

# Doświadczenia Fizyczne

---

N. 04

K 2/2e  
7/842

1

21 ~~Jan 11~~ Mr. D4.

98<sup>e</sup><sub>+</sub>

15-



# DOŚWIADCZENIA FIZYCZNE

BEZ PRZYRZĄDÓW.

# Doświadczenia Fizyczne bez Przyrządów.

*Ze 100 rysunkami w tekście.*

---

Ułożył

STANISŁAW KRAMSZTYK.

---

Wydanie II.

Nakładem i Drukiem  
TOW. AKC. S. ORGELBRANDA SYNÓW.

Jadwiga Jaroszowa  
księgarnia  
Rzeszów.

✓

Дозволено Цензурою.

Варшава, 5 Декабря 1903 года.



53(02.053, 2)



73

S

2.

01475-21-4-115

X

## SPIS RZECZY.

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Przedmowa . . . . .                                      | V  |
| I. Nieprzenikliwość i dziurkowatość . . . . .            | 1  |
| II. Dziurkowatość i ściśliwość . . . . .                 | 4  |
| III. Twardość ciał . . . . .                             | 8  |
| IV. Korek na ostrzu szpilki . . . . .                    | 12 |
| V. Spadek ciał . . . . .                                 | 17 |
| VI. Prędkość nabyta . . . . .                            | 29 |
| VII. Siła odśrodkowa . . . . .                           | 30 |
| VIII. Łańcuszek na nitce . . . . .                       | 31 |
| IX. Bumerang . . . . .                                   | 35 |
| X. Ciśnienie cieczy z dołu ku górze . . . . .            | 38 |
| XI. Ciśnienia boczne cieczy . . . . .                    | 42 |
| XII. Ciała pływające . . . . .                           | 45 |
| XIII. Jajko w wodzie czystej i w wodzie słonej . . . . . | 50 |
| XIV. Równowaga ciał pływających . . . . .                | 53 |
| XV. Motor hydrauliczny z łupin orzechowych . . . . .     | 57 |
| XVI. Spójność cieczy . . . . .                           | 61 |
| XVII. Igła pływająca . . . . .                           | 65 |
| XXIII. Rurki włoskowate . . . . .                        | 69 |
| XIX. Napięcie powierzchniowe cieczy . . . . .            | 73 |

## VI

|          |                                                            |     |
|----------|------------------------------------------------------------|-----|
| XX.      | Błonka ciekła . . . . .                                    | 80  |
| XXI.     | Drobne objawy włoskowatości . . . . .                      | 85  |
| XXII.    | Waż Faraona . . . . .                                      | 93  |
| XXIII.   | Rozpuszczanie . . . . .                                    | 100 |
| XXIV.    | Endosmoza . . . . .                                        | 102 |
| XXV.     | Ciśnienie powietrza. . . . .                               | 105 |
| XXVI.    | Półkule magdeburskie. . . . .                              | 108 |
| XXVII.   | Rozpryskiwacz . . . . .                                    | 115 |
| XXVIII.  | Pierścienie wirowe . . . . .                               | 118 |
| XXIX.    | Drgania głosowe . . . . .                                  | 122 |
| XXX.     | Drganie kamertonów. . . . .                                | 125 |
| XXXI.    | Współdźwięczność. . . . .                                  | 128 |
| XXXII.   | Jama ustna jako rezonator . . . . .                        | 132 |
| XXXIII.  | Płomień drgający . . . . .                                 | 136 |
| XXXIV.   | Rozszerzalność ciał. . . . .                               | 139 |
| XXXV.    | Waga do wykazania rozszerzalności prętów . . . . .         | 143 |
| XXXVI.   | Prądy powietrzne . . . . .                                 | 146 |
| XXXVII.  | Wrzenie wody i topienie cyny w pudełku papierowem. . . . . | 150 |
| XXXVIII. | Topienie lodu pod wpływem ciśnienia . . . . .              | 155 |
| XXXIX.   | Przewodnictwo ciepła . . . . .                             | 159 |
| XL.      | Różne przewodnictwo-różnych metali . . . . .               | 162 |
| XLI.     | Ciepło właściwe . . . . .                                  | 165 |
| XLII.    | Zasada motorów parowych czyli maszyn parowych . . . . .    | 169 |
| XLIII.   | Mały motor gazowy. . . . .                                 | 173 |
| XLIV.    | Ciemnia optyczna bez szkieł. . . . .                       | 176 |
| XLV.     | Fotometr . . . . .                                         | 181 |
| XLVI.    | Prawo odbijania światła. . . . .                           | 185 |
| XLVII.   | Dwa zwierciadła . . . . .                                  | 190 |

## VII

|         |                                                           |     |
|---------|-----------------------------------------------------------|-----|
| XLVIII. | Załamanie światła . . . . .                               | 193 |
| XLIX.   | Karafka wody jako soczewka wypukła. . . . .               | 196 |
| L.      | Linje ogniskowe czyli kaustyczne. . . . .                 | 201 |
| LI.     | Całkowite odbicie wewnętrzne . . . . .                    | 205 |
| LII.    | Zniknięcie szpilki . . . . .                              | 212 |
| LIII.   | Widmo słoneczne . . . . .                                 | 214 |
| LIV.    | Trwanie wrażeń w oku . . . . .                            | 217 |
| LV.     | Koła wirujące . . . . .                                   | 221 |
| LVI.    | Zwierciadło w sztukach czarodziejskich . . . . .          | 226 |
| LVII.   | Magnetyzm . . . . .                                       | 231 |
| LVIII.  | Fryga magnetyczna. . . . .                                | 235 |
| LIX.    | Linje magnetyczne . . . . .                               | 237 |
| LX.     | Wahadełko elektryczne . . . . .                           | 241 |
| LXI.    | Wzajemne odpychanie ciał naelektryzowanych . . . . .      | 246 |
| LXII.   | Elektryczność na usługach sztuk czarodziejskich . . . . . | 249 |





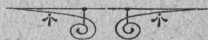
## PRZEDMOWA.

Młodych czytelników, którym się książka ta do rąk dostanie, winienem ostrzedz, że nie jest to książka „do czytania”; nie jest to nawet, ściśle mówiąc, książka „do nauki”, — powiedziałbym, że jest ona raczej książką do zabawy, byśmy się tylko porozumieli, co przez zabawę pojmować należy.

Jedni lubią czytać powieści, inni przekładają opisy podróży dalekich; wielu unosi się nad poezją, a niektórzy chwile wolne poświęcają rozwiązywaniu zadań matematycznych. Są podobno i tacy, co zgoła do czytania ochoty nie mają, a czas swobodny beczynn timer bezmyślnie spędzają. Ale i czytać całymi godzinami

Aby obszerność książki zbyt nie powiększać, podane są tu objaśnienia jak najtreściwsze. Kto się fizyki uczył, dla tego będą one dostateczne; kto by zaś potrzebował wyjaśnień dokładniejszych, znajdzie je w podręcznikach fizyki: dla poczynających wystarczą „Wiadomości początkowe z fizyki“, (część I, wyd. 3, 1903, cz. II, wyd. 3, 1904).

Doświadczenia tu zebrane zaczerpnięte są z różnych źródeł, po większej części zamieszczone już były w piśmie „Wszechświat“. Doświadczenia tyjące się włoskowatości mogą być przydatne i dla czytelników lepiej już fizykę znających, dla których tedy nieco dokładniejsze wyjaśnienia podane są w odsyłaczach.



## I.

## Nieprzenikliwość i dziurkowatość.

Jeżeli ciało jakiegokolwiek zajmuje oznaczone miejsce w przestrzeni, to współcześnie żadne inne ciało w temże miejscu znajdować się nie może. Własność tę ciał nazywamy nieprzenikliwością, a uważamy ją za niezbędną, bo nie możemy sobie nawet wyobrazić ciała, któreby jej nie posiadało.

Niektóre wszakże zjawiska życia codziennego wydawać się nam mogą z zasadą tą sprzeczne. Gdy po umyciu wycieramy się ręcznikiem, ręcznik wilgotnieje; znaczy to, że zabiera wodę, że zatem woda i płótno zajmują jedno i toż samo miejsce w przestrzeni. Wyjaśnienie wszakże tego pozornego wyjątku z powszechnej zasady nieprzenikliwości dla nikogo trudności nie przedstawi. Domyslamy się, że pomiędzy włó-

Fizyka bez przyrządów.

kienkami płótna znajdują się odstępki, szparki, otworki czyli pory, a woda właśnie te tylko otworki wypełnia; w przestrzeni, w której znajduje się włókienko, czą-

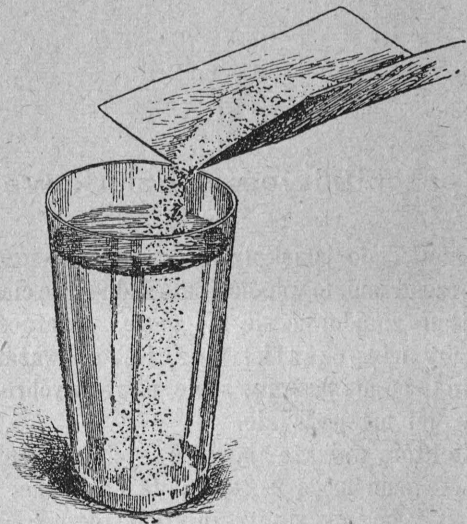


Fig. 1.

steczka naszej tkaniny, woda pomieścić już się nie zdoła.

Jeżeli więc mówimy o nieprzenikliwości ciał, to widzimy, że własność tę przyznawać jedynie możemy

najdrobniejszym ich cząsteczkom, a spostrzeżenia prowadzą do wniosku, że i d z i u r k o w a t o ś ć jest również ogólną własnością ciał.

Odstępy czyli pory między cząsteczkami ciał są wprawdzie tak drobne, że ich najczęściej zgoła nie dostrzegamy, nawet przy pomocy szkieł silnie powiększających, istnienie ich wszakże stwierdzić możemy wielu doświadczeniami.

Do szklanki napelnionej ciepłą wodą dosypać możemy bardzo znaczną ilość miążkiego cukru (fig. 1); cukier się w wodzie rozpuści, rozejdzie się po przestrzeni zajętej przez wodę, a pomimo to objętość jej wyraźnie się nie powiększy. Skoro więc zgadzamy się, że cząsteczki wody są nieprzenikliwe, to proste to doświadczenie przekonywa o dziurkowatości wody. Cukier rozdzielił się przez rozpuszczenie na drobnutki, niedostrzegalne cząsteczki, a cząsteczki te zajęły miejsce między cząsteczkami wody.—Do worka wypełnionego kamieniami albo kawałami węgla dosypać jeszcze możemy sporo piasku; daje nam to obraz tego, co się dzieje przy rozpuszczaniu cukru w wodzie.





## II.

### Dziurkowatość i ściśliwość.

Znacznych nawet rozmiarów gąbkę ścisnąć możemy tak, że zajmie obszar bardzo niewielki. Mówimy, że gąbka jest ciałem bardzo ściśliwym, a pochodzi to stąd, że pomiędzy jej cząsteczkami istnieją odstępki bardzo wielkie; gdy ją ugniatamy, cząsteczki zbliżają się ku sobie, odstępki między nimi zwężają się, cała zatem objętość gąbki ulega znacznemu zmniejszeniu.

Podobnie, jak gąbka, ściśliwe są i inne ciała stałe, chociaż w ogólności w mierze daleko słabszej, — ażeby objętość ciała zmniejszyć, trzeba do tego nieraz ciśnienia bardzo wielkiego. Każda jednak moneta, każdy medal świadczy, że nawet metale są ściśliwe, boć prze-

cięż wszelkie napisy i znaki na krążkach metalowych wybijają się przez silne uderzanie stemplem.

Bez porównania mniej, aniżeli ciała stałe, ściśliwą jest woda i wszelkie w ogólności ciecze. Sądono nawet długo, że ciecze zgoła są nieściśliwe; w ostat-

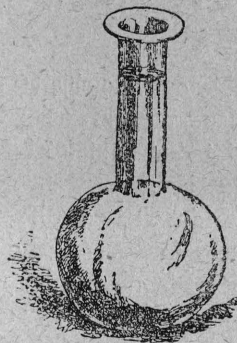


Fig. 2.

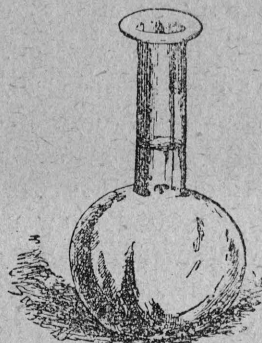


Fig. 3.

nich dopiero czasach, gdy poddano je ciśnieniu niesłychanie potężnemu, poznano, że, chociaż w stopniu bardzo nieznacznym, można jednak objętość ich nieco zmniejszyć.

Z powodu tak słabej, prawie żadnej ściśliwości cieczy, możnaby mniemać, że cząsteczki ich zupełnie



Miejska Biblioteka Publiczna  
w Białymstoku

### III.

#### Twardość ciał.

Różne ciała posiadają rozmaitą twardość; mówimy, że są ciała twardsze i miększe. Ciało jest twarde, gdy z trudnością rysować się daje; djamentem rycemy powierzchnię szkła, czyli djament rysuje szkło, tak, jak znów szkło rysuje marmur,—djament więc twardszy jest od szkła, a szkło od marmuru.

Metale w stanie czystym posiadają w ogólności małą twardość; każdemu wiadomo, że ołów i cynę można rysować nawet paznokciem. I złoto jest także metalem bardzo miękim, dla tego zupełnie czyste nigdy się na wyroby nie używa. Poznano jednak, że staje się ono znacznie twardszem, gdy jest stopione z innym

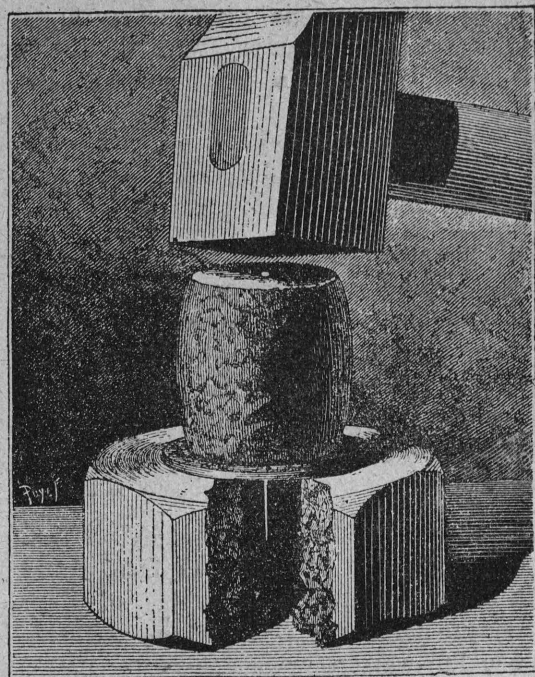


Fig. 4.

metalem, stąd wyroby złote zawierają zawsze większą lub mniejszą ilość miedzi. Żelazo, z którego wyrabia się tyle niezbędnych przedmiotów, również nie używa

się nigdy w stanie zupełnie czystym; czy to jest żelazo lane, czy żelazo kute, czy wreszcie stal, zawsze znajduje się w niem pewna, choć niewielka ilość węgla. W szczególności zaleca się twardością stal; ostrze stalowe scyzoryka rysuje miedź, a dla tego też igłą stalową można nawet na wylot przebić monetę miedzianą.

Stal wszakże obok swej twardości jest krucha, gdy więc usiłujemy wbić igłę w monetę, jak gwóźdź w deskę, igła łamie się przy każdej próbie. Idzie więc tylko o to, aby ją od takiego kruszenia uchronić, a w tym celu należy ją osadzić w korku, któryby miał z nią jednakową wysokość; igła utrzymywana w takiej osadzie korkowej nie wygina się w żadną stronę, i można ją silnie uderzyć z góry bez obawy złamania.

Iglę więc z korkiem umieszczamy na danej monecie miedzianej, albo jakiegokolwiek innej, którą opiekamy na dwu stosownych podporach, jak widzimy na fig. 7. Można ją zresztą położyć i na zwykłym stole kuchennym lub warsztatowym, a wtedy młotkiem dostatecznie ciężkim silnie uderzamy korek. W każdym razie doświadczenie to wymaga pewnej wprawy i udaje się zwykle dopiero po kilku próbach. Igła, w ten sposób wbita w monetę, silnie do niej przylega.

Ciałem wytrzymałem nazywamy ciało, które trudno daje się rozerwać lub przełamać. Nie należy sądzić, że wytrzymałość znaczy toż samo co twardość. Ta ostatnia bowiem objawia się jako opór na powierzchni ciała, gdy wytrzymałość stanowi opór przeciwko rozdzieleniu części w całym ciele.



ło nie upadało, czyli pozostawało w równowadze, trzeba, aby jego środek ciężkości był podparty, aby się

#### IV.

#### Korek na ostrzu szpilki.

Każdemu znana jest zabawka, przedstawiająca figurkę, która bardzo swobodnie stoi na jednej nóżce, jak to widzimy na załączonej rycinie (fig. 1) Kołysze się w jedną lub drugą stronę, ale nigdy nie upada. Dziwimy się słusznie takiemu bezpieczeństwu figurki, wiemy bowiem, że ciała podparte stoją tem bezpieczniej, im większą mają podstawę; gdy podstawa jest wązka, nie mogą się utrzymać ani na chwilę, albo się też za najlżejszem potrąceniem wywracają.

Jestto rzecz bardzo jasna, każde bowiem ciało posiada swój środek ciężkości, to jest punkt, w którym niejako ciężar całego ciała jest skupiony; aby więc cia-

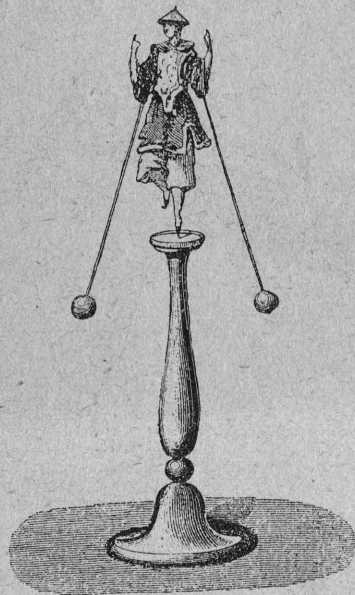


Fig. 5.

zatem znajdował nad podstawą. Gdy podstawa jest szeroka, ciało może się dosyć znacznie nawet przechy-



lać, a środek ciężkości jeszcze się z nad podstawy nie usuwa, ciało zatem wraca do swego położenia i nie upada. Gdy zaś podstawa jest bardzo wązka, już za



Fig. 6.

najslabszem pochyleniem środek ciężkości poza nią się wysuwa, a ciało musi się obalić. Figurka jednak nasza stoi dobrze na jednej nóżce, nieledwie na druciku.

A co więcej nas jeszcze dziwi, dźwiga ona u nóg dwie ciężkie kule,—nietylko więc sama pozostaje w tak osobliwej równowadze, ale nadto utrzymuje dwa ciężary, i to dosyć znaczne. Spróbujmy wszakże kule te odczepić, a figurka natychmiast upadnie.

Utrzymuje się więc w równowadze jedynie przy pomocy tych kulek. Rzeczywiście, w porównaniu z figurką mają one ciężar dosyć znaczny, a stąd przesuwają jej środek ciężkości ku dołowi tak dalece, że przypada on nawet niżej aniżeli punkt, w którym się figurka o podpórkę wspiera. Środek ciężkości znajduje się więc niżej, aniżeli punkt podpory, a figurka nie jest naprawdę podparta, ale raczej zawieszona. Ciało zaś w ten sposób zawieszone, choć się rozbuja, wraca zawsze do początkowego swego położenia, i to nas bynajmniej nie dziwi. I figurka więc nie łatwo z podpórki swej spaść może, a bezpieczeństwo jej dla tego tylko uważamy za osobliwe, że wydaje się nam podpartą, gdy w samej rzeczy jest zawieszona.

Tak samo i korka na ostrzu szpilki albo drucika ustawić nie zdołamy; gdy wszakże z obu stron wbijemy weń dwa widelce, utrzyma się na ostrzu tem bezpiecznie, bo znów będzie już zawieszony, chociaż wydaje się nam podpartym. Aby przekonać widza, że korek nie jest na szpilkę wbity, można na ostrzu umieścić

cić monetę, a na niej dopiero ustawić korek z widelcami. Zamiast widelców użyć można dwu jednakich scyzoryków.

Można też korek ten ustawić na brzegu butelki (fig. 2), a chociaż z niej ciecz przelewamy i wstrząsamy nią, korka nie strącimy.



## V.

### Spadek ciał.

Wykrójmy z papieru krążek wielkości trojaka lub innej monety; następnie, wzięwszy ów krążek w jedną, a monetę w drugą rękę, spuścimy je jednocześnie z jednakowej wysokości na stół, jak widzimy na rycinie (fig. 7). Oczywiście moneta spadnie prędzej, aniżeli krążek papierowy, i to dziwić nas zgoła nie będzie, widzimy bowiem zwykle, że ciała cięższe spadają prędzej, aniżeli lżejsze. Jest to wszakże spostrzeżenie tylko pozorne.

Tenże sam bowiem krążek umieścimy teraz na monecie i spuścimy je razem, jak wskazuje fig. 8, a spadną na stół również razem, biegną więc jednakowo szybko. Gdyby w istocie ciała ciężkie spadały prędzej aniżeli lekkie, krążek papierowy odłączyłby się od mo-

nety, pozostałby poza nią, spadłby później; skoro spadł z nią razem, znaczy to, że ciała ciężkie i lekkie spadają z jednakową szybkością.

Skądto jednak pochodzi, że w warunkach zwykłych ciała lekkie w spadku swoim się opóźniają? Wytlómaczy nam to zwyczajna kartka papieru. Spuścimy

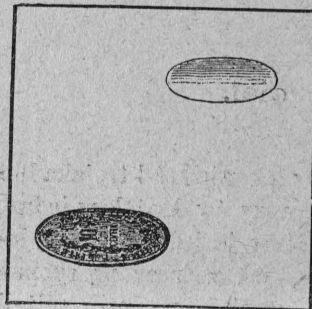


Fig. 7.

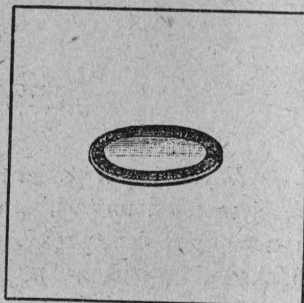


Fig. 8.

ją raz w położeniu poziomem, a następnie w położeniu pionowym, to jest tak, aby brzegiem zwrócona była ku dołowi. W obu razach ma ona przecież ciężar jednaki, tymczasem w drugim razie spada znacznie prędzej. Różnica więc nie może pochodzić od samej kartki, ale zależy od okoliczności zewnętrznych, a mianowicie od oporu powietrza. Gdy ćwiartka papieru spa-

da brzegiem, łatwiej przerzyna powietrze i biegnie prędzej; gdy zaś, biegnąc ku dołowi, ma położenie płaskie, cząstki powietrza zwolna się pod nią usuwają, spadek jej zatem opóźnia się i wymaga czasu dłuższego.

Tak samo i ciała ciężkie dla tego tylko spadają prędzej, że łatwiej przedzierają się przez powietrze, łatwiej opór jego pokonywają. Gdy paperek spoczywa na monecie, już oporu powietrza bezpośrednio nie doznaje i wraz z monetą na stół przybywa.

Gdyby więc nie było powietrza dookoła ziemi, ciała ciężkie i lekkie spadałyby rzeczywiście z jednakową szybkością, i tak też dzieje się rzeczywiście w próżni, to jest w miejscu, skąd powietrze usunięto za pomocą stosownej pompy.

Mogłoby się nam zdawać, że ciało ciężkie powinnoby prędzej na ziemię spadać, bo jest silniej przez nią przyciągane; ale cięższem jest dla tego, że ma więcej cząstek, czyli większą masę, stawia tedy większy opór sile ciężkości.

Dzieje się tu toż samo, co z wozem obładowanym, ciągnionym przez konia; gdy wóz obejżymy dwa razy silniej, a zarazem przyczepimy drugiego konia, toczyć się on będzie z taką samą szybkością, jak poprzednio.





## VI.

### Prędkość nabyta.

Dopóki piłka leży na podłodze, na stole, znajduje się w stanie spoczynku, nie posiada wcale prędkości, albo, innemi słowy, posiada prędkość żadną czyli prędkość zero. Gdy ją trącimy, ciśniemy, przechodzi ona ze stanu spoczynku do ruchu, posuwa się, posiada już pewną prędkość, którą nadaliśmy jej ruchem ręki. Strzała wypuszczona z łuku bieży prędzej, sprężystość bowiem wzbudzona przez wyprężenie struny trąca ją silniej, aniżeli ręka nasza piłkę; z daleko zaś większą jeszcze szybkością wybiega pocisk ze strzelby, prężność bowiem gazów, powstających ze spalania prochu, gwałtownie go naciska i nadaje mu prędkość znaczniejszą.

Piłka więc, zarówno jak strzała i pocisk, posiadają pewną prędkość nadaną, mniejszą lub większą, a to zależnie od siły rzutu.

Inaczej dzieje się wszakże, gdy kamień spada swobodnie. Nie rzuciliśmy go przecież, nie nadaliśmy mu żadnej zgoła prędkości, wypuściliśmy go tylko z ręki, ku dołowi pociąga go ziemia. Ziemia więc nadaje ciału spadającemu pewną prędkość, która się wciąż wzmaga; ciało spadające posiada prędkość coraz większą, posuwa się biegiem przyspieszonym. Dzieje się tu tak, jakbyśmy piłkę toczącą się po gładkiej podłodze wciąż trącali,—za każdym pchnięciem piłka potoczyłaby się prędzej. W tenże sposób działa i ziemia, jakby ustawicznie szarpiąc ciało ku dołowi; ciała więc spadające biegą ruchem przyspieszonym, pod wpływem przyciągania ziemi nabywają prędkości coraz większej.

Gdyby w pewnej chwili spadku wpływ przyciągania ziemi ustąpił, czyli, innemi słowy, gdyby ziemia przestała nagle ciała przyciągać, ciało spadające nie powstrzymałoby swego biegu, ale na zasadzie bezwładności poruszałoby się dalej tą prędkością nabytą, już odtąd biegiem jednostajnym. W gabinetach fizycznych okazuje się to doświadczalnie za pomocą maszyny Atwooda, i bez szczególnych jednak przyrządów ujawnić można prędkość nabytą przez ciało pod wpływem

przyciągania ziemi. Uwidocznia się to mianowicie wyraźnie w ruchu wahadłowym. Gdy ciężarek uczepiony na nitce odchylamy z kierunku pionowego i z rąk wypuszczamy, wraca on do położenia pierwotnego, ale tu się nie zatrzymuje, prędkość bowiem, jaką w ruchu tym zyskał, unosi go dalej, ciężarek więc z nitką przejdzie na drugą stronę linii pionowej. Biegowi wszakże temu siła ciężkości teraz się opiera, ciężarek przeto podnosi się coraz wolniej, aż wreszcie unosząca go prędkość wyczerpuje się zupełnie, ciężarek więc dalej wznosić się już nie będzie i pod wpływem znów siły ciężkości rozpoczyna drogę powrotną, przyczem powtarza się tenże sam przebieg. Gdyby zaś ciężarek nie napotykał w ruchu swoim żadnych przeszkód, jak opór powietrza i tarcie w punkcie zawieszenia nitki, ruch wahadłowy, raz rozpoczęty, trwałby już ustawicznie.

Co się dzieje z wahadłem, toż samo powtórzy się z każdym innym ciałem, zsuwającym się po pochyłości, jeżeli tylko odpowiednie warunki umożliwiają dalszą jego drogę. W tym celu pasek papieru, odcięty od arkusza, szerokości około cala, zaginamy po obu stronach tak, by utworzył rodzaj koryta. Na połowie, mniej więcej, długości nacinamy dosyć gęsto brzegi papieru, co da możność zgięcia tej części korytka

w koło, jak wskazuje fig. 9. Wtedy skleamy znów nacięte części brzegów, a wykończone w ten sposób korytko ustawiamy tak, by część górna miała położenie silnie spadziste. Jeżeli więc w korytku temu, u góry, umieścimy ziarnko grochu lub szrutu, ziarnko to spada i skutkiem spadku nabywa pewnej prędkości; tak nabytą zaś prędkością ożywione ziarnko posu-



Fig. 9.

nie się dalej,—wzniesie się po kółku pionowym, a obiegłszy je dokoła, ruszy w dalszą drogę.

Zamiast korytka papierowego zbudować można do doświadczenia tego przyrząd z drutu. Dwa druty równoległe spajamy przylutowaniami do nich drucikami poprzecznymi, wygiętymi ku dołowi, a następnie przy pomocy walca skrećamy je w sposób wskazany na fig. 10; do podpory służyć mogą dwa druty proste.

Według tego wzoru ułożyć można szyny tak samo wygięte, po których zsuwają się sanie; człowiek, zajmujący miejsce w tych saniach, przebiega więc drogę w tak osobliwy sposób skreconą, a chociaż znajduje się w miejscu, które na fig. 10 zajmuje kulka, i głową zwró-

cony jest ku dołowi, z sań nie wypada. Od niebezpiecznego bowiem upadku chroni go siła odśrodkowa (str. 26), która się tu wywiązuje w skutek biegu kołowego.

Łatwiej jeszcze uwidocznić można objawy prędkości nabytej w sposób wskazany na fig. 11.

Przy pomocy kilku książek, coraz mniejszej szerokości, układamy taśmę papieru w postać powierzchni

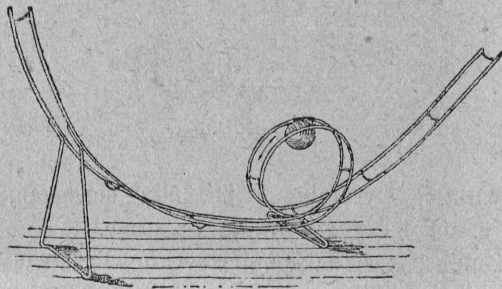


Fig. 10.

falowej, przyczepiając ją szpilkami do grzbietów książek; przyczem w miarę, jak oddalamy się od książki największej, wygięcia powinny być coraz silniejsze. Papier winien być nadto stłuszczony, lub też z jednej strony uczerniony sadzą, aby go woda nie wilgociła. Jeżeli na tak przygotowaną powierzchnię puszczać będziemy, od strony książki największej, krople wody, staczać się one będą po pierwszej równi pochyłej, a prędkość

przy spadku tym nabyta wystarczy do przesunięcia ich przez grzbiet książki następnej, dopóki, przebiegłszy cały szereg wygięć, nie wpadną do talerza, umie-

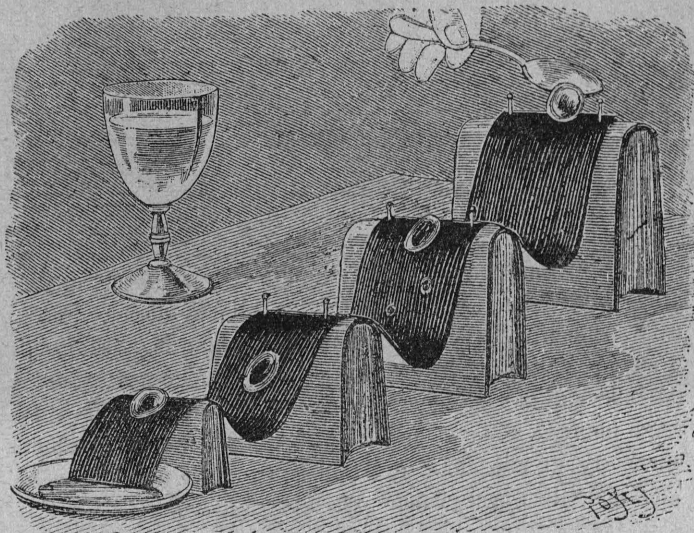


Fig. 11.

szczonego na końcu pasa papierowego. Krople wody wydają się, jakby gonily jedna za drugą, ożywione unoszącym je ruchem.



## VII.

### Siła odśrodkowa.

Uwiążmy kamień na sznurku i, trzymając drugi koniec sznurka, wprowadźmy go w szybki obrót. Przez cały czas obrotu sznurek pozostaje silnie wyprężonym, z czego wnosimy, że obracający się kamień ma dążność do oderwania się, do oddalenia od środka, dokoła którego bieży. Objaw podobny wzbudza się w każdym obracającym się ciele, a dążność tę ciała do oddalenia się od środka nazywamy siłą odśrodkową.

Działanie to uwidocznicie można i sposobem bardziej uderzającym. Jeżeli, mianowicie, obracamy szybko szklankę napełnioną wodą, to woda z niej nie wypłynie, chociaż przy obiegu swym szklanka zwraca się otworem ku dołowi. Bezpieczne wykonanie tego doświadczenia wymaga jedynie takiego umocowania szklanki do sznur-

ków, aby ona sama na zewnątrz odrzuconą nie została, w tym celu najwłaściwiej jest szklankę ustawić na krążku tekturowym, albo lepiej na drewnianym, w którym wywiercono trzy otworki, i za pomocą sznurków przywiązać go silnie do szklanki, jak wskazuje rycina (fig. 12). Zamiast wodą, można szklankę wypełnić piaskiem, lub umieścić w niej kulkę albo piłkę.

Gdy szklanka jest na zewnątrz zwilgocona, przy obrocie szybko wysycha, przylegające bowiem do niej cząstki wody zostają działaniem siły odśrodkowej na zewnątrz odrzucone; w ten sposób działają centryfugi czyli odśrodkowce, służące do wydobywania soku z buraków przy fabrykacji cukru, oraz do suszenia bielizny w wielkich pralniach.

Z mniejszym jeszcze zachodem do podobnego doświadczenia posłużyć może kosz, wypełniony jabłkami lub kartoflami, które się nie rozsypują przy szybkim obrocie kosza.

Jeździec w cyrku, stojący na koniu, który obiega arenę dokoła, pochylać się musi ku środkowi areny, inaczej bowiem działaniem siły odśrodkowej zostałby odrzucony na zewnątrz. Ale działaniem tejże samej siły może się on utrzymywać i z boku konia, jakby do niego przytroczony; siła ta bowiem, usiłując go odrzucić na zewnątrz, naciska go do konia i chroni od upadku.

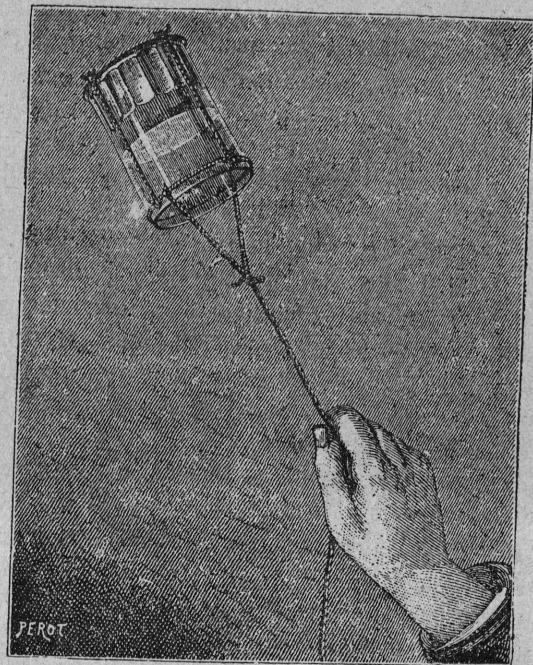


Fig. 12.

