

100

~~Nr. 1319, 1.~~
N^o $\frac{v}{333-2443}$

Biblioteka nauczycielska

W Kolnie

prof. pomyśl o mnie
to krótko, choć mi jest zbyt
dane, ale już cię kocha i wybrał
me szeptem rozrywki i w ciągu
tych 50-60 lat. Antoni Michalski
Białystok 18 III 1927.



2. 181. 76
111-000-94

249 by

Wzrost str. 15 1/2
Nr. -1319. 3.

STANISŁAW KRAMSZTYK
Biblioteka nauczycielska

WIADOMOŚCI POCZĄTKOWE Z FIZYKI

KSIĄŻECZKA DRUGA
WYDANIE OSME POWIĘKSZONE

887
Biblioteka nauczycielska
Gimnazjum w Koniem



*Jowanka
Biaruńska
19. III. 1977r.*



WARSZAWA: E. WENDELSKA
LWÓW: H. ALTENBERG — ŁÓDŹ: LUDWIK FISZER
POZNAŃ: M. NIEMIERKIEWICZ

Biblioteka nauczycielska
w Kólnie

Rozdział I.

O C I E P L E.

§ 1. Ciepło i zimno.

W lecie jest ciepło, w zimie zimno; bywają dni cieplejsze i zimniejsze.

Różnice te oznaczamy stopniami; mówimy: dziś 16 stopni ciepła, lub 7 stopni zimna.

Nie trzeba jednak sądzić, aby zimno było czemś odmiennem od ciepła; zimno jest tylko niższym stopniem ciepła.

Weź trzy miski, z których jedną napelnij wodą gorącą, drugą zimną, do trzeciej zaś nalej wody gorącej i zimnej, tak, aby ta woda była letnia. Potrzymaj przez pewien czas rękę w wodzie gorącej, drugą w zimnej, następnie zanurz obie ręce w wodę letnią.

Ręka, która była w wodzie gorącej, dozna uczucia chłodu, ta zaś, która była w zimnej, dozna uczucia ciepła.

O jednej przeto i tej samej wodzie jedna ręka mówi nam, że jest zimna, druga zaś, że jest ciepła. To właśnie uczy nas, że zimno nie jest czemś odmiennem od ciepła. Przecież w jednym i tym samym pokoju nieraz jedna osoba uskarża się na chłód; gdy drugiej jest ciepło.

Możemy powiedzieć, że herbata, którą pijemy jest gorąca, woda do picia jest zimna; ale gdyby nas zapytano, jaki jest stan ciepła tej herbaty lub wody, czyli ile stopni posiada herbata lub woda, powiedzielibyśmy nie umieli. Własnym tedy czuciem naszym nie mogli

byśmy oznaczać stanu ciepła, czyli temperatury. Do mierzenia więc temperatury trzeba posiadać odpowiedni przyrząd. Przyrząd taki nazywa się termometrem.

Należy dobrze pamiętać, że termometr wykazuje tylko temperaturę, czyli stan ciepła, ale nie mierzy samego ciepła. Mamy dwa pokoje, jeden małeńki, drugi bardzo duży; w obu jest jednakowo ciepło, czyli panuje jednakowa temperatura. Ale rozumie się, że do ogrzania dużego pokoju trzeba było spalić daleko więcej drewna; wytworzyło się tam przeto więcej ciepła, aniżeli w pokoju małym. A termometr nie mówi nam zgola, ile ciepła jest w jednym, a ile w drugim pokoju; uczy nas tylko, jaki tam jest stopień ciepła, jaka tam panuje temperatura.

Ciepło wywiera wpływ nie tylko na nasze czucie, t. j. na nasze nerwy, ale działa nawet w pewien sposób i na ciała martwe; dlatego to można było zbudować termometr.

§ 2. Rozszerzalność ciał od ciepła.

Wszystkie ciała pod wpływem ciepła, czyli kiedy temperatura ich podwyższa się, rozszerzają się, t. j. powiększają swoją objętość.

Widzimy tu (Fig. 1) przyrząd, składający się z mosiężnego pierścienia i kulki zawieszanej na łańcuszku; kulka posiada wielkość taką, że przez pierścień przesuwają się łatwo, wypełniając go całkowicie. Ogrzejmy ją teraz lampką spirytusową albo jeżeli w mieszkaniu jest gaz, lampką gazową, urządzoną w podobny sposób, jak do gotowania. Zobaczymy, jeżeli kulkę silnie ogrzaną opuszczamy na pierścień, że kulka się

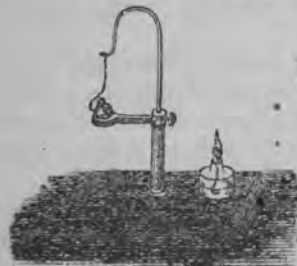


Fig. 1.

na nim oprze i nie przejdzie, choćbyśmy ją najsilniej nawet naciskali. Kulka przeto mosiężna powiększyła się, rozszerzyła, posiada teraz objętość większą, aniżeli przed ogrzaniem; toż samoby się działo, gdyby kulka była z żelaza, ze srebra, albo z innego materiału.

Gdy kulka ostygnie, przechodzić będzie znów również łatwo przez pierścień, jak przed ogrzaniem; ciała zatem przez oziębienie kurczą się, zmniejszają swoją objętość.

O tem samem przekonamy się, jeżeli, nie ogrzewając kulki, oziębimy silnie pierścień przez obłożenie go lodem; kulka znowu nie przejdzie, pierścień więc się skurczył.

Powiemy tedy, że ciała ogrzewane rozszerzają się, oziębiane zaś kurczą. Albo dokładniej: ze wzrostem temperatury rośnie objętość ciał, z obniżaniem się zaś jej objętość ciał maleje.

Choćbyśmy nie posiadali podobnego przyrządu, to o tej prawdzie przekonać nas może mnóstwo zjawisk, które wokół nas bezustannie zachodzą.

Przyjrzyjmy się żelazku do prasowania. Dusza, gdy jest zimna, swobodnie się w niem porusza; skoro ją rozpalimy, wypełnia całą przestrzeń. Coby się działo, gdyby dusza zimna zupełnie już żelazko wypełniała? Jak trzeba dusze do żelazka wybierać?

Gdy do zimnej szklanki nalewamy nagle wrzącej wody, szklanka często pęka. Dlaczego? Szklanka wskutek ogrzania rozszerza się, ale niejednakowo silnie i niejednakowo szybko we wszystkich swych częściach: ściany cieńsze prędzej, niż grube dno; jedne zatem części rozszerzają się silniej, aniżeli inne, rozchodzą się więc, a szklanka pęka.

Kto przyglądał się szynom kolei żelaznej, albo widział jak je układają na podkładach, wie, że oddzielne ich części umieszczają się jedne obok drugich tak, że między nimi pozostaje zawsze pewna przestrzeń pusta. Dlaczego? Coby się stać mogło w lipcu lub sierpniu, gdyby je w marcu lub kwietniu ułożono ściśle, jedną tuż

przy drugiej? Musiałyby się wykrzywić ku górze! Dlaczego? Pociągowi groziłoby niebezpieczeństwo wywrotu.

Most żelazny pod Warszawą, jak i inne mosty w podobny sposób zbudowane, składa się z oddzielnych części czyli przęseł, opierających się na filarach kamiennych. Przechodząc przez most, wyszukajcie miejsca, gdzie przerwy między przęsłami przypadają. W zimie są one tak szerokie, że łatwo przez nie przesunąć się potrafimy, w lecie przecisnąć się nie zdołamy. Dlaczego? W jakim celu przerwy te pozostawiono?

Na dachu cynkowym blachy nie zbijają się wprost gwoździami, ale brzegi ich zaginają się i zcepiają w podobnym celu.

Zatyczka szklana w karafce często trzyma się tak silnie, że jej nie podobna wydobyć. Poradzić sobie można następnym sposobem: owijamy szyję karafki grubą tasiemką, a dwie osoby ująwszy jej końce, przeciągają ją szybko w jedną i drugą stronę: po krótkim czasie zatyczka da się łatwo wydobyć. Co tu zaszło? W skutek tarcia o tasiemkę szyja karafki się rozgrzała. Co dalej?

Potrzymaj ćwiartkę papieru nad świecą, lampą lub gorącym piecem; jedna strona papieru ogrzeje się silniej aniżeli druga, a papier się skrzywi. Objaśnij to.

Wyszukaj inne jeszcze zjawiska, polegające na rozszerzalności ciał od ciepła.

Na wielkiej kopule kościoła św. Piotra w Rzymie ukazały się szczeliny, które groziły rozpadnięciem się budowy. Kopułę obito kilku silnie rozgrzanymi obręczami; skoro zastygły, szczeliny się zamknęły, i kopuła dotąd się dobrze trzyma. Objaśnij to.

To wskazuje też, z jak znaczną siłą ciała rozszerzają się i kurczą pod wpływem zmiany temperatury.

