzać pierwszą, przylegającą doń warstwę powietrza; tym sposobem w powietrzu rozchodzi się *fala rozrzedzenia*, która biegnie tuż zaraz za pierwszą, podobnie jak biegła za nią w sprężynie (rys. 81.). I tak przez powietrze biegną fale za sobą we wszystkich kierunkach; gdy tą drogą dojdą naszych uszu (dokładniej nerwu naszego słuchowego), wówczas słyszymy głos. Istotnie też nie słyszymy wcale głosu dzwonka, zawieszonego wewnątrz bani szklanej, jeśli z tej bani wyciągniemy powietrze. Zatem powiadamy: gdy słyszymy głos, wtedy odbywa się poza obrębem naszej osoby tylko *ruch* pewnego rodzaju, mianowicie *falowanie*

*powietrza.* Głos, który słyszymy, jest naszem *wrażeniem*, wywołanem przez to falowanie, podobnie jak ból, którego doznajemy, gdy ktoś uderzył nas laską, jest naszem wrażeniem, wywołanem przez ruch laski i jej uderzenie.

Powietrze, w którem rozchodzi się głos, odbywa pewien ruch a więc musi mieć dzięki temu pewną *energią* (§ 23.). Istotnie: gdy strzelają z armat lub gdy rozlega się huczna muzyka, szyby w oknach drżą czyli »dzwonią«. Skutkiem bardzo potężnych wybuchów powstaje huk tak straszny, że pod naciskiem falującego powietrza szyby pękają, ściany się załamują a ucho ludzkie, jeśli znajdzie się na drodze, łatwo może uledz uszkodzeniu. Falowanie powietrza może więc wykonać pracę; powietrze, w którem rozchodzi się głos, ma dzięki temu pewną energią.

## § 65. Prędkość rozchodzenia się głosu.

W zwykłem powietrzu fale rozchodzą się z prędkością 340 *m* na sekundę. To znaczy, że kiedy powietrze pocznie falować w jakiemkolwiek miejscu, wówczas faluje ono o 340 *m* dalej od tego miejsca po upływie jednej sekundy. A zatem i głos w zwykłem powietrzu rozchodzi się z prędkością 340 *m* na sekundę. Niechaj jedna osoba *A* stanie w widnem miejscu, np. na małem wzniesieniu; druga osoba *B* niechaj oddali się od niej o 340 metrów. Przypuśćmy, że *A* uderza młotem w dzwon lub też rąbie drzewo, podnosząc za każdym razem młot czy siekierę wysoko do góry; *B zobaczy* wówczas ruch ręki o całą sekundę wcześniej, zanim *usłyszy* głos. Jeszcze lepiej będzie strzelić z pistoletu w porze nocnej; błysk wystrzału dobiega wcześniej, niż huk; pochodzi to ztąd, iż światło biegnie nadzwyczajnie, niezmiernie szybko (zob. rozdz. VI.), głos zaś biegnie z prędkością 340 *m* na sekundę. Zapomocą takich doświadczeń uczeni wymierzyli dokładnie prędkość rozchodzenia się głosu. Gdy piorun uderza, spostrzegamy błyskawicę prawie natychmiast po uderzeniu, grzmot zaś słyszymy dopiero o parę sekund później; jeśli bowiem uderzenie nastąpiło np. w odległości 1 *km* od nas, głos zużywa blizko 3 sekundy na przebieżenie w powietrzu tej odległości.

Jeszcze raz tu widzimy, że rozchodzenie się głosu polega na rozchodzeniu się pewnego wstrząśnienia w powietrzu a nie na rozchodzeniu się samego powietrza. Gdy strzelimy z działa, głos czyli

wstrząśnienie powietrza znajduje się już o 340 *m* od działa po upływie sekundy; tymczasem dym, wyrzucony z armaty, znajduje się wówczas w odległości zaledwie kilku metrów od niej. Wystawmy sobie bardzo gęsty tłum ludzi; posłaniec zdoła z trudnością tylko i powoli poruszać się naprzód w tym tłumie; tymczasem list, podawany z rąk do rąk, albo wiadomość, podawana z ust do ust, biegnie z wielką prędkością. Podobnie pewna ilość powietrza lub dymu przeciska się z trudnością i stosunkowo powoli przez otaczające powietrze; ale wstrząśnienie powietrza, podawane z warstw do warstw, rozbiega się w niem z ogromną prędkością.

## § 66. Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych.

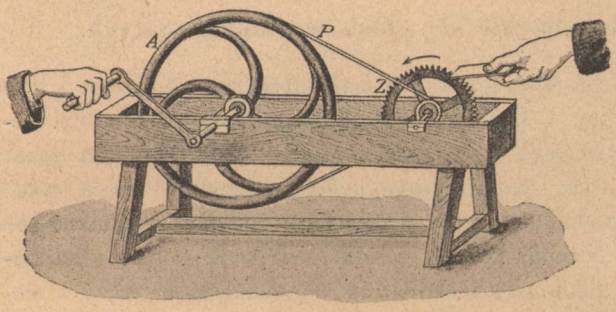
Fala może biedz przez każde ciało sprężyste a zatem i głos może rozchodzić się w każdem ciele sprężystem. Połóżmy np. zegarek na końcu długiego stołu; nie słyszymy chodu zegarka przez powietrze, tymczasem, przyłożywszy ucho do drugiego końca stołu, słyszymy go wyraźnie. Połączmy dwa lekkie pudełka drewniane zapomocą sznurka. Niechaj ktoś z jednem pudełkiem odejdzie na odległość kilku lub kilkunastu metrów, aż się sznurek wypręży i niechaj mówi do pudełka, nie podnosząc głosu; nie usłyszymy mowy przez powietrze ale usłyszymy ją, przyłożywszy ucho do drugiego pudełka. Stukanie o słup telegraficzny słychać wyraźnie w słupie sąsiednim; górnicy mogą porozumiewać się ze sobą pukaniem przez ogromne pokłady węgla lub innych minerałów.

## § 67. Odgłos.

Umocujmy jeden koniec długiej sprężyny (rys. 80.) zupełnie stale, przytwierdźmy go np. do ściany i spróbujmy z drugiego końca wzbudzić w sprężynie falę. Fala powstaje, przebiega sprężynę, lecz, gdy dojdzie do ściany, zawraca się i biegnie po sprężynie napowrót. Jak piłka, rzucona o ścianę, odskakuje i biegnie napowrót, tak fala w sprężynie cofa się od ściany napowrót; powiadamy, że fala *odbija się* od ściany. Podobnie mogą odbijać się fale w powietrzu; ściany budynków, skały w dolinie, brzegi gęstego lasu nieraz odsyłają nam głos, skutkiem czego powstaje *odgłos* czyli echo.

## § 68. Głos urwany, głos ciągły.

Jeśli uderzymy laską o podłogę, powstaje głos krótki, urwany, który nazywamy stuknięciem. Przypuśćmy, że stukamy laską raz po raz, np. trzy razy w ciągu każdej sekundy; słyszymy wówczas wyraźnie każde uderzenie z osobna. Próbujmy teraz stukać coraz prędzej; wówczas jest nieco trudniej pochwycić każde uderzenie z osobna. Poręcze na moście lub na schodach składają się często z gęstego szeregu prętów żelaznych; biegnijmy wzdłuż takiej poręczy i prowadźmy po niej koniec naszej laski. Uderzenia następują tak szybko po sobie, że nie odróżniamy już każdego z osobna, lecz słyszymy *głos ciągły*. Doświadczenie to wykonamy lepiej przy pomocy koła zębatego *Z* (rys. 85.); można obracać je bardzo prędko, poruszając koło *A*, które przenosi ruch na koło *Z* przy pomocy pasa *P*. Przyłóżmy metalową blaszkę lub kartę tektury do zębów koła *Z*; każdy ząb, przechodząc, będzie ją uderzał. Obracając powoli, słyszymy każde uderzenie z osobna; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, w którym rozpoznać przerw nie jesteśmy w stanie. Przypuśćmy, że na kole *Z* znajduje się 60 zębów. Jeśli obracamy tak powoli, że koło to wykonywa obrót w ciągu dwu sekund, wówczas karta otrzymuje 30 uderzeń w ciągu sekundy. Przekonamy się, że to jest mniej więcej granica, gdzie pojedyncze uderzenia łączą się w głos ciągły: obracając wolniej, słyszymy urwane głosy kolejnych uderzeń; obracając prędzej, słyszymy głos ciągły, bez przerw, czyli jednolity.



Rys. 85.

## § 69. Dźwięk; wysokość dźwięku.

Jeśli zęby na kole *Z* są równe i jeśli obracamy koło jednostajnie, wówczas kolejne uderzenia nie łączą się w bezładny hałas

i brzękanie, lecz tworzą *dźwięk* czyli głos równy, stały; taki głos wydają też instrumenta muzyczne, taki wydajemy, śpiewając lub wymawiając samogłoski. A zatem dźwięki różnią się od innych głosów tem, że powstają z wstrząśnień równych i regularnych, t. j. powtarzających się w równych odstępach czasu.

Niechaj koło *Z* (rys. 85.) ma 60 równych zębów. Obracajmy je tak, ażeby jeden obrót jego trwał mniej więcej sekundę. Usłyszymy wówczas dźwięk *nizki*, jaki wydają np. organy, lub bas w orkiestrze. Obracajmy przeciwnie koło *Z* bardzo prędko, ażeby dokonywało np. 50, 60 lub 70 obrotów na sekundę; usłyszymy wówczas dźwięk ostry, *wysoki*, jaki np. wydają skrzypce na najcieńszej strunie. Fortepian po lewym końcu klawiatury wydaje dźwięki nizkie, a po prawym — wysokie. Dorosły mężczyzna mówi głosem nizkim, a dziecko — wysokim. Gdy jeden obrót koła *Z* trwał sekundę, głos powstawał z 60 uderzeń na sekundę; gdy zaś na sekundę przypadało 50, 60 lub 70 obrotów, głos powstawał z 3000, 3600 lub 4200 uderzeń na sekundę. Powiadamy zatem: kilkadziesiąt wstrząśnień na sekundę daje dźwięk nizki, a kilka tysięcy wstrząśnień na sekundę daje dźwięk wysoki.

Przypuśćmy, że mamy pewien dźwięk, np. złożony z 240 uderzeń na sekundę. W takim razie dźwięk, powstający z 480 uderzeń na sekundę, choć jest wyższy od pierwszego, ma przecież jakieś szczególne do niego podobieństwo, które słuch wprawny natychmiast poznaje. Mówi się w muzyce, że dźwięk taki jest *wyższą oktawą* pierwszego; że pierwszy na odwrót jest niższą oktawą drugiego.

---

# ROZDZIAŁ CZWARTY.

## O cieple.

### § 70. Ciała zimne, ciała gorące.

Gdy włożymy rękę w śnieg, czujemy zimno; gdy trzymamy ją nad płomieniem, czujemy gorąco. Jeżeli włożymy kawałek żelaza w śnieg albo w płomień, możemy być pewni, że żelazo doznaje tam także pewnego działania, albowiem ulega pewnym zmianom, nabiera nowych własności; np. w płomieniu staje się samo gorące,

poczyna być czerwone lub białe, wreszcie świeci w ciemności. Podobnie woda w naczyniu, wstawiona do płomienia, staje się gorąca a kiedy stanie się bardzo gorąca, zaczyna się gotować czyli *wrzeć*. Stając się przeciwnie bardzo zimną, woda *zamarza* t. j. zamienia się w lód. Wosk ogrzewany topi się; papier ogrzewany zwęgla się lub też się zapala. A zatem ciała, sprawiające na nas wrażenie zimna lub gorąca, *działają nie tylko na nas*, lecz też i na inne ciała, mianowicie oziębiają je, ogrzewają je i sprawiają w nich zmiany rozmaite.

Poznajmy dokładniej, w jaki sposób ciała gorące ogrzewają. Nalejmy do szklanki chłodnej wody i włóżmy do niej gorący kawał żelaza; po chwili woda jest letnia lub ciepła, lecz i kawał żelaza jest także letni lub ciepły; a zatem woda się ogrzała, lecz żelazo ostygło. Podobnie piec napalony ostyga powoli w pokoju a jednocześnie powietrze w pokoju ogrzewa się. *Ciała gorące, ogrzewając inne ciała, same stygną*. Dlaczego nie widzimy, aby płomień ostygał, gdy grzeje? ponieważ w płomieniu palą się coraz nowe ilości płonącego ciała (dlatego świeca i nafta w lampie się wypala), przez co w płomieniu tworzy się coraz nowe gorąco. Podobnież ciała zimne, oziębiając, ogrzewają się same. Jeżeli wlejemy wosk roztopiony do wody lodowatej, zobaczymy, że woda oziębia go bardzo znacznie (tak, iż wosk krzepnie natychmiast) ale sama staje się przytem mniej zimna.

## § 71. Ciepło.

Ogrzewajmy płomieniem wodę lodowatą, do której włożyliśmy rękę. Woda staje się stopniowo coraz mniej zimna; po niejakim czasie nie wydaje się już zimna, ale jeszcze nie jest gorąca; później zaczyna być letnia, jest ciepła, nareszcie jest gorąca. A zatem widzimy, że *zimno* nie jest czemś różnem i odrębnem od *gorąca*. Woda, która ma bardzo mało ciepła w sobie, jest zimna; woda, która ma bardzo dużo ciepła, jest gorąca. Przez *doprowadzanie* ciepła (z płomienia) zamieniliśmy wodę bardzo zimną na mniej zimną. Kiedy doprowadziliśmy jej dość ciepła, wydała się obojętną dla ręki t. j. ani zimną, ani gorącą; wówczas woda była równie ciepła jak ręka. Kiedy doprowadziliśmy jeszcze więcej ciepła, woda była cieplejsza od ręki i wydawała się gorącą. Zatem np. chłodna woda wydaje się chłodną dlatego, że jest mniej ciepła od ręki.

Istotnie: potrzymajmy rękę najprzód w wodzie lodowatej a zobaczymy, że tasama woda, która wydawała się chłodną, sprawi teraz wrażenie ciepłej. Przeciwnie, potrzymajmy rękę najprzód w wodzie gorącej a przekonamy się, że tasama woda wyda się zimną. Nie należy więc wogóle mówić, że jakieś ciało jest zimne lub że jest gorące; lecz raczej, że jest *mniej ciepłe lub bardziej ciepłe* np. *od ręki.*

Zróbmy następujące *porównanie.* Uważajmy wysokość różnych przedmiotów w pokoju. Mówi się o przedmiotach, umieszczonych niedaleko sufitu, że są »wysoko«; o przedmiotach zaś, leżących na podłodze, mówi się, że położone są »nizko«. Nie jest to ścisły sposób wyrażania się; ściślej byłoby powiedzieć, że pierwsze są położone *wyżej* od nas, t. j. np. od naszej ręki lub głowy, drugie zaś są położone *niżej.* Podobnie nieściśle jest mówić, że jedne ciała są »gorące« a inne są »zimne«; należy mówić, że pierwsze są *bardziej ciepłe* a drugie *mniej ciepłe* od naszego ciała, np. od ręki lub czoła.

## § 72. O temperaturze.

Jeszcze lepiej byłoby powiedzieć w poprzedzającym przykładzie, że każdy przedmiot ma pewne *wzniesienie.* Lampa, wisząca u sufitu, jest bardziej wzniesiona, niż jeśli stoi na stole; piłka, rzucona do góry, jest bardziej wzniesiona, niż kiedy leży na podłodze. Podobnie mówimy, że każde ciało ma pewną *temperaturę.* Ciała gorące mają temperaturę *wyższą*, niż ciała dla ręki obojętne; ciała zimne mają temperaturę *niższą.* A zatem możemy tak opowiedzieć zachowanie się gorącego żelaza wobec wody chłodnej (§ 70.): temperatura żelaza z początku była wyższa niż temperatura wody; po włożeniu żelaza do wody temperatura żelaza poczęła się obniżać, temperatura wody poczęła się podnosić i po pewnym czasie temperatury tych ciał stały się jednakowe, *wyrównały się.* Powiadamy: ciała, mające temperaturę wyższą, udzielają ciepła ciałom, mającym temperaturę niższą; przez to temperatura pierwszych się obniża, drugich się podnosi; gdy zaś ciała mają temperatury jednakowe, ani nie udzielają sobie ani nie odbierają sobie ciepła nawzajem. A zatem *temperatura pewnego ciała jest to własność tego ciała, wskazująca, czy ono innym ciałom ciepła udziela, czy też je odbiera.*

## § 73. Zero temperatur.

Możemy nie tylko to stwierdzić, że jedne ciała w pokoju mają wzniesienie większe, niż inne; możemy *zmierzyć* wzniesienie każdego ciała w pokoju. Żeby mierzyć wzniesienia, należy zgodzić się na to, od jakiego poziomu mamy je liczyć. Lampa, wzniesiona o metr nad poziom stołu, może być wzniesiona o dwa metry nad poziom podłogi a jednocześnie o sześć metrów np. nad poziom ulicy; zatem podanie samego tylko wzniesienia, bez podania poziomu, od którego je liczymy, nie miałoby określonego znaczenia. Podobnie można nie tylko to stwierdzić, że temperatury jednych ciał są wyższe, niż innych, można jeszcze temperatury te *mierzyć*; lecz trzeba powiedzieć, od jakiego poziomu mamy rachować temperatury.

W pokoju możemy obrać podłogę za poziom, od którego rachujemy wzniesienia; jest to poziom najniższy, pod który nie można zejść w pokoju. Obierzmy *temperaturę topiącego się lodu* za poziom temperatur, od którego będziemy rachowali temperatury; innemi słowy temperaturę, jaką ma mięszanina lodu lub śniegu i wody. W pokoju nie możemy zejść poniżej podłogi, ale wiemy, że są ciała, które znajdują się niżej. Podobnie zazwyczaj mamy do czynienia z temperaturami wyższemi, niż temperatura topiącego się lodu; ale wiemy, że istnieją temperatury, niższe od tego poziomu (§ 82.).

Ażeby zmierzyć wzniesienie lampy lub obrazu na ścianie lub poziomu stołu po nad podłogą, ustawilibyśmy skalę tak, ażeby zaczynała się od podłogi i szukalibyśmy, jakiej podziałce odpowiada środek lampy, wierzch obrazu, lub powierzchnia stołu. A zatem umieścilibyśmy zawsze *zero* naszej skali na poziomie, od którego rachujemy wzniesienia. Dlatego nazwalibyśmy podłogę »poziomem zero« albo »zerem skali wzniesień«. Podobnie nazywamy temperaturę topiącego się lodu *temperaturą zero* albo *zerem skali temperatur*.

## § 74. O mierzeniu temperatur.

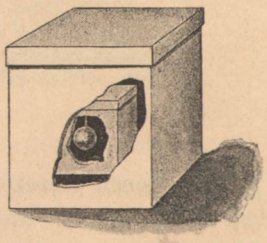
Umówiliśmy się, że temperatura topiącego się lodu ma być zerem temperatur czyli »temperaturą zero«. Wybierzmy jeszcze drugą temperaturę, leżącą wyżej od zera; taką jest z pewnością temperatura wody wrącej. Umówmy się, że temperatura wody wrącej ma nazywać się *„temperaturą 100“*. Postępujemy tu tak,

jak gdybyśmy byli pociągnęli kreskę na ścianie i rzekli: »poziom podłogi ma nazywać się wzniesieniem zero, a poziom kreski na ścianie ma nazywać się wzniesieniem 100«. Gdybyśmy tylko to powiedzieli, nie byłoby jeszcze wiadomo, jak mierzyć wzniesienia przedmiotów w pokoju. Powiedzmy jeszcze dalej: »prowadzimy od podłogi do danej kreski linią prostą pionową; dzielimy ją na sto równych części; każda z tych części będzie jednostką wzniesienia; miarą wzniesienia będzie zawsze odległość od podłogi w kierunku linii prostej pionowej«. Wówczas sposób mierzenia wzniesień będzie określony zupełnie dokładnie. Trzeba określić podobnie sposób mierzenia temperatur. Trzeba powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić odstęp między temperaturami *zero* i *sto* na sto jednakowych odstępów czyli *stopni;* w jaki sposób mamy rachować temperatury na stopnie, pomiędzy zerem a stu a także poniżej zera i powyżej stu.