Wypada nam jeszcze objaśnić, skąd powstaje osobliwe to działanie. Kamień, uwiązany na sznurku, zmu-

szony jest do obiegania okręgu koła; gdyby był zupełnie swobodny, to, wprawiony w ruch rzutem ręki, posuwałby się wskutek bezwładności po linii prostej. Temu swobodnemu działaniu siły rzutu opiera się wszakże wytrzymałość sznurka, która nie pozwala kamieniowi oddalać się od środka, a która tu zatem przedstawia siłę dośrodkową. Dopiero więc, gdy sznurek z ręki wypuścimy, kamień odbiega w kierunku stycznym do kierunku koła, po którym biegł dotąd. Siła rzutu powoduje ruch swobodny dopiero po wypuszczeniu sznurka z ręki; dopóki zaś go trzymamy, wywołuje ona ciśnienie, czyli raczej wyprężanie sznurka. Nie należy sądzić, by siła odśrodkowa była jakąś siłą odrębną, ale jest tylko objawem siły rzutu, wywołanej, jak w doświadczeniach naszych, ruchem ręki. Pod wpływem tego ruchu kamień usiłuje biec po linii prostej, dąży zatem do oddalania się od okręgu koła, na którym go sznurek utrzymuje, a stąd sznurek się wypręża.

Im większa jest szybkość obrotu, tem też większa jest dążność ciał do oddalania się od okręgu koła, czyli tem większa jest siła odśrodkowa. Przy dostatecznej szybkości siła odśrodkowa przemódz nawet może wytrzymałość sznurka, a wtedy sznurek się przerywa. Gdyby ziemia dokoła swej osi wirowała znacznie

prędzej, na jej powierzchni nicby się utrzymać nie mogło; siła bowiem odśrodkowa przemogłaby siłę ciężkości, a wszystkie ciała na ziemi będące, ludzie, zwierzęta, drzewa nawet z korzeniami, odbiegłyby w przestrzeń światową.



## VIII.

### Łańcuszek na nitee.

Objawy siły odśrodkowej uwidocznić można na wielu innemi, bardzo prostemi doświadczeniami; przytoczymy tu jedno jeszcze.

Do końca nici, mającej długość 30 do 40 centymetrów, przyczepiamy obu końcami łańcuszek metalowy o drobnych ogniwach, długi na 25 do 35 centymetrów. Trzymając koniec nici w palcach, nadajemy jej szybki ruch obrotowy, jak gdyby szło o jej skręcenie, a łańcuszek otwiera się, jak na fig. 13 A. Gdy szybkość obrotu wzmagamy, ciężka masa łańcuszka usuwa się od osi obrotu coraz bardziej oddalając i tworzy wreszcie okrąg koła na płaszczyźnie poziomej. Sznurek zaś



opisuje wtedy powierzchnię stożkową, a drobny ten przyrządek przedstawia się oku w sposób, wskazany na fig. 13 B.

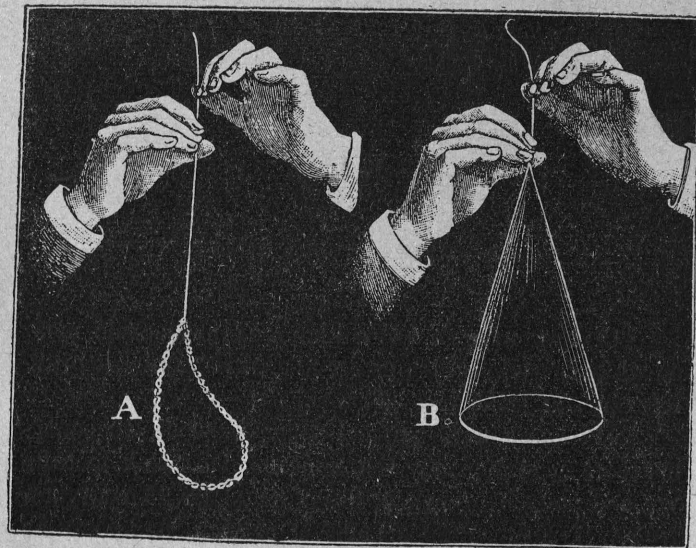


Fig. 13.

Podobnie, gdy do nici przywiążemy jednym końcem pręciak jakiegokolwiek, osadkę pióra stalowego, przyjmie ona podczas obrotu położenie prawie poziome.

Przy pomocy maszyny odśrodkowej, która umożliwia obroty bardzo szybkie, doświadczenie z łańcuszkiem wykonywa się łatwiej, profesor Van der Mensbrugghe wszakże zwrócił uwagę, że po pewnej wprawie wystarczają do tego i same palce.



IX.

Bumerang.

Z opisu podróżników wiadomo, że pierwotni mieszkańcy Australji używają broni bardzo osobiwej, zwanej *bumerang*. Jest to broń wycięta z kawałka drzewa twardego i zbitego, zgięta łukowato, którą australczycy umieją rzucać tak zręcznie, że gdy dosięgnie celu zamierzonego, nieprzyjaciela albo zwierzę, wraca sama przez się do myśliwca, który ją rzucił. Wydaje się to zgoła nieprawdopodobnem, opis ten jest wszakże zupełnie rzetelny i łatwo go potwierdzić można sposobem bardzo prostym.

Kawałek tektury, karty wizytowej np., wytnijmy w postać półksiężyca o rogach zaokrąglonych i umieśćmy na końcu palca, albo lepiej zatknijmy go między palec a paznokieć, jak widzimy na rycinie (fig. 14), tak,

aby płaszczyzna papieru była nieco pochylona ku poziomowi, dajmy pod kątem  $45^{\circ}$ .

Gdy wtedy koniec łuku tekturowego silnie trącimy palcem drugiej ręki, rzucimy go w powietrze. Pa-

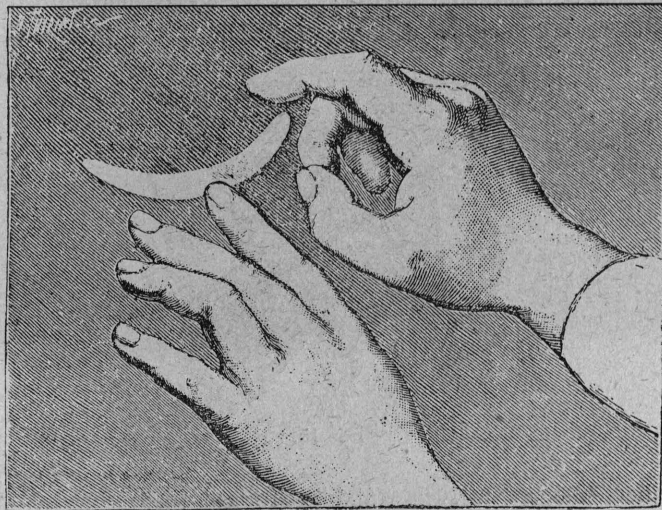


Fig. 14.

pierek szybko wybiega i posuwa się w górę po drodze ukośnej, przyczem zarazem szybko się obraca, tak, że przedstawia wejrzenie kółka wirującego; następnie jednak zatrzymuje się i bez wywrócenia wraca tą samą

drogą. Jeżeli doświadczenie udaje się dobrze, wraca on do punktu wyjścia, najczęściej jednak pada nieco ku przodowi lub usuwa się w bok, zawsze jednak wstecz się cofając.

Doświadczenie więc to jest do wykonania bardzo łatwe, trudniej je wszakże wyjaśnić. Aby je zrozu-

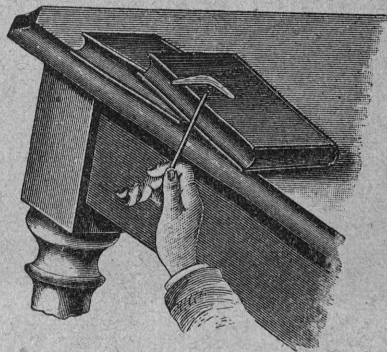


Fig. 15.

mieć, puśćmy w ruch wahadło, to jest rozbijamy ciężarek, zawieszony na sznurku: zobaczymy, że wahadło to zachowuje stale swą płaszczyznę wahań, to jest, kołysze się wciąż w jednym kierunku. Toż samo dzieje się i z wirującym skrawkiem papieru; właśnie dla tego, że przy biegu swoim ulega obrotowi, zachowuje

wciąż jednaką płaszczyznę tego obrotu, porusza się zatem ukośnie w powietrzu, dłużej lub krócej, stosownie do siły uderzenia. W skutek tarcia o powietrze ruch ten słabnie i ustaje wreszcie, a w tej chwili bumerang zatrzymuje się i zaczyna spadać; nie przestaje wszakże wirować, zachowuje przeto pochyloną swą płaszczyznę, i spadając, biegnie w takim samym, jak poprzednio, kierunku, a ostatecznie wraca do miejsca, skąd wybiegł. Rzecz jasna, że skrawek nasz papieru niekoniecznie wyrzucony być winien w sposób wyżej wskazany; można go również dobrze umieścić na książce pochylonej (fig. 15) i silnie potrącić pręcikiem o wystające jego ramię.





# X.

## Ciśnienie cieczy z dołu ku górze.

Gdy w naczyniu znajduje się ciecz, wywiera ona zawsze na dno jego ciśnienie, a to z powodu swego ciężaru. Ciśnienia tego doznaje nie tylko dno, ale każda warstwa cieczy, uciskają ją bowiem warstwy nad nią będące; wraz z głębokością zatem cieczy powiększa się i to ciśnienie, wywierające się z góry ku dołowi.

Ciecze zaś wyróżniają się od ciał stałych tem, że posiadają cząstki ruchliwe; każde zatem ciśnienie na ciecz wywarte rozchodzi się na wszystkie strony. Dzieje się tu to samo, co ze stosem grochu lub śrótu; gdy go nacisniemy, ziarenka rozbiegają się na wszystkie strony, a przyczyną tego jest, że ziarna te są ruchliwe, między sobą niezwiązane. Tak samo i cząstki cieczy, gdy są uciskane, usiłują na wszystkie strony rozbiec się, na wszystkie zatem strony wywierają ciśnienie.

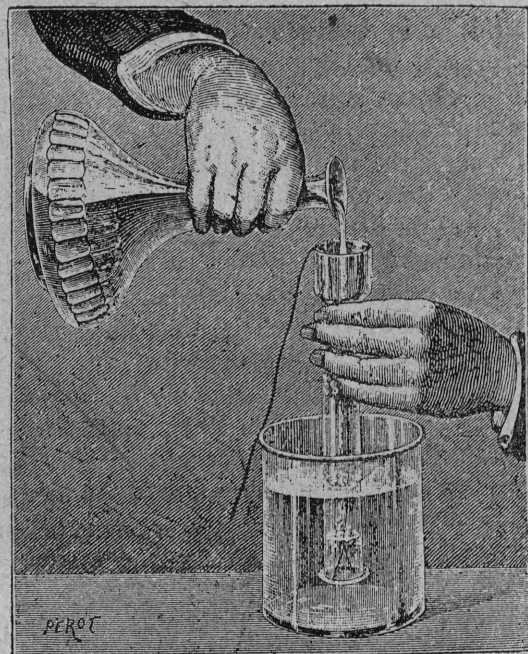


Fig. 16.

Skoro więc z powodu ciężaru cieczy rodchodzi się w niej ciśnienie z góry na dół, daje to początek nie tylko ciśnieniom działającym na ściany boczne naczynia, ale nadto wywołuje ciśnienie w kierunku wręcz przeciwnym, to jest z dołu ku górze.

Ostatnie to ciśnienie wykazać można w sposób bardzo prosty. Posłużyć nam do tego może jakakolwiek rura szklana dosyć szeroka, z obu stwów otwarta, a w braku innej przydać się może i zwykły komin do lampy; postarać się nadto trzeba o cienki krążek, któryby można w środku uczepić na nitce. Krążek ten może być metalowy, szklany, doewniany, a wreszcie i tekturowy. Jeżeli nitkę, na której krążek jest zawieszony, przesuniemy przez rurę szklaną, krążek zakryje ją tak, jakby stanowił jej dno, które oczywiście odpada, gdy nitkę z rąk wypuszczamy.

Ale nie wypuszczając nitki z ręki, wprowadźmy tak zakrytą od spodu rurę do słoja, napelnionego wodą, jak wskazuje fig. 16. Teraz możemy nitkę puścić, a pomimo to dno nie odpadnie, tak, jakby je ktoś z dołu podtrzymywał. Tem zatem utrzymywaniem się krążka uwidocznia się dobrze ciśnienie, wywierane przez wodę z dołu ku górze.

Aby zjawisko to lepiej jeszcze zrozumieć, przypomnijmy sobie działanie sprężyny uciskanej z góry: sprężyna usiłuje się wyprostować i wywiera też ciśnienie z dołu ku górze na naszą rękę; im silniej ją ugniatamy, tem też ona silniej na rękę naszą ciśnie. Tak samo woda, uciskana przez warstwy górne, oddziaływa ku górze i wywiera ciśnienie z dołu.

Jeżeli następnie nalewać będziemy wody do wnętrza owej rury, ruchome dno nie będzie już tak silnie podtrzymywane, bo doznaje nacisku z góry; a na koniec, gdy woda dojdzie do tejże samej wysokości, jaką posiada w naczyniu, dno odpadnie w skutek własnego ciężaru. Im zatem rurę głębiej zapuszczamy, tem więcej dolewać trzeba wody, aby denko odpadło. Wypada z tego, że im głębiej, tem ciśnienie z dołu jest większe. Tak też być powinno, bo ciśnienie to jest jedynie następstwem ciśnienia z góry, z niem razem przeto wzrasta; oba te ciśnienia, z góry i z dołu, są nawet w każdej warstwie zupełnie między sobą równe, co właśnie jest widoczne stąd, że dno odpada w chwili, gdy poziom cieczy w rurze i w naczyniu jest jednakowy.

Gdy brzegi rury nie są starannie oszlifowane, wody do niej nalewać nie trzeba, sama bowiem napływa przez pozostające szczeliny, szybciej nawet, aniżeli byśmy pragnęli; pomimo to, ciśnienie z dołu wyraźnie się jeszcze okazuje.

Ciało zanurzone w cieczy doznaje ciśnienia ze wszęch stron; ponieważ jednak spód ciała przypada niżej, aniżeli wierzch, ciśnienie przeto, jakiego doznaje z dołu, jest większe od ciśnienia z góry, a wskutek tego nadmiaru ciało jest jakby podtrzymywane i stąd na ciężarze traci.

# XI.

## Ciśnienia boczne cieczy.

Również łatwo wykazać można, że ciecz wywiera ciśnienie i na ściany boczne naczynia, w którym się znajduje; boczne te ciśnienia są tem większe, im głębokość jest znaczniejsza, ale w każdym poziomie są równe, a działając w strony przeciwnie, znoszą się nawzajem. Ciśnienie więc boczne ujawnić się może dopiero, gdy z jednej strony jest jego nadmiar, co ma miejsce wtedy, gdy woda wypływa przez otwór boczny, ciśnienie bowiem na tę ścianę wywarte ulega częściowemu zmniejszeniu. Jeżeli tedy samowar, z którego woda wypływa, nie usuwa się w stronę przeciwną, to dla tego, że słaby nadmiar ciśnienia nie zdoła przezwyciężyć ciężaru naczynia, albo, mówiąc ściślej, nie zdoła pokonać tarcia, jakiego zachodziło przy przesu-

waniu się naczyń po stole. Idzie więc tu tylko o zmniejszenie tego tarcia, a to osiągniemy, jeżeli puste pudełko od sardynek ustawimy na deseczce i drobny ten statek puścimy na wodę w stągwi, lub innem obszernem naczyniu (fig. 17). Poprzednio zaś w jednej ze ścian pudełka wywiercić należy otworek, który zamykamy woskiem lub zatyczką drewnianą. Pudełko napelniamy wodą, a po usunięciu zatyczki wytryska

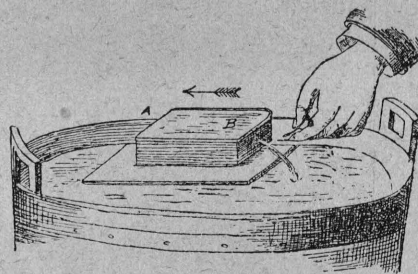


Fig. 17.

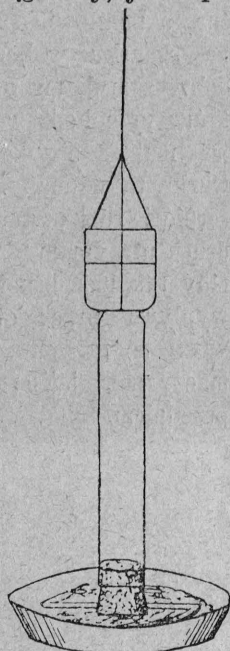


Fig. 18.

strumień wody, cały zaś statek posuwa się w stronę przeciwną względem kierunku jej wypływu, jak to wskazuje strzałka.



Na zasadzie tej polega młynek hydrauliczny Segnera, który niemniej prostymi środkami urządzić można, a mianowicie z kominka od lampy, uwiązanego na sznurku w końcu rozszerzonym (fig. 18). Otwór dolny zamykamy długim korkiem przewierconym, przez który przechodzi rurka, zgięta w kształt głoski S, to jest mająca oba końce zwrócone w strony przeciwne. Rurka ta winnaby być szklana, można ją wszakże zastąpić i rurką gumową, jeżeli ją za pośrednictwem drutu utrzymamy w postaci należycie zakrzywionej. Gdy tak urządzone naczynie napelnimy wodą, która wypływa przez otwory boczne, przyrząd obraca się w stronę przeciwną wytryskom wody. Obrót ten tłumaczy się, jak ruch pudelka w doświadczeniu poprzednim.



## XII.

### Ciała pływające.

Doświadczenie wskazane na fig. 16 doprowadziło nas do wniosku, że ciało w wodzie pogrążone na ciężarze swym traci. Od czasów Archimiedesa wiemy, że traci ono na ciężarze tyle, ile waży woda tejże samej objętości. Gdy więc ciało jest od wody lżejsze, traci więcej, aniżeli wszystek swój ciężar, jest pchane ku górze i z cieczy się wynurza, czyli po niej pływa.

Korek jest od wody cztery razy lżejszy; skoro więc wprowadzimy do wody funt korka, straci on na ciężarze swoim cztery funty. Nietylko zatem nie będzie on posiadał w wodzie żadnego ciężaru, ale do tego, aby nie w nią nie ważył, brak mu jeszcze trzech funtów, co innemi słowy znaczy, że trzebaby doń przyczepić trzy funty, aby go w wodzie utrzymać. Jeżeli zaś tych trzech funtów nie przyczepimy, jest on siłą trzech funtów gnany ku górze i z wody wypływa.

Jeżeli do kieliszka, napełnionego winem szampańskim, wrzucimy rodzenek (fig. 19), opada on na dno; tam jednak natychmiast przylegają doń pęcherzyki

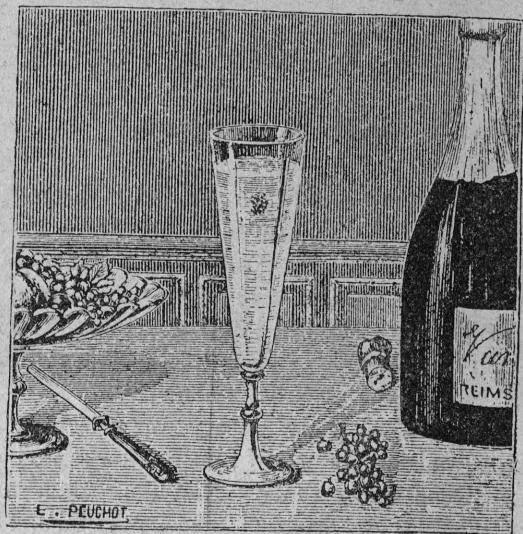


Fig. 19.

gazu, a mianowicie kwasu węglanego, który sprawia burzenie tego wina. Z powodu lekkości tych pęcherzyków rodzenek wraz z nimi staje się lżejszy od ta-

kiej samej objętości cieczy, wypływa więc na jej powierzchnię; tam wszakże pęcherzyki się odrywają, gaz uchodzi, a sucha jagoda winna staje się znów od wina cięższa, opada więc na dno, by za chwilę znów wznieść się do góry. Pęcherzyki gazowe odgrywają tu rolę drobniutkich baloników, które ciało unoszą ku górze. Wino szampańskie może nam zastąpić i woda sodowa, działanie wszakże będzie tu słabsze, woda bowiem sodowa zawiera mniejszą obfitość kwasu węglanego.

Aby jednak ciało bezpiecznie pływało, nie wystarczy ten tylko warunek, by było od cieczy lżejszem. Dzieje się tu toż samo, co z ciałem zawieszonym; jest ono wtedy tylko w równowadze stałej, czyli zachowuje położenie stateczne, gdy jego środek ciężkości przypada poniżej punktu zawieszenia. Ciało zawieszone obraca się zawsze tak, by jego środek ciężkości zajął położenie najniższe, o ile mu warunki zawieszenia pozwalają. Ciało pływające zachowuje się również jak ciało zawieszone, środek jego ciężkości dąży do zajęcia położenia jak najniższego. Gdy butelkę pustą i zakorkowaną rzucimy na wodę, pływa ona w położeniu ukośnem; gdy zaś do pewnej wysokości wypełniona jest śrótem, albo choćby wodą, utrzymuje się w położeniu pionowem. Dla tego to okręty zawsze być muszą u spodu obciążone.

Chłopiec wiedząc, że ciała lżejsze od wody zatonać w niej nie mogą, sądził, że będzie mógł po wodzie chodzić, jeżeli do nóg swoich uczepi dostateczne kawały korka. Nie znał jednak warunków równowagi ciał pływających, nie wiedział, że środek ciężkości musi być położony niżej od punktu zawieszenia, czyli raczej od tak zwanego środka ciśnień; skoro więc znalazł się na wodzie, przechylił się, nogi z korkiem uniosły się ku górze, głowa pogrążyła w wodzie, i nieszcześliwy wynalazca zatonął. Uległ temuż samemu losowi, jaki się wydarzał i okrętom, przewożącym towary rozpuszczalne, jak, dajmy, cukier. Gdy w skutek drobnej szczeliny w okręcie dostaje się tam woda, materiały te rozpuszczają się i uchodzą, środek ciężkości okrętu przesuwają się wyżej, a okręt przechyla się i odwraca dnem ku górze.

Warunki równowagi ciał pływających poznać możemy z doświadczenia bardzo prostego. Do szklanki, w trzech czwartych wypełnionej octem, wprowadźmy jajko, o ile można wydłużone. Skorupa jajka utworzona jest z węglanu wapnia, to jest z substancji takiej, jak kreda; ocet działa na węglan wapnia w ten sposób, że ruguje z niego kwas węglany (tworząc inny związek, octan wapnia), a oswobodzony kwas węglany zbiera się na powierzchni jajka w postaci pęcherzy-

ków. Po upływie czasu dłuższego lub krótszego, a to stosownie do tęgości octu, czyli do ilości zawartego w nim kwasu octowego, jajko pokryte jest całe pęcherzykami, które wydają się połyskującymi, jakby kropelki rtęci czyli żywego srebra. (Pochodzi to stąd, że promienie światła od pęcherzyków tych silnie się odbijają, a to skutkiem działania, zwanego całkowitem odbiciem wewnętrznym). Pod wpływem gazu przylegającego jajko staje się lżejszem od octu i w części się z niego wynurza. Z powierzchni, wysuniętej z wody, pęcherzyki uchodzą, wynurzona więc część jajka staje się stosunkowo cięższa, aniżeli część dolna, pokryta jeszcze pęcherzykami; środek ciężkości podnosi się ku górze, przybiera położenie wyższe, aniżeli środek ciśnień, a jajko zaczyna się zwolna obracać dokoła swęj osi wielkiej. Gdy nowe strony jajka z wody wyzierają, powtarza się tenże sam przebieg, co nadaje jajku powolny i ciągły ruch obrotowy, który się dosyć długo utrzymuje.

Zamiast octu użyć można kwasu silniejszego, np. kwasu solnego, rozpuszczonego w wodzie, w stosunku 1:20. Działanie jest tu daleko szybsze, jajko wypływa już po kilku minutach, gdy przy użyciu octu trzeba na to czekać około dwu godzin, a obrót również się prędzej dokonywa.



### XIII.

#### Jajko w wodzie czystej i w wodzie słonej.

Aby ciało na cieczy pływało, winno być od ciała tego gatunkowo lżejsze, co znaczy, innemi słowy, że ciało wtedy tylko na cieczy pływa, gdy waży mniej, aniżeli takąż sama objętość tej cieczy. Ciało zatem, które w wodzie tonie, unosić się może bezpiecznie na powierzchni innej, cięższej czyli gęstszej cieczy.

Niewielkie nawet powiększenie gęstości cieczy wywiera tu już wpływ bardzo wyraźny. Jajko wrzucone do wody czystej opada na dno naczynia (fig. 20); jeżeli zaś wrzucimy je do silnego roztworu soli, czyli po prostu do wody bardzo słonej, zanurzy się w niej do pewnej tylko głębokości i pływać będzie bezpiecznie (fig. 21). Jajko posiada więc gęstość większą czyli

większy ciężar właściwy, aniżeli woda czysta, ale mniejszą, aniżeli woda bardzo słona.

Wnosimy stąd dalej, że w naczyniu zajętem w połowie dolnej przez roztwór soli, w górnej zaś przez wodę czystą, jajko unosić się będzie na granicy obu tych

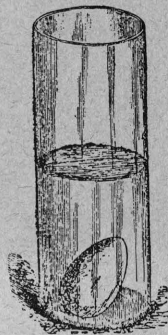


Fig. 20.

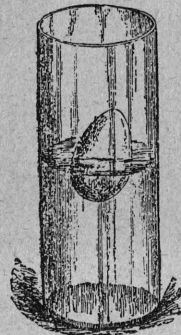


Fig. 21.

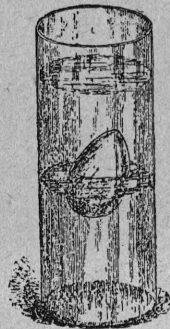


Fig. 22.

cieczy (fig. 22). Aby przy nalewaniu obie te cieczce nie zmieszały się, zachować trzeba pewną ostrożność. Wprowadzamy najpierw do naczynia wodę czystą, następnie zaś roztwór soli nalewamy zwolna za pośrednictwem długiego lejka, którego otwór przypadałby tuż nad dnem naczynia.

W każdym wszakże razie obie te ciecz przez czas tylko pewien utrzymają się w rozdzieleniu; zwolna męsząc się ze sobą będą. Woda, jakkolwiek lęjsza, przenikać będzie do cięższego roztworu solnego, roztwór zaś ten, jakkolwiek cięższy, wznosić się będzie w górę do lęjszej wody. Takie męszanie się dwu różnych cieczy nazywamy ich dyfuzją.



#### XIV.

#### Równowaga ciał pływających.

Skoro już mamy wodny roztwór soli, przygotowany do doświadczenia poprzedzającego, przyda się on nam i do innego jeszcze doświadczenia, które nam wykaże warunki równowagi ciał pływających.

Z lekkiego drzewa sosnowego wycinamy graniastosłup trójkątny, o długości około 5 centymetrów, bokom zaś trójkątów równobocznych, stanowiących podstawy, nadajemy długość około 3 centymetrów. Graniastosłup ten ma nam przedstawić rybę, dla lepszego więc złudzenia pomalować możemy na czarno górne części ścian, przylegających do krawędzi, która ma wyobrażać grzbiet, ścianę zaś spodnią, jako dolną część ryby, na biało. Nadto na jednej z podstaw trójkątnych kreślimy oczy i paszczę, a tak ostatecznie przygotowa-

ny graniastosłup wskazany jest w górnej części załączonej ryciny (fig. 23).

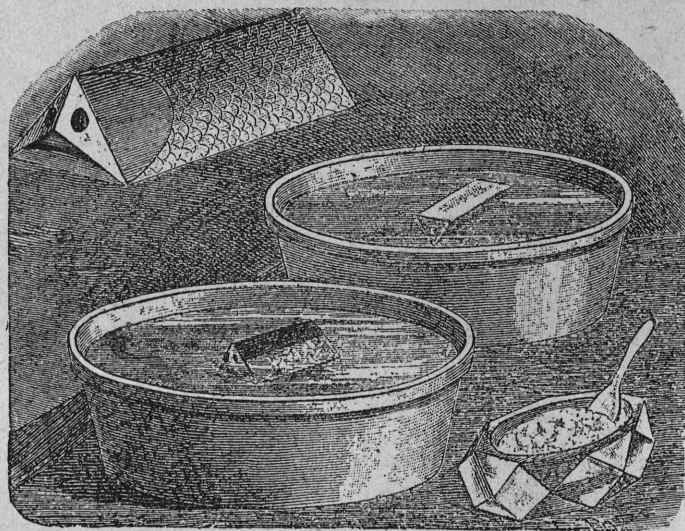


Fig. 23.

Wykonywając doświadczenie, przedstawiamy graniastosłup nasz widzom jako rybę, która pływa doskonale w wodzie słodkiej, ale w wodzie morskiej żyć nie może. W samej rzeczy, gdy wprowadzimy graniastosłup

do zbiornika zawierającego wodę czystą, będzie się on na niej unosił, wynurzając z wody brzeg pomalowany na czarno, jak ryba po powierzchni wody pływająca. Jeżeli zaś umieścimy go w wodzie morskiej, to jest w naczyniu z wodą silnie osoloną, objaw ulega zmianie,—ryba obraca się dokoła swej osi i pływa smutno, zwracając brzuch swój ku górze, jak ryba nieżywa.

Aby osobiście to zachowanie się ryby zrozumieć, pamiętać należy, że ciało pływające pozostaje w warunkach takich, jak ciało zawieszone; ciało pływające utrzymywane jest przez ciśnienie wody, zupełnie tak, jakby było zawieszone w pewnym punkcie, który się nazywa środkiem ciśnień. Wiemy zaś, że ciało zawieszone wtedy tylko pozostaje w równowadze stałej czyli statecznej, gdy środek jego ciężkości przypada poniżej punktu zawieszenia; toż samo więc tyczy się i ciał pływających,—aby na powierzchni wody unosiły się bezpiecznie, trzeba w ogólności, by środek ciężkości znajdował się niżej, aniżeli ów środek ciśnień.

Otóż w wodzie czystej graniastosłup nasz zanurza się dosyć znacznie, jego zatem środek ciężkości przypada poniżej środka ciśnień, który jest jakby punktem zawieszenia tej bryłki drewnianej; pozostaje więc ona w równowadze stałej, a gdy ją odchyłamy, do położenia tego wraca.



Każde wszakże ciało pływające tak się głęboko w cieczy zanurza, że wypchnięta przez nie ilość tej cieczy waży tyleż, co całe ciało. Ponieważ więc woda słona gęstsza jest aniżeli czysta, mniejsza już jej ilość ważyć będzie tyleż, co cały graniastosłup; zanurza się on tedy w roztworze tym mniej daleko, aniżeli w wodzie słodkiej, środek ciężkości wysuwa się ponad środek ciśnień, a nawet ponad poziom wody. Dzieje się więc z nim tak, jak z ciałem zawieszonym poniżej środka ciężkości,—równowaga staje się niestabilną, a ryba musi się wywrócić; wtedy bowiem środek ciężkości opada niżej, znajduje się znów poniżej środka ciśnień i równowaga przechodzi w stabilną.

W każdym więc razie ciało pływające usiłuje zająć położenie takie, które mu zapewnia równowagę stabilną, czyli stateczną.



## XV.

### Motor hydrauliczny z łupin orzechowych.

Gdziekolwiek woda spada z pewnej wysokości, możemy ze spadku jej korzystać do wprowadzania w ruch różnych machin. Urządzenia, do tego celu służące, nazywają się motorami wodnymi albo motorami hydraulicznymi; są to w ogólności koła, które woda obraca spadkiem swoim lub uderzeniem. Jeżeli woda spada na koło z góry, nazywa się ono nasiębiernem, jeżeli zaś uderza je z dołu, mamy koło podsiębiernie. Otóż mały motor hydrauliczny (fig. 24) można sobie urządzić z materiałów niewyszukanych, bo z łupin orzechowych, z kawałków korka i z pręcików drewnianych.

Całe urządzenie, wskazane na rycinie, składa się z trzech zupełnie odrębnych części, z których najważ-

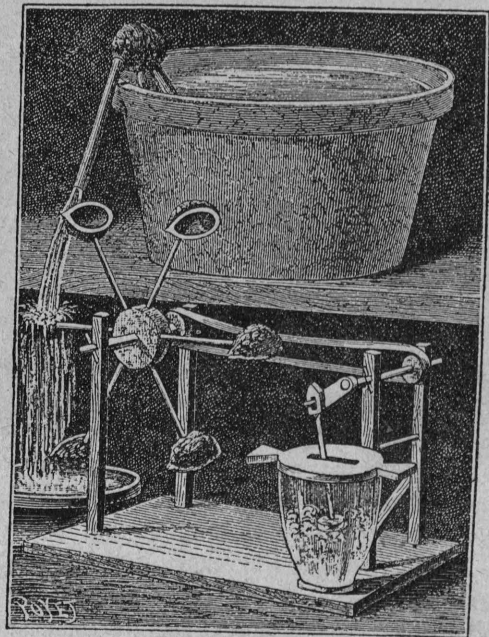


Fig. 24.

niejszą jest właśnie drobny motor hydrauliczny, należący do typu kół wodnych nasiębiernych. Dobrawszy sześć łupin orzechowych jednakiej wielkości, utwierdza-

my je zapomogą wosku, laku, lub innym sposobem, na końcach pręcików drewnianych, które drugimi końcami osadzamy w krążku korkowym. Przez środek korka przesuwamy ołówek, który stanowić będzie oś obrotu, gdy końce jego umieścimy w otworkach dwu słupków pionowych, osadzonych w deseczce, służącej za podstawę całego przyrządu. Koło wodne jest już więc ukończone, należy tylko jeszcze na osi osadzić silnie inny krążek korkowy, o średnicy mniejszej, i nałożyć nań pas bez końca, służący do przenoszenia biegu koła na przyrząd, który ma być w ruch wprowadzany.

Koło ulega obrotowi pod działaniem nacisku wody, spływającej na nie z góry. Na rycinie zastosowany jest do tego celu syfon, urządzony również w sposób bardzo prosty, bo z rurek trzcinowych, osadzonych w otworkach kulki wydrążonej, np. pustego orzecha. Dwie trzcinki zanurzone są w naczyniu z wodą; gdy więc ustami usuniemy powietrze z trzeciej, zewnętrznej rurki, otrzymamy ciągły prąd wody, wystarczający do nadania kołu szybkiego ruchu. Należy tylko baczyć, aby, jak w każdym syfonie, koniec rurki zewnętrznej schodził niżej, aniżeli końce rurek pograżonych w wodzie. Można też sztuczny taki syfon zastąpić rurką szklaną, zgiętą w kształt głoski U, albo też dwiema rurkami szklanymi, połączonemi kawałkiem rurki kau-

czukowej. Oczywiście także zamiast syfonu służyć nam może prąd wody, wypływającej przez rurkę z naczynia wyżej umieszczonego.

Obrót koła wodnego użyty być może do poruszania jakiegokolwiek drobnego przyrządu; na rycinie wskazane jest zastosowanie do wyrobu masła ze śmietanki. Śmietanka znajduje się w szklance lub filiżance, zamkniętej pokrywką o otworze podłużnym, przez który przechodzi pręt, zakończony tłokiem, bijącym śmietankę; pręt ten wreszcie osadzony jest na rękojeści, na którą ruch koła przenosi się za pośrednictwem pasa bez końca. Pasem tym być może tasiemka, wstążka lub pasek kauczukowy.

Przy budowie przyrządu tego napotykać można drobne trudności, ale nie należy się nimi zrażać. Tajemnicą powodzenia jest przedewszystkiem wytrwałość. Biegłość w robotach ręcznych każdemu może być przydatną.