§ 3. Rozszerzalność ciał ciekłych.

Dotąd mówiliśmy tylko o ciałach stałych. Rurkę zakończoną u dołu banieczką szklaną, napełnijmy do pewnej wysokości wodą, rtęcią, lub jakąkolwiek inną cie-

czą i ogrzejmy ją nad lampką. Słupek cieczy w rurce wydłuży się, ciecz się rozszerzy.

Można też użyć flaszki (Fig. 2) zamkniętej korkiem, przez który przechodzi wązka rura z obu stron otwarta; flaszkę napełniamy wodą i zatykamy korkiem tak, aby nieco wody dostało się do rurki, do punktu *a*. Przesuwamy następnie pod nią w jedną i drugą stronę zapaloną lampkę spirytusową. Woda podniesie się i dojdzie w rurce do większej wysokości.

Zatem i ciecz także pod wpływem ciepła objętość swoją powiększają.

Ciecze rozszerzają się nawet silniej, aniżeli ciała stałe. Naczynie bowiem szklane, jak już wiemy, także się rozszerza. Gdyby przeto ciecz rozszerzała się tylko w tymże samym stosunku, jak szkło, to nie dostrzeżlibyśmy żadnego podniesienia się cieczy. A gdyby szkło rozszerzało się silniej jeszcze aniżeli ciecz, toby nawet woda w rurce pozornie opadła. Skoro zaś, pomimo rozszerzalności szkła, dostrzegamy, że woda jeszcze się w rurce podnosi, to mamy w tem dowód, że woda i wszystkie inne ciecze rozszerzają się silniej, aniżeli ciała stałe.

Uważaj, co się dzieje przy gotowaniu wody. Jeżeli woda wypełniała garnek po brzegi, to po pewnym czasie przy ogniu zaczyna się przelewać. Mleko przy gotowaniu widocznie się podnosi; jeżeli prędko garnek od ognia usuwamy, mleko znów opada.

Kto w zimnym sklepie kupował spirytus, np. 10 kwart, i wniesie go do pokoju bardzo ciepłego, będzie

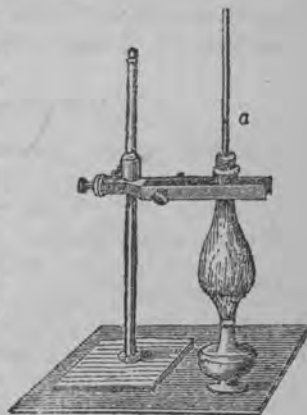


Fig. 2.

miał go³ znacznie więcej; przybędzie jedna lub dwie kwatěrki.

Ale jeżeli zważymy spirytus zimny i ogrzany, to na wadze różnicy nie będzie żadnej, nic tu bowiem nie przybywa, ilość cieczy się nie powiększa, a tylko cząsteczki spirytusu (i każdego innego ciała) bardziej się rozsuwają, i dlatego objętość wzrasta.

§ 4. Rozszerzalność ciał lotnych.

Silniej jeszcze, aniżeli ciecze, rozszerzają się gazy.

Balonik gumowy, jakim się często dzieci bawią, wydmijmy powietrzem, niezbyt silnie, tak, aby pozostał nieco pomarszczony; przewiążmy go mocno i ogrzejmy go nad lampką, nad węglami, albo też umieścimy blisko ogrzanego pieca. Balon się wydmie, wygładzi, a nawet może pęknie. Powietrze bowiem rozszerza się, a nie mogąc się wydobyć, balonik wydyma. Do doświadczenia tego można też użyć pęcherza zwierzęcego. Toż samo się dzieje, jeżeli balon jest wypełniony gazem oświetlającym lub wodorem. Po oziębieniu balon znowu się marszczy.

O rozszerzalności powietrza przekonać się można także za pomocą innego doświadczenia. Rurkę, z jednej strony zamkniętą (epruwetkę) zanurzamy końcem otwartym w wodę i w pobliżu zamkniętego końca ogrzewamy lampką, przesuwając ją z wolna w jedną i drugą stronę. Powietrze rozszerza się i wydostaje się przez wodę w postaci pęcherzyków, uchodzących ze słabym hukiem. Dopóki rurkę ogrzewamy, dopóty powietrze wypełnia ją całą; skoro zaś lampkę usuniemy, woda w miarę stygnięcia powietrza w rurce, szybko się w niej podnosi. Na wodę bowiem w szklance atmosfera wywiera zwykle swe ciśnienie, w rurce zaś powietrze rozrzedzone ciśnię słabiej... Dokończ tego objaśnienia.

Jeżeli rurkę ogrzewaliśmy dostatecznie długo, woda podnosi się w niej wysoko, tak, że wypełnia piątą, czwartą, a nawet trzecią jej część; okazuje to, że po-

wietrze (a tak samo i inne gazy) pod wpływem ciepła rozszerza się bardzo znacznie, daleko silniej, aniżeli ciała stałe i ciecze.

Znaczną tę rozszerzalność gazów łatwiej jeszcze uwidocznisz za pomocą flaszki (Fig. 3), urządzonej w podobny sposób, jak bania Herona*). Przez korek przechodzi rura, sięgająca prawie do dna a woda wypełnia tylko dolną część flaszki, nad nią zaś mieści się powietrze, zamknięte szczelnie korkiem. Jeżeli flaszkę obejmiemy, albo nawet tylko dotkniemy ręką, natychmiast woda w rurce znacznie się podnosi. Powietrze bowiem rozszerza się już przez samo ogrzanie od ręki naszej, a dążąc do zajęcia większej przestrzeni, przemaga ciśnienie powietrza w rurce. Porównaj to z banią Herona i objaśnij dokładniej!



Fig. 3.

Wszystkie zatem ciała przy ogrzewaniu powiększają, przy oziębianiu zmniejszają swą objętość.

Czy nie mógłbyś przytoczyć jakiego wyjątku od tej ogólnej zasady?

A skóra przecież kurczy się od gorąca. Łatwo jednak poznać, że stanowi to wyjątek tylko pozorny; mówi się nawet, że skóra się zsycha. To ma znaczyć, że skóra jest pospolicie wilgotna, że między cząsteczkami swemi utrzymuje w uwięzieniu wodę; pod wpływem gorąca woda ta ulatnia się, uchodzi, cząstki skóry zbijają się silniej, a to powoduje jej kurczenie się czyli zsychanie.

*) Książeczka pierwsza, § 33.

Toż samo dzieje się z gliną, z papierem i z drzewem, jeżeli nie jest zupełnie suche. Dlatego drzewo, na wyróby używane, winno naprzód wyschnąć przez długie leżenie. Drzewo świeżo ścięte jest zawsze wilgotne z powodu soków, które za jego życia w niem krążyły.

§ 5. Termometr.

Widzieliśmy wyżej, że czuciem naszym nie możemy dokładnie ocenić stanu ciepła czyli temperatury; poznaliśmy obecnie, że ciepło wywiera inny jeszcze wpływ na wszystkie ciała: powiększa ich objętość. Im temperatura ciała jest wyższa, tem objętość jego bardziej się powiększa. Nawzajem więc, z powiększenia się objętości, z rozszerzania ciał, wnosić można o ich temperaturze.

Dajmy, że długi pręt żelazny wystawiony był na mróz i wniesiono go nagle do ogrzanego pokoju. Co się z nim w pokoju stanie? Wydłuży się. Z wielkości tego wydłużenia możnaby tedy wniesić, o ile się pręt ogrzał. Wydłużenie to wszakże nie łatwo da się dostrzec i ocenić. Przypuśćmy, że pręt ma chochy 10 łokci długości, że mróz jest bardzo silny, a w pokoju jest bardzo gorąco; wtedy pręt wydłuży się zaledwie o dziesiątą część cała. Łatwo poznać, że wydłużenie to jest zbyt drobne, aby stąd można było oznaczyć, o ile temperatura żelaza się powiększyła przez przeniesienie go do ogrzanego pokoju.

Miedź, mosiądz, srebro, cynk rozszerzają się wprawdzie nieco więcej, aniżeli żelazo, ale jeszcze zbyt mało, aby stąd wnosić o temperaturze. Wiemy wszakże, że ciecze rozszerzają się daleko silniej, aniżeli ciała stałe, i rzeczywiście mogą służyć bardzo dobrze do mierzenia temperatury.

Możnaby użyć wody, ale wiemy, że przy najslabszym mrozie woda już marznie, a przy ogniu ulatnia się, zamienia w parę. Ale jest inna ciecz, bardzo dogod-

na do tego celu, bo nie tak łatwo marznie, ani się tak łatwo ulatnia; ciecz tę już znamy; jest to rtęć. Wiemy już także, że przyrząd do mierzenia temperatury nazywa się termometrem.