Ażeby módz to powiedzieć, musimy poznać niektóre skutki, sprawiane przez ogrzewanie i przez oziębianie ciał.

## § 75. Masa nie zależy od temperatury.

Urządźmy dwa pudełka tak, ażeby jedno mogło pomieścić się wewnątrz drugiego, jak okazuje rys. 86. Wypełnijmy odstępy pomiędzy ściankami pudełek trocinami, watą lub azbestem; w środku wewnętrznego pudełka zawieśmy kulkę metalową. Cały ten przyrząd postawmy na wadze i zrównoważmy go dokładnie. Wyjąwszy teraz kulę i rozgrzawszy ją mocno w płomieniu, zawieśmy ją w wewnętrznem pudełku; kula będzie tam stygła, ale nadzwyczaj powoli, tak iż przez długi czas pozostanie gorąca. Stawiając przyrząd na wadze, przekonywamy się, że kula nie straciła ani nie zyskała na ciężarze. Jakkolwiek dokładnie wykonalibyśmy to doświadczenie, nie zauważylibyśmy zmiany w ciężarze ciała, wywołanej przez ogrzanie lub przez oziębienie. *Ciężar ciał nie zależy od ich temperatury.* Nie zależy od niej i *masa:* ciała gorące spadają na ziemię równie prędko, jak zimne (por. § 26.); uderzenie młotem rozgrzanym nie sprawia skutku ani większego ani mniejszego, niż uderzenie młotem o zwykłej temperaturze.

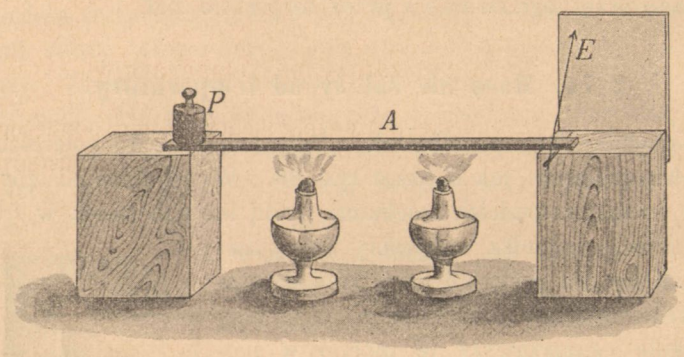


Rys. 86.

## § 76. Objętość zależy od temperatury.

Na deseczce drewnianej połóżmy mosiężną lub miedzianą sztabkę i wbijmy u jej końców dwa gwoździe tak, żeby zaledwie można było przesunąć sztabkę pomiędzy tymi gwoździmi. Ogrzejmy teraz sztabkę w płomieniu lampy a zobaczymy, że stała się ona dłuższa, bo nie przechodzi między tymisamymi gwoździmi. Podobnie możemy się przekonać, że nie tylko długość, lecz również szerokość i grubość sztabki zwiększa się wskutek ogrzewania. Weźmy pierścień *P* (rys. 87.), nieco większy od kuli metalowej *K;* rozgrzawszy kulę, nie możemy *z żadnej strony* przeciągnąć przez nią pierścienia. A zatem *ciała rozszerzają się wskutek ogrzewania we wszystkich kierunkach; wskutek ogrzewania objętość ciał się powiększa.* Zbudujmy przyrząd, przedstawiony na rys. 88. Płaską sztabę żelazną lub miedzianą *A* przyciskamy na

Rys. 87.

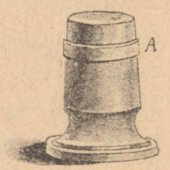


Rys. 88.

jednym końcu ciężarem *P*; pod drugi jej koniec podkładamy igłę tak, ażeby leżała wpoprzek sztaby i przylepiamy lekką wskazówkę *E* do uszka tej igły. Sztabka, ogrzewana, rozszerza się, więc porusza igłę i odchyla wskazówkę *E*. Przypuśćmy, że przed zapaleniem płomieni wskazówka stała pionowo; po zapaleniu zaczyna się zaraz odchylać, lecz po zgaszeniu zawraca i przybiera napowrót położenie pionowe. Widzimy więc, że ciała, które rozszerzyły się wskutek ogrzania, kurczą się napowrót, gdy ostygają. Gdy temperatura podnosi się, objętość się zwiększa, ale zmniejsza się napowrót, gdy temperatura się zniża i staje się taką, jaką była

pierwotnie, gdy temperatura wraca do wysokości pierwotnej. Objętość każdego ciała zależy więc od jego temperatury.

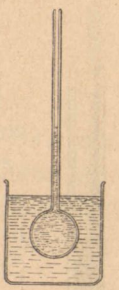
Na walec żelazny nieco stożkowaty (rys. 89.) gruba obręcz żelazna *A* nie wchodzi, dopóki jest zimna; rozgrzejmy ją do czerwoności a zobaczymy, że wchodzi. Wbijmy ją na walec, dopóki jest gorąca; stygnąc i kurcząc się, obręcz ściska walec tak mocno, że niebawem pęka. Z podobnych powodów druty telegraficzne zwisają podczas lata a prostują się w zimie. Szyny kolejowe, położone zimą, wykrzywiałyby się podczas lata, gdyby nie zostawiano przerwy pomiędzy jedną a drugą (zwykle około $\frac{1}{2}$ *cm*), ażeby temu zapobiedz.



Rys. 89.

## § 77. Rozszerzanie się cieczy.

Weźmy dość spory balon szklany o długiej i cienkiej szyjce i wypełnijmy go alkoholem; żeby widzieć ciecz wyraźnie, można ją zabarwić. Wstawmy balon (rys. 90.) do wody gorącej, pilnie zważając na poziom alkoholu w szyjce balonu. Zobaczymy, że w pierwszej chwili poziom alkoholu nieco opada, potem zatrzymuje się i poczyna iść w górę. Czyż alkohol kurczył się pod pierwszem działaniem ciepła? Bynajmniej. Zanim alkohol zaczął się ogrzewać, musiał ogrzać się przedtem balon szklany, który był wystawiony przedewszystkiem na działanie ciepła. Balon zaś, ogrzewając się, rozszerzał się, więc stawał się większym, pojemniejszym; dlatego alkohol musiał opadać. Później, gdy sam alkohol zaczął się ogrzewać, rozszerzył się i powetował z nadwyżką rozszerzenie się balonu. A zatem widzimy, że alkohol rozszerza się, gdy temperatura się podnosi; podobnie zachowują się i inne ciecze. Widzimy powtóre, że ciepło po pewnym czasie dopiero zdołało przeniknąć przez szkło do alkoholu. Zatem, gdy alkohol w szyjce balonu idzie do góry, przyrost objętości, jaki spostrzegamy, równa się rzeczywistemu rozszerzeniu się alkoholu, zmniejszonemu o rozszerzenie się szklanego balonu. Trzeba więc dodać rozszerzenie się balonu do spostrzeżonego przyrostu objętości, ażeby znaleźć rzeczywiste rozszerzenie się cieczy.


Rys. 90.

Przypuśćmy np., że mamy 100 $cm^3$ wody o temperaturze 0 stopni (§ 73.). Tażsama ilość wody w temperaturze 100 stopni zajmie objętość 104 $cm^3$. Gdybyśmy mogli ogrzać wodę, ogołoconą z wszelkiego naczynia, przyrost jej objętości wyniósłby 4 części na 100 pomiędzy temperaturami 0 i 100. Gdybyśmy teraz w temperaturze 100 chcieli ścisnąć napowrót wodę do pierwotnej objętości 100 $cm^3$, musielibyśmy wywrzeć na nią olbrzymie ciśnienie; albowiem, jak wiemy (§ 35.), woda jest nadzwyczaj mało ściśliwa. Wystawmy sobie, żeśmy wywarli takie olbrzymie ciśnienie i ścisnęli wodę ze 104 do 100 $cm^3$; wówczas woda ściśnięta wywiera nawzajem równie olbrzymie ciśnienie na tłok i ściany naczynia. Gdybyśmy w temperaturze 0 zamknęli wodę szczelnie w naczyniu (np. gdybyśmy zalutowali rurkę balonu, wypełnionego wodą) i później ogrzewali naczynie, wówczas musiałoby ono pęknąć; albowiem nie byłoby zdolne wytrzymać ciśnienia, jakie sprawia woda, której rozszerzaniu się próbujemy zapobiedz.

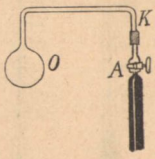
## § 78. Rozszerzanie się gazów.

Rys. 91.

Gazy pod działaniem ciepła rozszerzają się bardziej niż ciecze. Weźmy np. rurkę szklaną, z jednej strony zamkniętą (rys. 91.); wprowadźmy do niej kroplę rtęci, zanurzmy rurkę do topiącego się lodu i ustawmy kroplę tak, ażeby była odległa o 10 *cm* od zamkniętego końca naszej rurki. (Możemy bez trudności posuwać kroplę naprzód i wstecz, jeśli przy pomocy cieniutkiej rureczki lub drucika pozwolimy powietrzu rurki wychodzić i wchodzić). Przenieśmy teraz rurkę do gotującej się wody. Powietrze, zawarte w rurce, zaczyna się natychmiast rozszerzać, kropla posuwa się w rurce i zatrzymuje się w odległości 13·7 *cm* od zamkniętego końca. Powtórzmy teraz tosamo doświadczenie w taki sposób, ażeby kropla w topiącym się lodzie była odległa o 20 *cm* od końca rurki; wówczas w gotującej się wodzie zatrzyma się ona w odległości 27·4 *cm* od końca. Pamiętajmy, że tu na kroplę od strony zewnętrznej działało ciągle atmosferyczne ciśnienie; gdy kropla zatrzymywała się w pewnem miejscu, był to więc znak, że powietrze wewnętrzne wywierało także atmosferyczne ciśnienie. Powiadamy zatem: gdy ogrzewamy gaz i pozwalamy mu rozszerzać

się swobodnie tak, ażeby ciśnienie jego ostatecznie nie ulegało zmianie, wówczas objętość gazu się powiększa, mianowicie *z każdego centymetra sześciennego gazu w temperaturze zera robi się 1·37 cm³ w temperaturze stu stopni.*

Przypuśćmy teraz, że w tej temperaturze stu stopni chcemy ścisnąć każdy 1·37 *cm*³ napowrót do objętości 1 *cm*³. W tym celu musimy wywrzeć na gaz ciśnienie, większe 1·37 razy od obecnego, t. j. ciśnienie 1·37 atmosfery (§ 49.); nawzajem też powietrze, po sprowadzeniu do pierwotnej swej objętości, będzie wywierało także ciśnienie 1·37 atmosfery na swoje otoczenie. *Jeśli pewna ilość powietrza w pewnej objętości w temperaturze zera wywierała ciśnienie 1 atmosfery, wówczas w tejsamej objętości i w temperaturze stu stopni wywiera ciśnienie 1·37 atmosfery.* Możemy to sprawdzić zapomocą balonu szklanego *O* (rys. 92.), którego koniec *K* łączymy z lewem ramieniem przyrządu, rys. 59., § 46. Wstawmy balon raz do topiącego się lodu, drugi raz do gotującej się wody i podnośmy przytem prawe ramię przyrządu do góry tak, ażeby w obu razach poziom rtęci w lewem ramieniu stał tuż pod kurkiem. Gdy tak postąpimy, przekonamy się, że ciśnienie powietrza w gotującej się wodzie jest 1·37 razy większe, niż w topiącym się lodzie. Np., jeśli w temperaturze zera obadwa poziomy stały jednakowo wysoko, wówczas w temperaturze stu stopni prawy poziom będzie stał wyżej od lewego o 28 blizko centymetrów, bo $76 \times 0{\cdot}37 = 28$ mniej więcej.



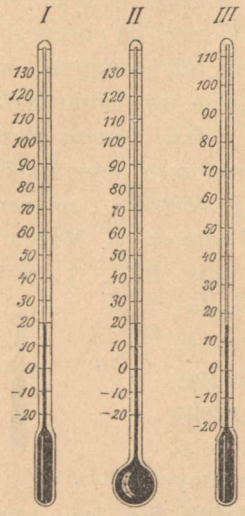
Rys. 92.

## § 79. Termometry.

Możemy teraz powiedzieć, w jaki sposób mamy podzielić na sto stopni odstęp pomiędzy temperaturami *zero* i *sto* (§ 74.). Weźmy np. balon szklany o długiej, cienkiej szyjce, wypełniony alkoholem (rys. 90.) i wstawmy go do topiącego się lodu; alkohol staje w rurce na pewnym poziomie *„0“*. W temperaturze wody wrącej staje on podobnie na pewnym, wyższym od poprzedniego, poziomie *„100“*. Pomiędzy pierwszym a drugim poziomem mamy w rurce pewną objętość; tę objętość podzielmy na sto części. Otrzymamy tym sposobem podziałki 0, 1, 2, 3, . . . nareszcie 99 i 100. Powiemy, że alkohol ma temperaturę np. 23-ch stopni, jeśli stoi on w rurce na podziałce 23, t. j. jeśli objętość alkoholu jest większa od objętości

jego przy zerze o $\frac{23}{100}$ całkowitego rozszerzenia od zera do stu. Przyrząd taki nazywa się *termometrem* (alkoholowym); a szereg podziałek, odpowiadających stopniom, nazywa się *skalą* tego termometru. Stopnie oznacza się tak: 23° znaczy 23 stopnie.

Zupełnie podobnie bywają budowane termometry rtęciowe (rys. 93.), używane częściej od innych. Miewają one zazwyczaj bardzo małe naczyńka t. j. zawierają bardzo mało rtęci, ażeby przybierały prędko temperaturę ciał otaczających. Jednakowoż, im mniej jest rtęci, tem mniejsze są też przyrosty objętości, których doznaje pod działaniem ciepła; dlatego, ażeby nawet małe przyrosty były dokładnie widoczne, daje się rurce termometrycznej nadzwyczaj drobne przecięcie. Niekiedy spotyka się też termometry, których skala zbudowana jest nieco inaczej, a mianowicie (rys. 93., III) punkt wrzenia wody jest w nich wzięty za 80 a nie za 100 stopni; stopień więc takiej skali wynosi $\frac{5}{4}$ stopnia skali stustopniowej. W tej książce będziemy trzymali się wszędzie skali stustopniowej.



Rys. 93.

Jak alkohol lub rtęć, podobnie obrać można powietrze lub inne ciało gazowe za *ciało termometryczne* t. j. za ciało, którego rozszerzanie się pozwala mierzyć temperatury. Przyrządy np., opisane w § 78., można nazwać termometrami powietrznymi. Takie termometry są bardzo dokładne, ponieważ gazy rozszerzają się znaczniej niż ciecze, ale są mniej dogodne i używane bywają przeważnie przez uczonych w naukowych badaniach.

Z powyższego widzimy, że wszelki termometr wskazuje, właściwie mówiąc, taką temperaturę, jaką ma w danej chwili jego ciało termometryczne. Gdy np. czytamy temperaturę na termometrze rtęciowym, wiemy, że jest to temperatura rtęci, w nim zawartej. Lecz ciała sąsiadujące udzielają sobie ciepła, dopóki temperatury ich nie staną się dokładnie jednakowe; zatem każdy termometr przyjmuje po pewnym czasie temperaturę swego otoczenia. Zanurzony np. w wodzie, wystawiony na powietrze, trzymany w dłoni, termometr wskaże po niejakim czasie temperaturę wody, powietrza lub dłoni.

## § 80. O temperaturze ciał w pokoju.

Mając termometr, przekonajmy się, jakie są temperatury ciał, które nas otaczają. W pokojach mieszkalnych powietrze miewa zazwyczaj od 15° do 20°. Temperatura ciała człowieka wynosi mniej więcej od 30° (na dłoni) do 36° w stanie zdrowia, u gorączkującego człowieka podnosi się niekiedy aż do 41°. Pokarmy wydają nam się gorące, gdy mają około 60°, letnie — około 40°.

Przypuśćmy, że na stole znajdują się następujące ciała: kawałek żelaza, miseczka pełna rtęci, klocek drewniany, materya wełniana, nieco puchu. Dotykając tych ciał po kolei ręką, czujemy, że żelazo i rtęć wydają się bardzo zimne, drzewo nieco chłodne, wełna zaś i puch stosunkowo ciepłe. Jeżeli te ciała mają rzeczywiście temperatury niejednakowe, powinny dojść po niejakim czasie do temperatur jednakowych, jak wszelkie ciała sąsiadujące ze sobą. Pozostawmy je więc przez czas dłuższy w sąsiedztwie lub nawet w zetknięciu wzajemnem. Po upływie tego czasu zbadajmy je termometrem; termometr okazuje, że istotnie temperatura tych ciał jest jednakowa. Powtórzmy próbę ręką: żelazo i rtęć wydają się znowu zimne, drzewo — nieco chłodne, wełna i puch wydają się stosunkowo ciepłe. Włóżmy teraz żelazo, rtęć, drzewo, wełnę, puch i termometr do piecyka; gdy się dobrze ogrzeją, znów badajmy je ręką. Teraz, wprost odwrotnie, żelazo i rtęć wydają się bardzo gorące, drzewo sprawia wrażenie umiarkowanego gorąca, wełna i puch wydają się najmniej ogrzane. Cóż się tu dzieje? W pierwszym razie, gdy leżały na stole, wszystkie ciała (żelazo, rtęć, drzewo, wełna i puch) miały temperaturę jednakową, lecz niższą niż temperatura ręki; miały one temperaturę pokojową, a ręka ma temperaturę o 10° do 15° wyższą. W drugim razie miały one temperaturę także jednakową, lecz wyższą niż temperatura ręki. A zatem w pierwszym razie ręka się oziębiała, dotykając tych ciał; w drugim razie, dotykając ich, ogrzewała się. Widocznie ręka *łatwiej, prędzej* przejmuje temperaturę żelaza i rtęci, niż temperaturę wełny i puchu; gdy są zimniejsze, żelazo i rtęć prędzej ją chłodzą, niż wełna i puch; gdy są cieplejsze, żelazo i rtęć prędzej ją ogrzewają.