## XVI.

### Spójność cieczy.

Jakkolwiek ciecze nie posiadają własnej postaci i przybierają postać naczyń, w których się mieszczą, co wskazuje, że cząstki ich jedne względem drugich łatwo przesuwają się mogą, pomimo to nie są pozbawione wszelkiej spójności, o czem przekonywa nas samo tworzenie się kropeł. Jeżeli niewielką ilość wody rozlewamy po powierzchni pokrytej nasieniem widłakowem (*semen lycopodii*), albo wprowadzamy nieco rtęci do miseczki porcelanowej, powstają kropelki prawie kuliste. Gdyby zaś pomiędzy oddzielnymi cząsteczkami wody lub rtęci żaden zgola nie zachodził związek, musiałyby się one rozsypać jak pył, nie gromadząc się w kropel. Przy powolnym wypływie cieczy z naczynia nie wydobywałaby się ona również w postaci kropeł;



z powodu wszakże spójności, między cząsteczkami zachodzącej, kropla opada dopiero, gdy ciężar jej dosyć już jest znaczny, by przemódz zdolną spójność między utworzoną kroplą, a cieczą pozostałą.

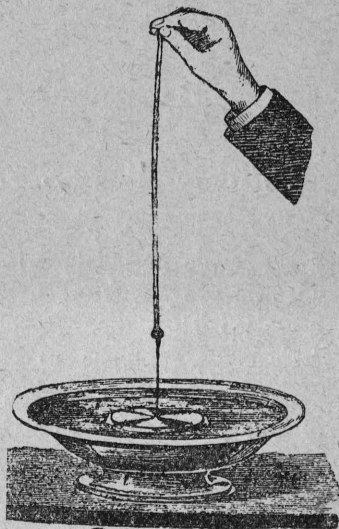


Fig. 25.

Spójność cieczy okazać można doświadczeniem bardzo prostem i nauczającym; potrzeba posiadać jedynie gładki krążek metalowy lub szklany, uczepiony do cienkiej nici gumowej. Gdy krążek ten wprowadzimy

w zetknięcie z wodą, jak wskazuje rycina (fig. 25), to oderwanie go wymaga pewnego nakładu siły, co się ujawnia w rozciąganiu nici gumowej. Siłę tę ocenić można nawet dokładnie, jeżeli nitkę przyczepimy do jednego ramienia wagi, ilość bowiem ciężarków, które nałożyć trzeba na drugi talerzyk wagi, by oderwanie nitki spowodować, daje jej miarę.

Możnaby sądzić, że w doświadczeniu tem nie oceniamy spójności cieczy, ale raczej przyleganie krążka do cieczy; wniosek ten wszakże jest błędny, o czym nas przekonywa to, że do powierzchni dolnej krążka przylega warstwa cieczy, dając tem dowód, że nastąpiło tu oderwanie jednych jej cząstek od innych. Stąd też wypływa, że z jakiegokolwiek bądź materiału krążek jest wyrobiony, natężenie siły rozrywającej, czyli ilość ciężarków na talerzyku wagi pozostaje niezmienną, byleby krążek był przez ciecz wilgocony; doświadczenie więc to uczy nadto, że spójność cieczy jest tu mniejsza, aniżeli przyleganie jej do ciała stałego.

Natomiast zaś ciężar, do oderwania krążka potrzebny, zmienia się wraz z naturą cieczy; znacznie jest większy dla wody, aniżeli dla alkoholu, co znaczy, że pomiędzy cząstkami wody zachodzi spójność znaczniejsza, aniżeli między cząstkami alkoholu.

Mniejsza jest jeszcze spójność eteru. Jeżeli idzie o rtęć, nie można użyć krążka szklanego, w tym bo-

wiem razie spójność cząstek cieczy większa jest, aniżeli przyleganie jej do szkła; należy więc krążek szklany zastąpić cynkowym. Ze wzrostem temperatury spójność cieczy znacznie słabnie.

Jeżeli zlewamy oddzielone części jednej cieczy, czyli wprowadzamy je w zetknięcie, to natychmiast mieszają się i tworzą jedną masę, przyleganie więc cieczy przechodzi tu bezpośrednio w ich spójność, gdy przy zetknięciu ciał stałych, jak np. dwu płyt szklanych, przyleganie (adhezya) wyróżnia się od spójności (kohezyi). Dla tego niektórzy fizycy, dla oznaczenia spójności cieczy i przylegania ich do ciał stałych, używają, za przykładem Frankenheima, oddzielnych nazw synafji i prozafji, a to od wyrazu greckiego *afe*—zetknięcie.



## XVII.

### Igła pływająca.

Igła pływająca po wodzie przeczy napozór zasadniczym prawom hydrostatyki,—w rzeczywistości też nie pływa ona wcale. Ciało bowiem pływające zanurza się do pewnej głębokości w cieczy, usuwając jej tyle, ile samo waży; igła zaś unosi się na powierzchni cieczy pod warunkiem właśnie, że bynajmniej się w niej nie zagłębi, że zgoła nie przedrze zewnętrzną jej warstwę. Chroni ją od zatonięcia napięcie powierzchniowe cieczy.

Cząsteczki zajmujące wierzchnią warstwę cieczy znajdują się w warunkach odmiennych, aniżeli cząsteczki w jej wnętrzu. Te ostatnie bowiem, zewsząd otoczone cząsteczkami sąsiednimi, ulegają jednakim ze wszystkich stron przyciąganiom, ku górze i ku dołowi, na

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

prawo i na lewo; przyciągania te nawzajem się zatem znoszą i ujawnić się nie mogą. Na swobodnej natomiast powierzchni cieczy, cząsteczki, nie mając nad sobą innych, któreby je ku górze pociągały, ulegają bez przeszkody działaniu cząsteczek, tuż pod niemi się mieszczących, a stąd są w stanie pewnego wyteżenia, jakby cienka błona sprężysta, którą rozciągamy i której spójność temu się wysiłkowi opiera. Można więc powiedzieć, że swobodna, wierzchnia warstwa cieczy poddana jest jakby ściągającej sile, czyli pewnemu napięciu, w skutek czego dąży do zajęcia jak najmniejszej, możliwej powierzchni. Grubość warstewki, która jest siedliskiem tego napięcia powierzchniowego, jest nader drobna, według bowiem badań fizyków Plateau i Quincego nie przenosi

$\frac{1}{20.000}$  milimetra.

Oznaczono też natężenie tej siły ściągającej; jest ono różne dla różnych cieczy i w ogólności maleje, gdy temperatura wzrasta. Na powierzchni wody jest ono dosyć znaczne, by mogło się oprzeć ciężarowi igły stalowej, która się przeto na powierzchni wody utrzymuje. Pod naciskiem jej błona się ugina, ale się nie przedziera.

Aby się proste to doświadczenie powiodło, należy tylko igłę kłaść na powierzchnię cieczy z dostatecz-



Fig. 26.

ną ostrożnością, bądź wprost palcami, bądź też za pośrednictwem cążek. Można też na powierzchni cieczy umieścić najpierw skrawek cienkiego papieru (fig. 26),



bibułki od papierosów np., a na papier ten dopiero położyć igłę; gdy papier napojony wodą opadnie na dno naczynia, albo też gdy go ostrożnie zepchniemy, igła pozostanie na powierzchni wody. Jeżeli wszakże wierzchnia błona wody ulega przerwaniu, igła nie znajduje już podpory i tonie natychmiast.

Tak samo unosić się mogą na powierzchni wody stalówki, pierścienie miedziane, kulki rtęci i t. d. Jeżeli igłę lub stalówkę poprzednio namagnesujemy, zwróci się ona jednym swym końcem ku północy, albo raczej, przyjmie kierunek południka magnetycznego, będziemy więc mieli busolę najprostszej konstrukcji.

Napięcie powierzchniowe cieczy ujawnia się wyraźnie w bańkach mydlanych, które ściągają się pod ciśnieniem wierzchniej swej błony. Tworzenie się kropeł cieczy także jest następstwem tego ciśnienia, cząsteczki bowiem, ze wszystkich stron uciskane, skupiają się w postać kulistą; krople deszczu mają pospolicie postać dokładnych kulek.



## XVIII.

### Rurki włoskowate.

Doświadczenie poprzednie nauczyło nas, że ciecze zachowują się tak, jak gdyby były otoczone ugniatającą je błoną. Gdzie jednak ciecze zostają w zetknięciu z ciałami stałymi, swobodna ich powierzchnia ulega zmianom.

Zachodzą tu wszakże dwa różne przypadki. Zanurzymy płytkę szklaną lub skrawek papieru w wodę, a gdy je wydobydziemy, będą zwilgocone, zmoczone; jeżeli zaś toż samo szkło lub papier wprowadzimy do rtęci, pozostaną one po wydobyciu suchymi. Woda zatem wilgoci szkło, papier lub naszą rękę, rtęć ciał tych nie wilgoci. Cząstki wody odrywają się od innych, sąsiadujących z niemi cząsteczek, i przyczepiają się do szkła; cząstki zaś rtęci do szkła nie przylegają. Może-

my powiedzieć, że cząstki wody silniej są przyciągane przez cząstki szkła, aniżeli między sobą. Dla tego to woda się po szkle rozlewa, rtęć zaś zbija się w kropelki kuliste.

Przyleganie to wody do szkła sprawia, że w naczyniach szklanych zawsze jest ona po brzegach nieco ku górze wysunięta, co łatwo dostrzedz możemy; po-

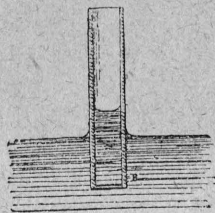


Fig. 27.

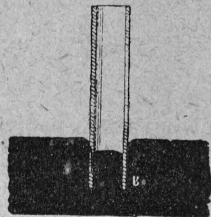


Fig. 28.

wierzchnia rtęci natomiast w zetknięciu ze szkłem ulega pewnemu obniżeniu.

Objawy te występują daleko wyraźniej w rurkach bardzo wąskich. Woda w takiej rurce wznosi się w górę i ma powierzchnię wklęsłą (fig. 27), rtęć zaś obniża się i przybiera powierzchnię wypukłą (fig. 28). Im rura jest węższa, tem wyżej podnosi się w niej woda i tem niżej opada rtęć.

Rurki bardzo wąskie nazwano włoskowatemi, bo grubością swoją zbliżają się do włosa; dla tego też wszystkie te objawy, o których tu mówimy, nazwano włoskowatością, albo też kapilarnością, bo capillus po łacinie znaczy włos.

Doświadczenia te wydają się sprzeczne z zasadą naczyń połączonych; jeżeli bowiem w naczyniach połączonych znajduje się ciecz jednaka, to w każdym z nich dochodzi do tejże samej wysokości. Zagadka ta wszakże tem się tłómaczy, że w wąskich rurkach powierzchnia cieczy nie jest płaska, ale skrzywiona.

Woda w rurce ma powierzchnię wklęsłą, cząstki jej czepiają się szkła i wznoszą w górę, ciśnienie błony wierzchniej czyli napięcie powierzchniowe słabnie, słup więc cieczy w rurce wznosi się, by ciężarem swym ubytek ten wynagrodził. Rtęć natomiast w wąskiej rurce przybiera powierzchnię wypukłą, błona wierzchnia staje się stosunkowo większą, silniej ciśnie słup cieczy i spycha go ku dołowi.

W jednej i tejże samej rurce różne ciecze wznoszą się do różnych wysokości,—woda wyżej aniżeli alkohol, a alkohol znów wyżej aniżeli olejek terpentynowy. Pochodzi to stąd, że napięcie powierzchniowe różnych cieczy nie jest jednakie.

Woda rozlana na ciała stłuszczone rozbija się na nich w krople, co znaczy, że woda do tłuszczów nie przylega. W stłuszczonej zatem rurce woda zachowuje się jak rtęć, przyjmuje powierzchnię wypukłą i obniża się; trudniej to wszakże okazać, aniżeli z rtęcią. Toż samo dzieje się, jeżeli powierzchnię wody w naczyniu posypujemy drobnym proszkiem zarodników widłakowych (nasienia widłakowego, semen lycopodii). Ze szklanki, w której powierzchnię wody proszkiem tym gęsto pokryto, wydobyć można, nie zmoczywszy ręki, monetę na dnie złożoną.

Rtęć natomiast, która nie wilgoci szkła, przylega do żelaza lub do cynku i w zetknięciu z płytkami tych metali wznosi się w górę.

Gdy kawałek cukru, jednym końcem w wodę zanurzony, cały się nią napaja, gdy bibułą usuwamy atrament z papieru, gdy się ręcznikiem wycieramy, gdy nafta w knocie wznosi się ze zbiornika w górę, gdy żalimy się na wilgoć w mieszkaniu,—wszystko to są objawy włoskowatości. W naczyniach roślin wznoszą się soki w górę działaniem włoskowatości, a my we własnym naszym organizmie posiadamy naczynia niesłychanie wąskie, włoskowate, po których krew w podobny porusza się sposób.

## XIX.

### Napięcie powierzchniowe cieczy.

Doświadczenie z igłą pływającą dawno jest znane; przed niewielu wszakże laty profesor Van der Menns-brugghe przedstawił szereg doświadczeń, które łatwo powtórzyć można, a które w sposób bardzo jasny wykazują napięcie błonki powierzchniowej cieczy.

1) Weźmy dwa przeciki, z których jeden, z drzewa lekkiego, ma grubość nie większą nad 3 do 4 milimetrów, i przyłóżmy je ku sobie tak, aby zetknięcie miało miejsce wzdłuż linii poziomej (fig. 29); do przestrzeni, sąsiadującej z tą linią prostą, wprowadźmy kilka kropel czystej wody, tak, aby części pobliskie przecików dobrze zostały zwilgocone. Zbierze się wtedy niewielka ilość cieczy, przylegająca do obu przecików, o krzywiznie wklęsłej, a której przecięcie *ab* wskaza-



ne jest na tejże rycinie. Otóż, wskutek napięcia powierzchni wklęsłych *ab*, które istnieje z jednej i drugiej strony linii zetknięcia, prętek lekki pozostanie

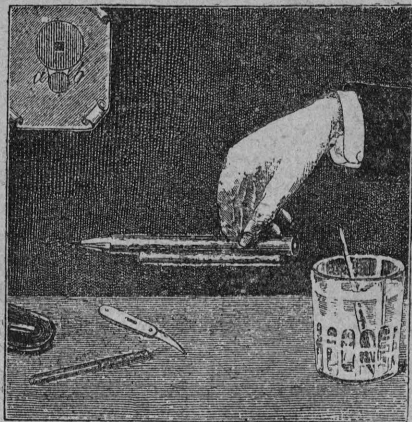


Fig. 29.

u większego, u ołówka np, zawieszony. Gdy prętki mają długość 12 centymetrów, lżejszy z nich nie powinien ważyć więcej, nad 1,8 grama <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Doświadczenia wykazały, że napięcie powierzchniowe wody dystylowanej wynosi 7,5 miligrama na milimetr długości. Jeżeli więc długość prętków wynosi 12 centymetrów, to napięcie wzdłuż tej linii czyni  $7,5 \times 120$  miligramów, z obu stron za-

2) Oczyszczyć dokładnie pierścień z drutu miedzianego (fig. 30), mający około 1 milimetra grubości a 8 centymetrów średnicy, i umieścić go ostrożnie na po-

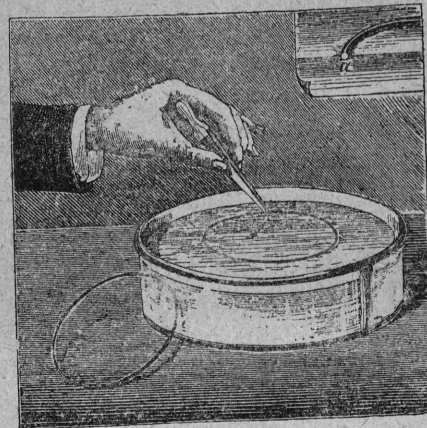


Fig. 30.

wierzchni wody czystej, zawartej w naczyniu poprzednio starannie obmytem. Pierścień miedziany unosić się będzie na powierzchni wody, jak widzimy na prze-

tem  $2 \times 7,5 \times 120$  mg, czyli utrzymać może 1800 mg, t. j. 1,8 grama. Inne ciecze posiadają napięcie powierzchniowe mniejsze: dla alkoholu wynosi ono 3,6 mg dla oleju skalnego 2,6 mg, dla oliwy wynosi 2,5 mg, dla eteru 1,88 mg na milimetr długości. Ciecze więc te utrzymać będą mogły prętek znacznie lżejszy.

cięciu  $a$ ; jakkolwiek bowiem miedź znacznie jest cięższa od wody, napięcie jednak powierzchniowe wody znaczniejsze jest, aniżeli ciężar pierścienia <sup>1)</sup>. Widzieliśmy już zresztą w sposób prostszy, jak na powierzchni wody utrzymuje się igła (fig. 26), a tak samo mogą się na niej unosić kulki rtęci, cienki nawet pierścień platynowy i t. p.

3) Listek lekkiego papieru, jedwabnego np., mający około 13 centymetrów długości, a 3 cm. szerokości, zginamy ze wszystkich stron tak, aby utworzyły się brzegi mające około 1 cm. szerokości, a obejmujące prostokąt o 13 cm. długości i 1 cm. szerokości. Następnie brzegi te podnosimy, każdy zaś z pozostałych po czterech końcach kwadracików przelamujemy wzdłuż przekątni i zginamy w boczne fałdki, a w ten sposób otrzymujemy wąskie naczynie papierowe (fig. 31), którego długie ściany boczne wygładzić jeszcze należy. Umieściwszy pudełko to na stole, wilgocią pędzelkiem

<sup>1)</sup> Skoro bowiem grubość drutu wynosi 1 milimetr, przecięcie jego przeto czyni  $\pi (\frac{1}{2})^2 mm$ ; ponieważ dalej średnica pierścienia ma 8 cm czyli 80 mm długości, długość jego wynosi  $2\pi \cdot 40 mm$ . A że, dalej, ciężar właściwy miedzi jest 8,8, drut zatem waży  $\pi \cdot (\frac{1}{2})^2 \cdot \pi \cdot 80 \cdot 8,8$  miligramów, czyli 1,73 grama. Z drugiej strony napięcie powierzchniowe po obu stronach pierścienia czyni  $2 \cdot 2\pi \cdot 40 \cdot 7,5 mg$ , czyli 3.77 g. Widzimy więc, że działanie tego napięcia przeszło dwa razy przechodzi ciężar pierścienia.

wszystkie jego ściany po stronie wewnętrznej i nalewamy wody do wysokości 4 do 5 milimetrów, to jest prawie do połowy wysokości pudełka; natychmiast wte-



Fig. 31.

dy napięcie powierzchniowe wody zbliża ku sobie długie ściany przeciwnie i pudełko samo się zamyka.

4) Weźmy korek walcowy, mający, dajmy, 4 cm. wysokości i 2 cm. szerokości, i w środku jednej z podstaw jego osadźmy drut żelazny, bardzo cienki, długi na 6 lub 8 cm., a dźwigający na końcu haczyk lub ko-

szyczek, przeznaczony do przyjmowania balastu (fig. 32). Do drugiej podstawy korka przytwierdźmy, za pomocą zgiętego drutu, pierścień z podobnegoż drutu cienkiego, mający około 10 cm. średnicy, tak, aby z korkiem był współśrodkowy i aby płaszczyzna jego do osi korka

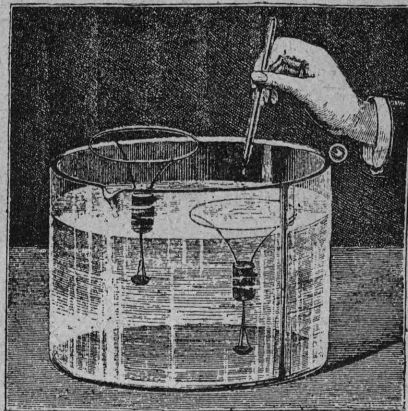


Fig. 32.

była prostopadła. Drobną ten przyrząd puśćmy na wodę, zawartą w naczyniu dostatecznie głębokiem; jeżeli obciążenie na dolnym końcu drucika pionowego odpowiednio jest dobrane, korek utrzymywać się będzie pionowo i tylko na 8 lub 10 mm wyzierać nad po-

wierzchnię wody. Zepchnijmy wtedy przyrząd nasz pionowo w wodę i pozostawmy go samemu sobie, a pierścień nie opuści już wody; wzniesie się nieco nad jej poziom, ale będzie z nią związany błonką wodną, z obu stron wklęsłą, mającą zatem postać soczewki podwójnie wklęsłej.

Napięcie powierzchniowe tej błonki wklęsłej wy-daje tu siłę wypadkową, skierowaną z góry ku dołowi, która wystarcza do zrównoważenia nadmiaru ciśnienia wody, działającego na korek z dołu ku górze. Zbliźmy jednak wtedy do powierzchni wody kawałek waty napojonej eterem, a pierścień natychmiast, jakby dobrowolnie, wysunie się z wody i zajmie pierwotne położenie równowagi. Napięcie bowiem powierzchniowe eteru, jak powiedzieliśmy wyżej, jest znacznie mniejsze, aniżeli wody, i nie zdoła już pierścienia przytrzymać.





ła; zwolna staje się nawet cieńszą jeszcze, tak, że wobec siły ściągającej obu powierzchni ciężar warstewki traci znaczenie. Na blonce tej rozłożymy nić bawełnianą lub

XX.

Błonna ciekła.

W doświadczeniach poprzednich posługiwaliśmy się znacznymi stosunkowo ilościami cieczy, które nadto posiadały jedną tylko powierzchnię wolną. Przytoczymy teraz inne przykłady napięcia powierzchniowego, używając drobnych ilości cieczy, przedstawiających w zetknięciu z powietrzem dwie powierzchnie wolne, które tedy wytwarzać mogą objawy dwa razy wybitniejsze.

Przygotujmy mieszaninę litra wody z 25 gramami mydła i 25 gramami cukru krystalicznego, to jest zwykłego, i w roztwór ten zanurzymy kwadrat z drutu żelaznego (fig. 33), a wtedy będzie on zajęty przez błonkę płaską, która tak mało wygięta jest ku dołowi, że wydaje się, jakby wcale ciężaru nie posiada-

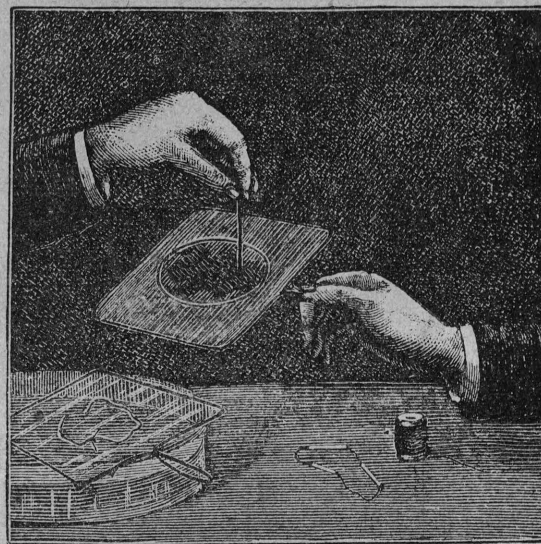


Fig. 33.

jedwabną tak, aby utworzyła obwód zamknięty, a obwód ten zachowa postać, jaką mu nadamy, wewnątrz bowiem tego konturu jak i zewnątrz niego istnieje

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

warstwa ciekła. W chwili jednak, gdy przebijamy błonkę wewnętrzną, nitka rozciąga się gwałtownie i przyjmuje postać zupełnie kołową. Pochodzi to stąd, że pozostała błonka zewnętrzna, pod działaniem napięcia obu swych powierzchni, usiłuje zająć przestrzeń jak najmniejszą. Przestrzeń zatem wewnętrzną, nicią ograniczoną, stawać się musi, o ile można, największą; matematyka zaś uczy, że linja, obszar taki zamykająca, jest właśnie okręgiem koła.

Doświadczenie to urozmaicić można, jeżeli zamiast zwykłej nici użyjemy systemu złożonego z części sztywnych, prostolinijnych, i części giętkich postaci dowolnej. Powierzchnia ograniczona przez kontur taki staje się największą, kiedy wszystkie części, mające postać jakąkolwiek, stają się łukami jednego i tegoż samego okręgu koła, części zaś sztywne, prostolinijne, stanowią tegoż okręgu cięciwy. Aby więc doświadczenie to urzeczywistnić, przeprowadzamy nic bawelnianą przez słomki, jak to również jest na rycinie wskazane; twierdzenie powyższe doskonale się sprawdza, ilekroć, po umieszczeniu takiego systemu na płaskiej błoncie ciekłej, przebijamy część wewnętrzną.

Inne jeszcze objawy, zależne od napięcia powierzchniowego cieczy, otrzymuje się przy zetknięciu cieczy, posiadających napięcie różne, a nie mieszających się ze sobą, jak woda i oliwa.

Jeżeli kroplę olejku terpentynowego (którego napięcie powierzchniowe wynosi 2,9), albo olejku lawendowego (3), złożymy na czystą wodę, zawartą w szerokim naczyniu, w zwykłym, dajmy, talerzu, dostrzeżemy natychmiast szybkie rozpościeranie się kropli, która się przeobraża w błonkę nader cieniłą. Jak w ogólności cienkie płytki, warstewka ta przedstawia często barwy bardzo piękne; rozpościeranie się zaś pochodzi stąd, że napięcie czystej wody (7,5) większe jest, aniżeli cieczy na nią puszczonej, i nie pozwala jej zachować postaci kropli.

Przy tak szybkim nadto rozpościeraniu się kropli temperatura jej ulega obniżeniu, wskutek tego blaszka kurczy się i rozpada na mnóstwo maleńkich części, tworzących niekiedy drobne wielokąty krzywolinijne i mające wejrzenie delikatnej koronki.

Jeżeli na wodę złożymy jedną lub dwie krople oliwy, wtedy rozpościeranie się dalszych kropeł stanie się już w ogólności niemożliwe; wtedy bowiem napięcie warstwy wierzchniej nie różni się już od napięcia kropli dodawanej.

Jeżeli na powierzchni wody umieścimy drobny odłamek ciała, które się w niej łatwiej lub trudniej rozpuszcza, równowaga wierzchniej warstwy wody ulega zerwaniu; jeżeli mianowicie rozpuszczanie zachodzi

niejednostajnie wokół cząsteczki, wykonywa ona szybkie ruchy, postępowe i obrotowe.

Ułożmy na powierzchni wody dystylowanej kontur giętki, zamknięty, mający 25 lub 30 cm. długości, w sposób taki, aby nitka dotykała cieczy wszystkimi swymi dolnymi punktami, nie zanurzając się wszakże nigdzie. Wewnątrz tego obwodu opuścimy kilka drobinek kamfory, otrzymanych przez zeszkrobanie kawałka tej substancji scyzorykiem; cząsteczki zaczną natychmiast szybko wirować, zmieniając zarazem swe miejsce, a nitka zaokrągli się w doskonały okrąg koła. Wszystkie te zjawiska zależą od niejednakiego rozkładu wody kamforowej, której napięcie wynosi 4,5 miligrama.



## XXI.

### Drobne objawy włoskowatości.

Opiszemy tu szereg doświadczeń, łatwiej jeszcze dających się wykonać, aniżeli poprzednie, a które obmyślił tenże sam fizyk, van der Mensbrugghe.

Z arkusza papieru listowego wytnijmy prostokąt, mający 7 centymetrów długości przy 3 cm. szerokości; pasek ten zegnijmy pośrodku, a pochyliwszy obie jego części, tak, aby tworzyły kąt około  $45^{\circ}$ , umieścimy go jedną ścianką na powierzchni cieczy (fig. 34). Zobaczymy wtedy najpierw, że druga ścianka pochyli się ku pierwszej tak dalece, że często się z nią zetknie (fig. 35); po chwili spoczynku zacznie się odchylać, czyli przyjmie ruch odwrotny i stopniowo rozłoży się w przedłużeniu pierwszej na powierzchni cieczy (fig. 36).



Tłómaczy się to w sposób następny: Początkowe pochylenie ścianki górnej jest następstwem krzywizny, jaką pod wpływem napojenia czyli imbibicji przybiera część ułożona na wodzie; podczas tej pierwszej części zjawiska kąt, zawarty między ścianą górną a styczną



Fig. 34, 35, 36. Doświadczenie z paskami papieru.

do utworzonej powierzchni krzywej, pozostaje bez widocznej zmiany. Co do podnoszenia się ścianki górnej to pochodzi ona od trzech przyczyn, a mianowicie: od znikania krzywizny blaszki dolnej, od wilgocenia się krawędzi, której cząsteczki dążą do usuwania się po-

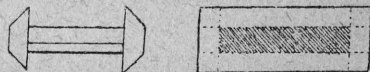


Fig. 37 i 38. Naczynie papierowe, otwierające się i rozkładające na wodzie.

dłużnego, i wreszcie od przenikania cieczy aż do wewnętrznych warstw papieru. Podczas bowiem zginania papieru cząsteczki cieczy wewnętrznej uległy silnemu zbliżeniu, napojenie więc cieczą, rozsuwając te cząsteczki, wywołuje znaczny skutek.

Doświadczenie to można w różny sposób urozmaicać. Na stronie 76 opisane było wąskie naczynie papierowe, które się zamyka po wprowadzeniu doń wody; z temże samem pudełkiem wykonać można doświadczenie wręcz przeciwne. Zamykamy je zupełnie, spłaszczamy i umieszczamy na wodzie, pudełko nie omieszka się otworzyć i rozłożyć na ciekłej powierzchni (fig. 37 i 38).

Szybkość całego tego ruchu zależy od natury papieru. Gruby papier pergaminowy roztwiera się tak powolnie, że można powątpiewać o rzetelności tego zjawiska; papier filtrowy (papier Joseph) roztwiera się natychmiast. Łatwo jednak dobrać papier odpowiedni, który ćwiczenia te wykonywa swobodnie, ani zbyt szybko, ani zbyt powolnie; papier taki wybornie nadawać się będzie do następnych igraszek. Wycinamy z niego trójkąt wydłużony, mający 12 do 15 centymetrów wysokości i przez zgięcie składamy go częściami, zaczynając od wierzchołka, jak to wskazuje fig. 39, gdzie linie kropkowane oznaczają zagięcia; dla ułatwienia ruchów idącym po sobie fałdom nadajemy szerokości coraz większe. Gdy trójkąt tak przygotowany złożymy, jak wskazuje fig. 40, i umieścimy na wodzie, rozwija się on przeskokami, a po zupełnem rozciągnięciu przedstawia znów postać fig. 39.

Łatwo zresztą obmyślać można inne figury, wycinane z papieru, które, tworząc po rozwinięciu niespodziane formy, bawią widza. Przytaczamy, jako wzory, gwiazdy mniej lub więcej zawile (fig. 41), rękawiczkę (fig. 42). Cienkie kreski na rysunkach wskazują zagięcia; części zacieniowane oznaczają powierzchnię, którą należy złożyć na cieczy.

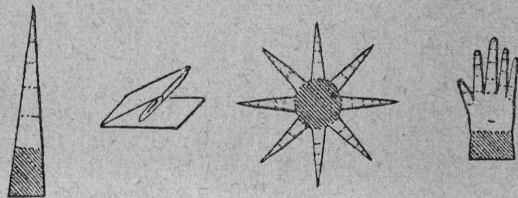


Fig. 39, 40, 41 i 42. Doświadczenia z figurami wycinanymi z papieru.

Objawy te prowadzą nas do doświadczeń, które przeprowadzić można za pomocą prostych przecinków. Wiadomo, że zapalka zgięta wyprostowuje się, gdy wilgociśmy wierzchołek kąta przez zgięcie utworzonego. Podobne zjawisko okazują wszelkie cienkie przeciki: łodyżki roślin trawiastych, żdźbła słomy lub siana, wyschłe ogonki liści i cienkie gałązki, drobne wiórki drzewne, odpadające przy heblowaniu,—wszystkie te

przedmioty, gdy po zgięciu zostają złożone na wodzie, wyprostowują się i energicznie odzyskują swą postać pierwotną.

Niekoniecznie trzeba przecik pozostawiać na wodzie; dosyć będzie go zanurzyć i po zwilgoceniu wyjąć natychmiast, a następnie złożyć na stole lub na płycie dla ułatwienia ruchów. Doświadczeniu z zapalką nadać można postać bardziej urozmaiconą. Nacinamy na

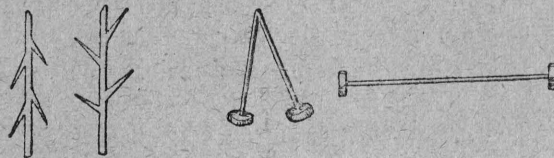


Fig. 43 i 44. Zapalki ze skrawkami odciętymi scyzorykiem.

Fig. 45 i 46. Łodyżka trawiasta z krawkami korkowymi.

zapalkę drobne skrawki i odginamy je tak, aby przypadały w sąsiedztwie jej osi (fig. 43); gdy przecik ten zanurzymy w wodę, skrawki odginają się i przybierają względem zapalki położenie przeciwne (fig. 44).

O energii, z jaką dokonywają się te działania włoskowate, dać może pojęcie następne doświadczenie. Końce łodyżki rośliny trawiastej osadzmy w środkach krawków korkowych i zegnijmy łodyżkę tę tak, aby krawki, o ile można, ku sobie się zbliżyły (fig. 45);

skoro się przekonamy, że one się już same przez się nie rozsuwają, umieszczamy je ostrożnie na wodzie, następnie wilgocią należy wierchołek kąta. Łodyżka natychmiast zaczyna się wyprostowywać, a krawężki oddalają się stopniowo, przybierając wreszcie położenie, jak na fig. 46.

Doświadczenia te inaczej odmienić można. Żdźbło słomy lub inną łodyżkę trawiastą zwińmy na ołówku lub na linijce kwadratowej, zmuszając ją do tworzenia linii szrubowej czyli helisy, o ile można najwęższej (fig. 47). Helisa ta, zanurzona w wodzie, a potem umieszczona na płycie poziomej, przekształca się i wykonywa osobliwe skręty, dążąc do odzyskania postaci prostoliniowej.

Skręćmy w palcach żdźbło słomy i pozostawmy je przez kilka chwil, dopóki nie ustanie wszelki ruch sprężysty; po zanurzeniu w wodzie prętek odzyska pierwotną swą postać i rozkręcać się będzie energicznie. Ruch ten śledzić można łatwo, gdy osadzimy małą choraćkę papierową w szczelinie, wyciętej w pobliżu jednego końca słomki, a drugi jej koniec trzymać będziemy w ręce (fig. 48). Osobliwy widok przedstawia też żdźbło słomy, zgięte na obu końcach i mające część środkową skręconą (fig. 49); jeżeli, po zwilgoceniu tej słomy, złożymy ją na stole, wije się jakby dziwaczne jakieś zwierzę.

Łodyżkę rośliny trawiastej zginamy kilkakrotnie i zwiąjamy w sposób taki, aby tworzyła mały pakunek (fig. 50); następnie polecamy komukolwiek, aby rozwikłał pakunek, nie dotykając go wcale. Dla nas rozwiązanie to jest jasne, dosyć będzie spuścić kilka kropel wody na zgięcia i węzły, a pakunek rozplącze się

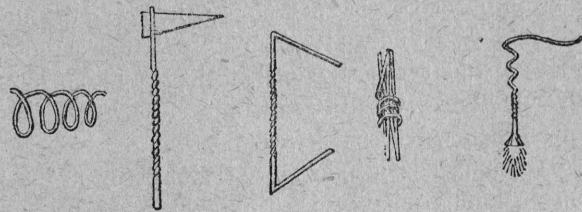


Fig. 47, 48, 49 i 50. Doświadczenia ze skręconymi łodyżkami roślin trawiastych.

Fig. 51. Ziarno iglicznika (Erodium).

jakby przez czary. Do doświadczenia tego nadają się szczególnie łodyżki siana, jako bardzo giętkie.

Doświadczenia te zresztą łatwo będzie urozmaicać i odmieniać; można z nich wszakże wysnuć zastosowania i do ogólniejszych objawów przyrody.