Oto go widzicie (Fig. 4): jest to rurka bardzo wązka, u góry zamknięta, u dołu zakończona baniączką, czyli kuleczką szklaną; baniączka i część rurki wypełnione są rtęcią; obok widzimy poziomą kłkę z wypisanymi liczbami; liczby te nazywamy stopniami ciepła.

Zanurzymy termometr ten w wodę gorącą; rtęć szybko się podnosi; słupek rtęci dojdzie np. do liczby 70. Oznacza to, że rtęć w termometrze ma teraz 70 stopni ciepła. Ale rtęć ogrzała się od wody; gdyby woda była cieplejsza, rtęć podniosłaby się wyżej; rtęć zatem posiada też samą temperaturę co woda, w której się termometr znajduje; powiemy więc, że i woda ma 70 stopni.

Wyjmujemy termometr z wody; rtęć opada, oziębia się bowiem i kurczy; dochodzi tylko do liczby np. 16. Gdyby powietrze w pokoju było zimniejsze, to rtęć oziębilaby się silniej, opadłaby niżej. Rtęć posiada tedy teraz taką samą temperaturę, jak powietrze pokoju. Powiemy więc, że w pokoju jest 16 stopni ciepła.

Widzimy tedy, że za pomocą termometru bardzo łatwo oznaczyć można temperaturę, stan ciepła; czucie nasze nie mógłoby nam jej dokładnie wskazywać. Jest to przyrząd bardzo ważny i każdemu potrzebny, jak to poznamy z dalszej nauki.

Jak termometr zrobiono?

Przedewszystkiem fabryki szkła przygotowują rurki zakończone baniączkami. Rurki winny być bardzo wązkie; dlaczego? Gdyby rurka była szeroka, rtęć, powiększając swą objętość, rozlewałaby się na boki, w gó-

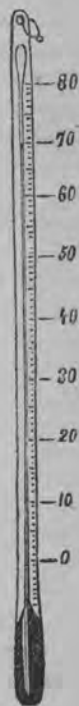


Fig. 4.

rę podnosiłaby się nieznacznie. Jeżeli zaś rurka jest bardzo wązka, to choćby się rtęć bardzo słabo ogrzała, podniesie się jednak w górę bardzo wyraźnie.

Mając już taką rurkę, trzeba w nią nalać rtęci. Ale w tak wązka rurkę nie łatwo wejdzie; kropla rtęci pozostanie na szczycie rurki i zgola w nią nie wpadnie? Dlaczego? Co się w rurce znajduje? Jeżeli wodę nalewamy do szerokiego naczynia, to powietrze znajduje miejsce, któremby ujsć mogło; gdy zaś woda zapełnia cały otwór, powietrze wydobywać się nie może i woda do naczynia się nie dostanie. Powietrze bowiem, jak każde inne ciało, jest nieprzenikliwe; tam, gdzie jedno ciało się znajduje, drugie pomieścić się już nie może. Powiesz, może, że woda mieści się w gąbce, w wilgotnym ręczniku; objaśnij to.

O cóż tedy postarać się trzeba, chcąc rtęć do rurki termometrycznej wprowadzić? A jakim sposobem powietrze z niej usuniemy? Przypomnijmy sobie doświadczenie z epruwetką w § 4-ym. Przez ogrzewanie powietrze rozszerza się i uchodzi. Tak samo postępuje się przy wyrobieniu termometru.

Rurka zanurza się otworem w rtęć, a bańkę ogrzewa się lampką. Co tu zachodzi? co się stanie, gdy ogrzewać przestaniemy? jaka przyczyna zmusza rtęć do zapełniania rurki? Można w ten sposób kuleczkę i rurkę całkowicie rtęcią wypełnić tak, że w niej nie będzie już wcale powietrza.

Mając rurkę napełnioną rtęcią, trzeba ją zatopić, czyli zalutować; czy można zalutować ją wtedy, gdy rtęć dochodzi do jej wierzchołka? Coby się stało, gdyby następnie rtęć wyżej się ogrzała? Rtęci powinno być tyle tylko, aby się mogła swobodnie rozszerzać i kurczyć. Trzeba więc część rtęci przed zalutowaniem odlać. A co wtedy zajdzie? Gdyby w rurce zalutowanej nad rtęcią znajdowało się powietrze, rtęć swobodnieby się rozszerzać nie mogła: należy więc powietrza nie dopuszczać.

Postępuje się w tym celu w sposób następujący. Po

tura wrzenia oznacza się liczbą 80. Cóż pozostaje jeszcze do zrobienia? Należy całą odległość od 0 do 80 podzielić na 80 równych części, a obok kresek wypisać liczby kolejne 1, 2, 3 i t. d. aż do 80. Nie tak to łatwo rurkę na tak drobne, a równe części podzielić; spróbujcie to cyrklelem na papierze. Obmyślono jednak maszyny do dzielenia, za pomocą których otrzymać można tak drobniałki, a zupełnie równe podziały.

Aby otrzymać podziałkę na rurce niżej zera, nie trzeba już trzeciego punktu stałego; należy tylko za pomocą cyrkla (albo maszyny do dzielenia) także same części odciąć niżej, to znaczy, nakreślić kreski w takich samych, jak wyżej, odległościach, i obok nich także wypisać liczby kolejne 1, 2, 3 i t. d. Jeżeli rurka jest dosyć długa, można także sam podział oznaczyć i wyżej nad liczbą 80, pisząc w dalszym ciągu 81, 82, i t. d. Choćby jednak rurka była jak najdłuższa, to podziału tego nie można prowadzić wyżej nad liczbę 280, bo w temperaturze 280 stopni rtęć się już gotuje, wre, tak jak woda przy 80 stopniach. Tak samo i niżej zera nie można podziału prowadzić dalej nad liczbę 30, bo znowu w temperaturze nieco niższej od 30 stopni poniżej zera rtęć krzepnie, to jest marznie, zamienia się na ciało stałe.

Trudnoby zapewne było na rurce lub obok niej na deszczulce wypisać wszystkie liczby, jedną za drugą. Dlatego zwykle piszą się tylko liczby co 10, t. j. 0, 10, 20 i t. d., a jeżeli rtęć dochodzi do kreski siódmej nad liczbą 18, wiemy, że termometr wskazuje 17 stopni. Aby ułatwić odczytywanie termometru, każdą piątą kreskę kreśli się nieco dłuższą, a każdą dziesiątą jeszcze dłuższą. Rozumiemy też teraz dobrze, że jest to rzeczą zupełnie obojętną, czy rurka jest dłuższa, czy krótsza, szersza czy węższa, czy więcej, czy mniej rtęci w niej pozostało. Dwa różne termometry, należące wyrobione, w tem samym miejscu i w tej samej chwili zawsze okazują także samą ilość stopni.

Jeżeli rurka jest szeroka, odstępy między jedną

a drugą kreską będą małe, gdy jest dostatecznie wąska, odstępy będą dłuższe, tak, że można odczytywać i połowy i czwarte części stopnia; można np. powiedzieć, że temperatura wynosi $16\frac{3}{4}$ stopnia; o termometrze takim powiemy, że jest czuły. Co to znaczy? Przypomnij sobie, cośmy mówili o czulej wadze.

Stopnie oznaczają się małymi kółeczkami: 7° znaczy 7 stopni. Ale trzeba jeszcze wiedzieć, czy tu mowa o 7° nad zerem, czy pod zerem. Pospolicie, jeżeli słupek rtęci kończy się nad zerem, mówić się zwykło o stopniach ciepła, a jeżeli niżej, o stopniach zimna; powiemy tedy dla rozróżnienia: 7° ciepła albo 7° zimna. Ale należy dobrze pamiętać, że jest to tylko sposób wyrażania się, a zero wcale nie jest granicą między ciepłem a zimnem, bo, jak już zresztą wiemy, zimno to tylko niższy stopień ciepła. Jeżeli w pokoju jest 10° , a nawet 12° ciepła, uskarżamy się już na zimno. Lepiej tedy jest mówić: 7° nad zerem, albo 7° niżej zera. Zwykło się też stopnie te rozróżniać znakami więcej (+) i mniej (—); + 7° znaczyć tedy będzie 7° ciepła, — 7° zaś 7° zimna. Jeżeli przed liczbą niema żadnego znaku, domyślamy się +; 7° znaczy więc 7° ciepła.

§ 7. Inne podziałki.

Termometr ten, któryśmy poznali i którego używa się u nas, w Rosji i w Niemczech, nazywa się termometrem Réaumura, i dlatego stopnie na nim odczytane oznaczają się literą R; 16° R znaczy 16° według podziałki czyli skali Réaumura. Powiedzieliśmy wszakże już wyżej, że temperatura wrzenia wody oznacza się też liczbą 100 zamiast 80; wtedy i całą odległość między punktem topliwości lodu, a punktem wrzenia wody dzieli się na 100 równych części, i takież sam podział przenosi się niżej zera. Termometr taki nazywa się termometrem Celsjusza (właściwie Celsjusza) i stopnie jego oznaczają się głoską C, n. p. — 8° C, t. j. 8 stopni niżej zera według podziałki Celsju-

sza inaczej termometr ten nazywa się stu-stopniowym. Termometru Celsjusza używa się we Francji i Włoszech. W dziełach naukowych temperaturę także podaje się w stopniach Celsjusza.