## § 81. Jak prędko w różnych ciałach wyrównywa się temperatura.

Skoro ciepło z ręki prędzej odpływało przez żelazo niż przez puch i skoro prędzej też dopływało z żelaza niż z puchu, więc

powiadamy: żelazo jest *dobrym przewodnikiem*, puch zaś jest *złym przewodnikiem*. Metale są najlepszymi przewodnikami; gorszymi są kamienie, szkło, róg, drzewo. Trzymamy np. w ręku palącą się zapałkę, nie czując w drzewie ciepła płomienia; lecz jeśli drut metalowy włożymy jednym końcem w płomień, wysoka temperatura rozchodzi się bardzo prędko po całym drucie i drut parzy niebawem na przeciwległym końcu. Wstawiwszy w płomień dwa druty, jednakowych wymiarów, jeden żelazny, drugi miedziany, możemy dowieść, że miedź jest lepszym przewodnikiem niż żelazo; zapałka np., posuwana po drucie miedzianym, zapali się dalej od płomienia, niż posuwana po drucie żelaznym. Najgorszymi przewodnikami są ciała porowate i włókniste: tkaniny, azbest, wióry, puch, trociny i t. d. Lód, owinięty w szmaty, otoczony puchem lub wiórami, topi się bardzo powoli nawet w ciepłym pokoju. Położywszy nieco azbestu luźno na dłoni, można umieścić na azbeście (niezbyt ciężką) kulę żelazną, rozgrzaną do czerwoności i przez pewien czas trzymać ją bezkarnie. Dlatego ochraniamy się od mrozów futrami, dlatego okręcamy w zimie suknem klamki, poręcze i inne metalowe przedmioty, które są wystawione na zimno i których musimy dotykać.

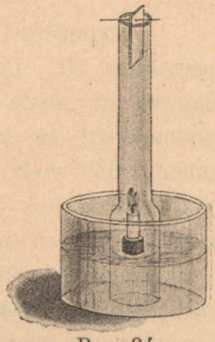
## § 82. Temperatury, wyższe od 100° i niższe od 0°.

W wodzie wrącej termometr pokazuje 100°. Ale są ciała, mające jeszcze wyższe temperatury; żelazo np. rozgrzane do czerwoności ma wyższą temperaturę. Podzielmy rurkę termometru (§ 79.) i po nad poziomem »100« na takiesame części równej objętości, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; to będą stopnie wyższe od 100°, więc 101°, 102° i t. d. Postąpmy zupełnie podobnie pod poziomem »zero«. Termometr pokazuje 0° w topiącym się lodzie; ale są ciała, mające jeszcze niższe temperatury: mięszanina śniegu z solą kuchenną okazuje niższą temperaturę, podobnież powietrze podczas mrozów zimowych. Podzielmy więc rurkę termometru i pod zerem na takiesame części, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; będą to stopnie oczywiście *ujemne*: —1°, —2°, —3° i t. d. Zero naszej skali nie jest więc bynajmniej najniższą możliwą temperaturą, lecz jest pewną, dowolnie obraną temperaturą; niższe od niej temperatury nazywamy ujemnemi podobnie, jak liczby mniejsze od zera nazywamy ujemnemi. W mięszaninie np. śniegu i soli świeżo przygotowanej znajdujemy do —20°.

## § 83. Gęstość ciał zależy od temperatury.

Weźmy wodę o temperaturze 0° i ogrzejmy ją do 100°. Masa tej wody nie zmieni się (§ 75.), lecz objętość jej się powiększy. Tasama masa wody w temperaturze 100° zajmuje więc objętość większą niż w 0°; tasama liczba gramów zajmuje więcej centymetrów sześciennych. A zatem w temperaturze 100° zawiera się w jednym centymetrze sześciennym masa mniejsza niż w 0°; innemi słowy, *gęstość* wody (§ 29.) w 100° jest mniejsza niż w 0°. Tosamo stosuje się do wszystkich ciał, które rozszerzają się, gdy temperatura ich się podnosi: *gęstość ich jest mniejsza w wyższej niż w niższej temperaturze.*

Więc np. woda gorąca jest mniej gęsta niż zimna, podobnie jak korek jest mniej gęsty niż woda. Nic dziwnego zatem (§ 44.), że woda gorąca pływa po zimnej, jak to spostrzegamy, przygotowywując ciepłą kąpiel w wannie. Z tegoż powodu powietrze ogrzane wypływa do góry w zimnem powietrzu; to też w pokoju, w którym palą się lampy lub piec silnie grzeje, powietrze gorące zbiera się pod sufitem. Wszelki płomień, jak wiadomo z Chemii, wymaga ciągłego dopływu powietrza, albowiem zużywa nie tylko materyał palny (np. drzewo, węgiel, naftę, gaz oświetlający, stearynę), lecz też i *tlen*, zawarty w powietrzu. Z drugiej strony płomień wytwarza ciała gazowe, które powstają przez łączenie się materyału palnego z tlenem; ciała te gazowe, będąc gorące, wraz z powietrzem, ogrzewanem przez płomień, biegną do góry i tworzą prąd, który nazywamy dymem, jeśli unoszą się w nim drobne cząstki niespalonego węgla. Zbliżmy płomień lampy lub świecy do obłoku dymu (np. tytuniowego), wiszącego spokojnie w powietrzu pokoju; będziemy mogli zauważyć dokładnie prąd poziomy zimnego powietrza, płynący *ku* płomieniowi od wszystkich boków i jednocześnie prąd pionowy gorący, płynący *od* płomienia po nad jego wierzchołkiem. Umieśćmy świecę na korku, pływającym po wodzie (rys. 94.); zapalmy świecę i wstawmy cylinder szklany na płomień, jak pokazuje rysunek. Płomień prze prąd gorący ku górze, ale nie ma zkąd ciągnąć dopływu świeżego powietrza; dlatego też po chwili słabnie i gaśnie. Lecz jeśli powtórzymy doświadczenie, wsta-



Rys. 94.

wiwszy pionowo w cylinder kawałek tektury, płomień nie zgaśnie, albowiem jedną stroną cylindra będzie ciągnął świeże powietrze, drugą zaś będzie parł gazy gorące ku górze. Istotnie: dym tytuniowy, wpuszczony po pierwszej stronie cylindra, odbędzie w nim taką drogę, najprzód na dół a potem do góry. Rozumiemy teraz, dlaczego »ciągną« kominy i przewody kominowe, idące (wewnątrz ścian) od pieców i ognisk aż po nad dach budynków.

## § 84. Określenie grama.

Powiedzieliśmy w § 28., że gramem nazywa się masa, zawarta w jednym centymetrze sześciennym wody. Widzimy teraz, że trzeba dodać, jaka ma być temperatura tej wody, albowiem np. centymetr sześcienny wody gorącej ma mniejszą masę niż centymetr sześcienny zimnej. Umówiono się, że gramem jest masa, zawarta w centymetrze sześciennym wody o temperaturze 4°; tasama temperatura obowiązuje oczywiście w określeniu kilograma i t. d. Gram wody o temperaturze 100° zajmuje więc 1·04 $cm^3$; odwrotnie jeden centymetr sześcienny takiej wody zawiera masę 0·96 grama; innemi słowy, woda wrąca ma gęstość 0·96. W temperaturach pokojowych gęstość wody jest bardzo mało co mniejsza od jedności, np. w temperaturze 16° wynosi 0·999; gram takiej wody zajmuje więc objętość, większą od sześciennego centymetra o jedną tysiączną, t. j. o jeden sześcienny milimetr.

## § 85. O ilości ciepła.

Przypuśćmy, że mamy w naczyniu kilogram wody o temperaturze 10°. Potrzymajmy to naczynie nad płomieniem i uważajmy, jak woda ogrzewa się. Po pięciu minutach ma np. 30°; powiadamy, że przez ten czas pewna *ilość ciepła* przeszła z płomienia do wody. Potrzymajmy jeszcze pięć minut: temperatura podniesie się do 50°; z płomienia przeszła więc na wodę druga ilość ciepła, równa pierwszej. Przez dziesięć minut płomień oddał wodzie ilość ciepła, dwa razy większą, niż przez pięć minut. Użyjmy płomienia większego lub dwóch płomieni zamiast jednego; zobaczymy, że woda po upływie 5 minut ogrzewa się do temperatury wyższej niż 30°, np. do temperatury 55°; a zatem płomień większy dostarcza też znaczniejszej ilości ciepła w czasie jednakowym.

Z tego widzimy, po pierwsze, że pewna ilość wody potrzebuje pewnej ilości ciepła, ażeby ogrzać się od pewnej temperatury do innej temperatury; powtóre, że pewna ilość ciepła może być dwa, lub trzy, lub ilekolwiek razy większa albo mniejsza od innej ilości ciepła. Stąd wynika, że *ilości ciepła można mierzyć*. Długości można mierzyć, gdyż każda długość jest pewną liczbę razy dłuższa lub krótsza od metra t. j. od jednostki długości. Podobnie każda ilość ciepła jest pewną liczbę razy większa lub mniejsza od ilości ciepła, jakiej potrzebuje kilogram wody, ażeby ogrzać się o jeden stopień. *Tę ilość ciepła obieramy za jednostkę* i nazywamy ją *kaloryą*. Inne ilości ciepła mierzymy przez porównywanie ich z kaloryą.

## § 86. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają różne ilości ciepła.

Kilogram wody, ogrzewając się o stopień, pochłania kaloryą. Zatem np. masa wody, mająca trzy kilogramy, ogrzewając się również o stopień, pochłonie trzy kalorye, albowiem każdy z trzech kilogramów, składających tę masę, pochłonie sam przez się jedną kaloryą. Masa wody 5 *kg.*, ogrzewając się o stopień, pochłonie podobnie 5 kaloryj. *Każde ciało, ogrzewając się o pewną liczbę stopni, pochłania ilość ciepła tem większą, im masa jego jest większa.*

Porównajmy teraz ilości ciepła, potrzebne do jednakowego ogrzania *rozmaitych ciał* w jednakowej masie. Weźmy np. trzy jednakowe naczynia, nalejmy do nich jednakowe masy wody, alkoholu i terpentyny. Ogrzewając po kolei wodę, alkohol i terpentynę tymsamym płomieniem w sposób jednakowy, zobaczymy, że terpentyna ogrzeje się do pewnej temperatury, np. do 50°, w czasie krótszym niż alkohol, alkohol w czasie krótszym niż woda. A zatem terpentyna potrzebuje najmniej a woda najwięcej ciepła, ażeby ogrzać się o pewną liczbę stopni. Lecz nie możemy być pewni, czy płomień grzeje zawsze jednakowo; wykonajmy więc doświadczenie inaczej. Ogrzejmy 100 *gr.* wody do 100° i zmięszajmy je ze 100 *gr.* wody, mającej temperaturę pokojową, więc np. 15°. Temperatura po zmięszaniu wyniesie oczywiście 57·5°, albowiem woda o temperaturze 15° zyskała taką ilość ciepła, jaką straciła woda o 100°; pierwsza więc ogrzała się o 42·5°, druga oziębiła się o tyleż. Weźmy dalej 100 *gr.* terpentyny, ogrzanej do 100°

i 100 *gr.* wody o temperaturze 15°. Temperatura po zmięszaniu wyniesie teraz 40°. A zatem woda ogrzała się tutaj o 25 stopni, a terpentyna oziębiła się o 60 stopni; ilość ciepła, która ogrzała 100 *gr.* wody o 25 stopni, była widocznie w stanie ogrzać 100 *gr.* terpentyny o 60 stopni. A zatem kilogram terpentyny, ogrzewając się o stopień, pochłania mniej ciepła niż kilogram wody w stosunku 25 : 60 t. j. pochłania około 0·42 kaloryi. Wykonajmy podobne doświadczenia dla alkoholu, dla miedzi, dla rtęci. Przekonamy się, że kilogram alkoholu pochłania 0·60 kaloryi na stopień, kilogram miedzi 0·10 kal., kilogram rtęci nieco więcej niż 0·03 kal. W jednakowych warunkach potrzeba więc 30 razy większej ilości ciepła, żeby ogrzać wodę, niż żeby ogrzać rtęć.

## § 87. Punkt topliwości.

Nalejmy nieco wody do szklanki; przypuśćmy, że temperatura wody wynosi 15°. Możemy łatwo obniżyć temperaturę wody; wstawiając ją np. do mięszaniny śniegu i soli (§ 82.) i ciągle mięszając, możemy doprowadzić temperaturę do 10°, do 5° i nareszcie do 0°. Ale np. do −10° *nie możemy* doprowadzić wody, albowiem w temperaturze 0° woda *zamarza*. Postąpmy odwrotnie. Weźmy nieco lodu; lód jest zimny, ma np. temperaturę −12°. Możemy lód ogrzać, doprowadzić go np. do −8°, do −5°, do −1°; ale nie możemy doprowadzić go do +10° np., albowiem w temperaturze 0° lód *topi się*. Powiadamy: lód może mieć temperatury niższe od zera lub też samo zero, lecz nie może mieć temperatury wyższej. Woda może mieć temperaturę wyższą od zera lub też samo zero, lecz nie może mieć temperatury niższej. Jedyną więc temperaturą, którą może mieć i lód i woda, jest temperatura 0°. Dlatego w tej temperaturze 0° może istnieć mięszanina lodu z wodą t. j. lód i woda mogą stykać się ze sobą w 0° bez topienia się lodu i bez zamarzania wody. Jeśli więc mamy *lód* lub *śnieg* (który składa się z drobniutkich kryształków lodu) *wilgotny,* t. j. poczynający się topić, możemy być pewni, że temperatura w tej mięszaninie lodu lub śniegu z wodą wynosi 0°.

Powiadamy inaczej, że 0° jest *temperaturą* lub *punktem topliwości* lodu lub raczej tego ciała, które bywa bądź lodem, bądź wodą, zależnie od temperatury.

## § 88. Czemu jedne ciała są ciekłe a inne są stałe.

Jak temperatura 0° jest punktem topliwości lodu, podobnież temp. 31° jest punktem topliwości masła, temp. 63° punktem topliwości wosku, temp. 115° punktem topliwości siarki; każdy rodzaj ciała ma własny punkt topliwości. Zatem np. *siarka* jest ciałem stałem poniżej 115° a ciałem ciekłem powyżej 115°. Dlaczegóż nazywamy zwykle siarkę ciałem stałem? Ponieważ widujemy ją zazwyczaj w temperaturach, które leżą znacznie niżej od jej punktu topliwości. Gdybyśmy żyli w atmosferze, mającej np. 130°, widywalibyśmy siarkę w temperaturach, wyższych o 15 stopni od jej punktu topliwości i uważalibyśmy ją za ciecz. Żyjemy właśnie w temperaturach, wyższych zazwyczaj o 15° od punktu topliwości wody i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do uważania wody za ciecz. Ale zwykła woda jest stopionym lodem, podobnie jak siarka w 130° jest stopioną siarką. Podobnie *rtęć* nazywamy cieczą dlatego, że punkt topliwości rtęci leży nizko (w —39°); lecz na wyprawach podbiegunowych ludzie znosili nieraz temperatury takie jak —39° i niższe a wówczas rtęć wydawała im się ciałem stałem, które można kuć, krajać na kawałki i t. d. Jeszcze niżej leży punkt topliwości np. alkoholu. Przeciwnie, punkt topliwości metali leży bardzo wysoko; np. punkt topliwości ołowiu wynosi 325°, miedzi około 1200°, żelaza około 1600°. Czemu więc jedne ciała są ciekłe a inne stałe? Ponieważ temperatury, w których żyjemy, są wyższe od punktów topliwości pierwszych, a niższe od punktów topliwości drugich.

Niektórych ciał nie można stopić dlatego, iż *rozkładają się*, zanim stopiłyby się, gdy je ogrzewamy. Z tego powodu nie można stopić np. drzewa, papieru, lnu, wełny i t. d.; wszystkie te ciała rozkładają się na węgiel i na części lotne czyli zwęglają się pod działaniem ciepła. Inne ciała, jak np. czysty węgiel, glina, topiąc się w temperaturach nadzwyczajnie wysokich, wytrzymują temperaturę zwykłego ognia bez stopienia; z nich przeto wyrabiają t. zw. ogniotrwałe naczynia oraz cegły do pieców.

## § 89. Ciepło topliwości.

Weźmy dwa jednakowe naczynia; w jednem pomieśćmy kilogram lodu o temperaturze 0°, więc już poczynającego się topić, w drugiem kilogram wody o temperaturze 0°. Postawmy te naczynia

obok siebie w pokoju; zobaczymy, że woda przybierze temperaturę pokojową już wówczas, gdy dopiero nieznaczna część lodu będzie stopiona. Ciepło, napływające z powietrza, w naczyniu z wodą idzie odrazu na podnoszenie temperatury, gdy tymczasem w naczyniu z lodem zużywa się przedtem na topienie lodu. Weźmy dalej kilogram lodu, mającego 0° i oblejmy go kilogramem wody gorącej, mającej 80°. Gdybyśmy, zamiast lodu, wzięli wodę o 0°, otrzymalibyśmy 2 kilogramy wody o 40° (§ 86.). Tymczasem obecnie otrzymujemy 2 kilogramy wody ciekłej, mającej 0°. Woda gorąca straciła więc 80 kaloryi, które pobrał lód, ażeby stopić się. Trzeba wprowadzić 80 kaloryi do kilograma lodu o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram wody o tejże temperaturze. I odwrotnie trzeba odebrać 80 kaloryi kilogramowi wody o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram lodu o tejże temperaturze. Mówimy, że *ciepło topliwości* wody wynosi 80 kaloryi na kilogram.

Ciepło topliwości wody jest więc stosunkowo dość znaczne. To też płomień, który szybko ogrzewa, który np. podnosi temperaturę pewnej masy wody o kilkanaście stopni w ciągu kilku minut, musi pracować znacznie dłużej, przez kilkadziesiąt minut, nad stopieniem równej masy lodu. Potrzeba wielu dni odwilży, ażeby stopić znaczne masy śniegu, leżące po śnieżnej zimie na polach; albowiem powietrze nie jest w stanie prędzej dostarczyć 80 kaloryi każdemu kilogramowi śniegu. I odwrotnie woda w stawie lub jeziorze zamarza nieraz dopiero po kilku dobach mrozu, gdyż zimne powietrze nie jest w stanie prędzej odebrać 80 kaloryi każdemu kilogramowi wody.

## § 90. Para wodna.

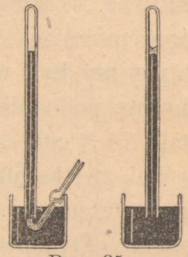
Puśćmy kroplę wody na tafelkę szklaną; po niejakim czasie kropli niema; *wyschła* ona, jak powiadamy. Podobnie wysycha zmoczona bielizna lub ziemia, gdy oddawna nie było deszczu. Z butelki otwartej woda również wysycha; ale z zakorkowanej butelki nie wysycha; jeśli zamknięcie jest szczelne, wody wcale nie ubywa. Stąd widzimy, że woda, wysychając, nie ginie, tylko się *ulatnia* czyli *paruje* t. j. zamienia się na ciało gazowe, na *parę wodną* i jako para rozchodzi się w powietrzu. Weźmy wodę gorącą; woda taka zamienia się na parę obficiej, niż zimna; dlatego przedmioty wilgotne w cieple łatwiej wysychają. Nalawszy szklankę wodą gorącą do połowy, mamy w górnej połowie pełno pary wodnej. Przy-

kryjmy szklankę zimnym talerzem; para wodna w zetknięciu z talerzem *skrapla się* i pokrywa go gęstą rosą. A więc woda może mieć postać trojaką: ciała stałego, ciekłego i gazowego; w tej ostatniej nazywamy ją *parą wodną*.