Pasy papierowe, których zgięcia znikają przez napojenie, nasuwają domysł, że i zagięcia powstające na różnych częściach roślin, jak na liściach lub płatkach, znikają również przez działanie wody.



Przyczyna, która sprowadza sztywność gałęzi i ziół najwęższych, również być może wyprostowywanie łodyg przez napojenie. Jeżeli gdziekolwiek utworzy się zagięcie, jeżeli roślina załamie się w jakimkolwiek miejscu, samo krążenie jej soków, sprowadzając wilgocenie rany, powoduje jej uzdrowienie. Nabrzmiwanie ciał gąbczastych zależy niewątpliwie w znacznej części od wody, która przez napojenie czyli wsiąknięcie do tych ciał się dostaje; zapewne jednak ważny udział bierze tu i rozsuwanie się ścianek, powodowane przez wilgocenie krawędzi.

Skrecone źdźbła słomy w słaby również tylko sposób naśladują objawy, jakie okazują skrecone włoski czyli ości, występujące na końcach niektórych ziarn, jak u iglicznika (*Erodium*, fig. 51), u owsa głuchego (*Avena fatua*), lub u ostnicy (*Stipa*). Ości tych nasion wykonywają ruchy osobliwsze daleko, aniżeli słoma skrecona.



## XXII.

### Wąż Faraona.

Błony ciekłe, które poznaliśmy przy doświadczeniach poprzednich, występują wyraźnie zwłaszcza przy tworzeniu się piany, składają ją bowiem pęcherzyki powietrza, cienkimi błonami cieczy rozdzielone. Piana, powiedzieć można, jestto miazg wodny z powietrzem pomieszany. Można przeto pianę wywołać, wprowadzając do cieczy bańki powietrza, które się w niej wznoszą swobodnie, ale napotyka ją tamę na samej jej powierzchni i tu się zatrzymują. Warstwa bowiem skrajna cieczy, niesłychanie zresztą cienka, posiada, jak już wiemy, pewne napięcie powierzchniowe i tworzy jakby błonę, naciskającą ciecz z góry. Na powierzchni więc cieczy gromadzą się pęcherzyki powietrzne, rozdzielone cienkimi jej warstwami, przyjmując najpierw postać od-

cinków kulistych lub sferoidalnych, a przez wzajemny na siebie nacisk przeobrażają się zwolna w formy wielościenne. Widzieliśmy to nieraz dobrze, puszczać bańki mydlane; mydło bowiem wzmacnia spójność cząstek wody, nadaje jej pewną lepkość i sprzyja tworzeniu się błon ciekłych. Dla tego woda mydlana tak łatwo się pieni.

Pieni się też woda sodowa, gdy ją z syfona do szklanki przelewamy, gaz bowiem, który był w niej rozpuszczony, dopóki pod ciśnieniem pozostawał, skoro ciśnienie to zostaje usunięte, oswobadza się nagle i skupia w nieprzeliczone pęcherzyki, w cieczy rozproszone. W ten sposób pienia się różne wody mineralne, wino szampańskie, piwo wreszcie, które również jest kwasem węglanym nasycone. Tak samo powstaje piana, burząca się przy gotowaniu wody, ale w tym razie tworzą ją pęcherzyki pary, rozwijające się wewnątrz wody ogrzewanej. Łatwo też pianę wywołać możemy, gdy wstrząsamy naczyniem, do połowy wodą wypełnionem, gwałtownym bowiem ruchem wprowadzamy powietrze między cząstki wody; ma to częste zastosowanie w kuchni, gdy idzie o otrzymanie piany z białka lub śmietany, przyspiesza się zaś działanie przez uderzanie cieczy różgą lub szybki obrót siatki drucianej.

Wichrem miotana fala morska pokrywa się pianą, zwłaszcza, gdy się o brzegi roztrąca, przejmuje się bowiem powietrzem. Ciekawszy jest jeszcze widok Wisły, gdy wezbrana gwałtownie unosi na swej powierzchni zwichrzone kłęby piany żółtobrunatnej, zabarwione mulem i piaskiem, przez bystry prąd wody z brzegów i dna porwanym. Piana barwy tak niezwykle wydaje się napozór zakrzepłą, gdy ciecz spieniona tak szybko w stan stały przechodzi, że przelotną swą postać trwale zatrzymuje.

Uderzający przykład takiego objawu daje znana powszechnie igraszka, zwana „wężem Faraona“. Jestto proszek szarawo-biały, ubity najczęściej w postać stożka, owiniętego cynfolją, który stawia się na talerzu i w wierzecholku zapala. Wtedy z płomyka niebieskawego, jakim proszek ten płonie, zaczyna się wydobywać się wielki potwór postaci robaka wydłużonego i barwy brunatnej, który długie swe sploty węzowe snuje, dopóki wszystek proszek nie ulegnie przeobrażeniu. Zdumiewający ten wszakże rozrost szczypty materiału pierwotnego jest jedynie następstwem wytwarzania się piany, chociaż chemja tego przebiegu jest nieco zawiła. Użyty tu mianowicie proszek, w osłonie cynfolji ukryty, jestto rodanek rtęci, związek chemiczny dosyć nietrwały, ulega bowiem rozkładowi już przez

niezbyt silne rozgrzanie, a produkty tego rozkładu, oprócz rtęci, składają się z ciał lotnych, z azotu, cyanu i siarku węgla; dwa ostatnie z tych gazów są nadto palne, skoro więc przez zapalenie proszku rozpoczął się jego rozkład, podtrzymuje go już dalej żar gazów płonących. Rodanek rtęci wszakże nietylko łatwo się rozkłada, ale łatwiej jeszcze, w niższej już temperaturze, topi się i przechodzi w stan ciekły. Rozkładowi ulega tu zatem sól stopiona, która się pieni działaniem wywiązujących się gazów. W wytworzonej dopiero pianie rozkład kończy się ostatecznie, a pozostający stały popiół, który się składa głównie z siarku rtęci, zachowuje postać tej piany i zajmuje stąd obszar, przenoszący wielokrotnie objętość soli, użytej do doświadczenia.

Wąż Faraona jest więc igraszką, również zajmującą, jak i doświadczeniem pouczającym; na nieszczęście jednak zaliczyć go należy do kategorii węzów jadowniczych, wszystkie bowiem związki rodanu i rtęć sama są to silne trucizny, dla tego też w ostatnich czasach wąż Faraona z handlu zabawek został usunięty. Skoro wszakże znamy już warunki, w jakich wywołać można powstawanie popiołu tak nadmiernie wydętego, wyszukać można materiały mniej niebezpieczne do wytworzenia podobnie cudownego węża. W istocie idzie

tu tylko o dostarczenie obfitego gazu ciałom, któreby go uwięzić mogły w podobny sposób, jak przetwory, z rozkładu rodanku rtęci wynikające. Materiałem zaś takim może być zwyczajny nasz cukier, który po stopieniu wydaje ciecz lepłą, nadającą się dobrze do tworzenia piany, za źródło zaś gazu posłużyć może materiał, niemniej powszedni, mianowicie węglan sodu, który przez ogrzanie wywiązuje kwas węglany, gaz dobrze znany, wytwarzający pienienie się wody sodowej i piwa. Jeżeli zresztą nie chcemy się kłopotać sporządzaniem i dobieraniem należytej mieszaniny, otrzymać ją możemy gotową w aptekach, w tak zwanych pastylkach emskich, wyrabianych z osadu, pozostającego po odparowaniu wody mineralnej emskiej. Osad ten składa się z różnych soli, ale dwie trzecie jego części stanowi dwuwęglan sodu, o który właśnie nam tu idzie, przy wyrobie zaś pastylek, dla poprawy ich smaku, dodaje się pewna ilość cukru, mamy więc w tych pastylkach emskich pożądaną dla nas mieszaninę.

Aby doświadczenie jak najłatwiej wykonać, usypujemy na talerzu lub podstawce wzgórek z popiołu cygara (fig. 52), a na wierzchołku jego układamy trzy lub cztery takie pastylki emskie. Następnie nalewamy na podstawkę nieco alkoholu, którym się popiół napaja i zastępuje dobrze działanie knota. Gdy wtedy spiry-

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.



tus zapalimy, pastylki po pewnym czasie zaczynają się czernić, a wkrótce potem wydobywa się z płomienia czarny wąż, grubości palca, rozpościerający się na stole, z trzech bowiem pastylek urasta do długości dwu metrów prawie. Czarna barwa pochodzi teraz od węgla, który pozostaje po spaleniu cukru, pomieszany z produktami rozkładu soli, wchodzących w skład pa-

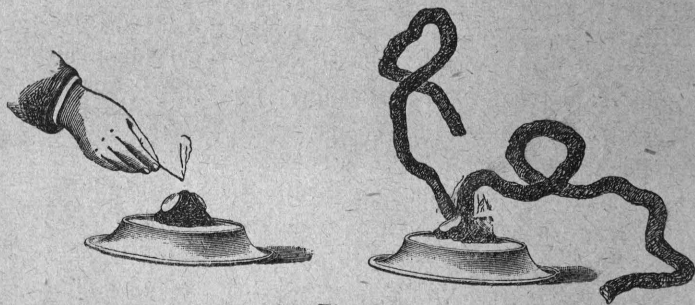


Fig. 52.

stylek; wyłączenie ich spowodował kwas węglany, wywiązujący się przy rozkładzie tychże soli.

Po przykłady zresztą takiej piany zakrzepłej nie trzeba odwoływać się aż do doświadczeń szczególnych, nastroczają je nam bowiem żulze, czyli masy szkliste, dziurkowate i gąbczaste, powstające w hutach przy wytapieniu metali z rud.—Niektóre gatunki węgla ka-

miennego, gdy są ogrzewane, zanim ulegną rozkładowi ostatecznemu, przechodzą w stan ciastowaty, na pół stopiony, a gazy, uchodzące dalej przy rozkładzie, wydymają tę masę ciastowatą i wypełniają ją pęcherzami. Przez wyżarzenie takich węgla powstaje koks, używany jako opał w wielu fabrykach, a zwłaszcza potrzebny do budowy stosów galwanicznych. Podobnie, jak wąż Faraona, zajmuje on objętość większą, aniżeli węgiel kamienny, z którego otrzymany został; koks zatem również zaliczyć możemy do kategorii piany zakrzepłej.



### XXIII.

#### Rozpuszczanie.

Każdemu wiadomo, że sól kuchenna w wodzie się rozpuszcza, nie każdy wszakże zadał sobie pytanie, ile też soli w wodzie rozpuścić się może?

Napełnijmy wodą flaszkę od lekarstwa, albo rurę z jednej strony otwartą, dosypmy do niej pewną ilość soli i przez wstrząśnienie silnie zmieszajmy. Woda zmętnieje; jeżeli wszakże pozostawimy ją przez czas pewien w spokoju, wyklaruje się znowu i żadnego śladu mętu nie dostrzeżemy. Wszystka zatem sól w wodzie się rozpuściła i mamy czysty roztwór soli. Gdy do roztworu tego dosypimy dalszą ilość soli, powtórzy się to samo działanie, wszystka sól jeszcze się rozpuści. Dzieje się to wszakże tylko do pewnego kresu. Jeżeli naczynie zawiera 20 łutów wody, to rozpuści się

w niej tylko 7 łutów soli kuchennej; roztwór będzie jeszcze zupełnie przejrzysty. Jest on wszakże już nasycony, co znaczy, że już więcej soli w rozpuszczeniu utrzymać nie może. Gdy dosypimy doń więcej soli, ciecz zmętnieje, a pozostawiona w spokoju stanie się znów przejrzystą, ale dosypana ilość soli zbierze się na dnie naczynia i już się nie rozpuści. Wszelkie wstrząsania naczynia nie już nie pomogą, bo roztwór zawiera już tyle soli, ile jej rozpuścić może.

Aby doświadczenie to było wyraźne, sól powinna być jak najczystsza.

Gdy roztwór ten przelejemy do garnka i poddamy gotowaniu, woda szybko się wygotuje czyli wyparuje, a sól pozostanie w garnku w postaci proszku bardzo drobnego.

Jeżeli wszakże roztwór soli przelejemy na płytki talerz i pozostawimy przez czas dosyć długi w zupełnym spokoju i w miejscu dosyć ciepłym, woda ulatniać się będzie powoli, a opadające cząsteczki soli ułożą się w większe bryłki, postaci prawidłowej, czyli w kryształy. Powiemy wtedy, że sól z roztworu swego wykrystalizowała.



XXIV.

Endosmoza.

Jajko, które w doświadczeniu str. 49 umieszczone było w rozcieńczonym kwasie solnym, pozostawmy w nim dłużej, dopóki się w nim nie rozpuści zupełnie skorupa, utworzona z węglanu wapnia. Jajko wtedy otoczone będzie tylko cienką swą, białą błoną. Wtedy przeniesmy je do naczynia z wodą czystą, a zobaczymy, że jajko wydymać się będzie, tak dalece, że po upływie dwudziestu czterech lub trzydziestu sześciu godzin objętość jego się podwoi. Aby przyrost ten objętości lepiej uwidocznić, umieścić można obok naczynia inne podobne jajko, które wielkości swej bynajmniej nie zmieni.

Wydymanie się jajka jest tu objawem endosmozy czyli przesiąkania wody przez błonę jajka do jego

wnętrza. Ilekroć dwie cieczce, które się ze sobą mieszać mogą, oddzielone są między sobą jakąkolwiek błoną zwierzęcą albo inną przegrodą dziurkowatą, to przechodzą ku sobie nawzajem wskroś tej przegrody. W ogólności wszakże przechodzą one nie z jednakową szybkością, po jednej zatem stronie przegrody ilość cieczy zwiększa się, po drugiej jej ubywa. I w doświadczeniu naszym wewnętrzną ciecz białkowa jajka przechodzi do wody, ale znacznie wolniej, aniżeli woda do jajka, dla tego też jajko się wydyma.

Jeżeli rurę szklaną, np. kominiek lampy, albo węższą jeszcze, owiążemy u dołu pęcherzem, następnie wypełnimy niebieskim roztworem witryolu miedzianego (koperwasu czyli siarczanu miedzi) i zanurzymy w słój z wodą, to zobaczymy, że słup cieczy w rurce zwolna się wznosi, przyczem niebieskie jej zabarwienie blednie, co stanowi wyraźny dowód, że to woda ze słoja do rury przez pęcherz przesiąkła. Zarazem i woda w słoju nieco niebieszczeje, roztwór zatem koperwasu przechodzi współcześnie do wody. Gdyby w rurce znajdowała się woda czysta, a koperwas w słoju, działałoby się toż samo, ale słup wody w rurce uległby obniżeniu. Woda zatem przez błonę przechodzi prędzej, aniżeli roztwór koperwasu. Gdybyśmy toż samo doświadczenie powtórzyli z wodą i alkoholem, oddzielając je błoną



zwierzęcą, albo cienką płytą kauczukową, dostrzeglibyśmy, że alkohol przechodzi prędzej aniżeli woda.

W życiu zwyczajnem bardzo często napotykać możemy przykłady endosmozy. Tem się tłumaczy np. wydymanie grochu i bobu w wodzie. Jeżeli zetniemy górną część żółtego buraka, wydrążymy go następnie i wydrążenie to wypełnimy mialkim cukrem, to po pewnym czasie cukier ten zwilgotnieje i zamieni się zupełnie w roztwór, gdy otaczająca ściana buraka widocznie się ściągnie i skurczy. Oczywiście więc woda przedostała się do cukru z komórek roślinnych korzenia, wskutek działania endosmotycznego.

W ogólności, w roślinach endosmoza ma nader ważne znaczenie, ona to bowiem powoduje wymianę soków między komórkami. W ciele zwierząt i ludzi tak samo ciecze przez błony przenikają; substancje, zawarte w krwi, przez błony naczyń przechodzą do gruczołów. Liczne zatem objawy życia polegają na endosmozie.



## XXV.

### Ciśnienie powietrza.

Jak woda ciśnie na dno naczynia, w którym się znajduje, tak też i powietrze, otaczające ziemię, wywiera ciśnienie na jej powierzchnię. Jakkolwiek bowiem jest lekkie, sięga wszakże wysoko w górę, a stąd słup powietrza, wznoszący się nad drobną nawet cząstką powierzchni ziemi, posiada już znaczny ciężar, skąd właśnie ciśnienie to powstaje.

O ciśnieniu tem każdy słyszał, a może się o niem i sposobem bardzo łatwym przekonać. Napełnimy szklankę wodą i zakryjmy ją kartką papieru lub tektury, tak, aby papier wszędzie do brzegów szklanki przystawał. Naciśnijmy go następnie lewą ręką, a prawą odwróćmy szklankę i odejmijmy ostrożnie rękę lewą (fig. 53). Otwór szklanki zwrócony jest ku dołowi, a jednak woda nie wypływa. Podtrzymuje ją bowiem ciśnienie powietrza.

Ciśnienie tu nie działa z góry, ale z dołu, co się tłómaczy w sposób taki, jak w doświadczeniu przedstawionem na fig 16. Powietrze dolne, ugniatane przez warstwy górne, usiłuje się rozszerzać, tak jak sprężyna ugniatana usiłuje odzyskać pierwotną swą postać. Im silniej powietrze jest ugniatane, tem z większą też siłą dąży do rozszerzania się, tem silniejsza wzbudza



Fig. 53.

się w niem sprężystość czyli prężność, a prężnością tą wywiera ciśnienie na papier zakrywający szklanke i podtrzymuje wodę.

Ćwiartka papieru jest tu zresztą pomocniczą tylko, powietrze i bez niej ciśnie na wodę i może ją utrzymać. Papier potrzebny jest tylko dla tego, by nie dopuszczał powietrza, któreby wzdłuż ścian szklanki do niej dostać nie mogło. Gdy otwór naczynia jest

wązki, powietrze i bez papieru wcisnąć się do niego nie może. Można do tego użyć rurki wązkiej, z obu stron otwartej; gdy ją zanurzymy w wodę i górny koniec zakryjemy palcem, to po wydobyciu rurki woda z niej nie wypływa. Za odjęciem wszakże palca natychmiast wycieka, wtedy bowiem powietrze ciśnie z góry i z dołu, a dwa te działania nawzajem się niweczą. Najlepiej nadają się do tego rurki z jednej strony zwężone, jakie się używają do strzykawek czyli małych sikawek lekarskich.

Wyrabiają się obecnie fuzyjki dzieciinne, z których chłopcy mogą bezpiecznie strzelać nawet do zwierciadeł i do szyb, bez obawy ich stłuczenia, chociaż pocisk zostaje do nich przyczepionym. Pocisk ten bowiem stanowi kawałek kauczuku, posiadający w części przedniej zagłębienie w postaci kielicha. Gdy pocisk ten uderza o ścianę, spłaszcza się na chwilę, natychmiast jednak odzyskuje postać pierwotną; w części zagłębionej zatem powstaje próżnia czyli brak powietrza, a pod wpływem ciśnienia powietrza otaczającego pocisk przylega silnie do ściany, o którą uderzył. Kauczukowa przeto strzała nie grozi żadną szkodą, a pozostając utwierdzoną, daje miarę celności strzału.

samem trudniej je rozerwać. Robiono półkule te tak wielkie, że zdołało je rozerwać dopiero szesnaście koni, przyprzeżonych po ośm z każdej strony.

XXVI.

Półkule magdeburskie.

Ze wszystkich doświadczeń, któremi okazać można ciśnienie powietrza, najsłynniejsze jest z półkulami magdeburskimi. Są to dwie półkule puste, mosiężne lub miedziane, mające brzegi doskonale wygładzone, tak, że gdy je złożymy, otrzymamy jedną, wewnątrz pustą kulę. Jedna z tych półkul posiada rączkę, druga opatrzona jest rurą, którą połączyć można z pompą powietrzną; gdy więc za pomocą tej pompy usuniemy z wnętrza kuli powietrze i zakręcimy kurek u rury, aby powietrze dostać się znów do kuli nie mogło, nie zdołamy już półkul tych rozerwać, chyba przez użycie znacznej siły. Powietrze bowiem otaczające ciśnie na powierzchnię kuli i opiera się rozdzieleniu obu półkul. Im półkule te są większe, tem znaczniejsze jest ciśnienie, wywierane na nie przez powietrze, a tem

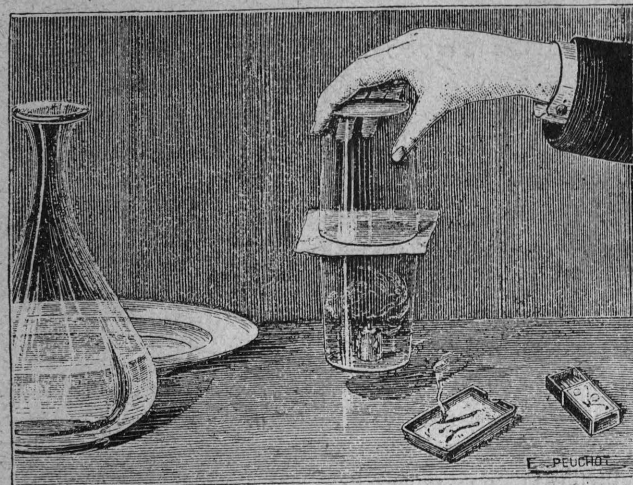


Fig. 54.

Pompę powietrzną nie każdy wprawdzie posiada, każdy jednak łatwo urządzić sobie może półkule magdeburskie, posługując się tylko dwiema szklankami, z których w jednej rozrzedzamy powietrze przez ogrzanie lampką spirytusową lub też świecą. Rozgrzaną



w ten sposób szklankę zakrywamy papierem przemoczo-  
nym, który winien być dosyć gruby, a następnie zakry-  
wamy ją drugą, jak rycina (fig. 54) wskazuje. Oczywi-  
ście szklanki muszą być zupełnie jednakowe, by brzegi  
ich należycie przystawały. Wtedy, podnosząc szklankę  
górną, możemy z nią unieść i dolną, co uwidoczni wy-  
raźnie nacisk powietrza otaczającego. Papier wydyma  
się nieco ku dołowi i niekiedy pęka, co wszakże do-  
świadczeniu nie zawadza.

Ze zręcznego zastosowania ciśnienia powietrza  
korzystają akrobaci, pozwala im ono bowiem przedsta-  
wiać zdumiewającą sztukę chodzenia po suficie, z gło-  
wą zwieszoną ku dołowi, w sposób przedstawiony na  
rycinie (fig. 56).

Sufit, po którym chodzi akrobata, lub, jak na ry-  
sunku naszym akrobatka, utworzony jest z pomostu  
długiego na 8 metrów, doskonale wygładzonego. Przy-  
czepienie nóg do pomostu dokonywa się za pomocą  
dwu krążków kauczukowych, utwierdzonych do obuwia  
akrobaty, a działających w sposób takiż sam, jak wspo-  
mniane wyżej pociski fuzyjki dziecinnej, albo jak zna-  
ne wieszadła pneumatyczne, które działaniem ciśnienia  
atmosferycznego uczepiają się silnie ściany. Kaucz-  
kowe te krążki, o średnicy 11 centymetrów i grubości  
15 milimetrów, posiadają po stronie odwróconej od sto-

py powierzchnię wklęsłą, jak to widzimy na fig. 55.  
Na środku krążka, czyli łyżwy pneumatycznej, osadzo-  
ny jest guzik, przedziurawiony poprzecznie; do podesz-  
wy zaś obuwia utwierdzona jest silnie rurka czyli osa-  
da, która guzik powyższy dokładnie obejmuje i posia-

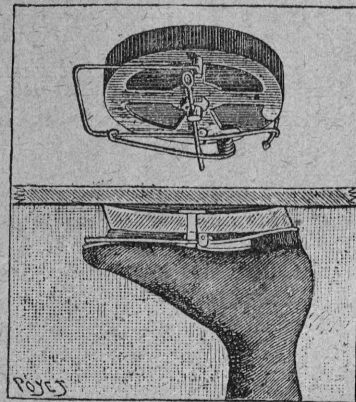


Fig. 55.

da również otwory boczne, tak, że przez te otwory  
i przez guzik przesunąć można pręt czyli czop, który  
w ten sposób przytwierdza krążek do obuwia.

Nadto część przednia łyżwy zaopatrzona jest  
w drut żelazny, zgięty w postaci głośki U, a obraca-  
jący się w dwu czopkach, osadzonych na obręczy me-



Fig. 56.

talowej krążka kauczukowego. W położeniu normalnem drut ten jest utrzymywany w oddaleniu od krążka za pośrednictwem sprężyny i przylega do podeszwy, może być zaś wprawiony w ruch naciskiem palca wiel-

kiego nogi. Z jednej strony drut wydłuża się ku tyłowi i za pośrednictwem drążka działa na klapkę, zamykającą w tylnej części otwór krążka. Gdy krążek zostaje naciśnięty do powierzchni płaskiej i gładkiej, uczepia się jej i przylega do niej silnie, a to wskutek próżni, która się we wnętrzu wytwarza, gdy się on rozciąga pod wpływem ciężaru ciała. Jeżeli wtedy akrobata naciska palcem przednią część drutu, klapka się otwiera, powietrze wpada do wnętrza krążka, a przyleganie jego ustaje. Zręczność zatem akrobaty polega na tem, aby dokładnie przykładł nogi do pomostu i naciskał naprzemian drut jednego i drugiego krążka, w taki bowiem sposób noga jedna pozostaje zawsze uczepiona do pułapu, gdy druga oswobadza się i posuwa naprzód w tym niezwykłym chodzie.

Ponieważ ciśnienie powietrza na pole jednego centymetra kwadratowego wynosi 1,03 kilograma, łatwo jest ocenić siłę, podtrzymującą tak zawieszono akrobatę. Średnica krążka, jak powiedzieliśmy, ma 11 centymetrów długości, powierzchnia jego zatem wynosi około 95 centymetrów kwadr., a stąd w przypuszczeniu, że wewnątrz krążka jest próżnia zupełna, ciśnienie atmosferyczne, odpowiadające tej powierzchni, czyniłoby prawie 100 kilogramów, to jest około 250 funtów. Dokładna budowa przyrządu pozwala wywołać w nim

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

próżnię prawie zupełną, a jeżeli osoba, ćwiczenia te wykonywająca, nie jest zbyt ciężka i waży około 60 kilogramów, pozostaje jeszcze dostateczny nadmiar ciśnienia do wynagrodzenia możliwych niedokładności urządzenia.

W każdym razie bezpieczeństwo takiej przechadzki nie jest dosyć pewne, by można się było obejść bez siatki, upadek bowiem często się wydarza. Dla tego też nie zachęcamy nikogo do podobnego doświadczenia, chcieliśmy tylko podać tu wyjaśnienie sztuki, która wywołuje podziw nieświadomych jej tajemnicy.



## XXVII.

### Rozpryskiwacz.

Powszechnie używany jest obecnie mały przyrząd, służący do rozpryskiwania cieczy w celu odświeżania powietrza w mieszkaniach; nadaje mu się pospolicie francuską nazwę refreszysera lub pulweryzatora, lepiej wszakże nazywać go po polsku rozpryskiwaczem.

Aby działanie jego dobrze zrozumieć, odwołamy się do łatwego doświadczenia. Trzymając rękę poziomo, umieścimy pod dłonią kartkę papieru, którą najpierw podtrzymujemy drugą ręką. Przyłożywszy następnie usta do grzbietu ręki, dmuchamy silnie między szpary palcy,—możemy wtedy usunąć rękę podtrzymującą, a pomimo to kartka nie odpadnie, dopóki dmuchania nie przerwiemy. Jakaż to przyczyna podtrzymuje ją i naciska do dłoni?



Przyczyną tą jest ciśnienie powietrza. Gdy mianowicie silny prąd powietrza, wydobywający się z płuc naszych, uchodzi między dłonią a papierem, usuwa też warstwę powietrza, która się tam mieści, powietrze

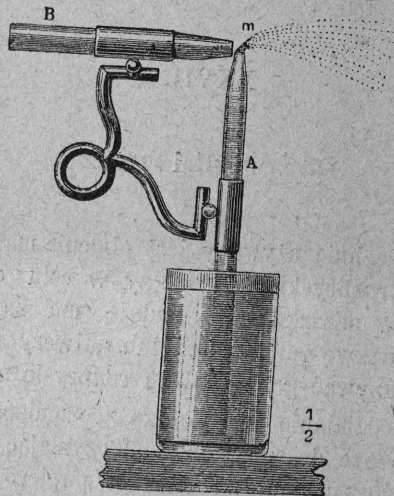


Fig. 57.

więc tam ulega rozrzedzeniu, a papier podtrzymywany jest przez nacisk powietrza otaczającego.

Toż samo dzieje się w rozpryskiwaczu, który przedstawia fig. 57; składa się on z dwu rurek, jednej

pionowej A i drugiej poziomej B, których zwężone otwory przypadają bardzo blisko siebie w miejscu *m*. Rurę pionową zanurzamy końcem dolnym w ciecz, a przez rurę B silnie dmuchamy. Prąd powietrza, wydobywający się z tej rury, gwałtownie się rozprzestrzenia, a zatem rozrzedza; wskutek tego uchodzi powietrze i z rury pionowej A, a ciecz w niej doznaje ciśnienia słabszego, aniżeli ciecz w otaczającym naczyniu, pod nadmiarem więc tego ciśnienia atmosferycznego ciecz w rurce wznosi się aż do otworu *m* i, porywana przez przebiegający prąd powietrza, rozbija się na nader drobne kropelki, które się po pokoju rozchodzą.

Są rozpryskiwacze i innej postaci, działają wszakże wedle tejże samej zasady.



## XXVIII.

### Pierścienie wirowe.

Za dziecinnych naszych czasów zachwycaliśmy się często kółkami dymu, które zręczni palacze z ust wypuszczać umieją; podobneż pierścienie dostrzegać się dają i przy strzałach z broni palnej, a niekiedy, przy spokojnem powietrzu, wyrrywają się i z kominów lokomotyw. Do wytwarzania takich kółek czyli pierścieni dym nie jest zresztą warunkiem niezbędnym, są to bowiem jedynie masy powietrza, wirujące dookoła osi, dym zaś służy tylko do uwidocznienia tych ruchów w atmosferze.

Aby jednak młodzi czytelnicy, którzyby chcieli kółka z dymu puszczać, nie mieli powodu utyskiwać, że papierosów jeszcze nie palą, podajemy tu dogodniejszy i pewniejszy sposób wytwarzania pierścieni wirowych, zgoła bez udziału dymu tytoniowego.

Trzeba mianowicie w tym celu postarać się o pudełko tekturowe (fig. 58) i w górnej jego ścianie albo w pokrywie wyciąć otwór okrągły, o średnicy mniejszej lub większej, a która dochodzić może 10 i 12 cm; na-

leży tylko baczyć, aby brzegi otworu starannie były wygładzone. Zamiast dymu służyć nam tu będą białe pary salmiaku, który się wytwarza przez łączenie kwasu solnego z amoniakiem; na małym zatem talerzyku,



Fig. 58.

ustawionym na dnie pudełka, umieszczamy obok siebie dwa kłaczki waty, z których jeden napojony jest kwasem solnym, drugi zaś silnym roztworem amoniaku. Jeżeli doświadczenie chcemy na dłuższy czas przygoto-

wać, w miejsce waty użyjemy dwu paczek bibuły, które temiż cieczami napoimy. Komuby trudno było o te materiały aptekarskie, ustawić może w pudełku trociczkę zapaloną, a wreszcie napuścić tam sporo dymu tytoniowego.

Jeżeli wtedy uderzać będziemy palcami wspólnie w dwie przeciwległe ściany pudełka tekturowego, przez otwór pokrywy wyrwać się będzie słup powietrza, unoszący ze sobą parę salmiaku lub inny dym z pudełka, a dym ten przyjmuje postać prawidłowego pierścienia, który przy posuwaniu powiększa swą średnicę i ruch swój zwalnia.

Przyglądając się bliżej takiemu pierścieniowi, dostrzegamy, że cząsteczki dymu obracają się dookoła kołowej osi pierścienia, ruch zaś ten obrotowy tak jest skierowany, że na stronie wewnętrznej pierścienia cząsteczki jego biegają w kierunku, w jakim się pierścień posuwa. Ruch wirowy jest następstwem samego tworzenia się pierścienia. Gdy część dymu wydobywa się ze skrzynki przez uderzenie o jej ścianę, to wskutek tarcia o brzegi ruch ten się zwalnia, przez część zaś wewnętrzną otworu powietrze wybiega prędzej; wskutek tego powstaje dookoła otworu wir, na wzór tego, jak się wywiązuje wir poza palem osadzonym w rzece. Cząsteczki powietrza obracają się w wirze tym dookoła osi pierścieniowej, odpowiadającej

postaci otworu. Gdy dwa pierścienie wypuszczamy tak, że nawzajem się uderzają, okazują zjawiska podobne, jak przy uderzaniu ciał sprężystych. Jeżeli otwór jest eliptyczny, pierścienie przyjmują ruch drgający. Można też, oczywiście, pierścienie wypuszczać i w kierunku poziomym, jeżeli ścianę, opatrzoną otworem, ustawimy pionowo.

Jak powiedzieliśmy wyżej, dym nie przyczynia się zgola do tworzenia pierścieni, służy tylko do ich uwidocznienia. Okazać to można, zwróciwszy otwór ku płytce szklanej, pokrytej niewielką ilością nasienia widłakowego (*semen lycopodii*); chociaż pudełko dymu nie zawiera, na płytce rozwija się figura kołowa, a pył zbiera się na jej brzegu zewnętrznym. Doświadczenie to wymaga wszakże pewnej wprawy.

Gdyby wir nie napotykał przeszkód, gdyby nie ulegał tarcia o powietrze, ruch obrotowy trwałby już ustawicznie. Z powodu oporu wszakże, jaki znajduje, ruch obrotowy zwalnia się i wreszcie ustaje, a wtedy cząsteczki dymu opadają ku dołowi, rozpościerają się i tworzą pierścień poziomy, który się zwolna rozwiewa. Podobnie pierścienie poziome obserwować można w cieczach zabarwionych, które z pewnej wysokości opuszczamy w postaci kropel do cieczy bezbarwnej.



## XXIX.

## Drgania głosowe.

Głos jest objawem drgań,—ciało wydające jakikolwiek głos pozostaje w drganiu. Gdy drgania te są nieregularne, lub choćby, gdy są regularne, ale nie dosyć szybko następują jedno po drugim, słyszymy wtedy szmer—szelest, plusk, huk, trzask; gdy natomiast drgania zachodzą regularnie i szybko jedno po drugim, tak że na sekundę przypada ich co najmniej szesnaście, powstaje ton czyli dźwięk muzyczny.

Ażeby się przekonać, że struna, gdy brzmi, ulega drganiu, możemy na niej w różnych miejscach pozawieszać skrawki papieru, które spadają, skoro tylko struna głos wyda.

Bardzo też łatwo i wyraźnie okazać można drgania głosowe w sposób przedstawiony na fig. 59. Przywiązawszy do nitki guzik metalowy, albo inną jakąś kulkę, uczepiamy drugi jej koniec do nóżki kieliszka; jeżeli wtedy, ująwszy lewą ręką dno kieliszka, trącać będziemy ołówkiem lub innym pręcikiem o brzeg jego,

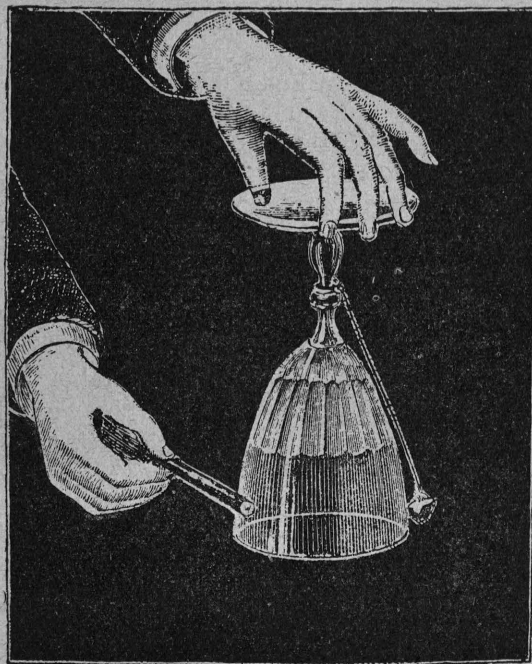


Fig. 59.

usłyszymy dźwięk, a zarazem dostrzeżemy, że kulka nasza odskakuje od szkła i drga. Ruch ten kulki zdradza, że i sam kieliszek, a raczej cząstki jego pozostają w drganiu.