Fig. 5. przedstawia nam narysowane obok siebie obie podziałki: Réaumura (R) Celsjusza (C). Skoro $80^{\circ} = 100^{\circ}$ C, to 40° R = 50° C, 20° R = 25° C, 4° R = 5° C, 2° R = $2\frac{1}{2}^{\circ}$ C, 280° R = 350° C, 32° R = 40° C i t. d.

Jest jeszcze i trzeci termometr Fahrenheita, używany w Anglii. Różni się on znacznie od obu powyższych; na figurze 6 przedstawiony jest obok poprzednich. Widzimy, że punkt topliwości lodu oznaczony jest tam liczbą 32; zero zatem jego przypada znacznie niżej. U nas mówi się już o stopniach zimna, gdy u Anglików jeszcze o stopniach ciepła. Z tego najlepiej widzimy, że zero żadną nie jest granicą między ciepłem a zimnem. Punkt wrzenia wody oznacza się na tym termometrze liczbą 212. Gdy u nas + 20° R, to termometr angielski wskazuje już + $77\frac{1}{2}$ F.

§ 8. Jeszcze o termometrze.

Termometr jest to przyrząd bardzo użyteczny; codziennie odpowiada nam na pytanie, jaka jest temperatura.

Chcąc oznaczyć temperaturę powietrza, należy termometr zawieszać w cieniu, aby promienie słońca bezpośrednio nań nie padały. — Ponieważ odstępy między stopniami są drobne, można się łatwo o jeden lub dwa stopnie omylić. Jeżeli patrzymy na wierzchołek rtęci z dołu, wydaje się on nam

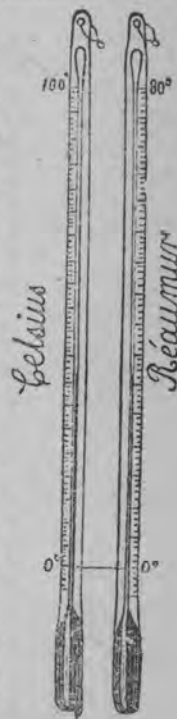


Fig. 5.

niecio wyżej; jeżeli patrzemy nań z góry, widzimy go nieco niżej. Należy przeto przy odczytywaniu stopni utrzymywać oko na jednej wysokości z poziomem ręki.

Spoglądałeś na termometr kilka razy w ciągu dnia: o godzinie 6-tej rano było 7°, o 2-iej po południu 20°, o 10-tej wieczorem 12°; jaka była dnia tego temperatura? Rozumie się, że możemy tu mówić tylko o temperaturze średniej. Znajdziemy ją, jeżeli te trzy liczby: 7, 20 i 12 dodamy i sumę $7 + 20 + 12 = 39$ podzielimy przez 3; $39 : 3 = 13$; zatem średnia temperatura dnia tego wynosiła 13°.

Ile stopni wskazuje twój termometr w pokoju ogrzonym? Zwykła temperatura pokojowa wynosi 15 lub 16° R; w temperaturze niższej doznajemy chłodu.

Masz wodę gorącą i zimną; przygotuj mieszaninę, której temperatura wynosiła by 25, 30, 40 stopni.

W lecie piwnice są chłodne, w zimie wydaje się nam w nich ciepło; termometr i w lecie i w zimie w głębokiej piwnicy okazuje jednakową temperaturę (około 5° R). Dlaczego czucie nas ludzi?

Obejmujemy kulkę termometryczną ręką; termometr podniesie się do 20° R czyli 37° C, taką bowiem temperaturę posiada krew ludzka. Ptaki mają krew gorę-



Fig. 6.

szą. Jeżeli temperatura nasza podnosi się wyżej, jest to oznaką choroby. Dlatego termometr jest ważnym przyrządem dla lekarza. Jest on również potrzebny i dla wielu fabrykantów.

Często napotkać można termometry, służące do użytku pokojowego, gdzie podział dochodzi tylko do liczby 40. W jaki sposób, urządzono tu podziałkę? Przez porównanie ze zwykłym termometrem. Objaśnij to bliżej.

§ 9. Prądy w powietrzu.

Uchyl drzwi wiodące z ciepłego pokoju do chłodnej sieni i płonącą świecę umieść naprzód u dołu, następnie w środku, a na koniec u góry (Fig. 7). Co dostrzegasz? U dołu płomień zwraca się ku pokojowi, u góry ku sieni, w połowie wysokości zachowuje zwykłe położenie. Skąd to pochodzi? U dołu powietrze płynie z sieni do pokoju, u góry z pokoju do sieni, w pośrodku prądu powietrza niema.

Jak można objaśnić te ruchy powietrza?

Powietrze ogrzane rozszerza się, zajmuje większą objętość, rozrzedza się, staje się lżejszem i wznosi nad powietrze zimniejsze; dąży zatem zawsze do góry. Natomiast powietrze zimniejsze objętość swą zmniejsza, staje się gęstszem, cięższem, opada zatem zawsze jak najniżej. Stąd to powietrze ciepłe uchodzi górą z miejsc cieplejszych, powietrze zaś zimne sunie dołem z miejsc zimniejszych do cieplejszych.

Nad kominkiem palącej się lampy potrzymajmy pasek papieru. Co widzimy? Ruch papierka wskazuje, że powietrze kominkiem uchodzi ku górze; którądyż tam się dostaje? W lampie poniżej płomienia znajdują się otworki, przepuszczające powietrze. Coby się działo, gdybyśmy te otworki zamknęli?

Krótki kawałek świecy otaczamy kominkiem zdjętym z lampy (Fig. 8 A); co się dzieje? Dlaczego świeca

tak szybko gaśnie? Wiemy już*), że powietrze jest niezbędne do utrzymywania palenia. Tu zaś powietrze, otaczające świecę, ogrzewa się i uchodzi górą z kominika, a powietrze zewnętrzne dostępu nie ma. Jest ono zimniejsze; którędy więc tylko dostaćby się mogło? Ustawmy teraz tenże kominiek (Fig. 8 B) na dwu kawałkach drzewa, albo na dwu książkach; świeca wybornie się pali, bo powietrze ma tu z dołu dostęp swobodny.

Toż samo właśnie dzieje się i w lampie. Gdy usuwamy kominiek, lampa kopci, pali się źle. Chociaż bowiem dokoła płomienia wszędzie jest powietrze, porusza się ono zanadto wolno, za słabo podsyca płomień. Kominiek właśnie utrzymuje ciągły prąd powietrza. Wchodzi ono dołem, ogrzewa się, staje się lżejszem i uchodzi górą. W kominiku tedy powietrze jest rozrzedzone, ciśnienie staje się słabszem i nowy pęd powietrza wdziera się dołem dla przywrócenia równowagi, a taki obieg ciągle się utrzymuje.

Zdaje nam się, że szkło do lampy to drobnostka; jednak kominiki takie używane są dopiero od stu lat.

Dawniejsze lampy paliły się zaledwie tak słabo, jak dzisiejsze nasze lampki nocne, które obywają się bez kominika, bo mały ich płomień nie wymaga bardzo silnego dopływu powietrza.

I w piecach naszych, aby ogień się palił, należy utrzymywać ciąg powietrza; kominy właśnie mają także znaczenie, jak szkła u lamp. Jeżeli rura wiodąca od pieca w górę, jest zasunięta, ogień palić się nie będzie. W fabrykach, gdzie

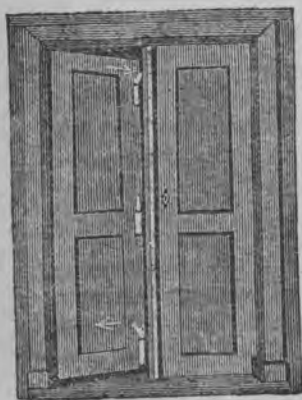


Fig. 7.

*) Książeczka pierwsza, § 45.

ogień pali się bardzo silny, budują się kominy bardzo wysokie. Znaczna ilość powietrza w nich zawarta ogrzewa się i uchodzi, inna znów dołem natychmiast na jej miejsce wchodzi; utrzymuje się tedy bardzo silny pęd powietrza, podsycający ogień.

Ogień w piecu nie tylko ogrzewa pokój; odświeża także powietrze, sprowadza przewietrzanie, wentylację. Skoro bowiem powietrze kominem się wydostaje, powietrze sąsiednie wdziera się na jego miejsce i znów uchodzi; powietrze więc ciągle przesuwane od okien ku piecowi i piecem się wydostaje, tak, że w pokoju zabrakłoby go zupełnie, utworzyłaby się próżnia. Ale jakkolwiek szczelnie zamknięte są okna, powietrze zewnętrzne do pokoju dostaje się i wszelkie ubytki natychmiast się zapełniają.