Ogrzewajmy nieco wody w szklanem naczyniu, aż pocznie *wrzeć*. Tworząca się para skrapla się z początku na chłodnych ścianach naczynia; później, gdy samo naczynie jest już gorące, para strumieniem wybiega w powietrze. Zauważymy wówczas, że para skłębia się w nieprzezroczysty obłoczek dopiero w pewnej odległości od otworu naczynia; wnętrze naczynia, wypełnione parą, jest zupełnie przezroczyste. A zatem *sama para wodna jest przezroczysta i niewidzialna*, jak powietrze; co zwykle nazywamy parą, nie jest ciałem gazowem czyli właściwą parą, lecz parą już *skroploną* na maleńkie kropelki, unoszące się w powietrzu.

## § 91. Ciśnienie pary.

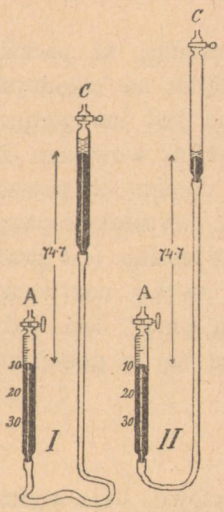
Jak powietrze i jak każde w ogóle ciało gazowe, para wodna wywiera ciśnienie; zobaczmy, jak znaczne ciśnienie wywiera. Gdy woda ulatnia się w powietrzu, para powstająca miesza się z powietrzem; więc, żeby mieć ciśnienie samej tylko pary, pozwólmy wodzie ulatniać się w próżni. Wprowadzamy wodę do rurki barometru w sposób, jaki objaśnia rys. 95. Jak tylko woda wypłynie ponad rtęć, próżnia wypełnia się parą wodną i słup w barometrze się obniża. O ile słup się obniża, zależy od temperatury. W temperaturze 10° obniżka wynosi 0·9 *cm*, w temperaturze 15° wynosi 1·3 *cm*, w 20° zaś 1·7 *cm*. Lecz wiemy, że obniżka słupa barometrycznego wskazuje tu ciśnienie ciała gazowego, które dostało się do próżni. Powiadamy zatem: woda w 10° wytwarza parę o ciśnieniu 0·9 *cm* rtęci; w 15° oraz w 20° wytwarza parę o ciśnieniu 1·3 oraz 1·7 *cm* rtęci.


Rys. 95.

## § 92. Ciecz i para w zetknięciu.

Tosamo doświadczenie możemy wykonać zapomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 60., (rys. 96. str. 84.). Wprowadźmy nieco wody po nad rtęć w *C* przed zamknięciem kurka;

następnie podnieśmy rurkę *C*, jak na rys. 60, III. Różnica w wysokościach poziomów rtęciowych będzie teraz mniejsza wskutek ciśnienia pary wodnej. Przypuśćmy np., że mamy 15° w pokoju; różnica w wysokościach jest teraz 74·7 *cm*, gdy poprzednio wynosiła 76 *cm*. Położenie poziomów rtęciowych jest więc takie, jak na rys. 96, I. Podnieśmy rurkę prawą *C* znacznie do góry; rtęć w niej zejdzie niżej i objętość próżni znacznie się powiększy (rys. 96, II.). Zmierzmy znowu różnicę wysokości poziomów; wynosi ona, jak wprzódy, 74·7 *cm*. Natomiast obecnie jest nieco *mniej* wody ciekłej nad rtęcią, niż w położeniu I. Co tu się stało? Gdy powiększyliśmy objętość pary wodnej w *C*, ciśnienie jej zmniejszyło się; albowiem ciśnienie wszelkiego ciała gazowego (§ 49.) zmniejsza się, gdy objętość jego się zwiększa. Lecz wówczas ciekła woda nad rtęcią znalazła się w *C* pod ciśnieniem *mniejszem* niż 1·3 *cm*, zaczęła więc wytwarzać nowe ilości pary. Przez to ciśnienie pary powiększało się; gdy doszło napowrót do 1·3 *cm*, woda przestała dalej parować. Dlatego znaleźliśmy w położeniu II. ilość wody ciekłej nieco mniejszą, ciśnienie zaś pary takiesame, jak w położeniu I. Gdybyśmy byli wykonali to doświadczenie w temperaturze 20°, bylibyśmy podobnie znaleźli: że różnica wysokości poziomów wynosi stale 74·3 *cm*; że ilość wody ciekłej zmniejsza się, gdy objętość próżni zwiększamy, zwiększa się zaś, gdy ją zmniejszamy. Powiadamy zatem: *w każdej temperaturze woda wytwarza parę o pewnem określonem ciśnieniu;* nazywa się ono *ciśnieniem nasycenia.* Jeśli ciśnienie pary nad wodą jest mniejsze niż ciśnienie nasycenia, wówczas woda paruje; jeśli jest większe, para się skrapla. Jeśli ciecz i para są ze sobą w zetknięciu i ani woda paruje ani para się skrapla, wówczas para ma właśnie ciśnienie nasycenia.



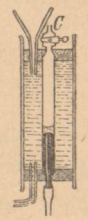
Rys. 96.

## § 93. Ciśnienie nasycenia rośnie z temperaturą.

Przejdźmy teraz do wyższych temperatur. Otoczmy (rys. 97., str. 85.) rurkę *C* poprzedniego przyrządu szeroką rurą szklaną

i nalejmy do niej wody gorącej; zważajmy zawsze na to, ażeby nad rtęcią w rurce *C* znajdowała się woda ciekła. Mierząc różnice wysokości poziomów rtęciowych, znajdziemy ciśnienia nasycenia wody w różnych temperaturach. Znajdziemy:

| | |
|---|---|
| 3·1 *cm* w 30° | 35·5 *cm* w 80° |
| 9·2 *cm* w 50° | 52·5 *cm* w 90° |
| 23·3 *cm* w 70° | 76·0 *cm* w 100°. |



Rys. 97.

Gdy temperatura się podnosi, ciśnienie nasycenia rośnie coraz bardziej i dochodzi do ciśnienia atmosferycznego (76 *cm*) w temperaturze 100°. Powyżej 100° ciśnienie nasycenia wody staje się jeszcze większe, np. w 110° wynosi już 107·5 *cm*.

## § 94. Punkt wrzenia.

Rozumiemy teraz, że, kiedy ogrzewamy wodę w otwartem naczyniu, temperatura wody nie może podnieść się po nad 100°. Istotnie: woda znajduje się wówczas pod ciśnieniem 76 *cm* a że tworząca się para rozchodzi się w powietrzu, więc ciśnienie nie może podnieść się po nad 76 *cm*, zatem i temperatura wody ponad 100°. To też w tej temperaturze 100° woda zamienia się całkowicie na parę w otwartem naczyniu; mówimy, że *woda wre w temperaturze 100° pod ciśnieniem atmosferycznem.* Temperatura 100° nazywa się dlatego *temperaturą* lub *punktem wrzenia* wody. Gdybyśmy gotowali wodę w zamkniętem naczyniu (rys. 98.), para nie rozchodziłaby się w powietrzu, ciśnienie jej podnosiłoby się ponad 76 *cm*, jak pokazuje położenie rtęci w rurce *M*; wówczas temperatura podniesie się po nad 100°, jak pokazuje termometr *T*. Pod ciśnieniem większem niż atmosferyczne woda wre w temperaturze wyższej niż 100°. Przeciwnie, gdybyśmy umieścili naczynie z wodą pod dzwonem pompy pneumatycznej i wyciągali wciąż powietrze i tworzącą się parę, np. tak, ażeby ciśnienie pod dzwonem wynosiło wciąż 35·5 *cm*, wówczas temperatura wody nie mogłaby podnieść się ponad 80°; więc pod dzwonem wrzenie odbywałoby się w temperaturze 80°. Pod ciśnieniem mniejszem niż atmosferyczne woda wre więc w temperaturze niższej niż 100°. Wiemy np., że na szczytach gór ciśnienie powietrza jest mniejsze niż

Rys. 98.

zwykłe atmosferyczne ciśnienie (§ 56.); to też na szczycie Łomnicy woda wre w temperaturze 91°, na szczycie Mont-Blanc w temperaturze 84·4° zamiast w 100°, jak u poziomu morza.

## § 95. Para wodna w powietrzu.

Nalejmy wody do butelki, potem zamknijmy butelkę i postawmy ją w pokoju, gdzie mamy np. 15°. Co znajduje się w butelce ponad wodą? Mięszanina dwóch ciał gazowych: powietrza i pary wodnej. Ile jest jednego a ile drugiego? W próżni woda wytworzyłaby parę o ciśnieniu 1·3 *cm*; w obecności powietrza wytworzy ostatecznie parę o takiemsamem ciśnieniu, jak w próżni; obecność powietrza nie ma wpływu na ciśnienie nasycenia. Gdybyśmy więc mogli zmierzyć w butelce ciśnienie pary wodnej samej przez się i ciśnienie powietrza samego przez się, przekonalibyśmy się, że pierwsze wynosi 1·3 *cm* a drugie 74·7 *cm;* razem 76 *cm.*

W otwartem powietrzu znajduje się zawsze para wodna, albowiem woda mórz, rzek, jezior, woda znajdująca się w ziemi i w roślinach i wszelka w ogóle woda, prócz szczelnie zamkniętej, wytwarza wciąż parę. Powietrze więc w pokoju ma w sobie również parę wodną a nawet często zawiera jej więcej, gdyż wytwarzamy parę, oddychając, wytwarza ją każdy płomień i t. d. Przypuśćmy, że w pewnym pokoju jest tyle pary wodnej, iż sama przez się wywierałaby ona ciśnienie np. 0·9 *cm;* temperatura powietrza niech wynosi 15°. Ciśnienie nasycenia dla 15° równa się 1·3 *cm,* zatem para nie będzie się skraplała a woda ciekła w tym pokoju będzie parowała. Ale przypuśćmy, że wnieśliśmy do tego pokoju jakieś zimne ciało, np. karafkę pełną śniegu. Powietrze, stykające się z powierzchnią karafki, będzie się oziębiało; temperatura jego zejdzie stopniowo do 14°, do 13° i t. d.; nareszcie, gdy dojdzie do 10°, para wodna, która jest w tem powietrzu, znajdzie się pod ciśnieniem nasycenia, gdyż dla 10° ciśnienie 0·9 *cm* jest ciśnieniem nasycenia. Więc w tej temperaturze para wodna powietrza skropli się i osiądzie na karafce w postaci *rosy.* Z tego właśnie powodu w porze zimowej szyby w oknach pokrywają się rosą (lub nawet lodem) od strony wewnętrznej, od strony pokoju; ażeby temu zapobiedz, w sklepach palą małe płomyczki w pobliżu szyb w wystawach sklepowych. Jeśli drzwi z ogrzanego pokoju (a jeszcze bardziej z kuchni lub pralni) prowadzą wprost na dwór, widzimy wówczas zimą

podczas mrozu, że kłęby pary buchają za otwarciem drzwi; para wodna w pokoju ma ciśnienie mniejsze niż ciśnienie nasycenia, jest więc ciałem gazowem i jest niewidzialna (§ 90.); w temperaturze zaś zewnętrznego powietrza skrapla się i tworzy chmurę, złożoną z ciekłych kropelek. Para, którą wyziewamy z płuc, nie skrapla się z tegoż powodu podczas lata, lub w ogrzanym pokoju, skrapla się zaś na mrozie.

W podobny sposób powstają *opady atmosferyczne*, jak deszcz, śnieg i t. d.; zdarzają się one najczęściej z tej przyczyny, że powietrze wilgotne i ciepłe z nad ziemi podnosi się ku górze, spotyka się tam z zimnem powietrzem, skutkiem czego wydziela z siebie parę wodną w postaci ciekłej lub stałej.

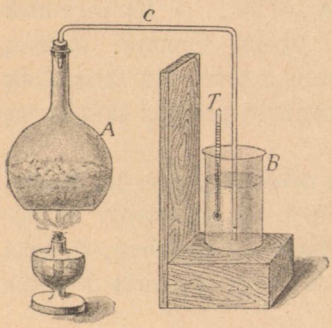
## § 96. Punkty wrzenia różnych ciał.

Punkt wrzenia wody pod ciśnieniem atmosferycznem wynosi 100°; punkt wrzenia alkoholu wynosi 78°, punkt wrzenia eteru siarczanego wynosi 35°. Ciała te nazywamy więc cieczami, gdyż widujemy je zazwyczaj w temperaturach, niższych od ich punktów wrzenia. Gdybyśmy żyli w temperaturze np. 40° (w krajach gorących zdarzają się takie upały), eter siarczany byłby dla nas ciałem gazowem. Zupełnie podobnie mają się rzeczy np. z powietrzem, z tą tylko różnicą, że punkt wrzenia powietrza leży nadzwyczaj nizko, mianowicie o 190 stopni pod zerem, czyli w −190°; w tej temperaturze zatem powietrze się skrapla. W temperaturach, w których żyjemy, powietrze znajduje się mniej więcej o 200° ponad swym punktem wrzenia, dlatego jest dla nas ciałem gazowem. Metale, przeciwnie, mają bardzo wysokie punkty wrzenia. Rtęć topi się w −39°, wre zaś w 357°; cynk, który topi się w 415°, wre około 950°. Inne metale wrą jeszcze wyżej i w ogniu naszych pieców nie dochodzą do wrzenia; ale na słońcu znajdują się takiesame metale jak na ziemi; są one tam wszystkie ciałami gazowemi wskutek niezmiernie wysokich temperatur, jakie tam panują.

## § 97. Ciepło parowania.

Do naczynia *B* (rys. 99., str. 88.) wprowadźmy kilogram wody, mającej temperaturę 0°; naczynie to ochrońmy złymi przewodnikami od dopływu ciepła z zewnątrz, zwłaszcza od płomienia. Przez rurkę *C* wpuszczajmy do *B* parę wodną, która wytwarza się w *A*.

Bańki pary z początku nikną w wodzie lodowatej, później przechodzą coraz łatwiej, nareszcie, gdy temperatura w *B* dojdzie do 100°, przestają się skraplać. Zważmy wodę w naczyniu *B*, gdy temperatura dojdzie do 100°; przekonamy się, że przybyło jej 187 gramów. A zatem 187 gramów pary wodnej przyniosło ze sobą i oddało wodzie zimnej w *B* ilość ciepła, potrzebną do ogrzania kilograma wody od 0° do 100°, czyli 100 kaloryi; więc 1 gram pary oddał $\frac{100}{187}$ czyli 0·536 kaloryi a kilogram pary oddałby 536 kaloryi. Widzimy więc, że kilogram pary wodnej, skraplając się, oddaje swemu otoczeniu 536 kaloryi. Odwrotnie też *potrzeba doprowadzić 536 kaloryi, ażeby zamienić kilogram wody ciekłej, mającej 100°, na kilogram pary, również mającej 100°*. Ta ilość ciepła nazywa się *ciepłem parowania* wody. Widzimy, że jest ono podobne do ciepła topliwości (§ 89.). Przechodząc ze stanu stałego w stan ciekły, ciało pochłania ciepło topliwości; przechodząc ze stanu ciekłego w stan gazowy, pochłania ciepło parowania. Ciepło parowania wody jest bardzo znaczne; to też pomimo, iż woda paruje bardzo powoli w zwykłej temperaturze, czujemy chłód, gdy kropla wody ulatnia się na dłoni. Ażeby mieć wodę chłodną podczas upałów, dość owinąć karafkę wody w wilgotną serwetę i wystawić ją na wiatr lub dmuchać na nią mieszkiem. Alkohol a jeszcze bardziej eter siarczany ulatniają się prędzej od wody w zwykłej temperaturze; bliżej im w tych temperaturach do punktu wrzenia, wytwarzają więc parę o większem ciśnieniu. Dlatego też alkohol i eter, ulatniając się, chłodzą bardzo znacznie, choć ich ciepło parowania jest mniejsze, niż wody; kropla eteru sprawia na dłoni wrażenie zimna. Zwilżywszy kapsułkę miedzianą od spodu wodą, nalawszy w nią eteru i kierując na eter silny prąd powietrza, możemy zamrozić wodę, która przylgnęła do kapsułki. Doświadczenie to objaśnia zasadę sztucznego wyrabiania lodu, które w wielkich miastach często się praktykuje.



Rys. 99.

## § 98. Zamiana pracy na ciepło.

Przypomnijmy sobie treść §§ 17. do 23. Przekonaliśmy się w nich, że *praca nie ginie*. Praca, wydana np. na skręcenie

sprężyny, na podniesienie kamienia, na rzucenie kuli, nie ginie, nie jest stracona; albowiem sprężyna skręcona ma energią, kamień podniesiony ma energią, kula biegnąca ma energią t. j. może zwrócić nam pracę wydaną. Ale kiedy przesuwamy np. skrzynię po podłodze, wówczas na przezwyciężenie tarcia musimy wydać pewną ilość pracy; a czyż skrzynia przesunięta ma energią? czy może zwrócić nam pracę wydaną? Zapytujemy: co w ogóle dzieje się z pracą, idącą na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia? Praca nigdy nie ginie; więc praca, którą wydajemy na przezwyciężenie jakiegobądź tarcia, musi się w coś przeobrażać czyli na coś zamieniać. Istotnie; *zamienia się ona na ciepło.* Przypomnijmy sobie, że każda oś w powozie, wagonie kolejowym, czy jakiejkolwiek maszynie, grzeje się przez tarcie o panewkę; ażeby tego uniknąć, staramy się zmniejszyć tarcie, smarując trące się powierzchnie. Przyciskajmy kawałek żelaza do obwodu koła, które się prędko obraca a rozgrzejemy żelazo tak znacznie, że niepodobna będzie utrzymać go w dłoni. Dzicy nie innym sposobem, jak tarciem, rozniecają ogień a i my posługujemy się tym sposobem, ażeby zapalić zapałkę t. j. ażeby doprowadzić jej łebek do temperatury, w której zaczyna się palić. Gdy przesuwamy więc skrzynię po podłodze, pewna ilość ciepła niewątpliwie musi powstawać i temperatura skrzyni i podłogi musi nieco się podnosić, choć tak nieznacznie, że potrzebaby użyć czułych przyrządów, ażeby się o tem przekonać.

Widzimy zatem, że przez tarcie praca zamienia się na ciepło. Gdy kowal uderza ciężkim młotem sztabę żelazną, praca jego mięśni zamienia się z początku na energią ruchu, następnie ta energia podczas uderzenia zamienia się na ciepło. Widzimy w nocy, że iskry wyskakują koniom na bruku z pod podków; to dowodzi, że uderzenie żelaza o kamień jest zdolne nie tylko odłupać drobny odłamek kamienia, lecz i rozgrzać go do białości. Potrząsając mocno butelką, w której jest woda, możemy podnieść temperaturę wody o kilka stopni. *Wszelka energia zamienia się łatwo na ciepło.*

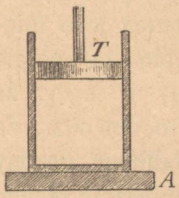
## § 99. Z pewnej ilości pracy otrzymuje się zawsze pewną ilość ciepła.

Ażeby podnieść kilogram o wysokość metra, trzeba wykonać pewną pracę, zwaną *kilogrammetrem.* Tę pracę obiera się często za jednostkę pracy.