Można też nitkę z kulką przywiązać do ołówka, który trzymamy tak, by kulka dotykała kieliszka umieszczonego na stole. Jeżeli wtedy po brzegu tego kieliszka pociągniemy smyczkiem, silnie natartym żywicą, wywołamy brzmienie szkła, a wraz ze wzburzeniem tonu kulka od kieliszka odskakuje i przechodzi w żywy ruch wahadłowy, przekonywający nas, że i kieliszek pozostaje w drganiu.

Drgania kieliszka ujawnić też można, napelnivszy go do połowy wodą,—za pociągnięciem smyczkiem woda ulega falowaniu. Wtedy wszakże dostrzegamy, że nie cała powierzchnia pokrywa się falami, w kierunku bowiem niektórych promieni poziom jej pozostaje niewstrząśnięty. Najczęściej woda rozpada się na cztery części oddzielnie drgające, a pomiędzy nimi przypadają cztery linie węzłowe, na których woda nie faluje. Podział ten jest lepiej widoczny, gdy powierzchnię wody posypimy nasieniem widłakowem, które w każdej aptece jest do nabycia.

Doświadczenie to uczy, że kieliszek wprawiony w brzmienie dzieli się na części, z których każda drga oddzielnie. W podobny sposób drgają dzwony i w ogólności wszelkie płyty, bądź płaskie, bądź zgięte.

XXX.

### Drganie kamertonów.

Doświadczenia poprzednie są wprawdzie bardzo proste, ale ujawniają tylko, że ciała brzmiące pozostają w ruchu drgającym; nie mogą nam ruchu tego oznaczyć dokładniej, nie wskazują zgola, jak często drgania jedno po drugim następują. Badanie to wymaga przyrządów ściślejszych, dosyć jednak łatwą jeszcze metodę podał fizyk amerykański Hopkins.

Na ramieniu kamertonu, albo na końcu pręta, który może być w drganie wprawiony, osadzone jest okrągłe pudelko tekturowe (fig 60), posiadające z każdej strony otwór o kilku milimetrach średnicy. Wewnątrz znajdują się dwie małe wstęgi z bibuły, utwierdzone w części górnej, a swobodnie zwieszające ku dołowi. Jedna z tych wstęg napojona jest kwasem sol-

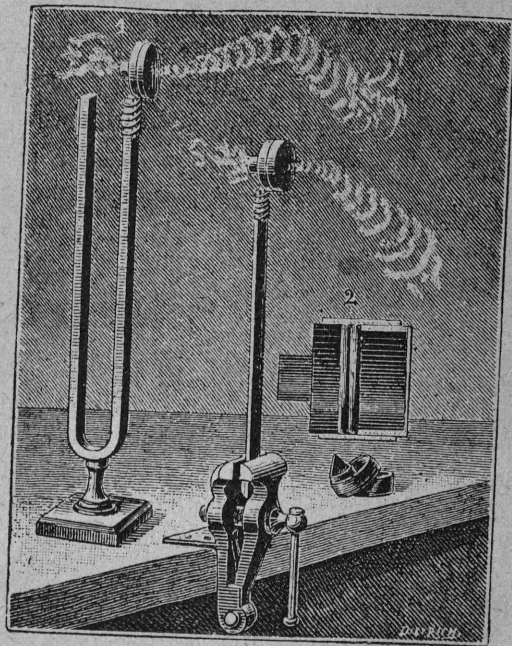


Fig. 60.

nym, a druga amoniakiem. Gdy kamerton przechodzi w drganie, wstęgi w pudełku również się poruszają i uderzają nawzajem jedna o drugą; przy każdym więc ich spotkaniu zachodzi działanie chemiczne między

kwadem solnym i amoniakiem, wytwarza się salmiak który się rozchodzi, tworząc pierścienie dymu. Przez otwory wydobywają się pierścienie drobnej z początku średnicy; w miarę jednak, jak posuwają się dalej, rozszerzają się coraz bardziej, aż wreszcie rozchodzą się i giną. Pierścienie idą jedno za drugimi, a każdy z nich przedstawia jedno drgnięcie kamertonu.

Nr 2 ryciny daje odmienne nieco urządzenie pudełka, służącego do wywiązywania par salmiaku. Pudełko walcowe podzielone tu jest na dwie części przegrodą kauczukową a jedna ze ścian opatrzona jest w otwór o średnicy 4 do 5 mm. Bibuła napojona kwasem solnym i amoniakiem mieści się między przeponą kauczukową a ścianą posiadającą otwór. Wraz z drganiem kamertonu ulega drganiom i przepona kauczukowa, a prawidłowe jej ruchy wywołują pierścienie bardzo czyste i kolejno jedno za drugimi wybiegające. Udział więc przegrody kauczukowej nadaje metodzie tej większą dokładność, choć i pudełko bez niej do doświadczeń zwykłych, jak powiedzieliśmy, dobrze służyć mogą.





### XXXI.

#### Współdźwięczność.

Ciało brzmiące, czyli pozostające w drganiach głosowych, pobudzić może do podobnych drgań i inne ciało, w sąsiedztwie jego będące. Zjawisko to nazywamy współdźwięcznością. Jeżeli do otworu fujarki organowej zbliżymy potrącony, a zatem dźwięczący kamerton, fujarka również się odzywa i wydaje ton. Koniecznym wszakże jest warunkiem, aby fujarka była w harmonji z kamertonem, aby ton jej właściwy, ton, jaki ona wydawać może, był takiż sam, jak ton pobudzającego kamertonu. Jest ona już na pewien ton nastrojona, do pewnych drgań przygotowana, a skoro pokrewne jej drgania rozchodzą się w sąsiedztwie i do niej dobiegają, wywołują one te drgania przygotowane, rozbudzają uspięne w niej dźwięki.

Podobne przenoszenie drgań uwidocznić można i na drodze czysto mechanicznej. W tym celu na sznurze rozciągniętym, w jednakich od końców jego odległościach, uczepmy dwa wahadła jednakiej długości (fig. 61), czyli po prostu dwa ciężarki na nitkach. Jeżeli jedno z tych wahadeł wprowadzimy w ruch, nie pozwoli ono drugiemu pozostać w spoczynku, ale pobudzi

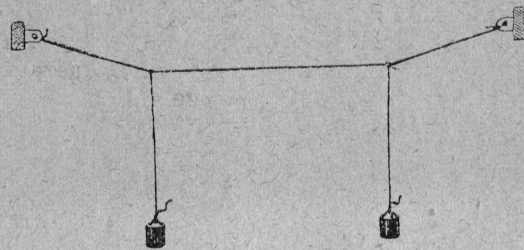


Fig. 61.

je do ruchu. Wahadło poruszone wykonywa kołysania coraz mniej obszerne, odchyła się słabiej, gdy drugie natomiast ruch ten przejmuje i ulega wahaniom, zgodnym z biegiem wahadła pierwszego. Po upływie pewnego czasu zatrzymuje się znów to drugie wahadło, a pierwsze ruch swój odzyskuje. W ten sposób wzajemne to udzielanie ruchu między obu wahadłami powtarza się kilkakrotnie.

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

Objawy współdźwięczności okazać można różnemi doświadczeniami. Posłużyć może nam do tego zwykły klosz od lampy, który szerszym otworem zanurzamy w naczyniu z wodą (fig. 62). Gdy klosz niewiele tylko jest w wodę pogłębiony, zbliżamy do górnego jego otworu kamerton brzmiący. Powietrze w dzwonie szkla-

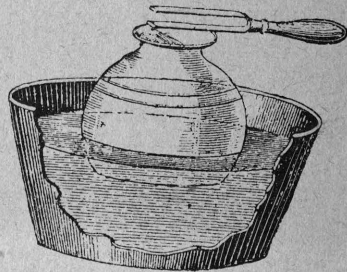


Fig. 62.

nym zawarte z początku pozostaje w spoczynku; gdy jednak zwolna klosz opuszczamy coraz niżej, natrafiamy na położenie, w którym przechodzi ono w drgania i wydaje dźwięk silny. Ma to miejsce wtedy, gdy słup powietrza w tym dzwonie ma należyłą objętość i należyłą postać, gdy z kamertonem pozostaje w zgodności, gdy zatem między nimi zachodzi konsonans. Jeżeli dzwon nieco więcej zagłębiamy, lub cokolwiek

go wysuwamy, zgodność ta się zrywa, sympatja wzajemna ustaje i fale głosowe powietrza słabną.

Ze współdźwięczności tej korzystamy w skrzypcach lub w fortepianie, gdy słabe tony strun drgających wzmacniamy falowaniem powietrza w pudłach. Wzmacnianie takie tonów nazywamy rezonansem, przyrządy zaś do wzmacniania tonów służące rezonatorami.



XXXII.

Jama ust jako rezonator.

Chcąc okazać wzmocnianie tonów przez drganie powietrza, nie trzeba wyszukiwać i tak prostego nawet rezonatora, jak w doświadczeniu poprzedzającym; każdy z nas bowiem posiada własny swój rezonator, a mianowicie swoją jamę ust (fig. 63).

Przed otwartymi ustami wprawiamy w ruch zwykły dzwonek pokojowy, drgania więc te udzielają się słupowi powietrza, w jamie ust zawartemu. Wiemy już wszakże, że każde ciało, pod wpływem innego ciała brzmiącego, wtedy tylko w drgania głosowe przechodzi, gdy pozostaje z niem w pewnej zgodności, gdy samo nastrojone jest na ton, przez ciało brzmiające wydawany. Aby więc dźwięk dzwonka pobudził do drgania powietrze w jamie ust zawarte, należy jej nadać

właściwą postać; przesuwając tedy język nieco więcej ku przodowi lub ku tyłowi, a zarazem roztwierając usta mniej lub więcej, natrafimy na taką postać jamy ust, przy której dźwięk dzwonka zostanie wyraźnie wzmocnionym.

W doświadczeniu tem zagnaliśmy niejako jamę ust do roli rezonatora; jest ona wszakże stale rezonatorem



Fig. 63.

przy mowie naszej, chociaż należyta w każdej chwili postać przybiera bez przymusu i bez świadomości nawet naszej. Głos nasz powstaje w krtani, gdy prąd powietrza, wydychanego z płuc, wprawia w drganie struny głosowe, czyli dwie błony, umieszczone w górnej części krtani i pozostawiające między sobą szczelinę, zwaną szparą głosową. Pod tym względem nie róż-



ni się człowiek istotnie od zwierząt wyższych, od ssących i ptaków, bo i ich przyrząd głosowy podobnie jest zbudowany i umieszczony. Ale człowiek posiada przyrząd dodatkowy, który mu pozwala głos, wydawany przez struny krtaniowe, urabiać w mowę jasną i wyraźną; dodatkowym tym przyrządem głosowym jest właśnie jama ust i zawarte w niej części. Dźwiękami wydawanymi za pośrednictwem krtani mogą się zwierzęta zwoływać, mogą nawet wyrażać uczucia swe, radość lub cierpienie, ale jedynie człowiek przez urobioną w jamie ust mowę może myśli swe jasno wypowiadać i porozumiewać się z innymi ludźmi.

Gdy chcemy wymówić samogłoskę pewną, jama ust bezwiednie, to jest bez świadomości naszej, przyjmuje odpowiednią postać, dla każdej samogłoski odmienną; powietrze w niej zawarte przechodzi w drganie, a ton stąd powstający, łącząc się z tonem wydawanym przez struny głosowe, nadaje mu brzmienie żądanej samogłoski—*a*, *e*, *i*, *o* lub *u*. Dawniej nie umiano sobie wytłómaczyć, jak samogłoski powstają; wytłómaczył to dopiero znakomity fizyk Helmholtz przed czterdziestu laty.

Spółgłoski tworzą się w inny sposób. Gdy wymawiamy głoskę *b*, roztwieramy nagle przywarte wargi; przy wymawianiu głoski *m* wargi rozwarłe nagle

zamykamy. Wargi stanowią jakby bramę, która otwiera i zamyka wejście do jamy ust; podobnież wszakże posiadamy dalej dwie jeszcze takie bramy,—jedną mianowicie przy zębach, drugą przy zetknięciu języka z podniebieniem. Przy otwieraniu więc lub zamykaniu, albo też przy rozmaitem ustawianiu trzech tych bram, powstają różne spółgłoski. Zechciejmy tylko każdą spółgłoskę wymawiać uważnie, a poznamy, jak ona powstaje, i zrozumiemy, skąd gramatyka dzieli spółgłoski na wargowe, językowe i podniebienne.



XXXIII.

Płomień drgający.

Dowiedzieliśmy się, że różne samogłoski powstają przez kombinację, czyli przez łączenie się rozmaitych tonów. Aby je wyróżnić, czyli oznaczyć, jakie tony każdą samogłoskę tworzą, potrzeba przyrządów bardzo zawitych i kosztownych. Jeżeli wszakże pragniemy się tylko przekonać, że rzeczywiście przy każdej samogłosce inne w jamie ust brzmią tony, zbudować możemy przyrząd dosyć prosty; potrzeba tylko postarać się o podłużne zwierciadło, krótką rurkę gumową i mały lejek, szklany, metalowy, lub tekturowy wreszcie, który osadzamy w jednym końcu rury gumowej. Zwierciadło zawieszamy na odpowiedniej podstawie, tak, aby je można było wprawiać w drgania boczne, to jest, aby za popchnięciem kołysało się na prawo i na lewo;

W braku lepszej podstawy ułożyć ją możemy nawet z książek, jak właśnie wskazuje rycina (fig. 64). Na przeciwko zwierciadła ustawiamy płonącą świecę i zbliżamy do niej koniec rury, gdy koniec drugi, opatrzony lejkiem, trzymamy przy ustach. Gdy wtedy wy-

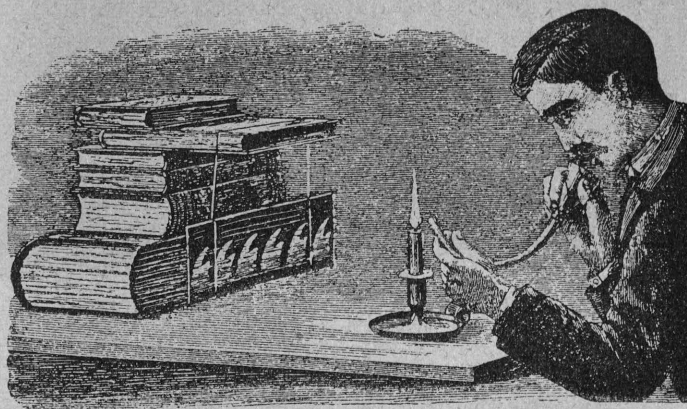


Fig. 64.

mawiamy lub, lepiej, śpiewamy pewną samogłoskę, fale głosowe udzielają się powietrzu w rurce i za jej pośrednictwem uderzają płomień, który staje się niespokojnym, jakby drżącym, jaśniejszym i bledszym na przemian. Do rozpatrzenia tedy jego podskoków służy

zwierciadło; gdy je tracimy, kolejne obrazy płomienia rysują się w niem coraz w innych miejscach i dostrzegamy smugę płomienistą, dziwacznie powyrzynaną. Różne samogłoski nadają smudze tej rozmaitej postać, co świadczy, że przy każdej z nich podskoki płomienia są odmienne, a stąd wnosimy, że tony, od których podskoki te zależą, także są różne.

Gdy śpiew przerywamy, w poruszającym się zwierciadle odbija się spokojny płomień świecy, a wtedy dostrzegamy w niem jasną wstęgę o brzegach prostoliniowych. Daje to dowód, że wycięcia zygzakowate są jedynie następstwem tonów, które sprowadzają niepokój płomienia.

Jeżeli zwierciadło wprawiane być może w obrót jednostajny za pomocą korby, daje to rezultaty daleko dokładniejsze, przyrząd taki trudniej już wszakże zbudować.



#### XXXIV.

#### Rozszerzalność ciał.

Gdy temperatura ciała wzrasta, objętość jego się zwiększa. Rozszerzalność ciał w miarę ich ogrzewania okazać można za pomocą doświadczeń bardzo prostych. Jeżeli idzie o ciała stałe, użyć można przyrządu, złożonego z pierścienia i kulki metalowej. Kulka jest tak dobrana, że w zwykłej temperaturze łatwo przez pierścień przesunąć się daje; gdy ją wszakże rozgrzejemy lampką spirytusową, już przez niego nie przejdzie. W braku takiego przyrządu wystarczyć może jakakolwiek rura metalowa, stara lufa np., bylebyśmy dobrali odpowiednią kulkę metalową, która w temperaturze zwykłej daje się w nią wsunąć pod słabym naciskiem, a po rozgrzaniu nie da się już tam wtłoczyć. Niemniej do tego samego celu przydatnem być może żelazko do



prasowania i „dusza“, w zwykłej temperaturze niezbyt swobodnie w nie wchodząca.

O rozszerzalności ciał ciekłych przekonywa dostatecznie termometr; znaczną zaś rozszerzalność ciał lotnych wykazać można za pomocą flaszki, urządzonej na wzór bani Herona. Flaszkę zamykamy korkiem przewierconym, przez który przechodzi rura z obu stron otwarta, sięgająca prawie aż dna flaszki, której część dolną wypełnia woda. Jeżeli górną część flaszki obejmiemy ręką, powietrze w niej zawarte, rozszerzając się od ciepła naszej ręki, nadmiarem ciśnienia swego wtłacza wodę w rurę do znacznej wysokości. Można też użyć rurki z jednej strony zamkniętej, czyli zwykłej epruwetki, którą końcem otwartym zanurzamy w wodę, a w pobliżu końca zamkniętego ogrzewamy lampką spirytusową, przesuując ją z wolna w jedną i drugą stronę. Powietrze rozszerza się i wydostaje przez wodę w postaci pęcherzyków, uchodzących ze słabym hukiem; powietrze zatem w rurce ulega rozrzedzeniu, a gdy lampkę usuniemy, pod nadmiarem ciśnienia zewnętrznego woda wchodzi w rurkę i podnosi się w niej wysoko.

Najtrudniej atoli wykazać rozszerzalność podługną czyli liniową ciał stałych, co wszakże stanowi fakt najbardziej niejako zasadniczy.

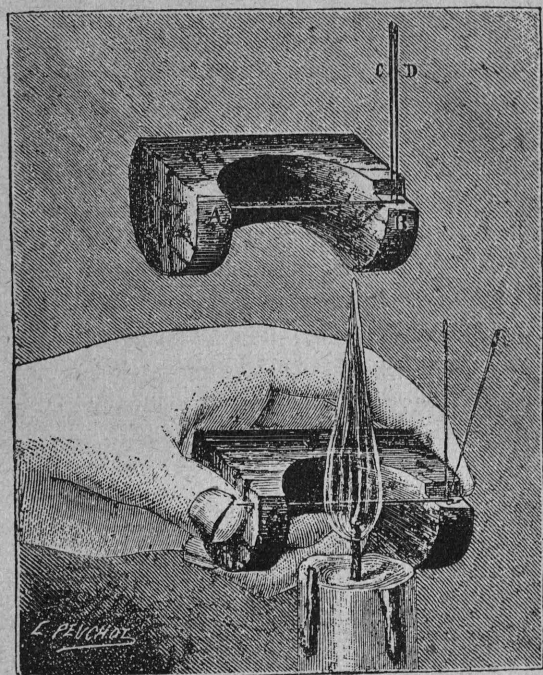


Fig. 65.

Dla tego przytaczamy tu urządzenie bardzo dowcipne, podane przez pismo francuskie „La Nature“, a wymagające tylko korka i kilka igieł. Korek wycinamy scyzorykiem w sposób wskazany na rycinie (fig.

65), nadając mu powierzchnię płaską i wcięcie walcowe. Przez brzeg A przesuwamy ostrze igły, a uszko jej opieramy o brzeg drugi B, którego poziom w tym celu zniżamy o jakie dwa milimetry. Przez otworek zaś czyli uszko tej igły przesuwamy ostrze innej igły BC, które nieco zagłębiany w korek tak, aby igielka, leżąca poziomo, bardzo niewiele odstawała od powierzchni korka. Jeżeli wtedy ogrzewać będziemy igłę poziomą w dolnej części płomienia świecy, albo w płomieniu lampki spirytusowej, igła C pochyla się wyraźnie. Aby zaś pochylenie to uwidocznić lepiej, po za igłą C osadzamy w korku inną igłę D, jednakiej z nią wysokości.



### XXXV.

#### Waga do wykazania rozszerzalności prętów.

Do okazania rozszerzalności ciał pod wpływem ciepła służyć też może i inne proste urządzenie.

Pręcik metalowy, a najłatwiej drut dosyć długi, przesuwamy przez krążek korkowy, tak, aby krążek ten przypadał w pośrodku drutu. Przebijamy nadto krążek ten dwiema szpilkami, równoległe do jego osi, po obu stronach drutu, a oparłszy końce szpilek o dno odwróconego kieliszka, mamy belkę wagi (fig. 66). Aby wszakże równowaga jej była dostatecznie stała, należy obniżyć środek ciężkości tego drobnego przyrządu; do tego zaś celu wystarczy osadzenie na obu końcach drutu krążków korkowych, nabitych u spodu

ćwieczkami, a nawzajem się równoważących. W ten sposób zbudujemy wagę bardzo czułą, w której rolę noża odegrywają końce spilek.

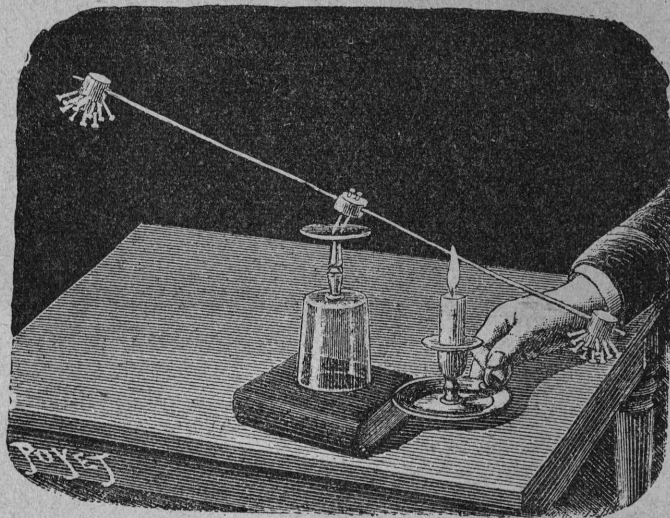


Fig. 66.

Skoro przez ostrożne przesuwanie korków albo dobijanie ćwieczków nadamy drutowi położenie poziome, jedno z jego ramion ogrzejmy lampką spirytusową, albo i płomieniem świecy,—równowaga wtedy ulegnie zerwaniu i ramię ogrzane przechyli się ku dołowi

Znając warunki równowagi drążka, wnosimy, że zerwanie równowagi nastąpić mogło tu jedynie skutkiem przedłużenia się ramienia pochylonego ku dołowi.

Przekonywamy się więc, że ramię ogrzane powiększa swą długość, choć bezpośrednio wzrok nasz wydłużenia tego nie dostrzega.





## XXXVI.

## Prądy powietrzne.

Uchylmy drzwi, wiodące z ciepłego pokoju do chłodnej sieni i płonącą świecę umieścimy naprzód u dołu, a następnie u góry, jak wskazuje załączona rycina (fig. 67). Dostrzegamy wtedy, że płomień dolny zwraca się ku pokojowi, a górny ku sieni. Zwroty takie płomienia wskazują, że powietrze u dołu płynie z sieni do pokoju, u góry z pokoju do sieni.

W pokoju zatem istnieją prądy powietrza. Powietrze ogrzane rozszerza się, rozrzedza, staje się lżejszem i wznosi nad powietrze zimniejsze, dąży zatem ku górze. Natomiast powietrze zimniejsze objętość swą zmniejsza, staje się gęstszem i opada jak najniżej. Powietrze więc ciepłe uchodzi górą z miejsc cieplejszych, powietrze zaś zimne sunie dołem z miejsc zimniejszych do cieplejszych.

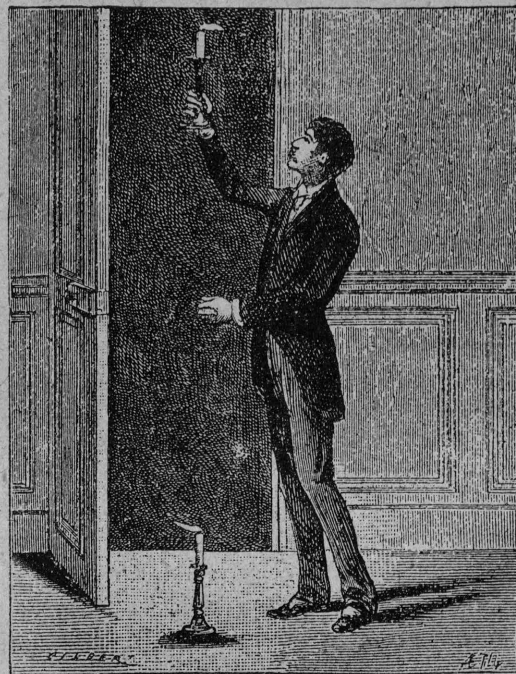


Fig. 67.

Podobneż prądy ujawnić można przy pomocy płomienia świecy i w pokoju, przy drzwiach zamkniętych, jeżeli temperatura w różnych jego punktach nie jest

jednaka. Powietrze przy piecu ogrzewa się, rozszerza i wznosi w górę; u sufitu więc wciąż gromadzą się nowe ilości powietrza, które muszą się posuwać i zbliżać ku oknom. Okna są zimne, tam powietrze ochładza się, staje się cięższem i opada na dół; nad podłogą więc gromadzi się powietrze zimne, a naciskane przez warstwy napływające, usuwa się i ciągnie do pieca. Tu znów ogrzewa się i pod sufitem przechodzi ku oknom, by stąd znów po podłodze sunąć do pieca. Świeca więc, trzymana blisko podłogi, zwraca swój płomień ku piecowi, wzniesiona zaś wysoko—ku oknom. Toż samo dzieje się w każdym miejscu, gdzie temperatura nie wszędzie jest jednakowa. Zawsze od miejsca cieplejszego do zimniejszego płynie gorą powietrze ciepłe, od miejsca zimniejszego do cieplejszego dołem powietrze zimne.

Okolica międzyzwrotnikowa na ziemi odgrywa rolę pieca w pokoju, strony podbiegunowe mają znaczenie okien. Od równika przeto ku biegunom płyną prądy górne, które od stron bliższych biegunom wracają dołem ku równikowi. Taki jest początek wielkiego zjawiska wiatrów na ziemi, które wszakże pod wpływem okoliczności ubocznych ulega znacznej zawiłości.

Gdzie prądy w pokoju są silniejsze, do wykazania ich w miejsce płomieni służyć może chorągiewka lub

długi skrawek papieru. Nad kominkiem palącej się lampy chorągiewka wznosi się ku górze, w sąsiedztwie odemkniętych drzwiczek pieca wypręża się gwałtownie ku ognisku. Ogień w piecach i kominkach nie tylko ogrzewa mieszkania nasze, ale zarazem usuwa z nich powietrze, utrzymuje zatem wentylację czyli przewietrzanie; wskutek bowiem ciśnienia atmosferycznego świeże powietrze zewnętrzne natychmiast zapelnia wszelki jego ubytek.



XXXVII.

Wrzenie wody i topienie cyny  
w pudełku papierowym.

Do zagotowania wody niekoniecznie potrzeba garnka lub kotła, wystarczy nam do tego zwyczajne pudełko papierowe.

Pudełko, wyrobione z ćwiartki papieru w sposób dobrze znany chłopcom, zawiesza się za pośrednictwem czterech nitki na pręciku drewnianym w odpowiedniej wysokości; za pręcik taki posłużyć może zwykła kantówka. Pudełko napełnia się wodą i podstawia pod nie lampkę spirytusową; po zapaleniu knota woda szybko się ogrzewa i zaczyna wreszcie wrzeć, a jakkolwiek papier styka się z płomieniem, nie zostaje naruszony. Baczyć tylko należy, aby płomień nie dochodził do części papieru nie zostających w zetknięciu z wodą.

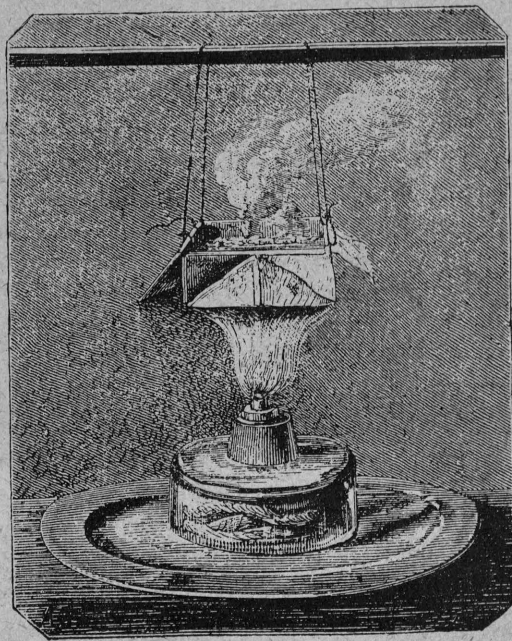


Fig. 68.

Jeżeli we wrzącą wodę zanurzymy termometr, poznamy, że temperatura jej przez cały czas wrzenia wynosi  $100^{\circ}$  (jeżeli gotowanie to odbywa się w zwykłych warunkach); jakkolwiek więc temperatura pło-



mienia spirytusowego wynosi przeszło  $500^{\circ}$ , woda ogrzać się wyżej  $100^{\circ}$  nie może. Dla tego i zostający z nią w zetknięciu papier nie może osiągnąć temperatury wyższej nad  $100^{\circ}$ , wszelki bowiem nadmiar ciepła odstępkuje wodzie; ponieważ zaś zapłonąć może dopiero, gdy dochodzi do temperatury przenoszącej  $400^{\circ}$ , w zetknięciu zatem z wodą pozostaje nienaruszony.

Kawałek żelaza, wprowadzony do płomienia alkoholowego, rychło przyjmuje jego temperaturę i ogrzewa się do czerwoności; woda podobnie otrzymuje od płomienia ciepło, jednak tak wysoko się nie ogrzewa. Ciepło zatem przy wrzeniu wody ukrywa się czyli utaja; nie mówimy wszakże już obecnie, jak dawniej, o cieple utajonem, rozumiemy bowiem, że dla zmiany cieczy w parę trzeba rozrzuć jej cząstki, zatem przezwyciężyć spójność, jaką cząstki cieczy jeszcze posiadają. Do tego zaś potrzeba pracy, a pracy tej dostarcza ciepło: niknie więc ono zarówno dla czucia naszego jak i dla termometru i ujawnia się w wykonywanej pracy.

Z doświadczenia tego ocenić nawet można, ile ciepła potrzebuje woda do swego wygotowania czyli do zamiany w parę. W tym celu napełniamy pudełko wodą, tylko co otrzymaną ze stopienia lodu, czyli posiadającą temperaturę  $0^{\circ}$ , a spoglądając na zegarek,

uważamy, ile minut czekać przyjdzie do chwili, gdy woda zacznie się gotować. Następnie czekamy znów, aż woda zupełnie się wygotuje, a wtedy poznamy, że trzeba będzie pięć razy przeszło dłużej czekać na jej zupełne wygotowanie, aniżeli poprzednio na jej zagotowanie. Ponieważ woda znajduje się wciąż przy tym samym ogniu i ciągle zabiera jednakową ilość ciepła, wnosimy więc z tego, że do zamienienia się w parę wymaga ona przeszło pięć razy większej ilości ciepła, aniżeli do ogrzania się o  $100^{\circ}$ . Do tego ostatniego doświadczenia, oczywiście, przyda się dogodniej, zamiast papierowego, jakiegokolwiek inne naczynie.

Podobnie jak ciecze do wyparowania, tak też i ciała stałe do stopienia potrzebują ciepła, a to również do przezwyciężenia spójności, wiążącej ich cząstki; i przy topieniu zatem ciał ciepło się utaja. Dla tego można znów w papierze topić cynę. Najlepiej służyć do tego może karta do grania, której brzegi nieco ku górze zaginamy, aby z niej utworzyć rodzaj prostokątnej łyżeczki. Umieszczamy w niej kulkę ugniecioną z cynfolji, albo też krążek tego metalu, i ogrzewamy nad płomieniem lampki spirytusowej, bacząc znów, aby płomień dotykał papieru tylko w miejscach, gdzie do niego przylega metal; cyna się stopi, a papier się nie spali.

Zachodzą tu dwa objawy, które odróżnić należy. Metale są dobrymi przewodnikami ciepła, dopóki więc jeszcze cyna jest w stanie stałym, w skutek swej zdolności przewodnictwa usuwa ciepło i nie pozwala papierowi rozgrzać się zbyt. Skoro zaczyna się topić, dostarczane jej ciepło przechodzi na pokonanie spójności, czyli utaja się. Cyna topi się w temperaturze  $220^{\circ}$ , papier zatem, w zetknięciu z nią będący, również tylko do  $220^{\circ}$  ogrzać się może, a temperatura ta nie wystarczy jeszcze do jego zapalenia. Gdybyśmy wszakże nie usunęli płomienia i po zupełnem stopieniu cyny, dostarczane jej ciepło ogrzewałoby ją teraz wyżej, a wraz z nią i papier, któryby wtedy rychło osiągnął temperaturę, wystarczającą do zapalenia.



### XXXVIII.

#### Topienie lodu pod wpływem ciśnienia.

Przeważna ilość ciał przy przechodzeniu ze stanu stałego do ciekłego doznaje powiększenia objętości, niektóre jednak, a zwłaszcza lód, zachowują się przeciwnie. Wiadomo, że lód po wodzie pływa, dając tem dowód, że jest od wody lżejszy, woda zatem przy marznieniu objętość swoją powiększa; dla tego nie tylko szklane butelki, ale nawet bomby i lufy żelazne, wodą wypełnione i zamknięte, po wystawieniu na mróz pękają, ulegając naciskowi wzrastającej objętości wody przy jej krzepnięciu.

Z własności tej lodu wypływa dalej, że na topienie się jego ciśnienie działa inaczej, aniżeli na inne ciała. Gdy bowiem ciało rozszerza się przy topieniu, musi przytem przewyciężyć opór zewnętrzny, jakim w warunkach zwykłych jest ciśnienie atmosferyczne;

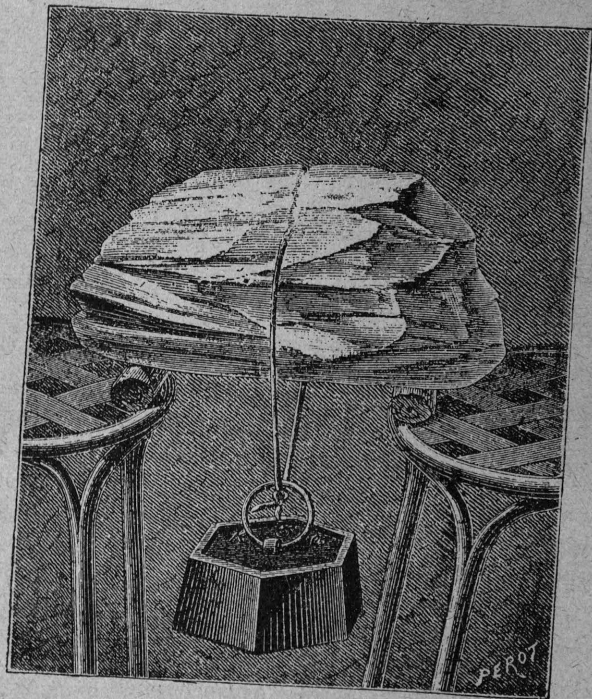


Fig. 69.

gdy więc ciśnienie zewnętrzne staje się większem, ciało to pokonać musi opór znaczniejszy, ma do wykonania większą pracę, a że tego nakładu pracy dostarcza

ciepło, ciało więc topić się może dopiero przy temperaturze wyższej.