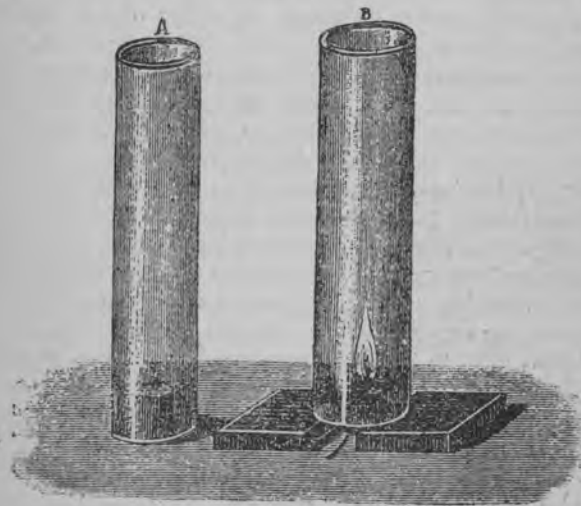


Fig. 8.

W lecie dla odświeżenia powietrza otwieramy okna, w zimie pomaga temu palenie w piecach. W szpitalach

i w lecie często ogień na kominkach płonie, jedynie dla odświeżania prędko psującego się powietrza.

Ale chociaż ogień już się wypalił i piec zamknięto, ruch powietrza wcale nie ustał w pokoju. Powietrze przy piecu ogrzewa się, rozszerza się zatem i wznosi w górę. U sufitu więc gromadzą się wciąż nowe ilości powietrza, które muszą się posuwać i zbliżać ku oknom. Okna są zimne, tam powietrze oziębia się, staje się gęstszym, cięższym i opada na dół. Nad podłogą więc gromadzi się powietrze zimne, a naciskane ciągle przez powietrze nowo napływające usuwa się i ciągnie do pieca. Tu znów ogrzewa się i pod sufitem przechodzi ku oknom, a stąd znowu po podłodze sunie do pieca. Ruch ten powietrza okazać także można za pomocą płomienia świecy.

W pokoju tedy istnieją dwa prądy powietrza, jeden górny i ciepły, płynie od pieca do okien, drugi, dolny i zimny, płynie od okien do pieca. Toż samo zachodzi w każdym miejscu, gdzie temperatura nie wszędzie jest jednakowa. Zawsze od miejsca cieplejszego do zimniejszego płynie górą powietrze ciepłe, od miejsca zimniejszego do cieplejszego dołem powietrze zimne.

W podobny sposób powstają na ziemi wiatry. Powietrze na ziemi nie jest wszędzie jednakowo rozgrzane. Okolice równikowe stanowią to samo, co piec w pokoju, okolice biegunowe odpowiadają oknom; w sąsiedztwie więc równika powietrze wznosi się w górę i odpływa ku biegunom, a gdy się oziębia, dołem wraca ku równikowi. Jest to główna przyczyna wiatrów; są jednak różne bardzo i liczne okoliczności, które powodują wiatry w różnych miejscach na ziemi i nadają im rozmaite kierunki. Chorągiewka na dachu jest oznaką zmienności, a to już wskazuje, że wiatry u nas są zmienne, z różnych stron przybywają, w różnych wieją kierunkach, w okolicach jednak równikowych bardziej są stateczne.

§ 10. Topnienie.

Wiemy już, że pod wpływem ciepła ciała się rozszerzają; następować to może tylko w ten sposób, że cząsteczki, z których ciała są złożone, rozlewają się między sobą. Ale cząsteczki te trzymane są spójnością: ciepło więc przeciwdziała spójności, osłabia ją. Ogrzejmy ciało silniej jeszcze; spójność osłabi się jeszcze bardziej, ulegnie zupełnemu zniesieniu. Co się wtedy stanie z ciałem stałym? Cząsteczki nie będą już żadną silą skupione, ułożą się swobodnie, będą się mogły jedne obok drugich przesuwać. Jak nazywamy ciała, których cząsteczki mają swobodną ruchliwość? — Ciała zatem stałe pod wpływem ciepła przechodzą w ciekłe, topią się.

Jedne ciała topią się łatwiej, inne trudniej. Co to znaczy? Jedne topią się już w dosyć niskiej, inne dopiero w bardzo wysokiej temperaturze. Wnieś kawałek lodu do pokoju, a już się stopi. Łój, mydło w ciepłe pokojowym są jeszcze ciałami stałymi, ale ogrzej je lekko, albo, lepiej, wrzuć do ciepłej wody, a już się topią.

Ogrzej wodę tak, aby termometr w niej zanurzony okazywał temperaturę 60°C (mówimy tu o stopniach Celsjusza, bo w nauce zawsze używa się termometru stustopniowego), i wrzuć do niej kawałeczek stearyny. Stearyna pozostanie stała. Wrzuć ją jednak do wody, mającej temperaturę 80° , a stopi się szybko. W wodzie ogrzanej do 69° jeszcze się stearyna nie topi; topi się dopiero w wodzie mającej 70° . Woda służyła nam tylko do ogrzewania stearyny. Można się i bez niej obejść. Stearynę w kawałkach nasypmy do tygielka, umieścimy w nim termometr i z wolna ogrzewajmy. Termometr będzie się ciągle podnosił, wskazując nam, o ile się stearyna ogrzewa, a zobaczymy, że gdy temperatura jej dojdzie do 70°C , stearyna topić się zacznie. Stearyna topi się więc przy 70°C ; dopóki do temperatury tej nie dochodzi, dopóty jest ciałem stałym; staje się ciekłą dopiero, gdy ogrzeje się do 70°C .

To samo, cośmy powiedzieli o stearynie, odnosi się do innych ciał: każde ciało topi się w temperaturze oznaczonej, dla siebie właściwej. — Wiemy już, przy jakiej temperaturze lód się topi. W szklanke nasypmy potłuczonygo lodu lub śniegu i wprowadźmy tam termometr. Jeżelibyśmy to zrobili na mrozie, termometr wskazywać będzie temperaturę niższą od zera, ale skoro tylko szlankę tę wniesiemy do pokoju, rtęć się natychmiast podniesie i dojdzie do zera. Lód trzymany w ciepłym pokoju okazuje zawsze temperaturę zera, bo już się topi pod wpływem ciepła tam panującego.

Temperatura, przy której dane ciało się topi, nazywa się temperaturą topliwości, albo punktem topliwości tego ciała. Jaki jest punkt topliwości lodu, stearyny? Tak samo poznano, że punkt topliwości masła wynosi 32° , loju 40° , siarki 110° . Metale topią się trudniej. Z metali, które znacie, najłatwiej topią się cyna (220°) i ołów (325°). Różne gatunki żelaza topią się dopiero wyżej 1000° , a najtrudniej żelazo kute (1600°). Płomień naszych pieców posiada temperaturę około 500° ; zatem ołów i cyna w piecach zwykłych będą się topiły, żelazo w tym ogniu pozostanie stałym. Toż samo i nad lampką spirytusową. Ołów tedy i cynę stopić można w łyżce blaszanej, bo blacha ta jest żelazna. Każdy to zrobić może, byle ostrożnie. Pamiętać też trzeba, że łyżka żelazna prędko się rozgrzewa i w ręce utrzymać jej niepodobna, należy ją dobrze owinąć papierem, albo lepiej nasadzić na korek.

Z innych metali topi się cynk przy 420° , srebro przy 950° , miedź przy 1050° , złoto przy 1075° ; najtrudniej topliwa jest platyna, bo przechodzi w stan płynny dopiero około 2000° .

Jeżeli kilka metali stapiamy razem, to taką mieszaninę metaliczną nazywamy stopem, spżem, albo aljażem. Takim stopem jest np. mosiądz, składający się z miedzi i cynku, albo bronz powstały z miedzi i cyny. — Stopy takie są wogóle łatwiej topliwe, aniżeli

metale. Jeżeli stopimy w pewnym stosunku ołów, cynę i dwa jeszcze inne metale, które się nazywają kadmi i bizmut, otrzymamy stop, topiący się już przy 70° . Czy możnaby z niego wyrabiać łyżki? coby się działo z taką łyżeczką w gorącej herbacie?

Takie stopy łatwo topliwe używają się do spajania czyli lutowania metali. Objaśnij to bliżej.

Są ciała, które topią się dopiero w temperaturze tak wysokiej, jakiej dotąd otrzymać nie zdołano. Takim ciałem jest węgiel (grafit, używany na ołówki, i djament — to także węgiel). Gdyby się udało go stopić możeby można było z czarnego węgla otrzymać kosztowny djament.

W ostatnich czasach zdołano rzeczywiście w ten sposób otrzymać djament, ale zaledwie w ziarnkach niesłychanie drobnych.