Z wielu doświadczeń uczeni przekonali się, że z 425 kilogrammetrów pracy otrzymuje się zawsze 1 kaloryą ciepła, jeśli praca całkowicie zamieniła się na ciepło. Żeby otrzymać 2 kalorye, trzeba 850 kilogrammetrów; żeby otrzymać 3 kalorye, trzeba 1275 kilogrammetrów i t. d. Przeciwnie, z 1 kilogrammetra otrzymuje się $\frac{1}{425}$ część kaloryi i t. d. Wystawmy sobie np., że kilogram wody spada na podłogę kamienną z wysokości 425 metrów. Praca, którą wykonała siła ciężkości, ściągając kilogram ku dołowi, wynosi 425 kilogrammetrów, powinno się więc pojawić w owym kilogramie ciepło w ilości jednej kaloryi. Ponieważ jest to kilogram wody, więc temperatura podniesie się o 1 stopień; gdyby ciepło z 425 kilogrammetrów pracy pojawiło się w kilogramie miedzi, ilość jego wynosiłaby znowu 1 kaloryą, ale temperatura podniosłaby się o 10 stopni (por. § 86.); gdyby to był kilogram rtęci, podniosłaby się o 30 stopni (§ 86.). Zatem podniesienie temperatury zależy od rodzaju ciała, ale ilość ciepła utworzonego nie zależy ani od rodzaju ciała, ani od niczego innego, jak tylko od ilości pracy, przeobrażonej na ciepło.

## § 100. Zamiana ciepła na pracę.

Rozgrzejmy jakiebądź ciało tarciem lub szeregiem uderzeń. Wydaliśmy na to pewną pracę; lecz praca ta nie jest stracona. Ciało gorące nawzajem może teraz wykonać pracę, do której zimne nie byłoby zdolne. Rozgrzejmy np. płytkę *A* tarciem lub szeregiem uderzeń i postawmy na niej walec metalowy, w którym porusza się gładko szczelny tłok *T* (rys. 100.); w walcu znajduje się, przypuśćmy, powietrze. Podniesiona temperatura płyty udzieli się przez dno walca powietrzu; powietrze pocznie się rozszerzać, będzie podnosiło tłok wbrew zewnętrznemu ciśnieniu atmosfery, będzie więc wykonywało pracę. Albo też, gdyby nieco wody znajdowało się w walcu, wówczas pod działaniem przenikającego ciepła woda parowałaby, ciśnienie pod tłokiem wzrastałoby i moglibyśmy znowu uzyskać pewną ilość pracy. Widzimy więc, że praca, wydana na rozgrzanie jakiegobądź ciała, nie jest stracona; *ciało gorące ma energią* i nawzajem wykonywa pewną pracę, byleby mogło odstąpić swego ciepła ciału zimniejszemu od siebie, np. po-



Rys. 100.

wietrzu, które się przez to rozszerzy, lub wodzie, która będzie przez to parowała. Jak sprężyna musi się rozkręcać, żeby wydać swoją energią, jak kamień podniesiony musi się obniżyć, żeby wydać swoją energią, jak pocisk biegnący musi się zatrzymać, żeby wydać swoją energią, podobnież ciało gorące musi oddać swe ciepło, żeby wydać swoją energią i temsamem wykonać pracę.

W maszynie parowej ogień pod kotłem odparowywa wodę a powstająca ztąd para wodna ciśnieniem swem porusza tłok, podobny jak na rys. 100., a za pośrednictwem tłoka — koła i inne części maszyny. A zatem w maszynie parowej ciepło zamienia się na pracę.

## § 101. Z pewnej ilości ciepła otrzymuje się zawsze pewną ilość pracy.

Wystawmy sobie, że w walcu, rys. 100., znajduje się pod tłokiem powietrze i że ogrzewamy je o 100°. Możemy przytem bądź pozwolić rozszerzać się powietrzu; bądź też możemy nie pozwolić mu się rozszerzać, utwierdziwszy np. tłok w miejscu. W pierwszym razie powietrze, ogrzewając się, będzie wykonywało pracę; w drugim razie powietrze będzie się tylko ogrzewało i nie będzie wykonywało pracy. *To też w pierwszym razie powietrze będzie pochłaniało więcej ciepła niż w drugim; różnica jest ilością ciepła, jaka w pierwszym razie zamienia się na pracę.* Przypuśćmy np., że w walcu pod tłokiem znajduje się 1 $m^3$ powietrza o temperaturze 0° i że powierzchnia tłoka ma 1 $m^2$ rozległości. W takim razie tłok znajduje się w odległości 1 *m* od dna walca w 0° i posuwa się do odległości 1·37 *m* w 100°, jeśli pozwalamy powietrzu rozszerzać się swobodnie pomiędzy 0° a 100° (§ 78.). Lecz z § 48. wiadomo, że ciśnienie atmosferyczne, które tłok, posuwając się, musi przezwyciężać, cięży na nim tak, jak gdyby 10260 *kg* na nim leżało. A więc, rozszerzając się od 0°do 100°, powietrze jak gdyby podnosi 10260 *kg* o wysokość 0·37 *m*, wykonywa więc pracę 3796·2 kilogrammetrów. Ta praca bierze się, jak powiedziano, z nadmiaru ciepła, jakie powietrze pochłania, gdy ogrzewa się, rozszerzając się swobodnie. Owóż wiadomo, że metr sześcienny powietrza pochłania 8·93 kaloryi więcej, gdy rozszerza się, niż gdy nie rozszerza się, ogrzewając się o 100°. A zatem z 8·93 kaloryi powstaje tu 3796·2 kilogrammetrów; innemi słowy, z 1 kaloryi

ciepła powstaje 425 kilogrammetrów pracy, taksamo, jak z 425 kilogrammetrów pracy powstawała 1 kalorya ciepła (§ 99.).

Gdybyśmy kazali powietrzu rozszerzać i wykonywać pracę a nie doprowadzali mu z zewnątrz ciepła, powietrze wydałoby na wykonanie tej pracy część swego własnego ciepła t. j. oziębiłoby się. Dlatego ciało gazowe, które zmuszamy do rozszerzania się, oziębia się. Ażeby to okazać, nasyćmy powietrze pod kloszem pompy pneumatycznej parą wodną (zawiesiwszy pod nim na czas pewien np. arkusz wilgotnej bibuły); następnie pociągnijmy powietrze pompą. Oziębienie powietrza zdradzi się natychmiast obłoczkiem, który dowodzi, że część pary wodnej uległa skropleniu.

### § 102. Ciepło jest pewnego rodzaju energią.

Czemże jest ciepło? Co przechodzi z płomienia lampy na lód, zamienia lód na wodę, obraca wodę w parę?

*Ciepło nie jest żadnem ciałem*, bo nie posiada masy. Wiemy, że ciało gorące nie ma większej masy, niż kiedy jest zimne (§ 75.). Z jednego kilograma lodu powstaje 1 *kg* wody a nie więcej; podobnież z jednego kilograma wody ciekłej powstaje 1 *kg* pary wodnej a nie więcej.

*Ciepło jest pewnego rodzaju energią*, albowiem trzeba wydać pracę, ażeby powiększyć ilość ciepła, zawartą w pewnem ciele; albowiem nawzajem takie ciało może wówczas wykonać pracę, do której przedtem nie było zdolne.

---

# ROZDZIAŁ PIĄTY.

## O elektryczności.

### § 103. Kwasy działają chemicznie na metale.

Nalejmy wody do szklanki i dodajmy ostrożnie nieco kwasu siarkowego (t. zw. witryolu); następnie do zakwaszonej w ten sposób wody włóżmy (rys. 101., str. 93.) kawałek blachy cynkowej. Zauważymy, że między wodą zakwaszoną a cynkiem zaczyna

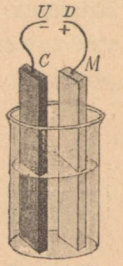
się zaraz pewne działanie. Woda syczy, kotłuje się i niebawem ogrzewa się wyraźnie. Spostrzegamy dalej, że maleńkie pęcherzyki gazowe wydobywają się na powierzchnię wody; że blachy cynkowej zaczyna ubywać, że woda zakwaszona ją niszczy, przegryza, podobnie jak czysta woda czyni to z cukrem. Mawia się też nieraz, że cynk rozpuszcza się w wodzie zakwaszonej; lecz, co tutaj się dzieje, jest tylko z pozoru podobne do rozpuszczania się cukru, albowiem metalicznego cynku nie można otrzymać napowrót przez odparowanie wody, jak to można z cukrem uczynić. Cynk nie rozpuszcza się właściwie w wodzie zakwaszonej, lecz rozkłada kwas w niej zawarty, tworzy pewną sól (siarkan cynku) i wydziela wodór gazowy, jak wiadomo z Chemii.

Rys. 101.

Mamy tu zatem 1. *działanie chemiczne*; 2. *wydzielanie się ciepła*. Te dwa zjawiska są w ścisłym związku ze sobą; im więcej cynku zamienia się na siarkan cynku, tem więcej ciepła się wydziela. Każdy gram cynku, zamienionego na siarkan cynku, wytwarza pewną *ilość ciepła*, którą można zmierzyć w kaloryach, podobnie jak każdy gram węgla, spalonego w piecu, lub każdy gram nafty, wypalonej w lampie, wytwarza pewną ilość ciepła.

## § 104. Ogniwo elektryczne.

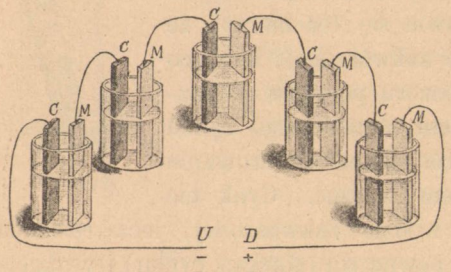
Weźmy teraz dwie blaszki: cynkową *C* i miedzianą *M*, do których przylutowano po kawałku drutu; wstawmy je do wody zakwaszonej, jak okazuje rys. 102. Nazywamy przyrząd podobny *ogniwem elektrycznem;* koniec *D* drutu, idącego od miedzi, nazywamy *biegunem dodatnim* (+) *ogniwa;* koniec *U* drutu, idącego od cynku, nazywamy *biegunem ujemnym* (—). Połączmy ze sobą końce *D* i *U*, czyli, jak się mówi, *zamknijmy obwód ogniwa;* zważajmy jednak, ażeby same blaszki *M*, *C* nigdzie nie dotykały się siebie. Działanie chemiczne pomiędzy cynkiem a wodą zakwaszoną odbywa się wówczas, cynk zużywa się, jak poprzednio, ale pęcherzyki wodoru nie ukazują się na blaszce cynkowej; nieco pęcherzyków ukaże się teraz *na blaszce miedzianej*. Dzieje się tak, jak gdyby wodór w sposób niewidzialny przenosił się przez ciecz z cynku na miedź.



Rys. 102.

## § 105. Ciepło w obwodzie.

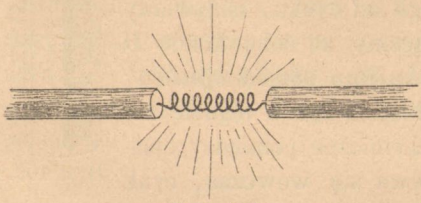
Skoro tylko obwód jest zamknięty, możemy zauważyć jeszcze inne dziwne zjawisko. Oto *drut MDUC ogrzewa się*. Ogrzewa się on bardzo słabo, jeśli jest gruby; lecz drut cieniutki, zwłaszcza żelazny lub platynowy, ogrzewa się wyraźnie. Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw i połączmy je ze sobą tak (rys. 103.), ażeby biegun dodatni jednego ogniwa łączył się z ujemnym sąsiedniego; taki zbiór ogniw nazywamy elektryczną *bateryą*.



Rys. 103.

Na krańcach bateryi pozostają dwa bieguny swobodne *D*, *U*; zachowują się one, jak gdyby bieguny ogniwa, tylko mocniejszego niż pojedyncze ogniwo. Połączmy bieguny *D*, *U* zapomocą cienkiego żelaznego lub platynowego drucika; drucik ogrzewa się mocno, może nawet (gdy ogniw jest wiele) rozpalić się do czerwoności, do białości, a nawet uledz stopieniu. Powiadamy: *w obwodzie ogniwa elektrycznego* (lub bateryi) *pojawia się ciepło.*

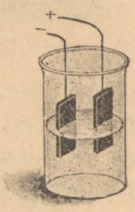
Zkąd się to ciepło bierze? Nie może ono tworzyć się samo przez się, nie może powstawać z niczego. Ciepło jest pewnym rodzajem energii a energia, jak wiemy, nigdy nie tworzy się z niczego. Ciepło w obwodzie pojawia się kosztem tego ciepła, które wydziela się skutkiem odbywającego się w ogniwie chemicznego działania. Gram cynku, zamieniając się na siarkan cynku, wytwarza zawsze pewną ilość ciepła; poprzednio (§ 103.) całe to ciepło pojawiało się oczywiście w miejscu chemicznego działania, teraz zaś *część tego ciepła pojawia się w obwodzie a tylko reszta pojawia się w ogniwie.* Innemi słowy: w samem ogniwie zmniejsza się ilość pojawiającego się ciepła, ale spółcześnie nowe ciepło pojawia się w obwodzie ogniwa. Weźmy dwa grube pręty miedziane, długie np. na dwa metry; użyjmy ich za druty *MD* i *CU*, wprowadźmy mianowicie pomiędzy *D* i *U* cieniutki drucik żelazny lub platynowy (rys. 104.).


Rys. 104.

W prętach nie znajdujemy żadnego rozgrzania; drucik, przeciwnie, rozgrzewa się do czerwoności. Zatem dzieje się tak, jak gdyby część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwach, była się tu przeniosła w sposób niedostrzegalny do drucika, o dwa metry od ogniw, i tam dopiero pojawiła się znowu jako ciepło.

## § 106. Działanie chemiczne w obwodzie.

Połączmy bieguny *D* i *U* bateryi (rys. 103.) z dwiema blaszkami, zrobionemi *z platyny*, metalu, na który zwykłe kwasy nie działają. Weźmy nieco *siarkanu cynku* t. j. tejsamej soli, jaka tworzy się w ogniwie (§ 103.) i zanurzmy platynowe bieguny bateryi, jak okazuje rys. 105., do roztworu soli tej w wodzie. Zobaczymy niebawem, że metaliczny cynk osadza się na platynowej blaszce, która jest połączona z ostatnim cynkiem, a więc na ujemnym biegunie bateryi. Przekonamy się dalej, że woda w szklance staje się coraz bardziej kwaśna, że tworzy się w niej kwas siarkowy. Więc odbywa się tutaj rozkład siarkanu cynku, podczas gdy w ogniwie, przeciwnie, siarkan cynku się tworzył. W szklance (rys. 105.) przybywa cynku i przybywa kwasu, podczas gdy w ogniwie i cynku i kwasu ubywało. A zatem w ogniwie odbywa się pewne chemiczne działanie, ale spółcześnie w obwodzie ogniwa, w roztworze siarkanu cynku, odbywa się wprost przeciwne chemiczne działanie.

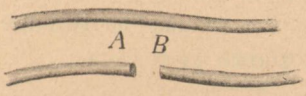


Rys. 105.

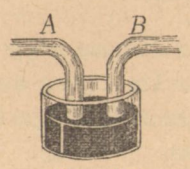
## § 107. Prąd elektryczny. Przewodniki.

Wszystkie te skutki przypisujemy *elektrycznemu prądowi*, który tworzy się w ogniwie i przechodzi przez obwód. Powiadamy, że przez pręty (rys. 104.) płynie prąd elektryczny; że dzięki prądowi część ciepła, pochodzącego z chemicznego działania w ogniwach, przeniosła się do drucika o dwa metry od ogniw i dopiero w druciku pojawiła się znów jako ciepło. Powiadamy, że dzięki prądowi działanie chemiczne w ogniwach wytwarza wprost przeciwne działanie chemiczne w roztworze siarkanu cynku w odległości dwóch metrów od ogniw. O prętach powiadamy, że prąd przez nie *przechodzi;* inaczej mówimy, że one prąd *przewodzą* lub że są *przewodnikami prądu*. Przepiłujmy jeden z tych prętów i roz-

suńmy końce *A*, *B* (rys. 106.) dwóch części, na które rozdzieliliśmy pręt tym sposobem; drucik przestaje natychmiast świecić, rozkład siarkanu cynku w szklance przerywa się natychmiast. A zatem *powietrze nie przewodzi prądu.* Włóżmy końce *A*, *B* do miseczki z rtęcią (rys. 107.); drucik zaczyna świecić napowrót, rozkład siarkanu cynku znów się rozpoczyna. A zatem *rtęć przewodzi prąd.* Lecz jeśli rtęć przewodzi, jeśli ciecze w ogóle mogą przewodzić, to zapewne i roztwór siarkanu cynku w szklance (rys. 105.) przewodził prąd i, co więcej, woda zakwaszona w samem ogniwie także przewodziła. A zatem powiadamy: prąd przechodzi nie tylko przez druty i pręty, nie tylko przez roztwór siarkanu cynku, znajdujący się w obwodzie, lecz również przez *samo ogniwo; prąd przechodzi jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód.*



Rys. 106.



Rys. 107.

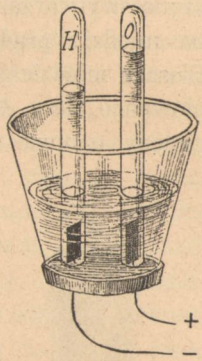
Końcami *A*, *B* (rys. 106.) dotknijmy kawałka szkła, porcelany, kauczuku, jedwabiu, wełny: prąd nie przechodzi. Włóżmy końce *A*, *B* do naczynia z naftą, oliwą, terpentyną: prąd nie przechodzi. Wszystkie te ciała są więc *złymi przewodnikami prądu* czyli *izolatorami*; stawiają one nadzwyczaj znaczny *opór* przejściu prądu. Węgiel i wszystkie metale są przeciwnie *dobrymi przewodnikami* prądu elektrycznego.

## § 108. Elektroliza.

Prąd elektryczny, przechodząc przez rtęć, nie rozkłada jej; rtęć jest, jak wiadomo, *pierwiastkiem chemicznym* czyli nie rozkładającem się ciałem. Poprowadźmy teraz prąd przez jakiebądź ciało złożone; do szklanki np. (rys. 105.) nalejmy roztworu wodnego siarkanu miedzi (t. zw. koperwasu miedzianego) i połączmy blaszki z biegunami bateryi. Na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, osadza się *miedź*, w roztworze zaś przybywa kwasu siarkowego. A zatem prąd, który powstaje przez tworzenie się siarkanu cynku, może rozkładać nie tylko siarkan cynku, lecz również i inne ciała złożone; *wszelki prąd, przechodząc przez ciała złożone, rozkłada je.* Rozkład, wywoływany przez prąd elektryczny, nazywa się *elektrolizą.* Gdy elektrolizujemy roztwór związku

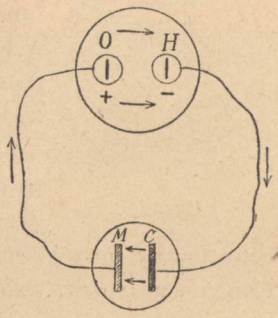
srebra, np. azotanu srebra (lapisu), natenczas na biegunie ujemnym osadza się srebro; rozumiemy więc, jak można srebrzyć, złocić i t. d. zapomocą prądu elektrycznego.

Czysta woda stawia znaczny opór przejściu prądu, jest dość złym przewodnikiem; nalawszy czystej wody do szklanki (rys. 105.) i przepuszczając prąd, nie dostrzegamy elektrolizy wody. Lecz dodajmy kilka kropel kwasu (siarkowego lub solnego) a natychmiast dwa strumienie pęcherzyków gazowych biegną ku powierzchni, jakby wyrywając się z blaszek platynowych. Ażeby zebrać te pęcherzyki, nakryjmy blaszki zamkniętemi rurkami szklanemi, wypełnionemi również wodą zakwaszoną i przewróconemi nad cieczą, jak pokazuje rys. 108.; przyrząd, tu przedstawiony, nazywa się *woltametrem*. Na biegunie dodatnim wydziela się *tlen (O)*, na ujemnym — *wodór (H)*; wodoru jest na objętość dwa razy więcej niż tlenu. (Do tego doświadczenia potrzeba mocnego prądu; najlepiej użyć kilku ogniw, opisanych niżej w § 109.).