Tak np. olbrot topi się w warunkach normalnych przy  $18^{\circ}\text{C}$ ., pod ciśnieniem zaś 156 atmosfery dopiero przy  $51^{\circ}\text{C}$ . Z ciałami wszakże, które przy topieniu objętość swoją zmniejszają, działać się musi przeciwnie, tu bowiem ciśnienie zewnętrzne popiera pracę, wykonywaną przez ciepło, ułatwia zatem topliwość; lód przeto, poddany znacznemu ciśnieniu, topić się będzie już w temperaturze niższej, aniżeli w warunkach normalnych. Rzeczywiście, jeżeli do naczynia o ścianach dostatecznie wytrzymałych wrzucimy kulkę żelazną i wypełnimy je wodą, którą za pomocą tłoka i szruby silnie ściśniemy, a następnie oziębimy, to nawet w temperaturach znacznie niższych od zera słyszeć można przy wstrząsaniu naczynia, że kulka porusza się swobodnie, woda zatem pozostała w stanie ciekłym. Przekonano się, że lód poddany olbrzymiemu ciśnieniu 13,000 atmosfer topi się dopiero przy  $18^{\circ}\text{C}$ .

Można się zresztą o słuszności tej zasady przekonać i doświadczeniem bardzo prostem, którego pomysł zawdzięczamy Tyndallowi. W tym celu umieszczamy poziomo na dwu podporach bryłę lodu, jak na załączonej rycinie (fig. 69), albo też pręt lodowy, a następnie na lód nakładamy cienki drut, który dźwiga na końcu ciężar, wynoszący kilkanaście funtów



Pod drutem lód ulega większemu ciśnieniu, topi się więc, a tem samem drut zagłębia się w bryłę lodową; powstająca stąd wszakże woda usuwa się tym sposobem z pod nadmiernego ciśnienia i marznie znowu. Dzieje się toż samo dalej, drut schodzi coraz niżej, a woda nad nim wciąż krzepnie, tak, że wreszcie drut z ciężarem spada na podłogę, przerznawszy zupełnie bryłę lodową, która pomimo to pozostaje cała. Rezultat ostateczny zatem, jak widzimy, jest bardzo osobliwy i niespodziany.

Doświadczenie to tłómaczy, w jaki sposób sypki śnieg chłopcy przez ściśnięcie zamieniają w pigułę. Przez ciśnienie to bowiem płatki śnieżne nadtapiają się, w miejscach zaś, ulegających ciśnieniu mniejszemu, powstająca z topienia tego woda znowu marznie, a wszystek śnieg zbija się w jedną stałą masę. W ogóle dwie bryły lodowe, przyłożone nawzajem ku sobie i ściśnięte, spajają się w jedną bryłę; zjawisko to nazywamy przymarzaniem czyli regelacją.



### XXXIX.

#### Przewodnictwo ciepła.

Po rozmaitych ciałach ciepło rozchodzi się niejednakowo dobrze. Gdy drut metalowy, który trzymamy w ręce, wprowadzimy końcem drugim do płomienia, rozgrzeje się wkrótce na całej swej długości tak silnie, że będziemy musieli z rąk go wypuścić. Pałeczka zaś drewniana, na jednym końcu zapalona, bynajmniej nas nie parzy, dopóki płomień bezpośrednio ręki naszej nie dotknie. Metale więc są dobrymi przewodnikami ciepła, drzewo zaś jest nieprzewodnikiem.

Szybkie rozchodzenie się ciepła po dobrych przewodnikach uwidocznić może w sposób uderzający proste doświadczenie, wskazane na załączonej rycinie (fig. 70). Gałkę metalową owijamy chustką tak, aby w górnej części szczelnie do niej przylegała; jeżeli wtedy na



Fig. 70.

chustce umieścimy węgiel rozżarzony, chustka się nie zatli, stykający się z nią bowiem metal odprowadza ciepło, dostarczane przez węgiel, i nie pozwala się

chustce rozgrzać do temperatury, niezbędnej do jej zaplonięcia. Toż samo dzieje się, jeżeli pręt metalowy, gwóźdź lub klucz, owinięty nicią, wprowadzimy w płomień świecy, albo lepiej lampki spirytusowej: części nici, które dotykają metalu, nie spłoną.

Niemniej nauczające są doświadczenia z kawałkiem siatki drucianej. Gdy płomień lampki spirytusowej lub gazu siatką taką naciśniemy, płomień przez oką jej nie przejdzie; lubo bowiem przedostają się nad nią gazy palne, są już tak oziębione, że nie płoną. Jeżeli ponad otwartym kranem palnika gazowego trzymamy siatkę tak, aby gaz przez nią przepływał, i gaz powyżej niej zapalimy, gaz pod siatką również płonąć nie będzie. Na tej zasadzie polega urządzenie lampy bezpieczeństwa górników.



XL.

Różne przewodnictwo różnych metali.

Powiedzieliśmy poprzednio, że metale są dobrymi przewodnikami ciepła, nie wszystkie jednak w jednym stopniu ciepło przewodzą; miedź np. daleko lepszym jest przewodnikiem, aniżeli żelazo. Aby się o tem przekonać, weźmy drut żelazny i takiejże samej długości, a o ile można i takiejże samej grubości, drut miedziany. Oba te pręciki ogrzejmy w płomieniu świecy i przesuńmy je szybko przez tę samą świecę stearynową, a następnie ostudźmy, trzymając je pionowo; pokrywają się one tym sposobem cienką powłoką skrzepłego kwasu stearynowego. Następnie osadźmy je poziomo w korku, jak wskazuje rycina (fig. 71), umieśczone w butelce, a wolne ich końce ogrzejmy płomie-

niem świecy; wtedy, w miarę, jak się ciepło po drucikach rozchodzi, kwas stearynowy topi się i tworzy kropelkę, która biegnie wzdłuż każdego drucika, ujaw-

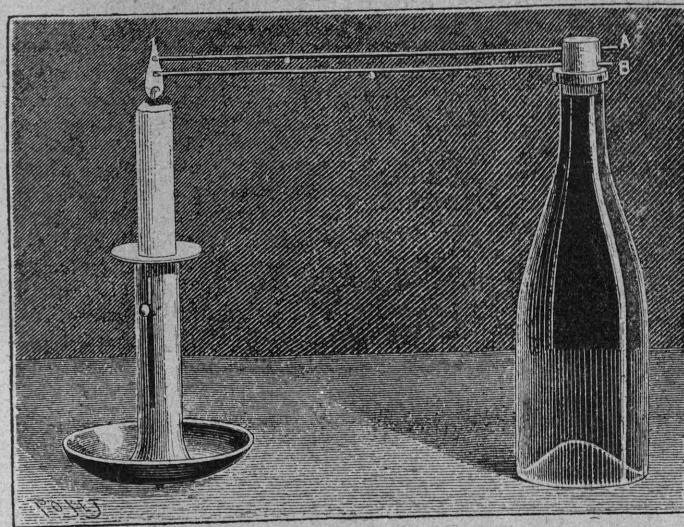


Fig. 71.

niając tym sposobem rozprzestrzenianie się ciepła. Na drucie miedzianym B kropka ta, jak widzimy na rycinie, posuwa się prędzej i dalej, aniżeli na drucie żelaznym A.



Zwrócić tu wszakże należy uwagę, że w ten sposób prowadzone doświadczenie nie jest jeszcze stanowczo przekonujące, temperatura bowiem płomienia w różnych jego miejscach nie jest jednakowa; dla usunięcia tej wątpliwości można je więc powtórzyć, zmieniając umieszczenie drutów, tak, aby tym razem drut miedziany osadzony był nad żelaznym.

W gabinetach fizycznych do tegoż samego celu służy skrzynka metalowa, posiadająca w jednej ścianie otworki, w których za pośrednictwem korków osadzać można pręty metalowe lub z innych materiałów; pręty te pokryte są powłoką woskową, a gdy skrzynkę wypełnia się gorącym olejem, wosk na danym pręciku stapia się tem prędzej, im pręcik ten większą posiada zdolność przewodnictwa.



## XLI.

### Ciepło właściwe.

Jeżeli ciało zimniejsze znajduje się w sąsiedztwie cieplejszego, temperatura jego podnosi się, czyli, innymi słowy, pod wpływem ciepła ciała się ogrzewają. Jestto zjawisko tak powszednie i tak dobrze każdemu znane, że długo nie zwracało na siebie uwagi fizyków; w końcu dopiero wieku ośmnastego poznano, że różne ciała do jednakiego ogrzania, czyli do jednakiego podwyższenia swej temperatury, potrzebują niejednakowych ilości ciepła. Ważną tę zasadę uwidocznili można wielu prostymi doświadczeniami.

Jeżeli zmieszamy 1 kilogram wody ogrzanej do  $80^{\circ}$  z 1 kg. wody posiadającej temperaturę  $20^{\circ}$ , otrzymamy 2 kg. wody o temperaturze  $50^{\circ}$ . Kilogram zatem wody zimniejszej ogrzał się o  $30^{\circ}$ , a potrzebną do tego ilość ciepła otrzymał od kilograma wody cieplej-

szej, która się oziębiła od  $80^{\circ}$  do  $50^{\circ}$ , zatem również o  $30^{\circ}$ . Kilogram więc wody, oziębiając się o  $30^{\circ}$ , traci tyleż ciepła, ile go potrzebuje do ogrzania swego o  $30^{\circ}$ ,—rezultat ten był przewidywany i dla tego nie uderza nas bynajmniej. Jeżeli wszakże z kilogramem wody o temperaturze  $20^{\circ}$  zmieszamy 1 kg. rtęci ogrzanej do  $80^{\circ}$ , powstała stąd mieszanina posiadać będzie temperaturę, nie  $50^{\circ}$ , ale zaledwie  $22^{\circ}$ ; ilość ciepła zatem, jaką oddaje kilogram rtęci, oziębiając się o  $58^{\circ}$ , wystarcza do ogrzania wody zaledwie o  $2^{\circ}$ . Z doświadczenia tego okazuje się przeto, że ilością ciepła, jaką wyłożyć musimy na ogrzanie kilograma wody o  $1^{\circ}$ , ogrzać możemy kilogram rtęci o  $29^{\circ}$ ; rtęć wymaga więc daleko mniejszej ilości ciepła do swego ogrzania, aniżeli woda, jej „ciepło właściwe“ czyli jej „zdolność cieplikowa“ jest 29 razy mniejsza, aniżeli wody. Toż samo zachodzi, gdy z wodą mieszamy jakiekolwiek inne ciała stałe lub ciekłe; silnie rozgrzana bryłka żelaza, miedzi lub innego metalu, wprowadzona do naczynia, zawierającego takież sam ciężar wody, bardzo niewiele zaledwie temperaturę jej podniesie. Ze wszystkich w ogólności ciał stałych i ciekłych woda najznaczniej posiada ciepło właściwe, najwięcej ciepła do ogrzania swego wymaga.

Rozmaitość ciepła właściwego różnych metali okazać można doświadczeniem następnem, do którego po-

siadać trzeba kulki: miedzianą (lub cynkową), cynową i ołowianą jednakiego ciężaru i opatrzone w haczyki, za pomocą których uwiązane być mogą na nitkach. Tak uczepione więc kulki wprowadzamy do wody wrzącej, a po pewnym czasie, gdy już temperaturę jej przyjęły, przenosimy je na cienki krążek woskowy, umieszczony na trójnóżku (fig. 72), który łatwo z dru-

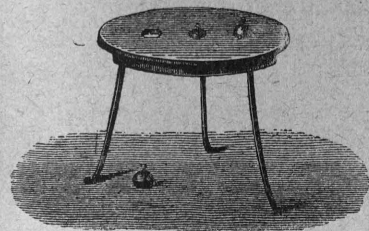


Fig. 72.

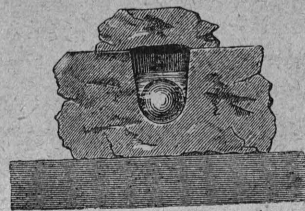


Fig. 73.

tu przygotować sobie można. Dostrzeżemy wtedy, że kulka miedziana przetopi zupełnie wosk i przez powstały stąd otwór wypadnie, kulka cynowa wytopi sobie tylko zagłębienie, a ołowiana mniejszą jeszcze ilość wosku stopi. Jednakże kulki te jednakowo ogrzane były do  $100^{\circ}$  i oziębiają się jednakowo do temperatury topliwości wosku; skoro więc rozmaitych ilość wosku stapiają, oddają różną ilość ciepła, czyli do jednakiego ogrzania różnej potrzebują ilości ciepła.

Zamiast wosku użyć można i lodu. Bryłę lodu czystego wyglądamy starannie na górnej powierzchni i wyzłabiamy w niej dolki takiej wielkości, by pomieścić się w nich mogła każda z powyższych kulek; przygotowujemy również inną płytkę lodową, która ma służyć za pokrywę. Ogrzewszy powyższe kulki, jak poprzednio, do  $100^{\circ}$  w wodzie wrzącej, wprowadzamy każdą z nich z osobna do przygotowanego zagłębienia (fig. 73), które poprzednio za każdym razem należy starannie wytrzeć; po umieszczeniu zaś kulki w otworze szybko nakładamy pokrywę lodową, by uchronić od straty ciepła na zewnątrz; w lodzie kulka metalowa oziębia się, a oddawane przez nią ciepło zużywa się na stopienie lodu. Każda wszakże z naszych kulek stopi inną ilość lodu, którą można oznaczyć, jeżeli zważymy lub zmierzymy powstałą ze stopienia wodę. Dochodzenie to wskazuje, że ilości wody pochodzące ze stopienia lodu działaniem kulki miedzianej (lub cynkowej), cynowej i ołowianej są w stosunku  $9:5:3$ . Kulka żelazna takiegoż samego ciężaru stopiłaby ilość wody wyrażającą się liczbą 11. Doświadczenie to zatem uczy, że ciepło właściwe żelaza, miedzi lub cynku, cyny i ołowiu, to jest ilości ciepła, potrzebne do jednakiego ogrzania jednakich ilości tych metali, są w stosunku:  $11:9:5:3$ .

## XLII.

### Zasada motorów parowych czyli maszyn parowych.

Tomasz Savery, górnik, w końcu siedemnastego stulecia, dostrzegł raz butelkę leżącą przy ogniu, z której wrywała się para; para ta pochodziła z wina, którego niewielka pozostałość jeszcze się w butelce znajdowała. Wtedy wpadło mu na myśl spróbować, co się dzieć będzie, gdy butelkę odwróci i otwór jej wprowadzi do wody. Naciągnął więc rękawiczkę, ujął gorącą butelkę, a skoro tylko otwór jej w wodę zanurzył, woda wdarła się do butelki i prawie ją zapełniła. Opowiadają, że doświadczenie to zwróciło uwagę Saverego na działanie pary i nasunęło mu domysł, że z działania tego korzystać można do podnoszenia wody. Maszynę taką rzeczywiście Savery zbudował; była to



jedna z pierwszych maszyn parowych, choć jeszcze bardzo niedokładna.

Doświadczenie Saverego łatwo powtórzyć można za pomocą epruwetki, wprowadziwszy do niej bardzo drobną ilość alkoholu. Gdy epruwetkę tę bardzo ostrożnie nad płomieniem lampki ogrzewamy, ciecz wre,



Fig. 74.

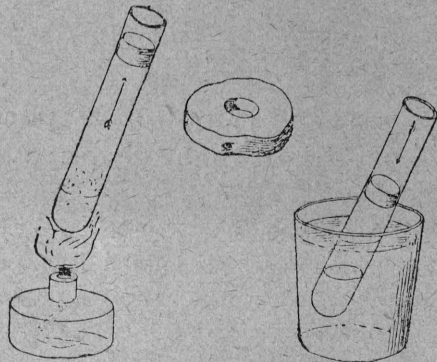


Fig. 75.

a para żywo uchodzi. Wtedy szklany walec szybko odwracamy i końcem otwartym zanurzamy w wodę. Ponieważ wraz z wyrrywającą się parą uszło i powietrze z epruwetki, a para alkoholowa przez zetknięcie z zimną wodą uległa skropleniu, w epruwetce przeto istnieje próżnia, a stąd pod ciśnieniem powietrza ota-

czającego woda gwałtownie wdzierą się do rurki i wypełnią ją prawie całkowicie.

Do okazania wszakże tego wpływu ciśnienia powietrza, zamiast wody, użyć możemy tłoka, a wtedy otrzymamy obraz działania maszyny parowej. Aby tłok taki przygotować, dokoła pręcika drewnianego wyłabiamy rowek szerokości palca i owijamy go sznurkiem lub konopiami, które pokrywamy łojem albo napajamy olejem. W ten sposób będziemy mieli tłok, dosyć szczelnie do ścian naszej epruwetki przystający. Górną część epruwetki otaczamy nadto kilkakrotnie skrętami taśmki, co nam pozwoli trzymać ją w palcach przy ogrzewaniu. Możemy więc wprowadzić do naszej epruwetki pewną ilość wody i zagotować ją nad lampką spirytusową lub gazową. Po pewnym czasie, gdy wyrrywająca się para usunie już powietrze z rurki, wsuwamy do niej przygotowany tłok, jak wskazuje fig. 74, oddalamy lampkę i oziębiamy epruwetkę, dotykając jej zwilgoconymi palcami. Wypełniająca ją więc para oziębia się i skrapla, zajmując w stanie ciekłym bardzo małą objętość. W rurce tedy mamy znów próżnię, a ciśnienie powietrza zewnętrznego spycha natychmiast tłok ku dołowi. Za nowem ogrzaniem tłok posuwa się w górę pod przeważającym ciśnieniem pary, a po oziębieniu znów opada. Oziębienie przyspieszyć można przez zanurzenie epruwetki w zimną wodę.

Nauczyciel pewien we Francji podał swym uczniom łatwiejszy jeszcze sposób wykonywania tego doświadczenia, poradził im bowiem wyrabiać tłok z kartofla, w sposób, jakiego używają chłopcy do fabrykacji swych fuzyjek piórkowych, strzelających kartoflami. Wycinamy mianowicie z kartofla warstwę grubości około centymetra i z warstwy tej samą epruwetką wykrawamy krążek, mający stanowić tłok. Zamykamy nim rurkę po zagotowaniu w niej wody, a pod wpływem kolejnego ogrzewania i oziębienia następuje ruch tłoka, już na fig. 75.

Doświadczenia te tłumaczą nam, jak widzimy, zasadę działania tych maszyn parowych, w których para po przesunięciu tłoka przechodzi do kondensatora czyli oziębialnika, gdzie się skrapla, tłok zaś schodzi pod działaniem ciśnienia atmosferycznego.



### XLIII.

#### Mały motor gazowy.

Drobny przyrząd, przedstawiony na fig. 74, nauczył nas, w jaki sposób działają maszyny parowe, — prężność pary, wywiązującej się przez ogrzanie wody, naciskiem swoim posuwa tłok w górę. Podobnież znaczne ciśnienie wywiera i gaz, jeżeli jest silnie ogrzany, albo jeżeli się nagle wywiązuje, jak to ma miejsce w strzelbach, gdzie gaz powstający przez nagłe spalanie prochu kulę gwałtownie wyrzuca. Można więc i z prężności gazów korzystać, jak z prężności pary wodnej; w motorach powietrznych tłok posuwa się pod działaniem powietrza ogrzanego, w motorach gazowych pod naciskiem gazu oświetlającego.

Do urządzenia wszakże małego motora gazowego posłuży nam inny gaz, mianowicie kwas węglany, to

jest gaz, który wywołuje burzenie się wody sodowej. Wodę sodową kupujemy już gotową, szczelnie zamkniętą w butelkach lub syfonach, można ją wszakże łatwo otrzymywać każdej chwili za pomocą tak zwanych proszków burzących, które nabyć można w każdej aptece. Jeden z tych proszków jest dwuwęglanem sodu, drugi kwasem winnym. Dwuwęglan sodu można uważać jako związek kwasu węglanego z sodą; gdy

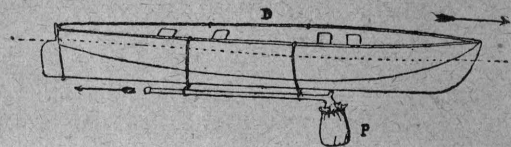


Fig. 76.

więc rozpuścimy go w wodzie i dodamy kwasu winnego, ten ostatni, jako silniejszy, usuwa ze związku kwas węglany, sam łączy się z sodą, oswobodzony zaś kwas węglany wywiązuje się szybko w postaci gazowej i spowoduje burzenie się wody. Nam wszakże nie idzie teraz o wodę sodową, ale o to, by skorzystać z prężności tego gazu; możemy mianowicie zbudować łatwo statek, który będzie się poruszał po wodzie, jakby pod wpływem siły czarodziejskiej.

W tym celu zaopatrujemy się w małą łódkę drewnianą B, jaką chłopcy lubią sobie urządzać, oraz w fajeczkę glinianą. Szerszą część fajeczki P napełniamy naszymi proszkami burzącymi, poczem otwór fajki zakrywamy kawałkiem płótna, obwiązując go dokoła nitką; wreszcie zaś fajkę tak przygotowaną uciepiamy poniżej naszego drobnego statku za pośrednictwem drucików żelaznych, jak objaśnia fig. 76. Gdy więc statek ten puścimy na wodę, przenika ona przez płótno do fajki, kryształki kwasu winnego rozpuszczają się i działaniem swym na węglan sodu wywołują wywiązywanie się gazowego dwutlenku węgla, który uchodzi przez rurkę fajki, w kierunku wskazanym strzałką. Pod działaniem zaś tak szybkiego wypływu gazu statek jest popychany w stronę przeciwną, w kierunku wskazanym przez strzałkę górną. Ruch ten jest to objaw oddziaływania, który tłómaczy się tak, jak bieg rakiety ku górze, gdy wywiązuje się gazy wytryskują ku dołowi. Mamy więc statek, jeżeli nie parowy, to przynajmniej gazowy, bardzo prostej zapewne konstrukcji.





#### XLIV.

### Ciemnia optyczna bez szkła.

Gdy w czasie pogodnego dnia letniego przedzierają się przez okno do pokoju promienie słoneczne, dostrzegamy jasną smugę światła. Poznajemy wtedy, że światło rozchodzi się po linjach prostych, smuga ta bowiem nigdy się nie skrzywia.

Nie należy wszakże mniemac, że jasna ta smuga w samej rzeczy jest światłem. My bowiem nie widzimy światła, ale tylko widzieć możemy przedmioty oświetlone. W pokoju unosi się zawsze mnóstwo drobniutkiego pyłku, choć go zwykle nie dostrzegamy. Gdy jednak silne światło w pewnym kierunku do pokoju wpada, oświetla ono żywiej te pyłki, które na drodze swej napotyka, dla tego też wyróżnić je możemy od reszty pyłu, wypełniającego pokój. Oświetlona

ta część pyłu odgraniczona jest od pozostałego linjami prostymi, a to nas przekonywa, że światło rozchodzi się promienisto, po linjach prostych.

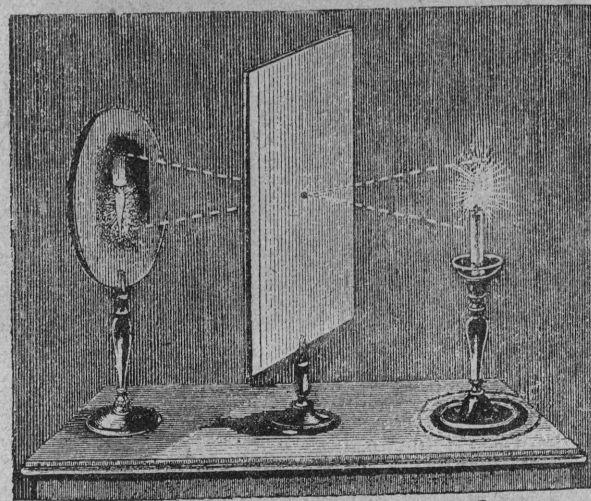


Fig. 77.

Gdyby światło biegło po linjach krzywych, nie mielibyśmy nigdy cienia.

Prostolinijne to rozchodzenie się światła tłómaczy nam też piękne doświadczenie, które łatwo wykonać możemy.

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

Ustawmy na stole przegrodę nieprzezroczystą, utworzoną z grubego papieru albo tektury. W przegrodzie tej przekłujmy szpilką drobnutki otworek. Z jednej strony tej przegrody ustawmy świecę, z drugiej ekran jakikolwiek, choćby kartkę białego papieru (fig. 77); wtedy promienie, wysyłane przez świecę, a przechodzące przez otworek, jak to rycina wskazuje, oświetlają odpowiednie punkty na ekranie, skąd narysuje się na nim dokładny obraz świecy.

Jestto obraz odwrócony, tem większy, im ekran dalej od przegrody przypada. W miarę wszakże, jak staje się większym, jest też coraz bledszy i coraz mniej wyraźny, światło bowiem rozkłada się na większej przestrzeni i słabiej ją oświeca.

Nie tylko płomień świecy w ten sposób rysować się może; tak samo otrzymać możemy i obrazy innych przedmiotów, byleby dostatecznie były oświetlone. W pokoju, którego okna szczelnie są okienicami zakryte, gdy w okienicy znajduje się maleńki otworek, na ścianie przeciwległej rysują się obrazy drzew, budynków, lub innych przedmiotów, przez słońce oświetlonych.

O taki pokój ciemny nie łatwo wprowadzić, możemy sobie jednak i bez wielkiego zachodu ciemnię taką urządzić. Trzeba się tylko postarać o rurę walcową z tektury (A), w której przesuwac można inną

(B), węższą rurę (fig. 78) w sposób taki, jak się to dzieje w lunetach. Otwór rury szerszej zamykamy denkiem tekturowem, w którym przekłuwamy igłą drobny otworek; rurę węższą zaś zakrywamy papierem przeświecającym, co można osiągnąć przez stłuszczenie papieru zwykłego. Gdy tak przygotowaną rurę zwracamy otworkiem na przedmioty oświetlone, na papierze przeświecającym rysują się odwrócone ich obrazy. Rurę węższą wsuwamy lub wysuwamy, dopóki obrazy nie staną się najwyraźniejsze.



Fig. 78.

Gdy otwór, przez który promienie przechodzą, ma wymiary znaczne, można go uważać jakby za zbiór mnóstwa otworków drobnych. Powstaje więc niejako mnóstwo obrazów, które się rozmaicie na siebie nakładają, a zatem rozróżnić ich nie można. W takim razie rysują się już nie obrazy samych przedmiotów, ale obrazy otworów. Dla tego to w nocy, gdy na ulicy palą się latarnie, na suficie lub na ścianie pokoju naszego rysują się obrazy okien, to jest otworów, przez które promienie światła wpadają.

Ciemnia optyczna, jakiej używają fotografowie, daje obrazy tegoż samego rodzaju, co nasza skromna ciemnia tekturowa; w otworze wszakże osadzone jest szkło czyli soczewka, która promienie skupia silniej i stąd obrazy daje wyraźniejsze. Obrazy zaś te rysują się nie na papierze zwykłym, ale na płytce stosownie przygotowanej, na której zostają już na zawsze utrwalone.



XLV.

F o t o m e t r.

Bardzo często, nawet w życiu zwyczajnem, zachodzi potrzeba porównywania natężenia czyli mocy dwu światel; nieraz zwłaszcza ocenić należy, ile razy lampa jaśniej świeci aniżeli świeca, albo świeca grubsza aniżeli cieńsza. Przyrządy, służące do porównywania mocy światel, nazywają się fotometrami, a załączona rycina (fig. 79) przedstawia fotometr, który bez żadnego zachodu każdej chwili urządzić sobie można. Białą przegrodę, na którą padają cienie, utworzyć może pół arkusza papieru, ujętego w dwie książki; prętem zaś rzucającym cienie może być ołówek wbity w korek, lub niezapalona świeca w lichtarzu A. Wszystko jest więc już przygotowane do porównawczej oceny



nateżenia dwu świec, świecy B i lampy C, albo wogóle jakichkolwiek źródeł światła. Skoro przez usuwanie jednego z tych światel, lub przez zbliżanie drugiego, oba cienie padające na przegrodę będą już jednej mocy, należy tylko zmierzyć odległość każdego ze światel od przegrody, a ponieważ światło słabnie w stosunku kwadratów odległości, stosunek przeto kwadratów tych odległości da nam stosunek natężenia porównywanych źródeł światła. Gdy np. lampa oddalona jest od przegrody na pięć, świeca na dwie stopy, lampa świeci silniej aniżeli świeca w stosunku  $5^2:2^2=25:4$ , t. j. wyrównywa przeszło sześciu świecom.—Nie mniej łatwo mieć możemy i prosty fotometr Bunsena, polegający na użyciu tłustej plamy. Gdy na papier napuścimy jakiegokolwiek tłuszczu, to plama ta w świetle przechodzącem, t. j., gdy papier trzymamy między oknem lub świecą a okiem, wydaje się jasną na ciemnym tle; gdy zaś patrzymy na nią w świetle odbitem, t. j., gdy oko nasze umieszczamy między oknem lub świecą a papierem, plama wydaje się ciemną na jasnym tle. Jeżeli więc z obu stron papieru wpośrodku stłuszczonego znajdują się jakiekolwiek źródła światła, plama wydaje się jasną lub ciemną, stosownie do tego, czy silniejsze jest światło po drugiej stronie papieru umieszczone, czy też światło, znajdujące się z tejże sa-

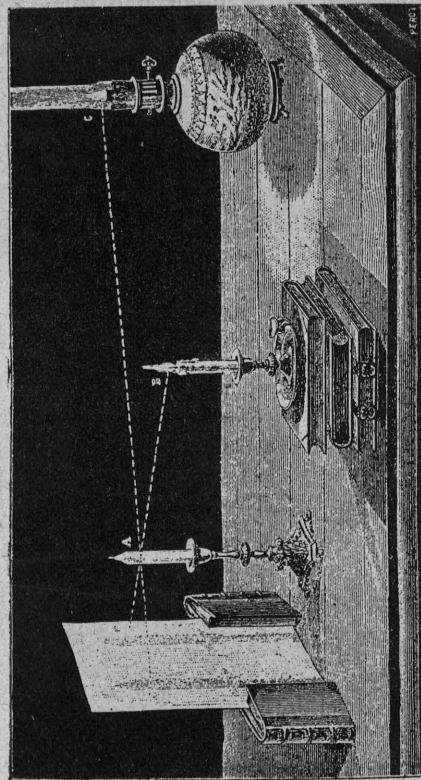


Fig. 79.

mej strony, co nasze oko. Wypada stąd dalej, że gdy przez przesuwanie światel doprowadzimy je do tego, by papier z obu stron jednakowo był oświetlony, plama niknie zupełnie. Zmierzenie odległości obu światel od papieru pozwala nam więc znowu ocenić względne ich natężenie.



## XLVI.

### Prawo odbijania światła.

Promień światła, padając na powierzchnię wygładzoną, zmienia swój kierunek, czyli odbija się od niej tak, że kąt odbicia równa się kątowi padania. Wiemy o tem dobrze. Dla okazania rzetelności tego prawa odbijania się światła posłużyć nam może jakiekolwiek zwierciadelko, które pod różnemi kątami pochylamy ku wdzierającym się promieniom światła. Jeżeli wtedy zestawimy bieg promieni padających i położenie jasnego kółka, rysującego się na ścianie, z kierunkiem linii do zwierciadła prostopadłej, dostrzedz możemy łatwo, że promienie padające i odbite jednakowo są względem tej prostopadłej pochylone. Tak pobieżne wszakże rozpatrzenie zjawiska nie stanowi jeszcze doświadczalnego dowodu prawa natury; dowód

taki bowiem na ścisłych jedynie pomiarach polegać może, do czego znów konieczny jest dokładny przyrząd naukowy. Otóż, jeżeli w ten sposób potwierdzić

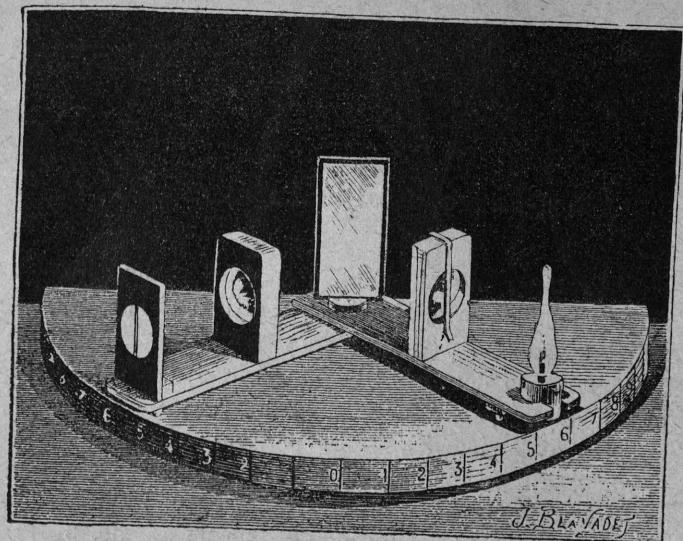


Fig. 80.

chcemy prawo odbicia światła, łatwo zbudować możemy przyrząd do celu tego dostatecznie wystarczający (fig. 80).

Wystarawszy się o kołowy krawężnik drewniany, czyli o kółko drewniane poprostu, przecinamy je tak, aby zachować nieco więcej nad jego połowę. W środku koła wywiercić wtedy należy otwór o średnicy 20 do 25 milimetrów i w otworze tym osadzić czop walcowy wysokości takiej, aby nad powierzchnię krawężnika wystęczał o jakie 25 milimetrów. Część wystającą czopa tego ścinamy dalej wzdłuż jej wysokości, tak, aby pozostała dokładnie połowa tylko walca zwrócona ku przodowi ścianą płaską, która powinna być, o ile można, równoległą do prostego brzegu deszczułki. — Potrzeba teraz okrągły brzeg tej podstawy zaopatrzyć w podziałkę, a przedewszystkiem oznaczyć na niej punkt zera; w tym celu do płaskiej ściany walca przytwierdzamy tymczasowo jakiekolwiek zwierciadło płaskie i wzdłuż brzegu okrągłego przesuwamy pion, t. j. nitkę z ciężarkiem, dopóki nie zakryje ona obrazu swego w zwierciadle. W tem właśnie miejscu przypada zero podziałki; oznaczywszy je więc, kreślimy po obu jego stronach linie w jednakowych odstępach i wypisujemy obok nich liczby kolejne, poczynając od zera wspólnego.

Następnie na osi walca, do którego utwierdzone jest zwierciadło, osadzamy poziomo dwie płaskie linie odpowiedniej długości, zaopatrzone w tym celu na jednym końcu otworami o średnicy wyrównywającej śred-



nicy walca. Na drugim końcu jednej linii umieszczamy krótką świecę lub odpowiednią lampę, gdy druga dźwięgać ma przegrodę czyli ekran, posiadający otwór okrągły, zalepiony białym papierem.

Oprócz tego na każdej linii osadzamy jeszcze płytkę drewnianą, również przewierconą, a przed każdym z tych otworów naklejamy soczewkę wypukłą o krótkiej odległości ogniskowej, to jest soczewkę, której ognisko główne przypada w niewielkiem od niej oddaleniu. Należyte położenie tych soczewek oznaczyć trzeba przez próby, dla tego też płytki, na których są osadzone, przytwierdzamy dopiero do linii, gdy na ekranie linii lewej otrzymujemy obraz wyraźny drutu, rozciągniętego na soczewce prawej, od strony świecy.