Czy znacie jeszcze jakie inne ciała, których stopić niepodobna? A drzewo, skóra, papier? Dlaczego drzewo w ogniu się nie topi? Zanim mogłoby się topić, już się spala. Można też drzewo umieścić w naczyniach żelaznych tak szczelnie zamkniętych, że powietrze tam nie ma dostępu; czy będzie się mogło wtedy palić? Jednak i wtedy się nie stopi; zanimby bowiem przejść mogło w stan płynny, przestaje być drzewem, to jest, rozpada się czyli rozkłada. Powstaje z niego smoła i rozmaite gazy; w ten sposób otrzymać można z drzewa gaz oświetlający. Takie wypalanie drzewa bez dostępu powietrza nazywa się *suchą destylacją*.

§ 11. Jeszcze o topnieniu.

Widzieliśmy, że lód topi się w temperaturze 0° . Umieść termometr w lodzie topniejącym; co dostrzeżesz? Rzęć stanęła na zerze i wyżej się nie podnosi. Możesz naczynie to z lodem ogrzewać lampką, albo umieścić przy ogniu; lód prędzej się stopi, ale dopóki wszystek lód nie zamieni się w wodę, dopóki go choć

cokolwiek pozostanie, dopóty termometr zawsze będzie stał na zerze.

Ustaw przy ogniu jedno naczynie z wodą, drugie z lodem; co dostrzeżesz? Woda się ogrzewa, ale w drugim naczyniu woda powstająca z lodu wciąż jest zimna, choćby ogień był najsilniejszy. Woda ogrzewa się ciepłem ognia, zabiera ciepło, które on wydaje. Drugie naczynie znajduje się tuż obok; czy można powiedzieć, że pierwsze zabiera ciepło, a drugie nie? Gdzież się więc podziwia to ciepło, które lód zabiera. Trzeba powiedzieć, że się ukrywa, utaja, bo przecież termometr wcale się nie podnosi; dlatego nazywamy to ciepło ciepłem ukrytem, utajonem.

Nieznano jednak długo powodu tego ukrywania się, tej straty ciepła; teraz wiadomo już, co tu zachodzi. Mówiliśmy, że dla stopienia ciała stałego trzeba przewyciężyć spójność cząsteczek. Czy tylko przy topieniu niszczy spójność? Gdy tłuczemy cukier, gdy mielemy zboże, także rozrywamy związek cząsteczek, ale czynności te wymagają pracy. I na topienie przeto włożyć trzeba pewną pracę, a nawet daleko większą, bo tu spójność cząstek bardziej jeszcze przewyciężona być musi. Pracy nie dokonywamy, ale wykonywa ją za nas kto inny — ciepło.

Może się wam to wydawać niedorzecznością, aby ciepło miało pracować, aby ciepło mogło się w pracę zamieniać. Ale dosyć przypomnieć sobie, jaka to siła pędzi pociągi kolei żelaznych i wprawia w ruch maszyny w fabrykach. Wiem, że odpowiecie mi na to — para: ale skąd się para wytwarza? Ciepło to w maszynach parowych wytwarza parę; ciepło też pokonywa spójność cząsteczek przy topieniu się ciał stałych. Ciepło przeto zużywa się na topienie lodu. Dlatego lód, topiąc się, nie może się ogrzewać. Przy silniejszym ogniu, wydającym więcej ciepła, lód prędzej się stopi, ale przez cały czas topienia temperatura jego wynosić będzie 0°, tak samo, jak w tej niejącej wosku termometr zawsze

okazywać będzie 68°, a w topniejącej stearynie zawsze 70°.

Można się nawet łatwo dowiedzieć, ile to ciepła potrzebuje lód do stopnienia. — Napełnij naczynie funtem lodu: w pokoju niewątpliwie lód ten będzie miał temperaturę 0°. Inne znów podobne naczynie napełnij wodą, również mającą temperaturę 0° (wodę oziębić można do 0° przez wrzucenie do niej lodu; otrzymać ją także możemy, jeżeli od śniegu topniejącego oddzielimy powstającą z niego wodę). Oba te naczynia ustawiamy przy jednakowym ogniu. Woda będzie się ogrzewała, lód topił. Czekajmy dotąd, dopóki lód zupełnie się nie stopi. Wtedy termometr w tę wodę zanurzony okazywać będzie, jak wiemy, 0°. Zobaczymy w tej samej chwili, jaką temperaturę posiada woda w drugim naczyniu. Termometr wskaże 80 (mówimy tu zawsze o stopniach Celsjusza). — Oba naczynia były przy tym samym ogniu przez czas jednakowy, zabrały więc jednakową ilość ciepła. A zatem lód potrzebuje do swego stopnienia tyle ciepła, ile woda do ogrzania się o 80°; rozumie się, że mówimy tu o takich samych ilościach lodu i wody.

Jeżeli lód znajduje się przy ogniu, to tej straty ciepła nie dostrzegamy. Ale co się dzieć będzie, jeżeli lód wniesiemy do pokoju? Zaczyna się tam topić, a że ciepła potrzebnego mu nie dostarczamy, zabiera je z całego otoczenia; powietrze i wszystkie rzeczy oziębiają się, pokój stygnie.

Lekarz polecił choremu głowę okładać lodem, a że lodu nie było, użyto bardzo zimnej wody. Czy rezultat był jednakowy? czy woda oziębiona do 0° sprowadza również silne ochłodzenie, jak lód topniejący?

Zmieszaj funt wody ogrzanej do 80° C z funtem lodu topniejącego. Skoro wszystkie lód się stopi, otrzymasz dwa funty wody temperatury 0°. Woda oziębiła się o 80°, oddała więc tyle właśnie ciepła, ile potrzeba do stopnienia funta lodu. Do ogrzania przeto wody, przez stopnienie utworzonej, nic już ciepła nie zostało.

Do funta wody wrzącej wsyp funt lodu; otrzymasz dwa funty wody o temperaturze 10° . Dlaczego?

Dwa funty wody temperatury 40° i funt lodu topniejącego wydają 3 funty wody 0° . Dlaczego?

Funt wody 40° i funt lodu topniejącego wydają półtora funta wody i pół funta lodu. Dlaczego?

Gdy na wiosnę lody puszczają, powietrze znacznie się oziębia. Często u nas następują zima w kwietniu i maju, gdy lody zaczynają puszczać daleko na północy.

Czy tylko przez topnienie przeprowadzamy ciała stałe w stan ciekły? Co się dzieje, gdy cukier lub sól rozpuszczamy w wodzie? Cząsteczki ich także rozbiegają się, rozchodzą po wodzie; można powiedzieć, że wtedy ciała te są już w stanie płynnym. I do rozpuszczania więc trzeba ciepła, a skądże je bierze sól, cukier? Mogą je zabierać tylko wodzie, w której się rozpuszczają, woda zatem winna ostygnąć. Zwykle tego nie dostrzegamy, ale przekonano się, że oziębienie takie, chociaż nieznaczne, zawsze następuje. Więcej niż sól i cukier oziębia wodę sproszkowana saletra.

Zamiast sól rozpuszczać w wodzie, zmieszajmy sól ze śniegiem. Aby się sól rozpuścić mogła, część śniegu musi się stopić, a ciepło potrzebne do tego sól zabiera pozostałemu śniegowi, który się wskutek tego silnie oziębia. W wodzie tak utworzonej sól się rozpuszcza, a do tego znów potrzebuje ciepła; pozostały więc śnieg jeszcze się bardziej oziębia.

Śnieg mamy w pokoju; jaką temperaturę wskaże termometr weń wprowadzony? Zmieszaj go z solą tak, aby na 3 części śniegu przypadła 1 część soli. Część tej mieszaniny szybko się stopi, a w pozostałej termometr okaże 10° , a nawet jeszcze mniej. Widzimy więc, jak silnie temperatura się obniżyła.

Dla lepszego utrzymania lodu w lodowniach posypuje się go solą. Zdaje się pozornie, że tem zrzadzamy sobie szkodę, bo lód zaczyna się szybko topić. Jest to jednak postępowanie korzystne. Objasnij je dokładnie.

Taka mieszanina soli ze śniegiem nazywa się m i e-

szaniną oziębiającą. Jeszcze silniej oziębiającą mieszaninę otrzymuje się z salmiaku, saletry i lodu. — Cukiernik przy wyrabianiu lodów w lecie przygotowuje właściwe słodycze i otacza je mieszaniną oziębiającą. — Jeżeli miseczkę metalową lub szklaną, napełnioną mieszaniną oziębiającą, ustawimy w ciepłym pokoju na wilgotnej deszczulce, to miseczka do niej przymarznie. Dlaczego?

§ 12. Krzepnięcie.