Rys. 108.

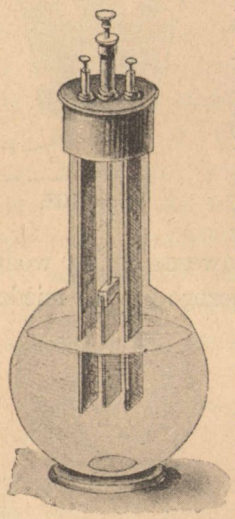
Rozumiemy teraz, dlaczego w ogniwie wydziela się wodór, skoro tylko obwód jest zamknięty (§ 104.). Albowiem prąd przechodzi wówczas przez wodę zakwaszoną ogniwa i wodę tę elektrolizuje. Dlaczego zaś na miedzi wydziela się wodór? Wystawmy sobie (rys. 109.) ogniwo *MC* (dla uproszczenia narysowano tylko jedno) oraz woltametr *OH*, w którym elektrolizuje się woda; wszystko to jak gdyby przecięte poziomą płaszczyzną. Wiemy, że prąd przechodzi jak gdyby dokoła przez ogniwo i przez cały obwód. Idźmy np. od miedzi *M* do bieguna *O* w woltametrze *OH* i taksamo dalej, jak wskazują strzałki; widzimy, że wodór w woltametrze zbiera się tam, gdzie *wychodzimy* z cieczy t. j. w miejscu *H*. W ogniwie idziemy od *C* do *M*, wodór przeto w ogniwie zbiera się znowu tam, gdzie wychodzimy z cieczy t. j. na miedzi *M*.



Rys. 109.

## § 109. Polaryzacya. Ogniwa trwałe.

Odłączmy końce + i — drutów woltametru (rys. 109.) od biegunów bateryi i połączmy je ze sobą. Przekonamy się wówczas, że *w obwodzie woltametru* (przez krótki czas) *mamy teraz prąd.* Woltametr zachowuje się jakby ogniwo; blaszka *H*, na której wydzielał się wodór, jest ujemnym biegunem tego ogniwa, druga zaś blaszka *O* jest jego dodatnim biegunem. Zupełnie podobnie dzieje się w ogniwie; dlatego też w ogniwie, prócz prądu głównego, poczyna wytwarzać się niebawem, wskutek wydzielania się wodoru na miedzi, prąd drugi dodatkowy, wprost przeciwny głównemu. Blaszka miedziana w ogniwie jest np. dodatnim biegunem dla prądu głównego, lecz dla dodatkowego jest ujemnym. Z tego powodu prąd główny ogniwa niebawem słabnie i znika prawie zupełnie; mówi się, że ogniwo jest *spolaryzowane.* Ażeby mieć prąd trwały, trzeba niszczyć swobodny wodór, zbierający się na miedzi; dodając do cieczy soli, zwanej dwuchromianem potasu, sprawiamy, iż wodór ten utlenia się i zamienia się tym sposobem na wodę. Najlepiej jest dodać 100 *gr* dwuchromianu potasu na litr wody, zawierającej 50 *gr* kwasu siarkowego; taka ciecz będzie przeszkadzała polaryzacyi ogniwa. Lecz ponieważ nagryza ona miedź, przeto, zamiast płytki miedzianej, używa się płytki, zrobionej z platyny lub z węgla (najlepiej z t. zw. koksu gazowego). Na rys. 110. widzimy takie ogniwo; pomiędzy dwiema płytkami węglowemi znajduje się płytka cynkowa, którą należy wyciągać z cieczy, gdy ogniwo nie jest czynne. Istnieją jeszcze rozmaite inne rodzaje ogniw; dają one prąd trwały, dopóki ciała, zapobiegające polaryzacyi, nie są zużyte. Zapomocą bateryi, złożonej z takich ogniw, łatwiej jest wykonać wyżej opisane doświadczenia, niż zapomocą pierwotnych naszych ogniw, rys. 102. i 103.

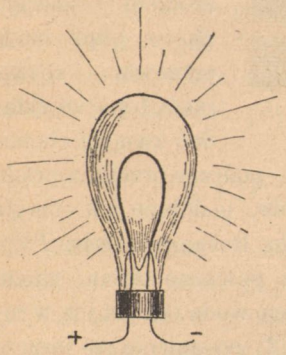


Rys. 110.

## § 110. Światło elektryczne.

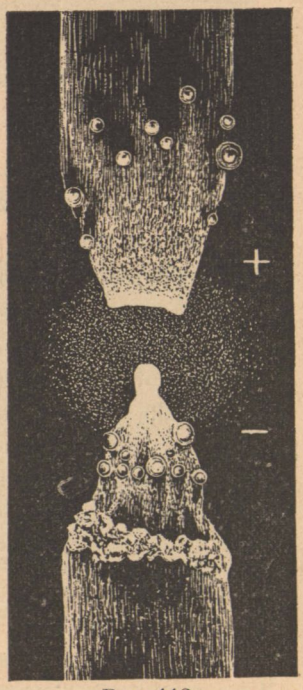
Poprowadźmy prąd z bateryi przez pasemko węglowe, zamknięte w bańce szklanej (rys. 111., str. 99.). Pasemko rozgrzewa

się (por. § 105.) i jasno świeci; ponieważ w powietrzu spaliłoby się ono niebawem (t. j. połączyłoby się z tlenem powietrza), przeto zamknięto je w bańce szklanej, z której wyciągnięto powietrze.



Rys. 111.

Takie lampki, nazwane *żarowemi*, służą dziś w wielu miastach do oświetlania; w tych miastach rozsyłają prąd elektryczny po drutach, podobnie jak gaz oświetlający lub wodę do picia rozprowadzają rurami. Lampki elektryczne żarowe grzeją bardzo nieznacznie i nie wydzielają gazów, tworzących się przy paleniu, jak płomienie naftowe i gazowe; ze względu na zdrowie zasługują więc na pierwszeństwo.



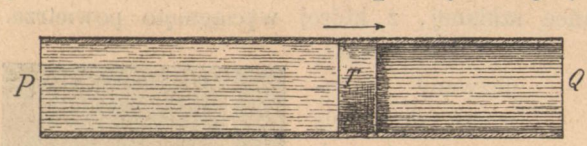
Rys. 112.

Inne urządzenie mają potężne lampy elektryczne, zwane *łukowemi*. Przypuśćmy, że bardzo silny prąd elektryczny płynie przez dwa pręciki węglowe, zaostrzone jakby ołówki i zetknięte ze sobą ostrzami. Gdy rozsuniemy nieco pręciki, prąd nie przerywa się (jeśli jest dość silny); drobne cząstki węgla, rozgrzane do białości, odrywają się od dodatniego bieguna i biegną na ujemny. Widzimy wówczas oślepiający łuk świetlny pomiędzy węglowemi ostrzami (rys. 112.).

## § 111. Opór drutu.

Przypuśćmy, że przez drut metalowy płynie prąd elektryczny. Drut stawia *pewien opór* prądowi; wiemy istotnie, że drut ogrzewa się wówczas (§ 105.) a zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd napotykał w drucie na *tarcie*, które przezwycięża, przez co powstawałoby ciepło. Wystawmy sobie, że przez rurę np. *PQ* (rys. 113., str. 100.) płynie woda, pchając przed sobą tłok *T*. Tarcie tłoka i wody o ścianki wytwarzałoby pewien opór dla płynięcia wody; część energii ruchu zamieniałaby się, skutkiem tarcia, na

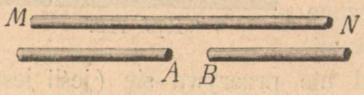
ciepło (§ 98.). Prąd elektryczny nie jest płynięciem jakiegoś płynu po drucie, ale jest *źródłem pewnej energii*, podobnie jak ruch wody w rurze jest źródłem energii. Skoro prąd może ogrzewać, rozżarzać, topić i rozkładać związki chemiczne, przeto prąd jest to coś, co *ma energią*; podczas przejścia prądu przez drut energia ta zamienia się na ciepło, podobnie jak energia ruchu wody w rurze $PQ$ zamienia się na ciepło. Posunięcie tłoka $T$ np. o jeden centymetr wymaga przezwyciężenia pewnego tarcia, zatem wytwarza pewną ilość ciepła; jakąkolwiek drogę woda odbyła już w rurze poprzednio, przed dojściem do miejsca $T$, posunięcie się jeszcze o jeden centymetr wytworzy zawsze pewną nową ilość ciepła. Podobnież dla prądu: jakkolwiek długo już trwa prąd elektryczny w drucie, przejście nowego prądu przez każdy centymetr tego drutu wytworzy zawsze pewną nową ilość ciepła.



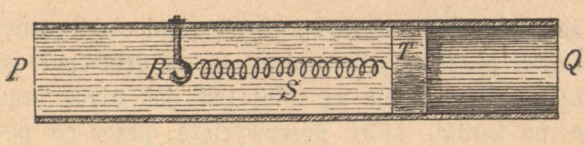
Rys. 113.

## § 112. Opór powietrza.

Powietrze stawia prądowi elektrycznemu opór zupełnie innego rodzaju. Przypuśćmy, że przecięliśmy drut $MN$ (rys. 114.) i rozsunęliśmy końce $A$, $B$. Wówczas prąd próbuje przejść, jak dawniej, pomiędzy $A$ i $B$; ale natrafia w powietrzu na opór, który się temu sprzeciwia, który *nie pozwala mu przejść*. A zatem dzieje się tutaj tak, jak gdyby prąd napotykał na przeciwdziałanie pewnej siły, podobnej do *sprężystości*, której nie może przezwyciężyć. Wystawmy sobie np., że tłok $T$ w rurce $PQ$ jest połączony ze sprężyną $S$, której drugi koniec jest umocowany w $R$ (rys. 115.). Wówczas płynięcie wody natrafia na całkiem inny opór, niż poprzednio. Woda popchnie nieco tłok $T$ na prawo, wyciągnie sprężynę, lecz dalej nie pójdzie, gdyż trafia na przeciwdziałanie siły sprężystości,



Rys. 114.



Rys. 115.

tem większe, im większe jest przemieszczenie, czyli posunięcie się tłoka *T* na prawo. Na zupełnie podobny opór natrafia prąd elektryczny w powietrzu. Prąd usiłuje przejść pomiędzy *A* i *B* (rys. 114.), posuwa się nieco, ale przejść nie może, bo natrafia na przeciwdziałanie jakiejś siły, tem większe, im bardziej się posunął. Wówczas pomiędzy biegunami *A*, *B* *niema prądu*, ale jest na nich *dążenie* do przejścia. Mówi się wówczas, że na *A* i na *B* jest *elektryczne napięcie*; lub też, że *A* i *B* są *naelektryzowane*.

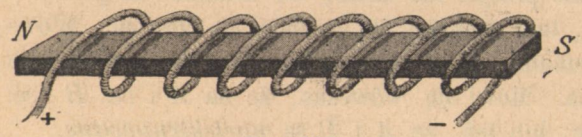
Można naelektryzować dwa ciała nie tylko zapomocą bateryi: dwa krążki metalowe (trzymane zapomocą rączek szklanych), przyłożone do siebie, po rozłączeniu okazują się naelektryzowane. Suchy kawałek szkła, laku lub bursztynu, przyłożony do jedwabiu lub flaneli, lub lepiej jeszcze potarty o jedwab lub flanelę (czyli przyłożony w wielu miejscach po kolei), okazuje się naelektryzowany; to też od nazwy greckiej bursztynu »elektron« pochodzi wyraz »elektryczność«.

Gdyby nacisk wody na tłok *T* (rys. 115.) był bardzo znaczny, gdyby np. od strony *P* pchano ją bardzo silnie na prawo, wówczas mogłoby się zdarzyć, że woda zerwałaby sprężynę *S* i popchnęłaby odrazu tłok *T* o pewną odległość; przytem wytworzyłaby się pewna ilość ciepła. Zupełnie podobnie może się zdarzyć, gdy napięcie elektryczne na *A* i *B* np. jest bardzo znaczne, że siła, sprzeciwiająca się przejściu prądu, zostanie złamana i prąd przejdzie. Widzimy wtedy *iskrę elektryczną* w powietrzu. Temsamem napięcie zaraz się zmniejszy, tak iż prąd natychmiast się przerwie. Zjawisko takie nazywa się *elektrycznem rozbrojeniem*. *Piorun* nie jest niczem innem, jak potężnem elektrycznem rozbrojeniem pomiędzy chmurami lub pomiędzy chmurą a ziemią. *Błyskawica* jest olbrzymią iskrą, wytworzoną przez to rozbrojenie. Ażeby uchronić budynki od uderzenia piorunu, stawiają na nich piorunochrony, czyli wysokie zaostrzone metalowe pręty, połączone metalicznie z ziemią; rozbrojenie trafia wówczas nie w budynek, lecz w piorunochron i spływa po nim do ziemi bez szkody dla budynku.

## § 113. Elektromagnes.

Cienki drut miedziany okręćmy starannie jedwabiem (lub bawełną, napojoną następnie woskiem stopionym); taki drut nazywa się *izolowanym*. Weźmy sztabę z miękkiego żelaza *NS* (rys. 116., str. 102.) i okręćmy ją drutem izolowanym; następnie przepuśćmy prąd

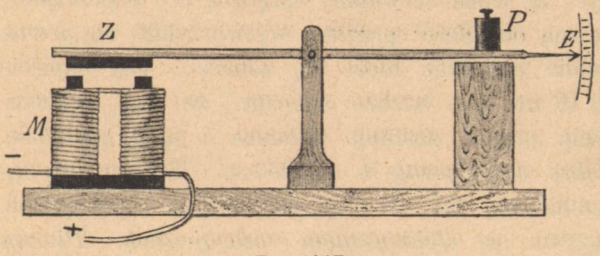
przez drut izolowany. Prąd nie przechodzi przez jedwab ani przez woskowaną bawełnę a zatem musi okrążyć sztabę tyle razy *dokoła*, ile jest skrętów; przez samą sztabę wcale płynąć nie będzie.



Rys. 116.

Zobaczymy, że sztaba nabiera nowych własności, tak zwanych *magnetycznych*: przyciąga np. gwoździki lub opiłki żelazne. Podnieśmy sztabę do góry; opiłki trzymają się jej z obu końców jak gdyby przyklejone; przerwijmy prąd a opadną natychmiast. Podobny przyrząd nazywamy *elektromagnesem*; powiadamy, że elektromagnes ma własności magnetyczne, dopóki prąd elektryczny krąży koło sztaby.

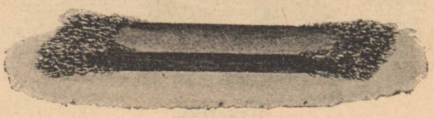
Elektromagnes, mający kształt sztaby podłużnej, przyciąga opiłki przeważnie na końcach swoich, czyli t. zw. *biegunach*; ku środkowi przyciąganie jest słabsze. Ażeby obadwa bieguny mogły wspólnie przyciągać, budują elektromagnesy zazwyczaj w kształcie ⊔ (rys. 117.) lub w kształcie podkowy. Wystawmy sobie, że w pobliżu elektromagnesu *M* znajduje się kawałek żelaza *Z*, osadzony na lewem ramieniu dźwigni *ZE* (rys. 117.); jeśli prąd przechodzi, żelazo *Z* zostaje przyciągnięte i wskazówka *E* idzie do góry; jeśli prąd nie przechodzi, ciężarek *P* ściąga prawe ramię dźwigni a z niem i wskazówkę *E* na dół. Przypuśćmy, że cały ten przyrząd znajduje się w pewnem mieście np. *A*; wówczas można z drugiego miasta *B*, odległego od *A* np. o 100 kilometrów, przerywać i zamykać prąd w elektromagnesie, jeśli tylko nawinięty w nim drut stanowi część obwodu elektrycznego, prowadzącego od *A* aż do *B*. A zatem można, przerywając i zamykając prąd w mieście *B*, poruszać wskazówkę w mieście *A*, jeśli pomiędzy miastami temi przeciągnięty jest drut metalowy. Na tej zasadzie polega urządzenie *telegrafów elektrycznych*.



Rys. 117.

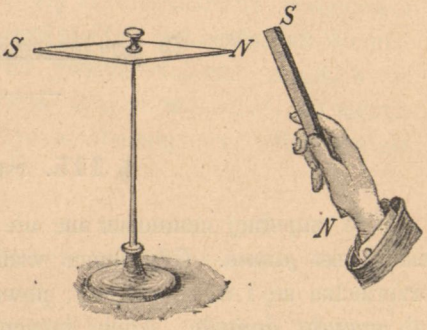
## § 114. Magnes.

Do doświadczenia, przedstawionego na rys. 116., użyjmy sztaby *stalowej*; przekonamy się, że sztaba przyciąga opiłki żelazne, podobnie jak sztaba z miękkiego żelaza; dalej przekonamy się, że przyciąga ona nie tylko dopóty, dopóki dokoła niej krąży prąd, lecz również i później, gdy prąd przerwiemy. Sztaba stalowa pod wpływem prądu staje się *magnesem* t. j. nabywa własności magnetycznych nie tylko chwilowo (jak miękkie żelazo), lecz *trwale*. Rysunek 118. okazuje taki magnes z przylegającemi do niego opiłkami.



Rys. 118.

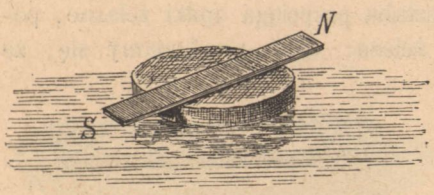
Weźmy lekką stalową igiełkę, namagnesujmy ją prądem (rys. 116.) i napiszmy na lewym biegunie igiełki literę *N*, na prawym *S*. Namagnesujmy podobnież sztabę stalową, łącząc końce drutu (rys. 116.) z tymisamymi biegunami bateryi jak przed chwilą i znów napiszmy: na lewym biegunie sztaby *N*, na prawym *S*. Osadźmy teraz igiełkę stalową poziomo na ostrzu (rys. 119.) tak, iżby mogła kręcić się swobodnie na wszystkie strony. Zbliżając sztabę do igiełki, jak na rys. 119., przekonamy się, że biegun *N* sztaby odpycha biegun *N* igiełki i przyciąga jej biegun *S* a odwrotnie biegun *S* sztaby przyciąga *N* igiełki i odpycha jej *S*. Jednem słowem *jednakowe bieguny* (*N*, *N* albo *S*, *S*) odpychają się a rozmaite (*N* i *S*) przyciągają się.




Rys. 119.

Usuńmy zupełnie sztabę, a igiełka *NS* wykręci się na ostrzu i ustawi się w pewnym określonym kierunku; jeśli odchylimy ją lekko, powróci do tego położenia. *Koniec N igły wskazuje mniej więcej na północ* (w naszych okolicach wskazuje nieco na zachód od północy); *koniec S wskazuje mniej więcej na południe*. Takie igiełki w przyrządach, zwanych *busolami* lub kompasami, służą marynarzom i podróżnikom do odnajdywania kierunków północy

i południa. A zatem ziemia nasza zachowuje się, jak gdyby była magnesem i jakgdyby miała dwa bieguny, położone mniej więcej w jej istotnych, geograficznych biegunach.