Przyrząd jest teraz ukończony. Aby wykonać doświadczenie, przesuwamy jedną z obu linii tak, aby oś jej schodziła się z którąkolwiek kreską podziałki; następnie przesuwamy drugą linię, dopóki oś jej nie przypadnie na kresce, oznaczonej tą samą liczbą po drugiej stronie zera. Wtedy cień nici rozciągniętej na soczewce prawej, po odbiciu się od zwierciadła, rzuca się na środek ekranu papierowego, stwierdzając tem samem dokładność prawa odbicia się światła, kątownie odbicia równa się kątowi padania. Zwierciadło powinno mieć 3 do 4 centymetrów szerokości i 5

do 6 centymetrów wysokości. Płaszczyzna jego tylna, pokryta amalgamatem, odbijająca zatem światło, powinna się schodzić ze średnicą koła, prostopadłą do promienia idącego do punktu zera.

Doświadczenie wyda rezultaty tem ścisłejsze, im dokładniej uwzględnione będą podane tu warunki.



# XLVII.

## Dwa zwierciadła.

Ustawmy dwa zwierciadła tak, aby tworzyły między sobą kąt, jakby roztwarta książka, i umieścimy między nimi świecę. Dostrzeżemy wtedy kilka świec, czyli raczej kilka obrazów, rozłożonych w kółko. Promienie bowiem świecy padają na jedno zwierciadło i wydają w niem obraz, ale stąd po odbiciu padają na drugie i wytwarzają nowy obraz, a wracając na pierwsze, wywołują dalszy obraz i t. d. Zwierciadło drugie działa w tenże sam sposób, a stąd otrzymujemy obrazy wielokrotne.

Na rycinie naszej (fig. 81) zwierciadła zawierają między sobą kąt prosty, mamy wtedy trzy obrazy, czyli wraz z samym przedmiotem, cztery. Gdy zwierciadła więcej ku sobie pochylamy, tak, aby kąt mię-

dzy niemi się zmniejszył, liczba obrazów się powiększa. W ogólności będzie ona tem znaczniejsza, im kąt jest mniejszy.

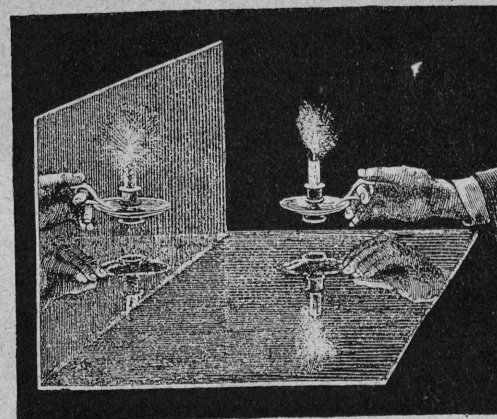


Fig. 81.

Gdy więc kąt stanie się najmniejszym, jak być może, liczba obrazów będzie niesłychanie wielką. Najmniejszy zaś kąt tworzą zwierciadła, gdy są umieszczone równolegle, jedno naprzeciw drugiego. Gdy między niemi znajduje się świeca, dostrzegamy nader długi szereg świec, którego końca dojrzec nawet nie mo-

żemy. Jeżeli, zamiast jednej, ustawimy dwie świece, będziemy widzieli szpaler świec, ciągnący się daleko w jedną i drugą stronę.

Gdy z papieru wytniemy trójkąt i ułożymy między dwoma pochylonemi ku sobie zwierciadłami, otrzymamy wskutek odbicia gwiazdkę, z trójkątów tych ułożoną. Gwiazdka będzie piękniejsza, gdy między zwierciadła nasypiemy szkiełek barwnych, albo innych świecidełek. W ten sposób właśnie urządza się piękne i znane powszechnie zabawki optyczne, zwane kalejdoskopami.



## XLVIII.

### Załamanie światła.

Gdy światło przechodzi z jednego ciała do innego, czyli, jak się zwykle mówi, z jednego środka do innego, wtedy zmienia swój kierunek, czyli się załamuje. Przekonywa nas o tem najłatwiej znane doświadczenie z ukazywaniem się, za dolaniem wody, monety poprzednio niewidzialnej.

Wyraźniej wszakże przekonamy się o załamaniu promieni światła, wprowadzając je z powietrza do wody. Pamiętać tylko należy, że promienie padające prostopadle do płaszczyzny, oddzielającej dwie substancje, przechodzą bez załamania; trzeba więc płaszczyznę tę umieścić w położeniu pochyłym względem kierunku promieni padających.

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.



W tym celu nalewamy wody do szklanki, do trzeciej części jej wysokości, i szklankę pochylamy, jak wskazuje rycina (fig. 82). Powyżej szklanki trzy-  
mamy kartkę tektury, w której wycięte są dwa otwor-

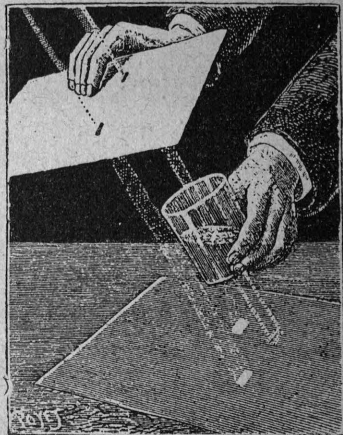


Fig. 82.

ki, w pewnej odległości jeden od drugiego. Szklankę pochylamy tak, aby promienie światła przechodzące przez otworki biegły w kierunku jej osi, kartkę zaś umieszczamy równoległe do powierzchni wody, zatem poziomo, i przesuwamy ją tak, aby przez jeden otwór

światło dostawało się do szklanki, przez drugi zaś padało bezpośrednio na biały papier, który umieszczamy na stole poniżej szklanki. Zobaczymy wtedy, że promień światła, który przeszedł przez wodę, załamał się, czyli zmienił kierunek swego biegu; promień drugi, biegnący tylko przez powietrze, służy nam tu jedynie do wskazania pierwotnego kierunku światła.

Przypomnieć tu też można, że jasne smugi, które dostrzegamy poza tekturą, nie są światłem, nie widzimy bowiem światła, ale tylko przedmioty oświecone; jasne więc te smugi pochodzą stąd, że promienie oświetlają drobne pyłki atmosferyczne lub cząsteczki wody, które na swej drodze napotykają.

Zwróćmy jeszcze uwagę na to, że górna powierzchnia wody jest pochylona względem dolnej, mamy więc jakby pryzmat utworzony z wody. Wiemy zaś, że promienie światła zwykłego w przejściu przez pryzmat dzielą się, czyli rozszczepiają na oddzielne barwy; promień więc światła po przejściu przez wodę błyszczy barwami tęczowymi, a obraz otworka, rysujący się na papierze, podobnież jest ubarwiony.



# XLIX.

## Karafka wody jako soczewka wypukła.

Soczewka wypukła jest zasadniczym przyrządem optycznym, wszelkie bowiem mikroskopy i lunety stanowią tylko kombinację soczewek. Dla uczących się zaś przedstawia tę korzyść, że pozwala łatwo potwierdzać doskonałą zgodność doświadczenia z przewidywaniem teoretycznym; skoro bowiem znamy zasady załamywania się światła, możemy z góry oznaczyć rezultat, jaki nastąpi skutkiem przejścia promieni przez szkła, ograniczone powierzchniami kulistemi, a doświadczenie okaże słuszność naszych rozumowań. Zgodność ta jest wprawdzie ogólną cechą fizyki, nigdzie jednak tak łatwo i dokładnie ująć się nie daje, jak przy soczewkach lub też zwierciadłach. Rozmaitość nadto ob-

jawów soczewki wypukłej czyni z niej bardzo poważną zabawkę naukową, stanowi bowiem szkło palące,

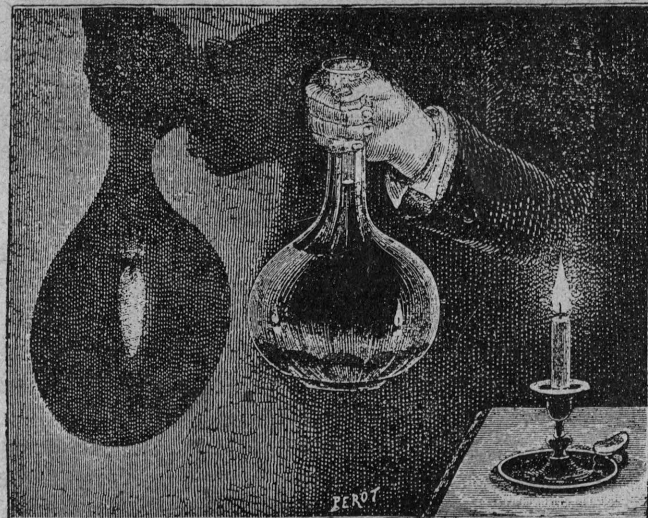


Fig. 83.

daje obrazy rzeczywiste, zmniejszone lub powiększone, a wreszcie obrazy urojone powiększone i jest wtedy szkłem powiększającym.

Istotną wszakże rzeczą w soczewce jest nie szkło, ale jej postać, można więc otrzymać soczewkę z jakiegokolwiek innej substancji przezroczystej, a więc i z wody.

Wodną taką soczewkę sporządzić sobie można z dwu szkiełek od zegarka, których brzegi spoimy kitem; należy tu oczywiście pozostawić najpierw otwórki do wprowadzenia wody, a po zupełnem wypełnieniu i te otworki zakitować. Bez żadnego jednak zachodu dobrą soczewkę wodną stanowić może karafka wodą napelniona; najlepiej zaś nadają się do tego często teraz używane karafki kuliste o długich szyjkach, a zwłaszcza flaszki tego rodzaju, w jakich sprzedają się niektóre likiery zagraniczne. Sposób użycia karafki takiej, jako soczewki, przedstawia załączona rycina (fig. 83). Mamy tu obraz świecy rzeczywisty, powiększony i odwrócony; można go dostrzegać nawet bez ekranu, daleko wszakże wyraźniej rysuje się na białym papierze, albo innej, podobnej przegrodzie. Gdy świecę od karafki oddalamy, obraz się zmniejsza i do karafki zbliża, należy więc przegrodę ku niej przesuwac. W pewnem położeniu (w podwójnej odległości ogniskowej) obraz staje się równym przedmiotowi i przypada w takiejże samej za karafką odległości; gdy świecę jeszcze bardziej oddalamy, obraz jest już zmniejszony i zmniej-

sza się coraz bardziej, zbliżając się zarazem ku karafce, w miarę jak się świeca usuwa.

Gdy przedmiot jest niesłychanie daleko, gdy mianowicie karafkę wystawimy na promienie słońca, otrzymamy tylko jasny punkcik. W punkcie tym skupia się nie tylko świetlne, ale i cieplikowe działanie promieni słonecznych; gdy więc trzymamy tam rękę, doznajemy dotkliwego spazzenia, a gdy do jasnego kółka, rysującego się na papierze, przyłożymy zapalną, łatwo się zapala.

Gdy świecę umieszczamy bardzo blisko karafki, bliżej, aniżeli przypada ognisko, obrazu rzeczywistego już niema, tworzy się wtedy obraz urojony z tej samej strony, z której się przedmiot znajduje; aby więc go widzieć, patrzeć należy przez karafkę z drugiej strony. Obraz ten jest nieodwrócony, powiększony i przypada dalej, aniżeli przedmiot: karafka odegrywa wtedy rolę szkła powiększającego.

Zamiast karafki użyć można nawet szklanki, napelnionej wodą; ale wtedy mamy już soczewkę walcową, która daje obrazy przeinaczone. Gdy promienie, przechodzące przez taką soczewkę, padają na rozłożony przed nią biały papier, rysują się na nim bardzo pięknie linje krzywe, zwane linjami kaustycznymi, któ-



re są następstwem zbiegu promieni przez soczewkę załamanych.

Soczewkę silnie powiększającą stanowić może nawet i zwykła kropla wody w otworku cienkiej płyty metalowej zawieszona; mamy wtedy mikroskop bez szkła.



L.

### Linje ogniskowe czyli kaustyczne.

Zwierciadła wypukłe, podobnie jak płaskie, wydają jedynie obrazy urojone, padające bowiem na nie promienie po odbiciu przyjmują kierunki rozbieżne, t. j. rozchodzą się i oddalają się od siebie nawzajem, a oko, do którego dochodzą, ulega złudzeniu, że przybywają z punktów położonych poza zwierciadłem. Inaczej działają zwierciadła wklęsłe; promienie bowiem, padające na nie z dostatecznej odległości, stają się po odbiciu zbieżnymi, schodzą się ze sobą i wydają obrazy rzeczywiste, to jest obrazy, które się rzeczywiście na przegrodach rysują. Jeżeli posiadamy zwierciadło wklęsłe, obrazy te otrzymujemy bardzo łatwo, dostrzegamy wszakże wtedy tylko wynik przebiegu promieni, ale samego przebiegu promieni odbi-

tych nie widzimy w ten sposób. Można jednak łącznie się promieni odbitych uwidocznić, posługując się zwłaszcza zwierciadłami wklęsłymi walcowymi, jak to wskazuje fig. 84. Zwierciadło tego rodzaju ustawiamy na białym papierze, a w pewnej od niego odległości

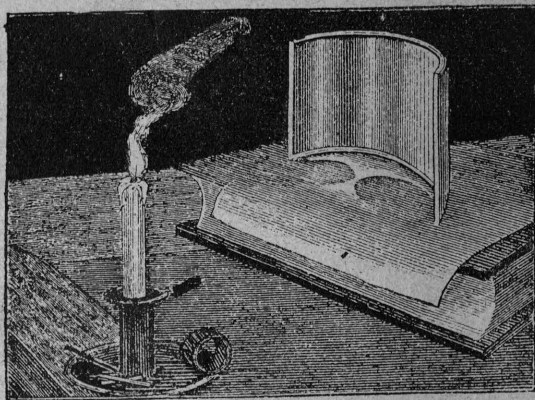


Fig. 84.

zapaloną świecę. Na papierze rysują się jasne linje, które nas uczą, że wszystkie promienie od zwierciadła tego odbite nie schodzą się w jednym punkcie, czyli w jednym ognisku, ale promienie sąsiednie zbiegają się kolejno w szeregu punktów, które razem tworzą linję

krzywą, wyróżniają się silniejszym zagęszczeniem światła. Linja więc taka powstaje jakby z nagromadzenia szeregu ognisk kolejnych i dla tego nazywa się linją ogniskową albo linją kaustyczną. Postać tej linji, i w ogóle cały przebieg promieni, przedstawia widok bardzo piękny.

O wklęsłe zwierciadło walcowe wcale nie trudno, przydatną będzie każda powierzchnia metalowa, zgięta w postać walca i wewnątrz wypolerowana. Linje ogniskowe rysują się wyraźnie na dnie płytkich naczyń metalowych, miseczek, podstawek i t. p. W braku zresztą naczyń metalowych użyć możemy i szklanki, którą do niewielkiej odległości od brzegu napełniamy mlekiem. Wewnętrzna powierzchnia szkła stanowi wtedy zwierciadło, a gdy ją zwrócimy ku słońcu lub odpowiednio ustawionej świecy, linje ogniskowe ukazują się na powierzchni mleka, która nam tu zastępuje biały papier.

Podobnie, jak zwierciadła wklęsłe zbierają promienie odbite, tak też soczewki wypukłe skupiają promienie światła, przez nie przechodzącego. Karafka napełniona wodą tworzy nam taką soczewkę wypukłą, szklanka zaś napełniona wodą da nam soczewkę walcową. Gdy więc przez szklankę napełnioną wodą przechodzą promienie światła słonecznego lub świecy, sku-

piają się podobnie, jak promienie odbite od zwierciadła wklęsłego, i na białym papierze, pod szklaną tę podłożonym, rysują się linje ogniskowe, okazujące przebieg i łączenie się promieni przez soczewkę walcową załamanych.



## LI.

### Całkowite odbicie wewnętrzne.

Doświadczenie wskazane na fig. 82, nauczyło nas, jak załamuje się promień światła, gdy z powietrza przechodzi do wody; przedostawszy się przez otworek wycięty w tekturze, promień rysuje nam na ekranie jasny obraz tego otworka. Dajmy teraz, że promień przechodzi w kierunku odwrotnym, z wody do powietrza. Wyobraźmy sobie, że wychodzi on z jasnego obrazka na papierze i przedostaje się z wody do powietrza,—przebiegnie tedy w kierunku takim, że natrafi właśnie na otworek w tekturze. W przejściu zatem z wody do powietrza promień załamuje się w stronę przeciwną; powiedzieć możemy, że przy przejściu z powietrza do wody (z ciała rzadszego do gęstszego) promień się załamuje, przy przejściu zaś z wody do



powietrza (z ciała gęstszego do rzadszego) odłamuje się, t. j. załamuje w stronę przeciwną; w pierwszym razie jest kąt załamania mniejszy, w drugim większy od kąta padania.

Gdy więc promień przechodzi z ciała gęstszego do rzadszego (albo raczej z ciała silniej łamiącego do ciała słabiej łamiącego światło), kąt załamania jest większy od kąta padania. Tak np. promień, który w wodzie tworzy z prostopadłą padania kąt  $48^{\circ}35'$ , oddala się od tej prostopadłej w powietrzu już o  $90^{\circ}$ , czyli ślizga się już po powierzchni wody. Jeżeli więc kąt padania jest większy od  $48^{\circ}35'$ , kąt załamania musiałby być większym od kąta prostego, co znaczy, że promień już się z wody wydobyć nie może, zostaje w niej uwięzionym; kąt więc  $48^{\circ}35'$  jest to kąt graniczny, t. j. największy kąt padania, pod którym jeszcze promień z wody przejść może do powietrza. Promienie, które w ten sposób z wody już się nie wydobywają, odbijają się od jej powierzchni, jakby od przegrody nieprzezroczystej, co stanowi zjawisko odbicia wewnętrznego.

Uwidocznić je można dobrze doświadczeniem bardzo prostem. W pewnej odległości od szklanki, ustawionej na wzniesieniu (fig. 85), umieszczamy świecę tak, aby promienie jej płomienia dosyć ukośnie na po-

wierzchnię wody padały. Jeżeli wtedy spoglądamy z punktu A w kierunku ku świecy, będzie ona dla nas niewidzialna; promienie nie przedzierają się przez wodę, jakby stała się dla nich teraz nieprzezroczystą. Jeżeli

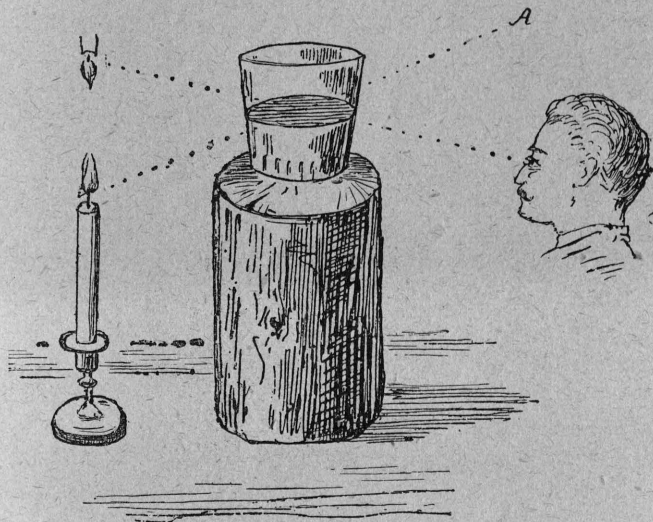


Fig. 85.

natomiast umieścimy oko poniżej tej powierzchni, w położeniu, jak rycina wskazuje, ujrzymy odwrócony obraz płomienia, odbity od powierzchni wody, jak od zwierciadła. Nadto, powierzchnia wody wydaje się silnie

połyskująca, przy odbiciu bowiem wewnętrznym nie zachodzi żadna zgola strata promieni wskutek pochłaniania lub rozpraszania światła, jak to ma miejsce przy odbiciu zwykłym. Stąd to odbicie wewnętrzne nazywa się też całkowitem.

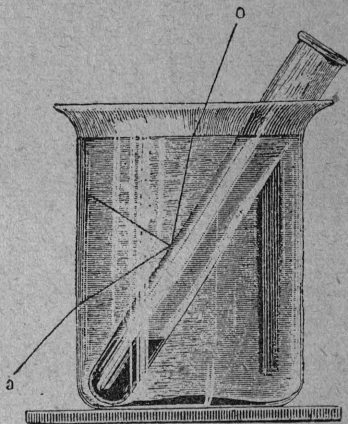


Fig. 86.

Blask ten uwidocznąć można w sposób bardziej jeszcze uderzający, jeżeli do szklanki napełnionej wodą wprowadzimy epruwetkę, t. j. rurę u dołu zamkniętą (fig. 86): błyszczy ona tak silnym blaskiem metalicznym, jakby napełniona była rtęcią, co sprawia zupełne

złudzenie. Objaśnia to przebieg promieni, na rycinie wskazany: promienie *ao* biegnące przez wodę i przez szklaną ścianę rury padają tak ukośnie na powietrze w niej zawarte, że nie mogą się tam przedrzeć; odbijają się więc całkowicie i nadają rurce połysk metaliczny. Jeżeli na spód rury nalejemy wody, część rury przez nią zajęta blasku tego nie okazuje.

Zamiast płomienia świecy w doświadczeniu poprzednim (fig. 85) użyć można kwadratu lub krzyża wyciętego z białego papieru; unikamy wtedy połysku powierzchni wody, który przeszkadza nieco dokładnemu widzeniu obrazu odbitego.

Szkło drobno utłuczone zamienia się w proszek nieprzezroczysty. Promienie bowiem przechodząc tu muszą bezustannie z okruszków szkła do powietrza, zawartego w pozostających między nimi przestrzeniach; przy przejściach tych zatem zachodzić musi często całkowite wewnętrzne odbicie, które wreszcie przytłumia zupełnie światło przechodzące i proszek szklany czyni nieprzezroczystym. Odzyskuje on wszakże przezroczystość, jeżeli puste przestrzenie między cząstkami szkła wypełnimy wodą, albo lepiej jeszcze przezroczystym olejem, który pod względem zdolności załamывania światła nie różni się znacznie od szkła, wtedy bowiem usuwa się przyczyna powodująca odbicie całkowite. Dla

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.

teższe samej przyczyny staje się przezroczystym minerał zwany hydrofanem po wprowadzeniu go do wody. Tak samo nieprzezroczysta jest piana, chociaż się składa z kropelek przezroczystych; podobnież śnieg i chmury wydają się nam białe, chociaż składowe ich części są bezbarwne i przezroczyste.

Nad rozgrzaną płytą powietrze rozgrzewa się i rozrzedza tak dalece, że powodować może całkowite odbicie promieni ukośnie padających. Ponad silnie rozgrzaną ziemią w okolicach gorących układają się warstwy powietrza rozgrzanego, a w warstwach takich odbijają się przedmioty, jak w zwierciadle wód. Tem się tłómaczy sławne mamidło egipskie i niektóre inne miraże.

Kąt graniczny jest tem mniejszy, im silniej dana substancja łamie światło; wynosi on dla szkła zwykłego  $41^{\circ}$ , dla djamentu zaledwie  $24^{\circ}$ . To właśnie powoduje silny blask brylantów, promienie bowiem, które się do nich przedostają, ulegają na ściankach całkowitemu odbiciu, a do powietrza przedzierają się jedynie, gdy kąt ich padania jest mniejszy od  $24^{\circ}$ .

Skoro więc promień światła przechodzi do oszlifowanego djamentu, nie łatwo się z niego wydostanie; odbija się wielokrotnie od licznych ścianek brylantu, zanim na którąkolwiek ścianę padnie w takim kierun-

ku, pod kątem tak małym, by mógł się przedostać do powietrza. Dzieje się więc tu tak, jakby w brylancie uwieczona była znaczna ilość promieni światła, i to właśnie nada mu tak silny połysk.

I oszlifowana bryłka szklana podobnież błyszczy z tegoż samego powodu; szkło jednak słabiej aniżeli djament łamie światło, promienie łatwej więc wydobywają się z uwięzi, a ztąd blask jest słabszy.





## LII.

### Zniknięcie szpilki.

Do wykazania całkowitego odbicia wewnętrznego posłużyć może dobrze i doświadczenie następujące.

Z korka zetnijmy krążek płaski, wysokości nieprzechodzącej pół centymetra, i osadźmy w środku ostrze szpilki, a następnie korek tak przygotowany złożmy na powierzchni wody, zwracając szpilkę ku dołowi. Krążek winien być nieznacznej wysokości, by szpilka utrzymywała się w kierunku pionowym.

Jeżeli teraz umieścimy oko powyżej korka z boku, tak, by promienie od szpilki idące dochodziły do oka w kierunku dostatecznie ukośnym, szpilki nie zobaczymy, jakby powierzchnia wody stała się dla niej nieprzezroczystą, jak w doświadczeniu wskazanem na fig. 85.

Promień zostaje więc w wodzie uwięzionym, a nie mogąc się z niej wydobyć, odbija się od jej powierzchni, jak od przegrody nieprzezroczystej, jak od zwiercia-

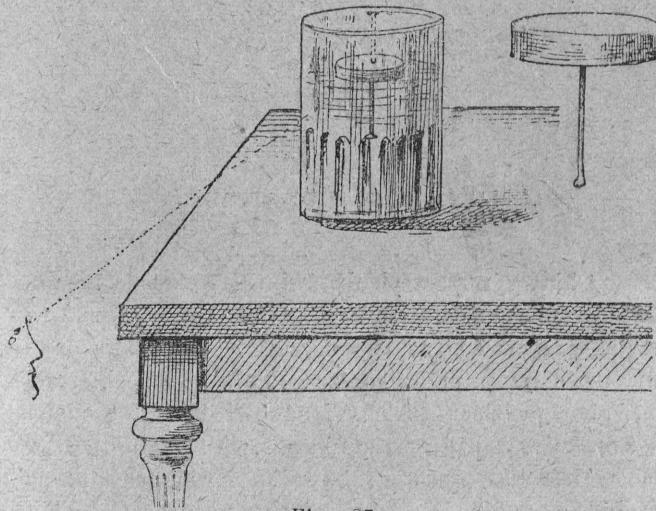


Fig. 87.

dła zatem. Jeżeli więc oko umieścimy poniżej płyty stołu, na którym ustawiona jest szklanka, jak to wskazuje rycina (fig. 87), ujrzymy szpilkę ponad korkiem, jakby wbłą do górnej jego powierzchni.

### LIII.

#### Widmo słoneczne.

Objawy rozszczepienia światła wykazało nam doświadczenie przedstawione na fig. 82; aby otrzymać wyraźne widmo słoneczne, czyli dokładny obraz barwny, powstający przez rozszczepienie promieni, trzeba posiadać pryzmat szklany i odpowiednią izbę ciemną. W braku wszakże pryzmatu szklanego wystarczyć nam mogą i środki prostsze,—kawałek zwierciadła, naczynie z wodą i arkusz białego papieru lub biała ściana.

Do naczynia mianowicie z wodą wprowadzamy ukośnie zwierciadło, jak widzimy na rycinie (fig. 88), nadając mu położenie mniej lub więcej pochyle, a to stosownie do położenia słońca. Wiązkę promieni słonecznych przepuszczamy przez otworek w przegrodzie,

jak w doświadczeniu wyżej przytoczonym, a drogę, jaką ona przebiega, wskazuje rycina. Promienie załamują się przy przejściu z powietrza do wody, odbijają się od zwierciadła i załamują po raz drugi, wydobywając się znów z wody w powietrze. Przy tych załamaniach zachodzi i rozszczepienie; gdy więc promienie, po przebieżeniu wskazanej drogi, padają na białą przegrodę, na arkusz białego papieru lub na białą ścianę, rysują

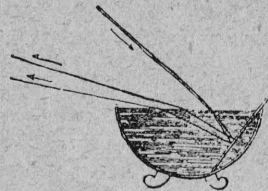


Fig. 88.

na niej widmo dosyć długie i wyraźne. Podobnie jak światło słoneczne, rozszczepić można światło świecy lub lampy; im silniejsze natężenie światło to posiada, tem też jaśniejsze i wyraźniejsze jest widmo.

Jeżeli w naczyniu umieścimy na drodze promieni szkło czerwone, na przegrodzie nie odrysuje się już pełne widmo, wystąpi w tym razie tylko czerwień, a obok niej może jeszcze słaba smuga barwy żółtej. światło bowiem innych barw ulega pochłonięciu przez

szkło. Szkło czerwone lub niebieskie przepuszcza tylko promienie czerwone lub niebieskie, wszystkie zaś inne pochłania i dlatego się właśnie nam barwnem wydaje. Najczęściej jednak obok głównej swej barwy szkła te przepuszczają słabo i inne jeszcze barwy widma, a niewiele tylko istnieje ciał rzeczywiście jednobarwnych, to jest przepuszczających jeden tylko wyłącznie rodzaj promieni. Farby nasze posiadają w ogólności barwy złożone; barwę białą posiada ciało, które odrzuca w jednakiej mierze wszystkie barwy widma.



#### LIV.

### Trwanie wrażeń w oku.

Uwiążmy na sznurku kawałek węgla i rozżarzmy go w jednym miejscu, a następnie wprawmy w szybki obrót, tak aby węgiel ten obiegał koło. Wtedy nie będziemy już mogli rozróżnić oddzielnych położeń węgla, ale widzieć będziemy okrąg ognisty.

Pochodzi to stąd, że wrażenie, jakiemu oko ulega, nie niknie natychmiast po usunięciu przedmiotu, który wrażenie to wywołał, ale trwa w niem przez czas jeszcze pewien, albo raczej przez krótką jeszcze chwilę. Oko nasze działa jak soczewka, która wydaje obrazy rzeczywiste otaczających nas przedmiotów, a obrazy te rysują się na siatkówce, czyli na błonie nerwowej, mieszczącej się w tylnej części oka. Dzieje się tu zupełnie jak w ciemni optycznej fotografa, z tą tylko różnicą, że obrazy fotograficzne utrwalają się na za-



wsze, gdy na siatkówce pozostają odfotografowane tylko przez krótką chwilę, a potem nikną, by na tejże siatkówce nowe obrazy rysować się mogły.

Gdy więc patrzymy na rozżarzony węgiel, rysuje się w pewnym miejscu siatkówki jasny punkcik, czyli obraz tego światelka; gdy zaś węgiel szybko obracaemy, obraz ten powstaje w coraz innych jej punktach, dawne wszakże wrażenia jeszcze trwają, wszystkie za-

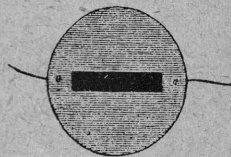


Fig. 89.

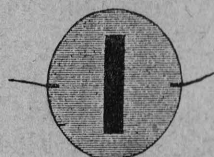


Fig. 90.

tem układają się w kółko i otrzymujemy wrażenie nieprzerwanej obrotowej ognistej.

Tak samo, gdy na walcu jakimkolwiek, na ołówku np., oznaczymy kredą punkt, a ołówek trącimy tak, aby się szybko po stole toczył, wydawać się nam będzie, że jest obwiedziony białem kółkiem.

Wykrójmy z tektury albo z grubego papieru kółko, mające 2 do 3 cali średnicy, i w dwu przeciwnych punktach przekłujmy dziurki, tak, abyśmy mogli przeciągnąć nitki, jak widzimy na fig. 89 i 90. Na

jednej stronie tego kółka nakreślmy grubą linię w kierunku od jednej do drugiej z tych dziurek; na przeciwnej zaś stronie linię w kierunku do poprzedniego prostopadłym; gdy wtedy, trzymając końce nitek, wprawimy kółko w szybki obrót, widzieć będziemy nakreślony na niem krzyż. Oko bowiem nie utraciło jeszcze wrażenia linii poziomej, gdy już otrzymuje wrażenie linii pionowej, łączy więc oba w jedno wspólne wrażenie i dostrzega obie linie razem.

Kto zechce zadać sobie więcej pracy, może na jednej stronie kółka narysować klatkę, na drugiej ptaszka, a wtedy przy obrocie kółka widzieć będzie ptaka w klatce uwięzionego.

Jeżeli jedną stronę kółka pomalujemy na czarno, drugą pozostawimy białą, kółko przy obrocie wyda się szarem. Barwa zatem szara jest mieszaniną czarnej i białej. Jeżeli jedna strona kółka jest czerwona lub niebieska, druga biała, kółko obracane okaże barwę jasno-czerwoną lub jasno-niebieską; jeżeli druga strona jest czarna, kółko okaże się ciemno-czerwonym lub ciemno-niebieskim.

Gdy jedna strona jest czerwona, druga fioletowa, kółko wyda się purpurowem; tak samo przez złączenie barwy czerwonej i niebieskiej powstanie różowa, z czerwonej i żółtej pomarańczowa.

Jeżeli jedna strona kółka jest żółta, druga niebieska. kółko obracane okazuje się białem. Barwa zatem żółta z niebieską łączą się w kolor biały. Barwy takie, które, ze sobą zmieszane, wydają barwę białą, nazywają się dopełniającymi.



LV.

Koła wirujące.

Słyszymy często, jak ludzie, chcąc nadać opowiadaniom swoim cechę zupełnej rzetelności, dodają, że to „na własne oczy widzieli“. Zapewnienie takie wszakże nie zawsze może być dowodem przekonywającym, oko bowiem nasze łatwo ulega złudzeniom. Świadczą już o tem przecież uludne obrazy w zwykłych, płaskich zwierciadłach. Najczęściej, złudzenia te nie są następstwem mylnego poczucia wrażenia, ale błędnego sądu. Tak się mianowicie dzieje przy objawach ruchu. O tem mianowicie, że przedmiot pewien pozostaje w ruchu, budzi się w nas świadomość stąd, że obraz tego przedmiotu na siatkówce oka naszego zmienia swe położenie, gdy obrazy rzeczy otaczających i nieruchomych na swych miejscach pozostają. Podobne wszakże prze-

suwanie się obrazów jednych względem innych na siatkówce zachodzić może i wtedy, gdy sama siatkówka się przesuwa, jak to ma miejsce, gdy jedziemy powozem, wtedy bowiem obrazy przedmiotów w powozie się znajdujących niezmiennie swe położenie zachowują, obrazy zaś przedmiotów zewnętrznych rysują się kolejno w różnych punktach siatkówki. Dla tego, gdy o ruchu swym zapominamy, ulegamy złudzeniu, że poruszają się przedmioty, które są rzeczywiście w spoczynku. Nawzajem też, gdy jesteśmy w spoczynku, a wzrok utrwalimy na poruszającym się przedmiocie, doznawać możemy wrażenia, że sami się przesuwamy. Gdy pozostajemy w ruchu, wtedy obrazy przedmiotów bliskich szybko migają przez siatkówkę, obrazy zaś przedmiotów oddalonych przesuwają się po niej zwolna; dlatego też przedmioty dalekie nie ulegają temu ruchowi pozornemu, albo nawet wydają się biegnącymi w stronę przeciwną, aniżeli bliskie. Na okrętach lampy zawieszone są w ten sposób, że zachowują niezmiennie położenie pionowe i nie idą za kołysaniami statku; podróżnikowi wszakże niewprawnemu wydaje się, że lampa się kołysze. Dopiero, gdy nazwyczaj się do orjentowania według kierunku pionowego, dostrzega, że to istotnie lampa jest nieruchoma, a kajuta się chwieje.