Lód w ciepłym miejscu przechodzi w wodę; co się dzieje z wodą wystawioną na silne zimno? Wprowadź termometr do wody marznącej; ile stopni wtedy okazuje? Woda marznie w temperaturze 0° . Stopiona stearyna, gdy będzie oziębianą, krzepnie przy 70° . Każde ciało krzepnie w tej samej temperaturze, w której się topi. Zatem temperatura topliwości oznacza przejście ze stanu stałego do stanu ciekłego, albo z ciekłego do stałego. Woda marznąca i lód topniejący posiadają temperaturę jednakową.

Jakie znasz ciała w stanie ciekłym, których nie znasz w stanie stałym? Co należy tedy powiedzieć o rtęci, o alkoholu? Punkt ich krzepnięcia (czyli topliwości) przypada bardzo nisko, a tak znaczne zimno trudno otrzymać. Rtęć marznie dopiero przy -40° C (czyli -32° R); alkohol dopiero niedawno zamrozić zdołano przy najsilniejszym niemal zimnie, jakie utrzymać można. Dlatego, jeżeli termometr ma służyć do bardzo niskich temperatur, czyli do oznaczenia bardzo wielkiego zimna, to zamiast rtęci napełnia się go alkoholem. Ponięważ zaś alkohol jest bezbarwny, jak woda, przeto, aby był w rurce widoczniejszy, barwi go się na czerwono lub na niebiesko.

Gdy lód się topi, pochłania ciepło. Do czego ciepło to jest potrzebne? Skoro woda marznie, cząstki skupiają się i wiążą silniej; nie trzeba już ciepła do pokonywania siły spójności. Cóż dzieć się będzie? Przy przechodzeniu

ciała ze stanu ciekłego do stałego, czyli przy krzepnięciu, ciepło się oswobadza. Widzimy to przy zamarzaniu jezior i rzek z początkiem zimy; woda marznie nie nagle, ale stopniowo. Skoro bowiem część wody marznie, oswobadza się tyle ciepła, że pozostała woda ogrzewa się i znowu ostygnąć winna, by mogła dalej marznąć.

Jeżeli piwnice nie są głębokie, to dla ochrony kartofli od przemarznięcia ustawiają się tam balie z wodą. Gdy woda marznie...?

§ 13. Parowanie.

Ciepło pokonywa spójność cząsteczek i ciała stałe zamienia na ciekłe. Jeżeli ciała ciekłe dalej ogrzewać będziemy, spójność zostanie więcej jeszcze osłabioną. W jakich ciałach spójność jest jeszcze mniejsza, aniżeli w cieczech? Przez ogrzewanie zatem ciecze zamieniają się w gazy. Gazy jednak, o których wiemy, że powstają z cieczy, nazywamy *parami*. Dlatego po-



Fig. 9.

wiemy, że pod wpływem ciepła ciecze zamieniają się w pary, czyli *parują*. Jeżeli wodę ogrzewamy, tworzy się z niej para, para wodna, która co do ogólnych swoich własności zachowuje się jak gaz i rozchodzi się

w przestrzeni. Tak samo przez ogrzanie otrzymujemy parę alkoholową, parę rtęciową i inne.

Uważaliście teraz, jak woda gotuje się w garnku lub innym naczyniu. Chcąc lepiej poznać, jak gotowanie to się odbywa, należy ciecz ogrzewać w naczyniu szklanym, np. w kolbce szklanej (Fig. 9), ustawionej na trójnogu takim, jaki widzimy na maszynkach do gotowania na spirytusie. Dla ochrony flaszek od pęknięcia dobrze jest podłożyć pod nie siatkę drucianą, albo drut zgięty, jak na rycinie. Zamiast takiej flaszki można też użyć rurki u dołu zamkniętej, czyli epruwetki, jaka nam już nieraz służyła; owijamy ją w pobliżu otworu papierem i, za papier ten trzymając, ogrzewamy nad lampką.

Cóż dostrzegamy? Widzimy naprzód drobniutki pęcherzyki, osiadające na szkłe, które się zaraz odrywają i uchodzą. Małeńkie te kuleczki, to powietrze, które było rozpuszczone, a które z wody gorącej uchodzi. Przy dalszem ogrzewaniu ukazują się na dnie naczynia pęcherzyki większe, połyskujące. Bańki te utworzone są już z pary wodnej, która wytwarza się tam, gdzie woda jest najsilniej ogrzewana, t. j. u spodu. Podnoszą się one do góry, gdzie napotykają wodę zimniejszą; tam stygną i znowu w wodę się zamieniają. Ale w miarę, jak wszystka woda coraz silniej się ogrzewa, pęcherzyków pary tworzy się coraz więcej i coraz więcej wydobywa się ich z wody. Przytem ruch ich wytwarza głośny szum, — mówimy, że woda szumi. Ilość pęcherzyków szybko się powiększa, tak, że cała masa wody się burzy, pęcherze pary wydobywają się na powierzchnię, pękają i para rozchodzi się po powietrzu, od którego jej oko nie rozróżnia. To gwałtowne burzenie się wody nazywamy *gotowaniem* albo *wrzeniem*.

Do wrzącej wody wprowadzamy termometr. Rtęć podskoczy do 100°; woda więc wrze czyli gotuje się w temperaturze 100°. Jeżeli termometr trzymamy w parze, tuż nad gotującą się wodą, to także wskaże nam 100°. Lód topniejący i powstająca z niego woda mają

jednakową temperaturę; woda wrząca i tworząca się para są również jednakiej temperatury. Temperaturę 100°C (80°R) nazywamy punktem albo temperaturą wrzenia wody.

Niektóre ciecze wrą łatwiej, t. j. w niższej temperaturze: alkohol przy 80° , a eter już przy 35° ; inne trudniej; rtęć dopiero przy 350°C (280°R).

Lód topi się tylko w temperaturze topliwości; czy woda paruje także tylko w temperaturze wrzenia?

Rozlej wodę po podłodze; podłoga szybko wyschnie; woda znikła; co się z nią stało? Woda, chociaż zimna, wyparowała, zamieniła się w parę. Tak samo schnie bielizna, a wody pozostawionej na talerzu wciąż ubywa. Woda zatem paruje przy każdej temperaturze; tak samo i każda inna ciecz.

Pozostaw wodę w szklance, na drugi dzień zaledwie dostrzeżesz ubytek; przelej ją na talerz, a przez dzień już jej dużo ubędzie; rozlej po podłodze, a wyparuje szybko. Jakie tu zachodzą różnice? W szklance woda ma powierzchnię małą, na talerzu większą, na podłodze też sama ilość wody zajmuje powierzchnię znaczną. Im większą powierzchnię ma woda, tem prędzej paruje. Przy tem parowaniu woda tedy zamienia się w parę tylko na samej powierzchni. Takie powolne parowanie nazywamy *ulatnianiem*.

Ilorakie tedy rozróżniamy parowanie? Jaka jest różnica między ulatnianiem a wrzeniem? Ulatnianie ma miejsce przy każdej temperaturze, wrzenie tylko w temperaturze oznaczonej. Przy ulatnianiu woda paruje tylko na powierzchni, przy wrzeniu w całej swojej masie.

Pozostaw na talerzu jednym wodę zimną, na drugim ciepłą; woda ciepła ulatniać się będzie prędzej. Im temperatura jest wyższa, im bliżej dochodzi do punktu wrzenia, tem ciecz ulatnia się prędzej.

Dlaczego to ciało stałe topi się tylko w temperaturze oznaczonej, a ciecz paruje przy każdym stanie, ciepła? Cząsteczki ciał stałych są silnie spojone; potrzeba

zatem ciepła znacznego, aby związek ich się rozerwał. Między cząsteczkami ciał ciekłych spójności niema już prawie żadnej; cząstki jedne łatwo od drugich odrywać się mogą; te zwłaszcza, które są na powierzchni, uchodzą łatwo i zamieniają się w parę. Parowanie znajduje jednak przeszkodę w tem, że na ciecz ciśnię atmosfera, co zmniejsza łatwość odrywania się cząsteczek. Coby się zatem działo, gdyby ciśnienie było mniejsze? Woda parowałaby łatwiej i gotowałaby się już w niższej temperaturze.

Tak jest rzeczywiście. W jaki sposób można zmniejszyć ciśnienie powietrza? Ustawmy tedy miseczkę z wodą pod dzwonem pompy powietrznej; woda, chociaż nie była gorąca, zacznie się gotować, skoro tylko powietrze silnie rozrzedzimy. Lepiej jest użyć do tego wody nie zupełnie zimnej, ale nieco ogrzanej. Mamy tu zjawisko osobliwe, że woda, która nas nie parzy, wre, gotuje się.

Na górach ciśnienie jest mniejsze, aniżeli na powierzchni ziemi. Cóż zatem powiecie o gotowaniu wody na wysokich górach? Woda gotuje się tam łatwiej; już wre, chociaż nie jest jeszcze do 100° ogrzana. Na szczycie Montblanc wre przy 85° , na Chimborasso przy 77° . Czy na takiej wysokości można gotować dobry rosół lub naparzyć dobrze herbatę? Rosół otrzymujemy przez wygotowanie mięsa w wodzie wrzącej, bo im woda gorętsza, tem z niego lepiej wyciąga soki pożywne. Na takiej wysokiej górze nie podobna ogrzać wody do 100° , bo gotuje się przy znacznie niższej temperaturze; dlatego też w zwyczajnych garnkach, nie można tam otrzymać dobrego rosolu. Toż samo co do herbaty.