Rys. 120.

Połóżmy magnes *NS* na dużym płaskim korku a korek umieśćmy na wodzie (rys. 120.). Magnes wykręci się i ustawi się tak, jak igła magnesowa, ale nie popłynie cały ani na północ, ani na południe. Biegun północny ziemi przyciąga np. koniec *N* magnesu, ale równie mocno odpycha jego koniec *S*; dlatego *ziemia wykręca magnes*, ale go *nie pociąga* ani w jednym ani w drugim kierunku.

---

# ROZDZIAŁ SZÓSTY.

## O promieniowaniu.

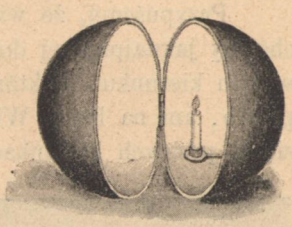
### § 115. Światło.

W zupełnej ciemności nic nie widzimy; widzimy tylko wtedy, kiedy jest *jasno*. Gdy słońce wschodzi na niebie, ciemność nocy przerzedza się i robi się jasno; powiadamy więc, że słońce *wydaje* lub *wysyła światło*, dzięki któremu widzimy. Podobnie, podczas burzy w nocy, błyskawice rzucają nagłe i krótkotrwałe światło na cały widnokrąg. Płomień świecy lub lampy rozprasza ciemność w pokoju, więc wydaje światło, jak błyskawica lub słońce, tylko światło słabsze.

### § 116. Słabnięcie światła.

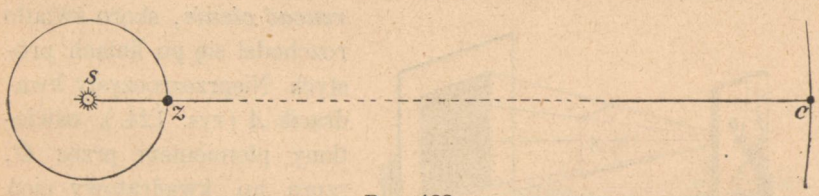
Weźmy dwa pudełka kuliste, nierównej wielkości, wyklejone wewnątrz np. papierem (rys. 121. na str. 105.). Umieśćmy zapaloną świecę w środku to jednej, to drugiej kuli. Widzimy, że wnętrze

dużej kuli jest oświetlone *słabiej* niż wnętrze małej kuli; tosamo światło, padając na rozleglejszą powierzchnię, daje oświetlenie słabsze każdej jednostce jej pola. Rozumiemy teraz, dlaczego, spoglądając przy świetle świecy na ćwiartkę papieru, widzimy ją oświetloną tem słabiej, im dalej znajduje się ona od płomienia. Albowiem możemy sobie zawsze wystawić, że ta ćwiartka papieru to jak gdyby część kulistej powierzchni, zbudowanej w myśli dokoła płomienia. Jeśli odległość od płomienia jest niewielka, to i ta kulista powierzchnia byłaby niewielka; jeśli odległość jest znaczna, wówczas i rozległość powierzchni byłaby znaczna, więc światło dawałoby oświetlenie słabe każdej jednostce jej pola.



Rys. 121.

Słońce nasze jest takąsamą gwiazdą, jak inne, których tyle widzimy na niebie. A jednak ukazuje się nam tak zgoła inaczej. Słońce nie tylko jest samo widzialne, lecz i rozświeca nam wszystko dokoła; tymczasem gwiazdy nie oświetlają ziemi (lub raczej oświetlają ją bardzo słabo). Tłumaczy się to niezmiernem oddaleniem gwiazd. *Najbliższa* z pomiędzy gwiazd stałych (*planety*, jak Wenus, Mars, Jowisz, trzeba odróżniać od gwiazd stałych) znajduje się 260000 razy dalej od nas, niż słońce. Wystawmy sobie, że ziemia nasza *Z* (rys. 122.), zamiast krążyć w obecnej swej odległości od

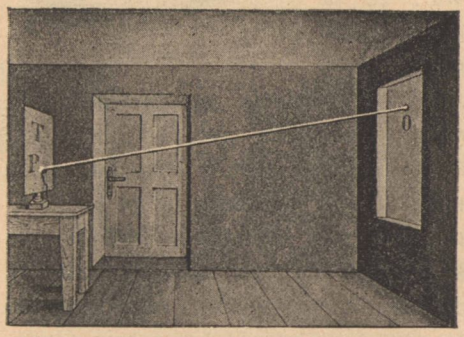



Rys. 122.

słońca *S*, odsuwa się od niego 260000 razy dalej, np. aż do *C* na rys. 122-gim, na którym trzeba wystawić sobie *C* 260000 razy dalej od *S* niż *Z*. Widzimy, jakie olbrzymie rozmiary miałaby kulista powierzchnia, na którą rozdzielałoby się światło słońca, jak drobną część tego światła otrzymywalibyśmy wówczas na ziemi. Wówczas więc słońce wydawałoby się nam takąsamą gwiazdą niewielką, jakie nocą widzimy na niebie. Jakże wspaniały jest wszechświat, w którym miliony słońc żarzą się w ogromnych odległościach od siebie.

## § 117. Światło rozchodzi się po liniach prostych.

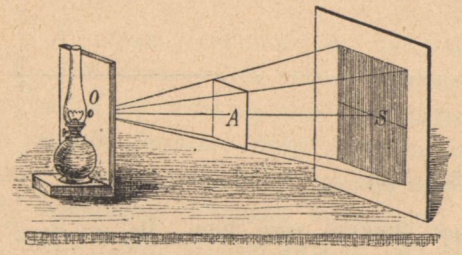
Przypuśćmy, że widzimy w ciemności światło np. latarki i że chcemy jaknajprędzej dojść do niej; skierujemy się wówczas wprost w tym kierunku, w którym światło widzimy, nie pójdziemy ani na prawo, ani na lewo. Wiemy z doświadczenia, że światło rozchodzi się w prostych kierunkach, że biegnie po liniach prostych.



Rys. 123.

Zasłońmy szczelnie okna w pokoju (rys. 123.) i wpuśćmy światło słoneczne przez mały, okrągły otwór $O$ w zasłonie. Widzimy jasną plamę $P$ (czyli obraz) na przeciwległej ścianie lub na podstawionej tablicy $T$. Poprowadźmy sznurek od otworu w zasłonie do obrazu na tablicy. Sznurek zajaśnieje, gdy wyprężymy go mocno i będzie błyszczał od światła; światło biegnie w prostym kierunku, dlatego idzie teraz przez sznurek od końca do końca.

Ciała metalowe, drewniane i t. p., gdy są dość grube, nie przepuszczają światła, są *nieprzezroczyste*. Takie ciała muszą przeto *rzucać cienie*, skoro światło rozchodzi się po liniach prostych. Nieprzezroczysty kwadracik $A$ (rys. 124.), oświetlony płomieniem przez $O$, rzuca np. kwadratowy cień $S$ na tablicę. Jeśli odległość $OS$ jest dwa razy większa od odległości $OA$, wówczas pole $S$ jest cztery razy większe od pola $A$; arkusik papieru, wycięty wzdłuż granic $S$ i złożony następnie we czworo, dokładnie przykrywa $A$. Usuńmy $A$; $S$ otrzymuje wówczas światło, jakie otrzymywał $A$. Widzimy przeto, że na każdy z kwadracików, z których składa się $S$, przypada tylko czwarta część światła, jakieby on otrzymywał, gdyby był umieszczony w odległości $OA$. Ćwiartka papieru w odległości np. 2 metrów



Rys. 124.

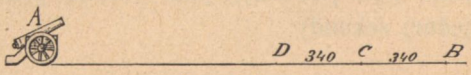
od płomienia, otrzymuje czwartą część światła, jakie otrzymywałaby w odległości jednego metra od niego. W takiej mierze światło słabnie z odległością.

## § 118. Prędkość rozchodzenia się światła.

Z jaką prędkością rozchodzi się światło? Co o tem możemy powiedzieć z naszego codziennego doświadczenia? Oto tyle, że światło musi rozchodzić się z nadzwyczajnie znaczną prędkością. Wiemy np., że błysk wystrzału armaty dobiega nas znacznie wcześniej od huku; światło błyskawicy dobiega nas znacznie wcześniej od grzmotu. A wszakże głos rozchodzi się prędko: w powietrzu przebywa on 340 metrów w ciągu sekundy (§ 65.). Światło biedz musi jeszcze znacznie prędzej od głosu. Uczeni zmierzyli prędkość rozchodzenia się światła; przekonali się oni, że *światło przebiega 300000 km w ciągu sekundy.* A zatem światło biegnie około 900000 razy prędzej od głosu; w tymsamym czasie np., w którym huk wystrzału oddalił się dopiero o jeden *milimetr* od miejsca wystrzału, błysk wystrzału zdołał już od tego miejsca odbiedz blizko o cały *kilometr.*

## § 119. Zaćmienia księżyca Jowisza.

Przypuśćmy, że w miejscu np. *A* (rys. 125.) strzelają raz po raz z armaty; przypuśćmy, że strzał następuje po strzale w równych odstępach czasu, np. co jedną minutę czyli co 60 sekund. Pierwszy strzał słyszymy w miejscu np. *B*.



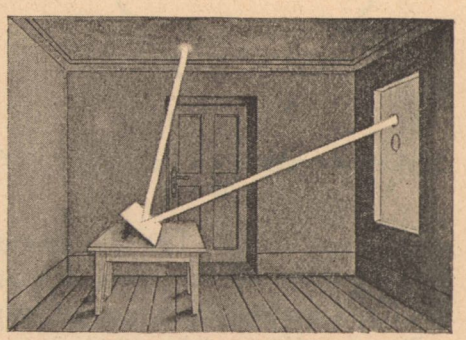
Rys. 125.

Usłyszawszy go, idziemy ku *A*; drugi strzał dochodzi nas w miejscu np. *C*; przypuśćmy, że *BC* wynosi 340 metrów. Drugi strzał był dany dokładnie w 60 sekund po pierwszym a jednak usłyszymy go nie w 60, lecz w 59 sekund po pierwszym; albowiem, idąc na spotkanie głosu, spotykamy się z drugim wcześniej niż z pierwszym. Drugi strzał, ażeby dojść do nas, odbył drogę, o 340 metrów krótszą niż pierwszy, a więc był w drodze o sekundę krócej niż pierwszy. Idąc dalej, usłyszymy podobnież w *D* głos trzeciego wystrzału w 118 sekund po pierwszym. Byłoby przeciwnie, gdybyśmy się oddalali od *A*.

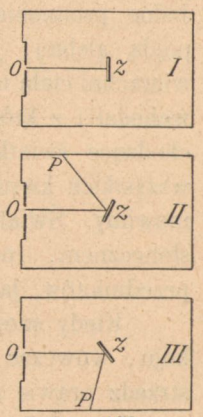
Gwiazda *Syryusz* np. znajduje się tak daleko, że światło jej biegnie przez 17 lat, zanim dobiegnie do ziemi. Tymczasem, gdyby światło mogło przejść przez kulę ziemską, odbyłoby ono w ciągu $\frac{1}{23}$-ej części sekundy drogę prostą od bieguna północnego do południowego. Jeżeli zważymy, jak niezmiernie małą cząstką 17-tu lat jest $\frac{1}{23}$-cia część sekundy, dojdziemy do wniosku, że cała nasza ziemia wobec wszechświata jest jak gdyby kropelką wobec oceanu.

## § 121. Odbijanie się światła.

Wpuśćmy snop światła słonecznego do ciemnego pokoju, jak w § 117.; pozwólmy mu paść na zwykłe, płaskie lusterko czyli zwierciadełko (rys. 127.). Zobaczymy, że światło *odbija się* od zwierciadła, biegnie np. do sufitu i tworzy tam obraz jasny, jaki poprzednio padał na tablicę. Wystawmy sobie pokój, widziany z boku, lub jak gdyby przecięty płaszczyzną pionową (rys. 128.); *O* jest otworem w zasłonie okiennej, *Z* wyobraża zwierciadło. Ustawmy najprzód zwierciadło *Z* tak, ażeby było prostopadłe do snopu promieni, t. j. ażeby z żadnej strony nie nachylało się ku niemu (rys. 128., I). Wówczas światło odbija się wprost napowrót do otworu w zasłonie; wówczas nie widzimy odbitego obrazu. Ustawmy teraz zwierciadło jak na rys. 128., II.; podnieśmy część dolną zwierciadła ku kierunkowi *OZ*, tak iż snop padających promieni jest nachylony ku dolnej części zwierciadła. Spostrzegamy natychmiast obraz *P* na suficie. A zatem, gdy światło padające nie pochylało się ani ku dolnej, ani ku górnej połowie zwierciadła (t. j. gdy było prostopadłe do niego), światło odbite nie pochylało się również ku żadnej. Gdy zaś światło padające pochyliło się ku części dolnej zwierciadła, światło odbite pochyliło się zaraz




Rys. 127.

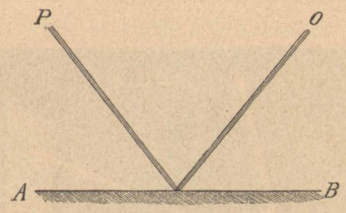



Rys. 128.

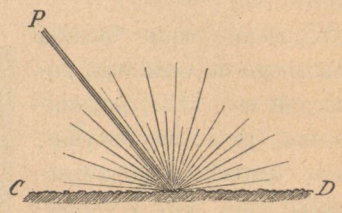
ku górnej. I przeciwnie: gdy zbliżymy górną część zwierciadła ku kierunkowi *OZ* (jak na rys. 128., III.), wówczas obraz *P* pojawia się na podłodze, wówczas zatem światło odbite pochyla się ku dolnej części zwierciadła. W taki sposób odbija się światło.

## § 122. Rozpraszanie się światła.

Wystawmy sobie dwie powierzchnie: jedną *AB* (rys. 129.) gładką, równą, zbitą, jaką ma szkło, rtęć lub wypolerowany me-



Rys. 129.



Rys. 130.

tal; drugą *CD* (rys. 130.), nierówną, nieco ziarnistą lub chropowatą, jednem słowem pełną drobniutkich wyniosłości i zagłębień. Taką powierzchnię ma zwyczajnie papier, gips, drzewo (nie pokryte politurą), płótno; taką również ma skóra naszego ciała. Snop światła *P*, padającego na pierwszą powierzchnię, da podobny snop światła odbitego *O*, gdyż wszystkie jego promienie odbiją się jednakowo od powierzchni *AB*. Inaczej dzieje się na powierzchni *CD*. Jedne promienie odbiją się od wyniosłości tej powierzchni; inne pójdą głębiej, jak gdyby nieco wchodząc w głąb ciała; na powierzchni ciała utworzy się jak gdyby cienka skórka, do której światło wchodzi i z której napowrót wychodzi. Łatwo zrozumieć, że wychodzące światło nie utworzy już snopu, lecz rozproszy się we wszystkich kierunkach; będzie to światło *rozproszone*, jak zwykle mówimy. Światło np., które nazywamy »dziennem«, jest światłem słonecznem, rozproszonem w odbiciu od chmur i od wszystkich przedmiotów, jakie wkoło nas się znajdują.

Kiedy snop światła odbija się od zwierciadła *w ciemnym* pokoju, wówczas widzimy obraz odbity, ale samego zwierciadła dostrzedz prawie nie możemy; dowód to, że całe światło odbite szło w jednym tylko kierunku. Jeśli zwierciadło jest zapylone, widzimy je, przeciwnie, z różnych miejsc w pokoju; wtedy przynajmniej część światła się rozprasza. Podstawmy rękę, papier lub płótno

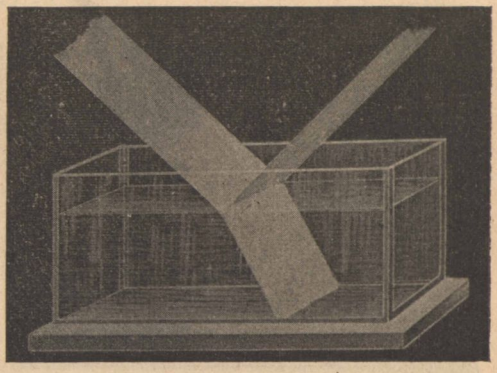
pod snop padającego światła; nigdzie nie zobaczymy wyraźnego odbitego obrazu, lecz pokój napełni się bladem, nieco mdłem światłem rozproszonem.

## § 123. Widzimy nie tylko świecące ale i oświetlone przedmioty.

Słońce wysyła światło, jest ciałem świecącem. Gwiazdy, jak Syryusz np., są również świecącemi ciałami. Ale planety i księżyc same przez się nie świecą; światło ich jest tylko światłem słonecznem odbitem. Płomień lampy, ogień na kominku, pasemko węgla w zasilanej przez prąd lampce żarowej (§ 110.), kawałek fosforu, robaczek świętojański — wszystko to są ciała świecące. Natomiast mnóstwo otaczających nas ciał nie świeci; ziemia np., kamienie, woda, przedmioty drewniane, metalowe, gliniane, sukno, płótno i t. d. są niewidzialne w ciemności i stają się widzialne dopiero, gdy są »oświetlone«, t. j. gdy światło pada na nie zkądinąd. A zatem widzimy wszystkie te ciała tylko dzięki światłu, które one odbijają albo rozpraszają. W ten sposób np. widzimy smugi światła, jeśli promienie słoneczne wchodzą do pokoju przez szczeliny i szpary i jeśli dużo pyłu unosi się w powietrzu, lub też, gdy puściliśmy umyślnie obłoczek dymu w drogę promieni słonecznych.

## § 124. Łamanie się światła.

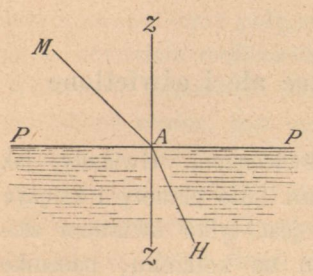
Puśćmy płaską smugę światła na powierzchnię wody, jak pokazuje rys. 131. Zobaczymy przebieg światła przez powietrze i wodę, jeśli wprowadzimy obłoczek dymu w powietrze a do wody dodamy nieco mleka. W powietrzu widzimy dwie smugi, jedną światła padającego, drugą — odbitego. W wodzie widzimy



Rys. 131.

również smugę, ale *nie stanowi ona linii prostej ze smugą, padającą na wodę*. Smuga światła, idąca przez wodę, jest mniej

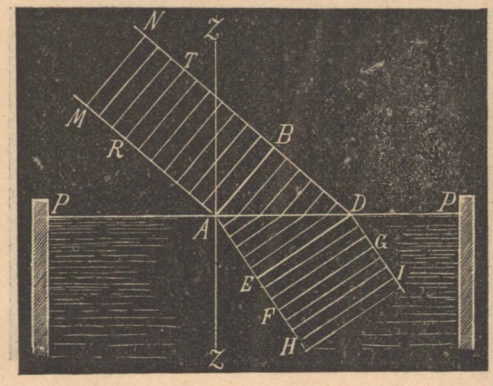
nachylona ku powierzchni wody, niż smuga, padająca na nią z powietrza. Poprowadźmy linią *PP* poziomo; niechaj ona wyobraża powierzchnię wody (rys. 132.). Poprowadźmy inną linią *ZZ* pionowo, więc prostopadle do pierwszej. Niechaj *MA* wyobraża kierunek światła, padającego na wodę; światło, idące przez wodę, ma wówczas kierunek *AH*, oddaliło się więc od *PP* a zbliżyło do prostopadłej *ZZ*. Powiadamy, że ***światło załamało się*** w przejściu z powietrza do wody.