Do tej kategorii złudzeń wzrokowych należą koła wirujące, na które przed niewielu laty po raz pierwszy uwagę zwrócił fizyk angielski Silvanus Thompson. Jestto szereg kół współśrodkowych (fig. 91), mających około 1 milimetra szerokości, podzielanych równej sze-

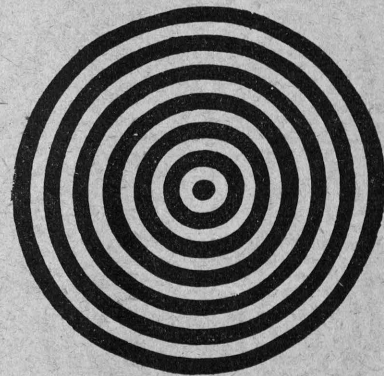


Fig. 91.

rokości przerwami białymi; wymiary te zresztą mogą być i znacznie większe, a gdy idzie o przedstawienie zjawiska tego licznemu zgromadzeniu, można kołom nadawać szerokość nawet kilku centymetrów. Jeżeli, umieściwszy rysunek ten na stole, nadamy mu ręką ruch obrotowy w jego własnej płaszczyźnie, koła wy-



dają się nam wirującymi dookoła swego środka, z szybkością kątową równą obrotowi rysunku. Złudzenie jest silniejsze, gdy wzrok utrwalamy nie na sam rysunek, ale na jakikolwiek punkt poblizki.

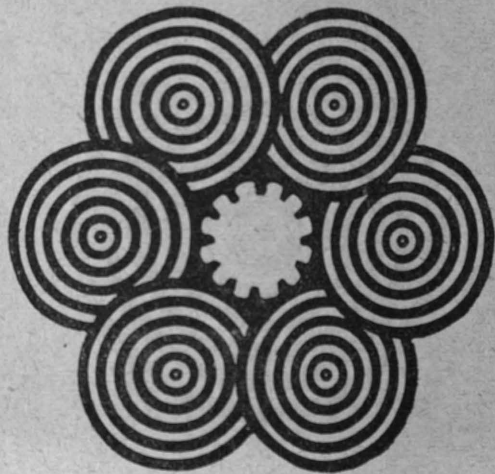


Fig. 92.

Pozorny ten ruch widoczniej jeszcze okazuje fig. 92, tu bowiem z powodu wielokrotności kół oko nie może na jednym z nich pozostawać utrwalone. Wewnętrzne koło zębate wiruje w stronę przeciwną względem otaczającego go układu kół współśrodkowych.

Zjawiska te urozmaicać można w różny sposób, jeżeli na karcie papieru nakreślimy dowolne rysy i, przebiwszy przez nią ołówek, obracamy ją dookoła niego jako osi. Linje równoległe, w ten sposób wprawiane w obrót, wydają się kołami współśrodkowymi.

Załączone rysunki posłużyć mogą do innego jeszcze doświadczenia. Jeżeli, mianowicie, utrwalimy na nie wzrok przez czas pewien, a następnie szybko zakryjemy białym papierem, dostrzegamy na nim szereg takich samych kół, z tą tylko różnicą, że tam, gdzie w rzeczywistości były koła białe, widzimy czarne, a na miejscu czarnych występują białe. Poznajemy to stąd, że kółko środkowe, na rysunku czarne, ukazuje się białem na tym pozornym i przemijającym obrazie. Złudzenie to jest następstwem zmęczenia oka; te miejsca siatkówki, na których poprzednio rysowały się koła białe, są teraz mniej wrażliwe na promienie (odbite), przybywające od papieru białego, miejsca zaś siatkówki, zajęte poprzednio przez obrazy kół czarnych, zgoła niezmęczone, doznają wrażen silniejszych, tam więc papier wydaje się bielszym. Aby doświadczenie to dobrze się powiodło, rysunek winien być silnie oświetlony: umieszczać go należy przeto w miejscu, bezpośrednio przez promienie słoneczne oświetlone, a nie w cieniu

LVI.

Zwierciadło w sztukach  
czarodziejskich.

Przy pomocy zwierciadeł wywoływać można złudzenia nieraz zdumiewające, dla tego też od dawnych już czasów zwierciadła były używane do efektów teatralnych i do złudzeń magicznych. Tego rodzaju znane są różne sztuki magiczne, jak np. głowa mówiąca, umieszczona na stole, albo znikanie osoby, zamkniętej w szafie.

Najnowsza taka sztuka ma nazwę widm nikających, a polega na tem, że rozmaite przedmioty przeobrażają się jedne w drugie, stopniowo i nieprzerwanie, przed oczyma widzów. Załączona rycina (fig. 93) daje ogólne pojęcie o urządzeniu sceny w chwili, gdy się otwierają wrota „świątyni przeobrażeń czyli metempsychozy“. W głębi otworu nieco stożkowatego i całkowi-

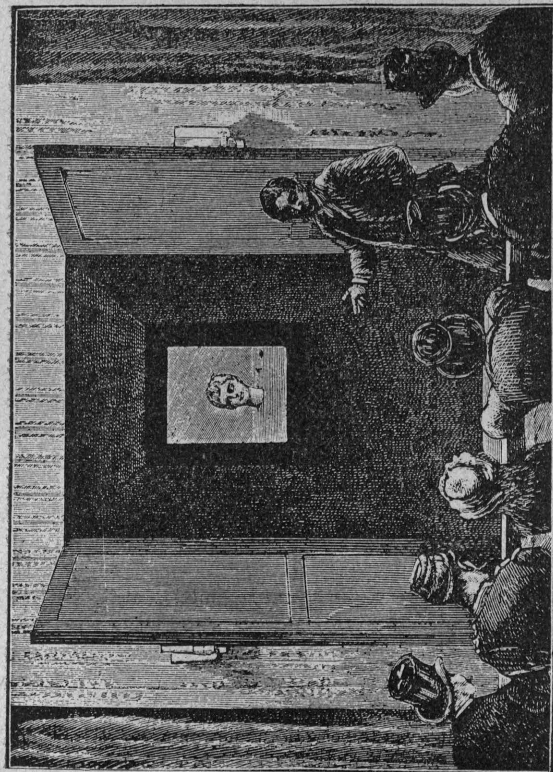


Fig. 93.

cie wyłożonego czarną tkaniną, ukazuje się głowa z gipsu albo z masy papierowej, którą magik wydobywa i puszcza w obieg między widzów, aby przekonać o jej rzeczywistości. Po takim rozpatrzeniu głowa odstawia się na miejsce, a wkrótce zaczyna się ona zwolna ożywiać, powieki poruszają się, twarz się zabarwia, usta się uśmiechają, a w ciągu minuty głowa gipsowa niknie zupełnie i ustępuje miejsca żyjącej głowie kobiecej, która zwraca nawet kilka słów do publiczności. Następnie znów głowa stopniowo się odbarwia i przeobraża w gipsową, która w dalszym ciągu zamienia się w ponurą główkę trupa; gdy ta z kolei niknie, zastępuje ją wazon z kwiatami, który po wydobyciu go z otworu, krąży między publicznością, gdy zaś znów wraca na miejsce, zamienia się w puchar z rybkami złotymi, a z pośród nich wreszcie wydobywa się pierwotna głowa gipsowa. W podobny sposób zresztą przeobrażenia te długo jeszcze ciągnąć można.

Otóż złudzenia te polegają na dowcipnem zastosowaniu zwierciadła, a raczej płyty szklanej, która jest przed sceną umieszczona, a której widzowie wcale nie widzą, jest bowiem doskonale przezroczysta i zgola bez skaz. Pomimo swej przezroczystości odbija ona dobrze promienie bardzo jasne i działa względem nich jak zwierciadło. Płyta ta, AB, jak widzimy na fig. 94,

umieszczona jest do podłogi prostopadle, ale względem sceny pochylona pod kątem  $45^{\circ}$ . Na stole AEGM umieszczony jest przedmiot P, który publiczność najpierw widzi. Z boku znajduje się inny przedmiot F,

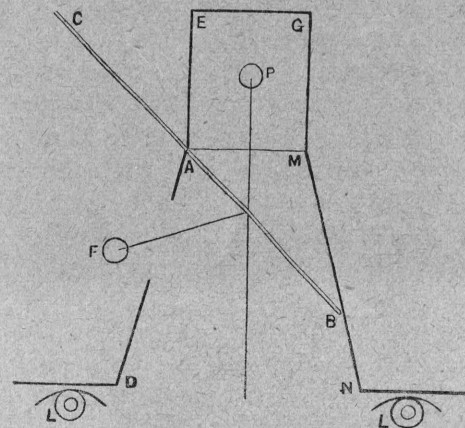


Fig. 94.

gdy więc przedmiot ten silnie oświetlimy lampą bardzo jasną, wysyłane przezeń promienie padają na płytę i, odbijając się od niej, zwracają się ku publiczności, która tedy dostrzega przedmiot F w miejscu P, przedmiot zaś, który się tam znajduje, po przytłumieniu



oświetlającej go lampy staje się niewidzialnym. Powolne znikanie jednego i ukazywanie się drugiego przedmiotu osiąga się, jak przy tak zwanych obrazach niknących, przez stopniowe osłabianie jednego i współczesne wzmaganie drugiego oświetlenia.

Jeżeli magik ma podnieść ze stołu głowę gipsową, zwierciadło AB usuwa się w kierunku CA; przyciemnienie zaś przestrzeni, gdzie się to szkło znajduje, czyni przesunięcie to niedostrzegalnem. Podobnie łatwo jest jeden przedmiot na stole zastąpić drugim, każdy z nich bowiem wtedy tylko jest dla publiczności widzialny, gdy jest oświetlony. Nadto lampy LL przed sceną, służące do oświetlenia sali, oslepiają zarazem nieco publiczność, a tem samem wzmagają ciemność scenki.

Przy pomocy stosownej skrzynki i dobrej szyby szklanej można doświadczenie to po pewnej wprawie na małą skalę odtworzyć; może to stanowić dowcipną zabawkę.



## LVII.

### M a g n e t y z m.

Bardzo rozpowszechniona, wśród starszych zwłaszcza chłopców, zabawką jest magnes, zwykle zgięty w podkowę, jaki tanio nabyć można u optyków, albo nawet w składach zabawek. Magnes w formie podkowy bardzo dobrze służyć może do przyciągania żelaza, ale nie nadaje się do wykazania innych własności magnesów; bardzo jednak łatwo, posiadając taki magnes, zaopatrzyć się w zasób magnesów prostych, albo raczej mających postać prętów. Do tego posłużyć nam mogą najlepiej zwykłe druty stalowe do robienia pończoch. Drut taki, jak wiadomo, bardzo łatwo możemy magnesować, czyli zamienić go w trwały magnes, jeżeli, umieściwszy go w kierunku z północy ku południowi, pocieramy go z wolna naszą podkową magne-

sową kilkanaście razy, przesuwając ją w jedną i drugą stronę.

Gdy drut tak namagnesowany zanurzamy w opilek, przekonywamy się, że przylegają one do niego jedynie w końcach, tworząc jakby kity z opilek złożone, w części zaś środkowej drutu nie przyczepiają się do niego wcale; w ten sposób wyróżniamy bieguny i pas albo strefę obojętną magnesu.

Drut taki łatwo przełamać można na połowy, każdą połowę znów na dwie części i t. d.; w ten sposób przekonywamy się, że każda cząstka magnesu jest również zupełnym magnesem, to jest posiada dwa bieguny i pas obojętny.

Jeżeli drucik nasz zawiesimy na nitce w środku, tak, aby się mógł swobodnie obracać na prawo i na lewo, czyli w płaszczyźnie poziomej, będziemy mieli igielkę magnesową; gdy rozbujana igielka uspokoi się, poznać możemy łatwo, że przyjmuje ona pewien kierunek oznaczony, zwraca się mianowicie jednym swym końcem ku północy, drugim ku południowi. Doświadczenie to uczy nas, że lubo oba bieguny jednakowo zachowują się pod względem przyciągania żelaza, należy mimo to wyróżniać biegun północny i biegun południowy.

Gdy teraz do magnesu w ten sposób zawieszono, czyli do igielki magnesowej, zbliżamy inny z na-

szych drutów namagnesowanych, stwierdzamy bardzo wyraźnie, że dwa bieguny jednoimienne odpychają się wzajem, różnoimienne zaś przyciągają. Jeżeli nad magnesem, ułożonym na stole, zawiesimy krótką igielkę magnesową, przyjmuje ona położenie równoległe do pierwszego magnesu, zwracając ku jego biegunom swe bieguny różnoimienne.

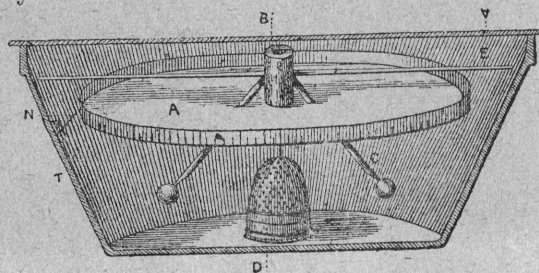


Fig. 95.

Zamiast zawieszać drucik na nitce, możemy nadać igielce urządzenie trwalsze, wskazane na załączonej rycinie (fig. 95). Namagnesowany drucik przesuwamy przez mały koreczek B, w który wbijamy koniec igły albo główkę szpilki, ostrze zaś tej szpilki umieszczamy w dziurce naparstka D, który służy za podpórę. Aby korek z drucikiem utrzymywał się w tem położeniu w równowadze stałej, osadzamy w nim dwa

drewienka, zapalki np. C. uczepiwszy do nich dwie galki woskowe; przy pewnej staranności wszystko to do pożądaney równowagi łatwo będzie doprowadzić. Aby uchronić igielkę od ruchów powietrza, umieścić można naparstek na dnie doniczki, którą zakrywamy szkłem. Możemy wreszcie poniżej korka osadzić koło, wycięte z papieru i podzielone po brzegu na stopnie, a wtedy otrzymamy kompas czyli busolę, która posłużyć nam może do wskazywania w każdym miejscu stron świata. Aby zaś w każdej chwili łatwo przyszło odróżnić biegun północny od południowego, przyczepiamy naprzeciwko pierwszego z nich do doniczki punkcie N pręcik drewniany.

Wogólności, zaopatrzywszy się w pewną ilość namagnesowanych drutów, łatwo powtórzyć możemy różne doświadczenia magnetyczne, o których mowa w elementarnych podręcznikach fizyki.



## LVIII.

### Fryga magnetyczna.

Dzieci urządzają sobie w sposób bardzo prosty maleńką frygę,—przesuwają zapalkę lub jakiekolwiek drewnienko przez guzik, a drobny ten bąk za pokręce-

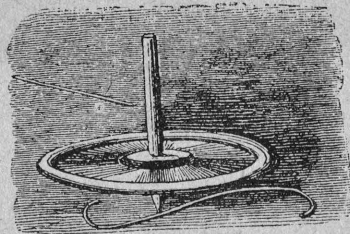


Fig. 96.

niem palcami łatwo w obrót przechodzi. Zupełnie według tego wzoru zbudować można i frygę magnetyczną (fig. 96), jeżeli namagnesowany pręcik stalo-



wy, u dołu nieco zaostrozony, osadzimy w krążku mosiężnym lub ołowianym; fryga ta obraca się jak bąk zwykły, przytem wszakże ujawnia swe własności magnetyczne, gdy na drodze napotka bryłki żelaza. Umieszczamy więc na stole druciki, bądź prostolinijne, bądź rozmaicie skrzywione; przez zakręcenie bąka między palcem wielkim i wskazującym wprawiamy go w obrót, a gdy bąk znajdzie się w zetknięciu z takim drucikiem, ten ostatni ulega osobliwym ruchom, przyczem zaostrozony koniec pręcika magnetycznego przesuwają się wzdłuż jednej i drugiej jego strony. Ruchy drucików przedstawiają widok bardzo urozmaicony.



## LIX.

### Linje magnetyczne.

Do wykazania zasadniczych objawów magnetycznych wystarczyć może drobny nawet magnes, jaki tańco w składach zabawek nabyć można; kto zaś magnes taki posiada, niech się jeszcze postara o pewną ilość opilek żelaznych, których mu chętnie udzieli każdy mechanik lub ślusarz. Baczyć tylko należy, by opilki te dostatecznie były drobne; im są drobniejsze, tem lepiej nadają się do doświadczeń magnetycznych.

Przydadzą się nam zwłaszcza do otrzymania tak zwanych linji magnetycznych, jakie widzimy na fig. 97.

Magnes zgięty w podkowę umieszczamy na stole i bieguny jego pokrywamy płytą szklaną, na którą sy-



Fig. 97.

piemy drobne opilki żelazne, a przez lekkie uderzanie płyty ułatwiamy przesuwanie się opilek pod wpływom magnesu. Opilki układają się wtedy w postać linii krzywych, biegnących od jednego bieguna do drugie-

go. Każda drobina tych opilek przedstawia jakby małą igielkę magnesową, która zajmuje położenie zależne od działań, jakie na nią oba bieguny magnesu wywierają; ogólny zatem przebieg linii, przez opilki usypanych, daje obraz, w jakim kierunku działają w każdym punkcie siły przez magnes wywierane, skąd też figury te otrzymały nazwę linii magnetycznych lub linii sił magnetycznych.

Rozsypywanie opilek ułatwić można sposobem wskazanym na rycinie. Dwa niezbyt długie druty namagnesowane osadzamy w korku biegunami różnoimionemi, tak, że tworzą razem niejako mały magnes, zgięty w podkowę. Pomocniczym tym magnesem chwytamy opilki, a następnie, potrącając go ołówkiem lub innym pręcikiem, oswobadzamy opilki i rozsypujemy je ponad płytą szklaną. Aby linje przedstawiały się wyraźnie, nie należy opilek zbyt gęsto rozsypywać, a jak powiedzieliśmy, tworzenie się linii magnetycznych ułatwić i przyspieszyć można przez lekkie potrącanie płyty.

Płyta szklana nie jest zresztą zgoła konieczna, zastąpić ją można dobrze kartką papieru. Zamiast magnesu zgiętego w podkowę użyć można i magnesów prostoliniowych, do czego nadadzą się namagnesowane

druty stalowe. Możemy magnesy takie umieszczać w pewnej odległości, jeden od drugiego, zwracając je ku sobie już to biegunami jednoimiennymi, już różnoimiennymi, przyczem dostrzeżemy w każdym razie zupełnie inny rozkład linji magnetycznych.



## LX.

### Wahadełko elektryczne.

Że lekkie ciała przyciągane są przez bursztyn potarty, wiedział już Tales, a dziś dziecko każde, ilekroć kawałek bursztynu posiada, faktu tego potwierdzić nie omieszką. Objawy te wszakże daleko lepiej poznać i do pewnego stopnia nawet zbadać można, jeżeli urzadzimy sobie wahadełko elektryczne. W tym celu dosyć będzie wyciąć z papieru listowego lub bibułki angielskiej drobny krążek papierowy, mający około centymetra średnicy, i zawiesić go na nitce jedwabnej; nitka taka z krążkiem, trzymana w palcach, stanowi już wahadełko elektryczne, ale lepiej będzie uczepić je na drucie osadzonym w korku, jak na załączonej rycinie (fig. 98). Zamiast krążków papierowych korzystniej służą lekkie kuleczki z korka, z rdzenia słonecznika

Doświadczenia fizyczne bez przyrządów.



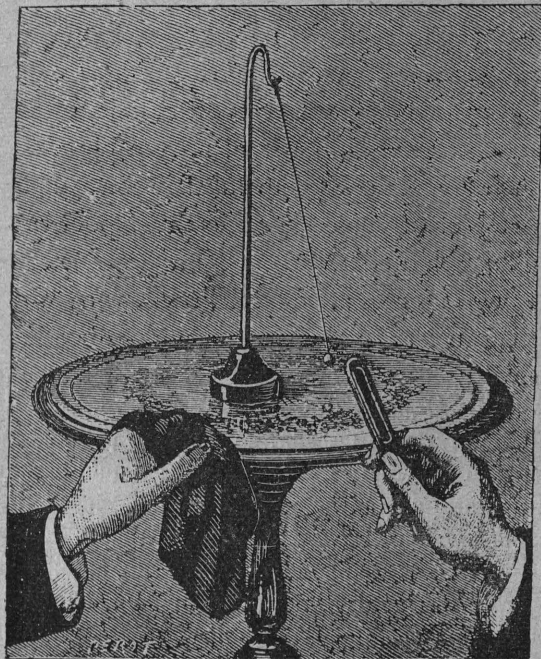


Fig. 98.

albo z bzu czarnojagodnego. Gdy do takiego krawca papierowego lub kuleczki z rdzenia bzuowego zbliżamy łaskę laku naelektryzowanego, to jest potartego suk-

nem lub inną tkaniną wełnianą, kulka zostanie przyciągnięta, a po chwili znów odepchnięta, gdy zaś wtedy przysuwać będziemy ku niej tę samą łaskę laku, będzie się od niej wyraźnie oddalała. Jeżeli kulkę zawiesimy nie na nitce jedwabnej, ale na lnianej, będzie ona również przez lak przyciągana, ale odpychania nie dostrzeżemy: różnica ta pochodzi stąd, że jedwab jest nieprzewodnikiem, nitka zaś lniana przewodnikiem elektryczności.

Jeżeli na wspólnej podpórce zawiesimy dwa jednakie wahadła o nitkach jedwabnych i zetkniemy je z lakiem potartym, kulki oddalają się nawzajem jedna od drugiej, dając tem dowód oczywisty, że dwa ciała jednoimiennie naelektryzowane nawzajem się odpychają.

Nie tylko wszakże bursztyn lub lak przez tarcie naelektryzować możemy; szkło, żywica, siarka, papier, również się dobrze nadają. Za szkło do naelektryzowania służyć może długa epruwetka szklana, albo też kominek od lampy. Należy je tylko przedewszystkiem starannie wytrzeć i ogrzać nad lampą spirytusową, albo nad innym płomieniem, następnie zaś pocierać silnie sukrem lub futrem, ale dłużej niżeli lak. Łatwiej elektryzuje się szkło przez pocieranie kauczukiem. Kulka wahadła, odpychana przez lak naelektryzowany jest przyciągana przez naelektryzowany walec szklany.

Przyciąganie to okazać można widoczniej, jeżeli przygotujemy sobie dwa wahadelka; gdy jedną kulkę dotkniemy lakiem, a drugą szkłem, kulki te przyciągają się, a nitki obu wahadełek pochylają się nawzajem ku sobie, byleby wahadelka nie były zbyt daleko jedno od drugiego umieszczone. Jest to dowód, że ciała różnoimiennie naelektryzowane przyciągają się nawzajem.

Żywica i siarka działają jak lak i bursztyn, czyli przez tarcie wzbudza się w nich elektryczność ujemną; papier przez tarcie otrzymuje elektryczność dodatnią. Aby papier naelektryzować, trzeba go także starannie ogrzać nad lampą, lub przy piecu. Długi i niezbyt szeroki pasek papieru welinowego daje się dobrze naelektryzować, jeżeli po ogrzaniu umieścimy go na stole, a przytrzymując jeden jego koniec ręką lewą, pociągamy go kilkakrotnie gumą elastyczną. Gdy pasek taki zbliżymy do ściany, zostaje przez nią przyciągnięty i do niej się przyczepia. Można nawet naelektryzować papier, przeciągając go między palcami; dwa paski papierowe, trzymane w jednym końcu ręką i przeciągnięte między palcami drugiej ręki, odpychają się i rozchodzą drugimi końcami. Jeżeli kartkę papieru, ogrzaną przy piecu i naelektryzowaną przez potarcie gumą, od stołu oderwiemy i zbliżymy szybko do

jej środka zgięty palec, otrzymać można dosyć długą iskrę elektryczną. Jeżeli, przed odjęciem naelektryzowanego papieru od stołu, położymy na nim mały kwadracik papierowy, to kwadracik ten w chwili odrywania papieru gwałtownie odskakuje. Naelektryzowana kartka papieru może też dobrze posłużyć do wywołania tak zwanego gradu elektrycznego, czyli tańca kulek; gdy bowiem trzymamy ją nad stołem, na którym rozsypane są drobne kulki z rdzenia bżowego, piasek, albo popiół z cygara, drobne te ciała przeskakują w jedną i drugą stronę. Jeżeli papier naelektryzujemy przez tarcie gumą, to i guma również staje się elektryczną; jeżeli ją zbliżymy do wahadelfka odępnętego przez lak, będzie ona go również odpychała. Guma przeto nabierze elektryczności ujemnej, gdy papier przez nią potarty stał się elektrododatnim. Przy pocieraniu zatem dwu ciał elektryzują się oba różnoimiennie. Podobnie dzieje się z sukniem, którem pocieramy szkło, trudniej to jednak okazać. Widzimy więc, że nawet bez pomocy umyślnych przyrządów poznać możemy zasadnicze objawy elektryczności statycznej.



LXI.

Wzajemne odpychanie ciał  
naelektryzowanych.

Wzajemne odpychanie ciał jednoimiennie naelektryzowanych uwidocznć można w sposób efektowny zapomocą kity papierowej, osadzonej na pręciku metalowym; gdy pręt połączymy z przewodnikiem maszyny elektrycznej i wprawimy ją w obrót, paski papierowe rozbiegają się na wzór parasola. Ponieważ kauczuk elektryzuje się łatwiej aniżeli papier, można wywołać podobne rozchodzenie się pasków kauczukowych bez pomocy maszyny elektrycznej, do naelektryzowania ich wystarczy pocieranie miotłką pierzastą.

Na wielką skalę przedstawił doświadczenie to jeden z fabrykantów wyrobów kauczukowych. Pasy kauczukowe miały po pięć metrów długości i około 4

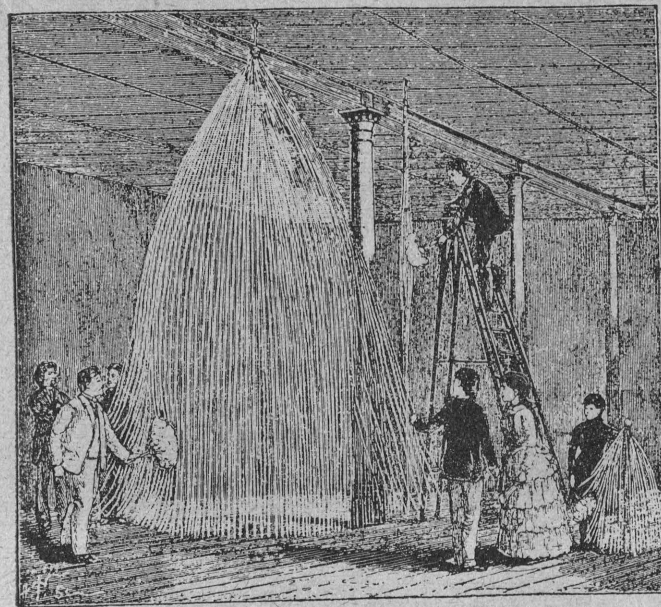


Fig. 99.

centymetrów kwadratowych w przecięciu. Uwiązane były górnymi końcami, a w miarę jak je elektryzowano miotłkami, rozchodziły się coraz bardziej, tworząc jakby obszerny namiot, którego pasy pochylały się ku



zbliżającym się osobom i otaczały je jakby klatką. Gdy wstęgi kauczukowe związane były w obu końcach, u góry i u dołu, odpychały się pośrodku i przyjmowały postać kulistą. W powietrzu suchem włókna kauczukowe zachowują ładunek swój przez kilka godzin, a przez przeciąganie po nich ręką szybko go tracą. Doświadczenia te oczywiście powtórzyć można z mniejszemi paskami, co też wskazuje rycina; objawy odpychania elektrycznego niemniej są widoczne i uderzające.



## LXII.

### Elektryczność na usługach sztuk czarodziejskich.

Oddawna już korzystają magicy do czarodziejskich sztuk swoich z usługi przyrządów fizycznych. Szczególniej przydatne były dla nich dawniej zwierciadła, latarnie czarnoksiężskie i inne przyrządy optyczne, pozwalają bowiem wywoływać złudzenia istotnie zdumiewające (str. 226); w ostatnich jednak czasach ważniejsze znaczenie w sztukach magicznych zdobyły przyrządy elektryczne, zwłaszcza zaś elektromagnesy.

Przypominamy tu tylko, że elektromagnes jest to pręt walcowy z żelaza miękiego, otoczony dokoła zwojem drutu, którego końce połączone są z biegunami stosu galwanicznego. Gdy prąd elektryczny po drucie przepływa, żelazo staje się magnesem i przyciąga brył-

ki żelazne; w chwili zaś, gdy prąd przerywamy, przyciągnięte masy żelazne opadają. Własności więc magnetyczne trwają tylko podczas przebiegu prądu i wraz z nim ustają. Jeżeli elektromagnes z ręcznym jest ukryty, spowodowane przez niego przyciągania i odpychania

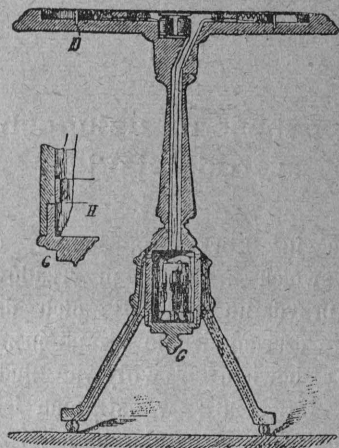


Fig. 100.

wydadają się zjawiskiem zupełnie czarodziejskiem; na tej więc zasadzie zbudowany jest stół do wywoływania tak zwanych duchów pukających.

Stół taki przedstawiony jest w przecięciu na fig. 100. Płyta stołu, dosyć znacznej grubości, jest we-

wnątrz wydrążona, tak mianowicie, że wpośrodku znajduje się zagłębienie kołowe, otoczone w pewnej odległości innem wyżłobieniem pierścieniowem. Otwory te zakryte są płytą wierzchnią, mającą około 3 milimetrów grubości. Noga stołu również jest wydrążona, a w dolnej części posiada przestrzeń pustą, w której ukryte jest ogniwo stosu galwanicznego; najlepiej służyć tu może ogniwo Leclanché'ego, jakie się zwykle używa do obsługi dzwonków elektrycznych. Dolne denko G można dowolnie odejmować i nakładać, ogniwo więc w razie potrzeby można tą drogą usuwać i na nowo nastawiać. Od biegunów ogniwa prowadzą druty do dwu sprężyn, umocowanych przy G; sprężyny zaś te naciskają dwie osady metalowe H, przytwierdzone do wewnętrznej powierzchni wydrążenia, jak to wskazuje wyraźniej rysunek boczny; w ten więc sposób, gdy ogniwo znajduje się w wydrążeniu, zapewnione jest jego zetknięcie elektryczne z temi osadami metalowemi, z którymi znów łączą się druty, idące wzdłuż nogi w górę, aż do płyty stołu.

Przyjrzyjmy się teraz przyrządom, w wydrążeniach tej płyty ukrytym. W otworze środkowym, jak widzimy na rycinie, mieści się elektromagnes, to jest pręt żelazny, owinięty zwojem drutu; w otaczającym zaś wydrążeniu pierścieniowym osadzona jest obręcz

metalowa, mająca brzeg górny zygzakowato wycięty. Powyżej tej obręczy, naprzeciwko niej, znajduje się druga jeszcze obręcz, płaska, przymocowana do dolnej powierzchni płyty zakrywającej stół; wreszcie, w środku tejże płyty osadzony jest krążek żelazny, stanowiący zbroję, którą przyciąga elektromagnes, skoro tylko działa.

Jeden z drutów, idących od ogniwa, połączony jest z pierścieniem zygzakowato wyciętym, drugi zaś z jednym końcem zwoju, otaczającego elektromagnes, gdy drugi koniec tego zwoju łączy się z pierścieniem płaskim. Teraz jeszcze obieg prądu nie jest zamknięty, gdy jednak położymy dłoń na stół, w miejscu, gdzie przypadają pierścienie, wtedy przez lekki nacisk wygiąć możemy ku dołowi płytę wierzchnią, a w tej chwili następuje zetknięcie obu pierścieni; prąd jest więc zamknięty, pręt żelazny elektromagnesu staje się magnesem i przyciąga znajdującą się ponad nim zbroję, co spowoduje głośne uderzenie. Gdy nacisk dłoni zmniejszamy, płyta odgina się ku górze, ustaje zetknięcie obu pierścieni i prąd elektryczny przerywa się; w tejże więc chwili elektromagnes traci swe własności elektryczne, a zbroja odskakuje ku górze, co znów powoduje sztuknięcie.

Magik wzywa tedy kilka osób, by stały dookoła stołu i ręce swe na nim umieściły; sam również zajmując

między nimi miejsce, a wtedy wywołuje uderzenia, naciskając stół tak nieznacznie i zręcznie, że ruchów jego ręki nikt z widzów nie dostrzega. Całe to urządzenie w zasadzie podobne jest do dzwonek elektrycznych, magicy jednak nie lubią tajemnic swoich odsłaniać, a niektórzy nawet głoszą, że zgola nie są magikami, czyli kuglarzami, ale zostają w związku ze „światem nadziemskim“ i mają dar wywoływania duchów, które są wprawdzie niewidzialne, ale obecność swą ujawniają pukaniem, głos zaś taki oczywiście wydaje się zagadkowym i nadnaturalnym dla tych, co tajemnicy ich stołu nie znają. Rzecz śmieszna ale i smutna zarazem, że znaleźli się ludzie, którzy dali się oszustom tym uwieść i wierzą, że istotnie duchy niewidzialne w stół pukają, nazywają się zaś spirytystami, a to od wyrazu łacińskiego *spiritus*, co znaczy duch. Zuderzeń takich układają sobie alfabet w ten sposób, że jedno uderzenie znaczy głoskę *a*, dwa uderzenia głoskę *b* i t. d., a stąd mogą nawet rozmawiać z duchami i otrzymują od nich odpowiedzi na swe pytania. Żaden wszakże duch dotąd nie dał nikomu rady zbawiennej, nie nas nie nauczył, nie wskazał nowego odkrycia ani wynalazku, boć oczywiście rzekomy ten duch nie może być mędrszym od magika, który zdania te wypukuje. Ale nawet tak błahe i niedorzeczne zdania



mniemanych duchów nie odstręczają wielu ludzi od spirytyzmu; czytelnicy wszakże nasi wiedzieć już będą, co o tem sądzić mają.

Duchy zresztą rozmawiać mogą nietylko przez pukanie, ale niekiedy odzywają się też i mową istotną. Domyslamy się wszakże łatwo, że w tym razie mamy do czynienia tylko z ukrytym zręcznie telefonem. Drućty mianowicie, prowadzące od ogniwa galwanicznego do płyty stołu, łączą się u dołu z inemi drutami, które schodzą przez nóżki stołu i dalej pod dywanem, okrywającym podłogę, dostają się do innej izby, gdzie połączone są z „przesyłaczem“ mikrofonu. Jeżeli więc ktoś mówi tuż obok tego przesyłacza, połączona z nim drutami płyta stołu działa jako telefon, a dokładniej mówiąc, jako „odbieracz“ telefonu; mowa więc rozlega się ze stołu, co słuchaczy rzeczy nieświadomych wprowadza w zdumienie większe jeszcze, aniżeli pukanie duchów.

Mają zresztą magicy i inne sposoby wywoływania złudzeń podobnych, a skóra która ich sztuczka zostanie odkrytą i wyjaśnioną, starają się budować przyrządy jeszcze misterniejsze, bardziej zagadkowe i tajemnicze, a taką drogą nie brak im łatwości, którzy nie pamiętają, co dawno już biskup Krasiecki powiedział, że

„Dosyć się to często zdarza,  
„Bywa kuglarz nad kuglarza“.

Czyż warto zresztą podziwiać i zastanawiać się nad temi dziecinnymi sztuczkami spirytystów, którzy naginają elektryczność do swych drobnych i podstępnych celów, gdy widzimy, jak prądy elektryczne wykonywają olbrzymie i prawdziwie zdumiewające prace, wytwarzają światło i ciepło, w oka mgnieniu roznoszą wieści po całej ziemi, przeprowadzają głos nasz na znaczną odległość, wydzielają metale z rud, pozwalają nam korzystać z energii dalekich wodospadów.— Do cudów tych wszakże drogę toruje nam jedynie nauka sumienna i wytrwała.



4730