Rys. 132.

## § 125. Dlaczego światło łamie się w przejściu z powietrza do wody.

Światło, jak powiedzieliśmy w § 118-ym, rozchodzi się z prędkością 300000 *km* na sekundę. Jest to prędkość zwyczajna, z jaką światło biegnie przez puste przestworza np. pomiędzy słońcem a ziemią, z jaką biegnie ono również w powietrzu. Lecz światło przez inne ciała biegnie powolniej; np., rozchodząc się *w wodzie*, przebywa tylko 225000 *km* w ciągu sekundy czyli trzy czwarte drogi, jaką przebywa w tymsamym czasie w powietrzu. Zatem, gdy w powietrzu światło ujdzie np. 4 centymetry, w wodzie ujdzie w tymsamym czasie tylko 3 centymetry.



Rys. 133.

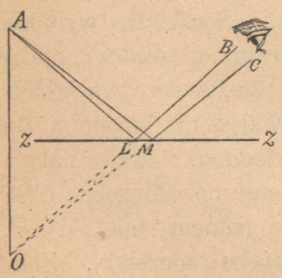
Ta mniejsza w wodzie niż w powietrzu prędkość światła jest przyczyną łamania się światła w przejściu z powietrza do wody. Przypuśćmy istotnie, że na powierzchnię wody *PP* (rys. 133.) pada snop, czyli wiązka promieni światła. Widzimy na rysunku dwa promienie tej wiązki, *MA* i *ND*, które stanowią jej granice. Światło biegnie ***naraz*** wszystkiemi promieniami wiązki, więc np. jest jednocześnie w *M* i w *N*, w *R* i w *T*, jednem słowem posuwa się ono naprzód jakby liniami: *MN*, *RT*, *AB* i t. d.

Taka linia nazywa się *czołem* wiązki świetlnej. Jeśli wiązka świetlna pada na wodę ukośnie (jak na rysunku), wówczas promień *MA* dobiega do wody wcześniej, niż promień *ND*; gdy pierwszy jest w *A*, drugi jest dopiero w *B*. Pierwszy promień wchodzi teraz do wody; drugi biegnie jeszcze przez powietrze. Światło biegnie powolniej w wodzie niż w powietrzu; w tym czasie, w którym drugi promień od *B* dojdzie do *D*, pierwszy promień odbędzie w wodzie drogę krótszą, a przeto czoło wiązki w wodzie nie będzie nachylone taksamo, jak *MN*, jak *RT*, jak *AB*, lecz cofnie się nieco wstecz stroną pierwszego promienia, czyli będzie położone tak, jak *ED* np. jak *FG*, jak *HI* i t. d. A zatem kierunek rozchodzenia się światła w wodzie będzie inny niż w powietrzu, będzie mianowicie bardziej zbliżony do prostej dolnej *AZ*, prostopadłej do powierzchni *PP*.

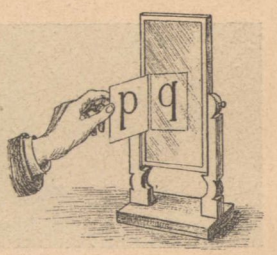
Przypuśćmy teraz, że światło pada na powierzchnię *PP* prostopadle (a więc tak, jak np. *ZA* na rys. 132-im). Czoła w wiązce padającej są wówczas równoległe do *PP* i wszystkie promienie światła wchodzą do wody w tejsamej chwili. A zatem teraz niema powodu, ażeby czoła wiązki nachyliły się w wodzie inaczej niż w powietrzu, ażeby przestały być równoległe do *PP*. Światło w wodzie pójdzie więc w poprzednim kierunku (w kierunku *AZ* na dół); światło nie załamuje się, gdy wchodzi do wody prostopadle do jej powierzchni.

## § 126. Niektóre skutki odbijania i łamania się światła.

Przypuśćmy, że promień światła *AL* (rys. 134.) odbija się w *L* i idzie ku nam wzdłuż *LB*. Inny promień *AM* odbije się w *M* i pójdzie ku nam wzdłuż *MC*. Promienie *LB* i *MC* rozchodzą się nieco, podobnie jak rozchodziły się *AL* i *AM*, więc sprawią w oku takie wrażenie, jak gdyby były wyszły z miejsca *O* poza lustrem; zobaczymy w *O* obraz punktu *A*. W ten sposób powstają obrazy odbite, jakie widujemy w zwierciadłach, szybach lustrzanych lub na powierzchniach wód. Im dalej od zwier-



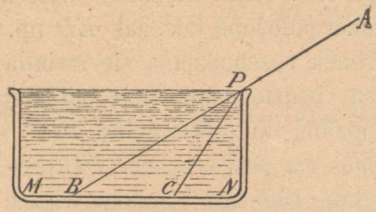
Rys. 134.



Rys. 135.

ciadła *ZZ* znajduje się punkt *A*, tem dalej od niego widzimy obraz *O* tego punktu; łatwo więc zrozumieć, że obraz odbity pewnego przedmiotu będzie położony względem powierzchni zwierciadła odwrotnie niż sam przedmiot; np. litera *p* będzie wyglądała w odbiciu jak litera *q* (rys. 135. na str. 113.).

Rzeczy mają się podobnie przy łamaniu się światła. Wystawmy sobie np., że światło *wychodzi* z wody i że linia *HA* (rys. 132.) jest drogą jego przez wodę; wówczas w przejściu z wody do powietrza załamie się ono przeciwnie niż wprzódy, t. j. oddali się od linii pionowej *AZ* i pójdzie w powietrze, jak wskazuje linia *AM*. Narysujmy podziałkę na dnie prostokątnego pudełka (rys. 136.). Z miejsca *A* widzimy wówczas część podziałki *MB*; resztę *BN* zasłania ścianka *NP* samego pudełka. Napełnijmy pudełko wodą i patrzmy z tegosamego miejsca *A*, z którego spoglądaliśmy wprzódy; dzięki łamaniu się światła widzimy dalszą część podziałki, sięgającą np. do *C*.

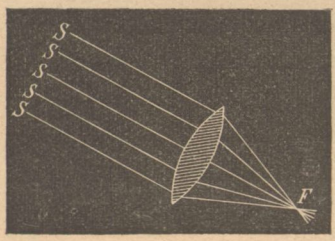


Rys. 136.

## § 127. Szkło palące.

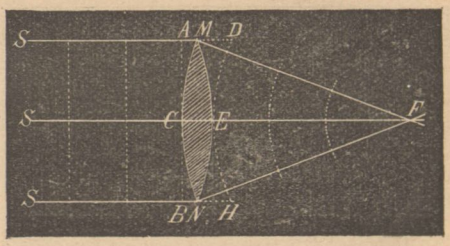
W szkle również światło biegnie powolniej niż w powietrzu, więc załamuje się w przejściu z powietrza do szkła podobnie, jak w przejściu do wody.

Weźmy t. zw. »szkło palące« czyli soczewkę wypukłą, wyrobioną ze szkła. (Soczewka wypukła jest to ciało o takiej *postaci*, jaką otrzymalibyśmy, złożywszy dwa szkiełka od zegarka wklęsłemi stronami do siebie). Jak wiadomo, szkło palące gromadzi promienie np. słoneczne *SSS* (rys. 137.) w jednem miejscu *F*, w t. zw. *ognisku* soczewki. Zbliżajmy do soczewki ćwiartkę papieru po stronie odwróconej od słońca; w odległości *F* zobaczymy punkt bardzo jasny, w którym papier niebawem się zwęgli; zapałka tam umieszczona zapali się. A zatem



Rys. 137.

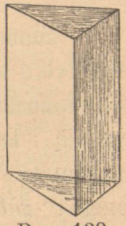
w punkcie $F$ skupia się nie tylko światło, lecz i ciepło słoneczne. Co się tu dzieje? Wystawmy sobie wiązkę słonecznych promieni $SA$, $SC$, $SB$, padającą na soczewkę $MN$, jak okazuje rys. 138. Widzimy tam (kropkowane) czoła tej wiązki; jednem z nich jest $ACB$. Kiedy promień $SC$ jest w $C$ i wbiega do szkła, promień $SA$ jest w $A$ i biegnie przez powietrze. A zatem, kiedy pierwszy promień dojdzie do $E$, drugi promień odbędzie drogę dłuższą, dojdzie np. do $D$. Łatwo więc zrozumieć, że czoło wiązki zakrzywi się; zamiast być płaskie jak wprzódy, będzie, jak $DEH$, wklęsłe ku $F$. Lecz skoro pierwsze czoło jest zakrzywione i wklęsłe ku $F$, przeto i następne (które na rysunku widzimy kropkowane) będą zakrzywione i wklęsłe ku $F$; innemi słowy, światło od wszystkich części soczewki pójdzie ku $F$ i skupi się w $F$.



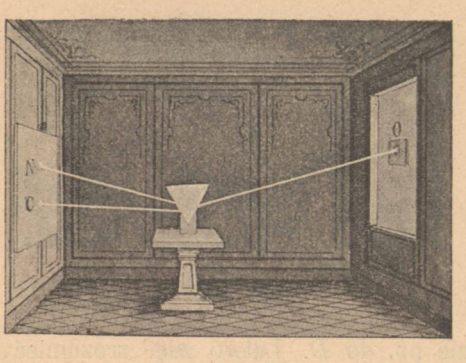
Rys. 138.

## § 128. Rozszczepianie się światła.

Przekonamy się teraz, że promień zwykłego światła, np. słonecznego, jest ***mięszaniną promieni, mających rozmaite barwy.*** Weźmy ***pryzmat*** (czyli graniastosłup trójkątny) szklany, jaki widzimy na rys. 139. Zastawmy otwór w zasłonie przed oknem, zkąd pada snop promieni słonecznych do zaciemnionego pokoju, szkłem, zabarwionem na czerwono i rzućmy snop czerwonych promieni na pryzmat, jak pokazuje rys. 140. Promienie łamią się w pryzmacie i dają obraz czerwony w miejscu $C$ na tablicy. Nie zmieniając położenia otworu, pryzmatu, ani tablicy, zasłońmy otwór szkłem niebieskiem, zamiast jak wprzódy czerwonem. Promienie niebieskie dadzą wówczas na tablicy obraz niebieski *nie* w temsamem miejscu, w którem tworzył się czerwony, lecz w *innem* miejscu $N$. Widocznie ***światło niebieskie łamie się znaczniej niż czerwone.*** Przypuśćmy teraz, że rzucamy na pryzmat ***mięszaninę*** promieni czerwonych i niebieskich; mięszanina ta rozdzieli się oczywiście w pryzmacie na swe części składowe, mające nieje-


Rys. 139.

dnakową łamliwość. Otrzymalibyśmy więc na tablicy dwa obrazy, czerwony i niebieski, pierwszy pod drugim. Tak dzieje się właśnie, gdy zwykłe światło słoneczne pada na pryzmat. Światło to rozdziela się wówczas na swe części składowe lub, jak mówimy, *rozszczepia się*. Z pomiędzy promieni, zawartych w świetle słonecznem, najmniejszą łamliwość mają promienie czerwone, największą łamliwość mają fioletowe. Widzimy więc na tablicy szereg barwnych obrazów: widzimy naprzód ciemnoczerwony, który stopniowo przechodzi w pomarańczowy, ten przechodzi w żółty, dalej w zielony, w niebieski, w błękitny i nakoniec w fioletowy. Jest tam właściwie niezmiernie wiele odcieni, lecz byłoby trudno wyraźnie wyróżnić więcej, niż wymienionych siedm zabarwień. Szereg taki barwnych obrazów nazywa się *widmem* słonecznem; przypomina on *tęczę*, bo też tęcza powstaje na niebie w sposób podobny, przez łamanie się światła w drobnych kropelkach wody.



Rys. 140.

## § 129. Niewidzialne promienie.

Słońce nie tylko świeci ale i grzeje; a zatem przysyła nam nie tylko światło lecz także i ciepło. Wprowadźmy czuły termometr do słonecznego widma: przekonamy się, że promienie różnych barw grzeją, lecz czerwone grzeją bardziej niż np. niebieskie. Użyjmy pryzmatu, wyrobionego z soli kamiennej, zamiast pryzmatu szklanego; *zobaczymy* widmo podobnie jak poprzednio, ale możemy dowieść, że jakieś *niewidzialne promienie padają i poza jego końcem czerwonym*, tam, gdzie nie widzimy już światła: albowiem termometr ogrzewa się tam, nawet bardziej, niż w widmie widzialnem. Promienie, które padają poza czerwony koniec widma, nazywają się »pozaczerwonemi«. Mają one widocznie łamliwość jeszcze mniejszą niż promienie czerwone; na oko nasze nie działają, ale działają na termometr. Weźmy dalej pasemko bibuły, napojonej roztworem azotanu srebra (lapisu); bibuła taka czernieje na słońcu.

Czernieje ona również w różnych częściach widma słonecznego, w fioletowej prędzej niż np. w zielonej; ale czernieje też i *poza* fioletowym końcem widma, gdzie nie widzimy już światła, a nawet czernieje tam prędzej niż w widmie widzialnem. Z tego wszystkiego widzimy, że *światło jest tylko jednym ze skutków,* jakie sprawiać mogą promienie słoneczne.

Rozgrzany kawałek żelaza wysyła podobnież rozmaite promienie: widzialne i niewidzialne; zależy to od jego temperatury. Gdy jeszcze nie jest bardzo znacznie ogrzany, wysyła tylko pozaczerwone promienie, grzejące lecz nie świecące; powiadamy wówczas, że żelazo promieniuje ciepło, ale nie świeci. W temperaturze wyższej żelazo poczyna wysyłać promienie coraz większej łamliwości. Więc naprzód wysyła promienie czerwone; powiadamy wówczas: »żelazo jest rozgrzane do czerwoności«. Następnie wysyła i dalsze promienie: wówczas wydaje się nam »rozgrzane do białości«.

## § 130. Barwa jest tem dla światła, czem wysokość dla dźwięku.

Gdy na sekundę udzielamy powietrzu około trzydziestu regularnie powtarzających się wstrząśnień, wówczas, jak wiadomo z § 68., *zaczynamy słyszeć;* słyszymy mianowicie pewien dźwięk bardzo nizki. Udzielajmy wstrząśnień kilka tysięcy w ciągu sekundy a usłyszymy dźwięk pewien *wysoki;* udzielajmy ich więcej (w tymsamym czasie jednej sekundy) a dźwięk stanie się wyższy i wyższy i nareszcie *przestaniemy go słyszeć.*

We własnościach promieni słonecznych znajdujemy teraz podobne stosunki. Promienie o łamliwości małej istnieją, chociaż ich nie widzimy; moglibyśmy o nich powiedzieć, że stanowią »ciemne światło«. Gdy łamliwość promieni jest taka, jaką mają promienie czerwone, *zaczynamy widzieć;* widzimy mianowicie barwę czerwoną. Gdy łamliwość coraz jest większa, widzimy dalsze barwy; gdy staje się taka, jaką mają fioletowe promienie, jeszcze widzimy, ale zaraz dalej *przestajemy widzieć.* A zatem *barwa* jest czemś takiem dla *światła,* czem jest dla *dźwięku* jego *wysokość.*

## § 131. Promieniowanie.

Powiadamy więc teraz poprawniej: od słońca, od gwiazd, od płomieni i od ciał ogrzanych rozbiega się na wszystkie strony z nie-

zmierną prędkością *promieniowanie*. Część tego promieniowania, jeśli trafi pośrednio czy bezpośrednio do oka, stanie się widzialna a więc będzie tem, co nazywamy *światłem*. Lecz wszelkie promieniowanie, jeśli w jakiembądź ciele zatrzyma się choć w części, jeśli nie przejdzie przez nie całkowicie nawskróś, zamieni się zaraz na ciepło lub wzbudzi działanie chemiczne. Ciepło jest pewnym rodzajem energii; budzenie działań chemicznych jest też gromadzeniem energii. Więc *promieniowanie jest szczególnego rodzaju energią*, która może płynąć z niezmierną prędkością czy to przez puste przestworza pomiędzy gwiazdami, czy przez ciała najbardziej gęste i zbite.

---

# ZAKOŃCZENIE.

## § 132. O materyi.

Przypuśćmy, że stół jest z dębiny, szafa z olszyny a deska z sośniny. Powiadamy że dębina, olszyna, sośnina — to różne gatunki *drewna*. Co znaczy więc: »drewno«? »Drewno« nie oznacza ani dębowego, ani bukowego, ani topolowego drewna, ani żadnego innego określonego gatunku; mówiąc »drewno«, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy różnych jego gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o »drewnie«, stosuje się zarówno do wszystkich jego gatunków.

Podobnie mówimy, że np. gwóźdź i hak są z żelaza, że grosz i rondelek są z miedzi, że tu mamy kawałek węgla, tam kawałek siarki lub kroplę rtęci. Powiadamy, że rtęć, siarka, węgiel, miedź i żelazo są to różne gatunki albo rodzaje *materyi*. Co więc znaczy »materya«? Nie oznacza ona rtęci, ani siarki, węgla, żelaza i miedzi, ani żadnego innego określonego gatunku materyi. Mówiąc »materya«, mamy na myśli *którykolwiekbądź* z pomiędzy jej różnych gatunków. Widocznie to, co chcemy powiedzieć o »materyi«, stosuje się zarówno do wszystkich gatunków materyi. Albowiem, jak widzieliśmy, bardzo wiele prawd naukowych stosuje się zarówno do żelaza, do rtęci, do wszystkich (jednem słowem) gatunków materyi; więc powiadamy, że te prawdy naukowe, czyli prawa, stosują się w ogóle *do materyi*.

## § 133. O energii.

Z codziennego doświadczenia znamy różne rodzaje materyi; w Nauce Fizyki zaś poznaliśmy rozmaite rodzaje *energii*. Przekonaliśmy się (w rozdziale I.), że ciężar podniesiony ma pewnego rodzaju energią; że sprężyna skręcona i rzucony kamień mają pewnego rodzaju energią. Kula, wystrzelona z armaty, ma energią, ponieważ porusza się i ma masę. Podobnież ziemia nasza ma olbrzymią energią, ponieważ porusza się i ponieważ, powtóre, słońce ją przyciąga. Wiemy dalej (z rozdziału II-go), że słup wody ma pewną energią i że ma ją podobnież słup atmosferycznego powietrza; że powietrze i woda mogą przenosić i w różne strony roznosić energią. Przekonaliśmy się (w rozdziale III-cim), że woda falująca ma energią i że ma ją podobnież powietrze, w którem rozchodzi się głos. W rozdziale IV-tym widzieliśmy, że ciepło nie jest czem innem, jak pewnym rodzajem energii. Poznaliśmy (w rozdziale V-tym) prąd elektryczny, który powstaje z energii i ma też dlatego energią. Nakoniec, w rozdziale ostatnim mówiliśmy o promieniowaniu, jako o szczególnym rodzaju energii, mogącym biedz z niezmierną prędkością przez materyą zarówno jak próżnię. A więc odnajdywaliśmy wszędzie różne rodzaje *energii*, zawsze tejsamej, jednej, jedynej.

KONIEC

# Wykaz rzeczy.

Z DRUKARNI OSSOLINEUM WE LWOWIE
POD ZARZĄDEM JULIUSZA BIRKENMAIERA.