A jeżeli woda będzie wystawiona na ciśnienie większe, co wtedy dziać się będzie? Będzie się gotowała trudniej, dopiero w wyższej temperaturze. Jeżeli więc ciśnienie będzie znaczne, to dla zagotowania wody trzeba będzie ją ogrzać daleko wyżej.

A w jaki to sposób poddać można wodę znacznemu ciśnieniu? Obmyślono sposób bardzo dowcipny, po-



Fig. 10.

legający na tem, że para sama może wywierać potężne ciśnienie. Służy do tego kociołek, zwany kociołkiem Papina (Fig. 10), zbudowany z żelaza o ścianach bardzo grubych, zamknięty pokrywką c, którą można bardzo mocno nacisnąć śrubą K, tak, że kociołek jest szczelnie zamknięty i para, choć się z wody tworzy, uchodzić nie może, pozostaje pod pokrywką i na wodę ciśnie. Im więcej ogrzewamy, tem pary tworzy się więcej, tem większe jest ciśnienie, a temperatura wody ciągle się podnosi: do 120°, 150°, a nawet i wyżej.

Dlaczego kociołek winien być bardzo mocno zbudowany, o ścianach bardzo wytrzymałych? — Ale najlepszemu nawet kociołkowi grozi niebezpieczeństwo pęknięcia, bo gdy pary wiele się skupi i gdy znacznie będzie ogrzana, wtedy rozprężliwość jej, dążność do rozszerzania się, staje się tak wielka, że kocioł łatwo rozsadzić może. Aby go tedy od wypadku takiego uchronić, znajduje się w ścianie górnej otworek a, zamknięty klapką; klapka połączona jest z drążkiem, na którym wisi naciskający ciężar. Gdy para wywiera już dosyć znaczne ciśnienie, wtedy otwiera sobie klapkę i z sykiem uchodzi. Syk ten ostrzega zarazem o grożącym niebezpieczeństwie i czuwający nad kociołkiem przytłumia lub osłabia ogień.

Ciężarek na drążku przesuwając można w jedną lub drugą stronę, a tym sposobem wywierać na klapkę nacisk silniejszy lub słabszy, stosownie do potrzeby. W którą stronę posuwać należy ciężarek dla zwiększenia, a w którą dla zmniejszenia tego nacisku?

Wspomnieliśmy, że im woda jest gorętsza, tem lepiej rozpuszcza czyli wyciąga z mięsa części pożywne.

Po ugotowaniu jednak mięsa w wodzie, mającej temperaturę 100°, pozostają jeszcze w ścięgnach, które niewłaściwie nazywamy zwykle żyłami, oraz w kościach resztki, które mogą przydać się na pokarm. W kociołku Papina woda jest o wiele gorętsza, może tedy resztki wyciągać, a w taki sposób tworzy się zupa, zwana zupą rumfordzką; służy ona często za pokarm dla biednych, którym na mięso nie starczy.

Z tego zarazem widzimy, jak znaczną rozprężliwość czyli prężność posiada para wysoko rozgrzana; wskutek tej prężności jest ona w stanie wywierać znaczne ciśnienia i wykonywać potężne działania. Ona to prowadzi długi ciąg wozów i porusza potężne maszyny; bez jej pomocy niepodobnaby było wykonać olbrzymich robót, jakie się w naszych czasach prowadzą.

Zdumiewają nas wprawdzie ogromne piramidy egipskie, ale władcy egipscy mogli je wznieść jedynie siłą tysięcy niewolników, przemocą do pracy gnanych. Nauce zawdzięczamy, że człowiek zdołał wzmódz siły swoje, a pracę niewolnika zastąpiła maszyna. Dawniej robotnik był maszyną, dziś robotnik posługuje się maszyną, kieruje nią, lecz aby z niej należycie mógł korzystać winien ją znać, winien rozumieć, jak ona działa; dlatego nauka jest mu potrzebna. Było zaś wielu robotników, co własną pracą tyle nabyli wiedzy, że sami obmyśliли i zbudowali przyrządy i maszyny użyteczne, słusznie ich też za dobroczyńców ludzkości uważamy.

Wiecie wszyscy, że przyrządy, za pomocą których działa para, nazywają się maszynami parowymi. Czy to nazwa właściwa? Przypomnijcie sobie, co to jest maszyna? *). Maszyna zaś parowa nie służy przecież do oszczędzenia siły, jak dźwignia lub równia pochyła, ale sama wydaje, wytwarza siłę. Zastępuje ona nie dźwignię albo młot, ale człowieka, który niemi porusza. Dlatego należałoby dokładniej maszynę parową nazywać motorem parowym, tak samo, jak wół

*) Książeczka pierwsza § 9.

ciągnący pług albo wiatr obracający młyn jest motorem.

Na teraz nie będę wam maszyny parowej opisywał; będziemy tylko pamiętać, że przyczyną, która całą maszynę w ruch wprowadza, jest prężność czyli rozprężliwość pary. Istotną jednak siłą poruszającą nie jest para, ale ciepło, jak to już wiemy (§ 11).

§ 14. Jeszcze o parowaniu.

Do termometru ciągle wracać musimy; ażeby bowiem zjawisko natury należycie poznać, trzeba nietylko je obserwować, ale różne szczegóły mierzyć. Skoro zaś zajmujemy się ciepłem, należy nam ciągle mierzyć temperaturę.

Wróćmy znowu do naszego naczynia, w którym wodę ogrzewamy. Wiemy już, że w chwili, gdy woda gotować się zaczyna, termometr w nią zanurzony wskazuje 100°. Uważaj, co się dzieje z termometrem przez cały czas wrzenia wody. Czy termometr się podnosi? Woda pozostaje dalej przy ogniu, zabiera ciepło, a jednak wyżej się nie ogrzewa, termometr stale okazuje 100°.

Teraz nas już to nie dziwi: zachodzi tu toż samo, co przy topieniu. Aby się ciecz zamieniła w parę, trzeba cząstki rozrzuć, trzeba przewyciężyć i tę słabą spójność, jaka jeszcze w cieczy pozostaje. Do tego trzeba pracy; pracy tej dostarcza ciepło. Ciepło więc nie może teraz spowodować dalszego ogrzewania się cieczy, zużywa się na co innego. Dlatego, chociaż temperatura płomienia wynosi 500° i więcej, wody ogrzać nie można wyżej nad 100°. Chybaby naczynie było?... Przypomnij sobie kociołek Papina.

Jeszcze raz zagotuj wodę, ale tym razem rozpocznij przy ogniu ogrzewać wodę tylko co oddzieloną od lodu topniejącego, zatem mającą temperaturę 0°. Termometr w tej chwili możesz odłożyć, ale weź w rękę zegarek i uważaj, ile minut należy ci czekać, dopóki się woda nie zagotuje, a następnie znów uważaj, ile minut

czekać trzeba, aby się wszystka woda wygotowała, to jest wszystka zamieniła w parę. Przyjdzie ci czekać pięć razy dłużej na wygotowanie wody, aniżeli na jej zagotowanie. Woda znajduje się ciągle przy tym samym ogniu, ciągle zabiera jednakową ilość ciepła. Jakż więc wniosek? Woda do zamienienia się w parę potrzebuje pięć razy więcej ciepła, aniżeli do ogrzania się o 100°.

Wylómacz teraz różnicę między gotowaniem a pieczeniem mięsa. Mięso w wodzie gotowane ogrzać się może najwyżej do 100°. Gdy przez niedozór wszystka woda się wygotuje, mięso ogrzeje się daleko wyżej i spali, bo teraz nie go nie uchroni od żaru ognia. I pieczeń polewa się wciąż tłuszczem, który też do parowania zabiera ciepło, ale ponieważ tłuszcz wre dopiero w wyższej temperaturze, więc pieczeń ogrzewa się wyżej, aniżeli mięso rosółowe.

Jak postąpisz, jeżeli chcesz cięto jakie ogrzać dokładnie do 100°? Olej lniany wre w temperaturze 300°; jak się ogrzewa cięto do 300°?

Czy woda zamienia się w parę tylko przy wrzeniu? Czy ulatnianie również wymaga ciepła? ale w wodzie ulatniającej nie dostarczamy ciepła; skądże się je bierze? Cóż zatem dzieć się musi z ciałami otaczającymi? Ulatnianie przeto wody spowoduje ich ochłodzenie.

Kulkę termometru owiń watą lub muślinem i zwilgoć wodą; termometr zaraz się obniży; woda ulatniająca się zabiera tu ciepło termometrowi. Obniżenie będzie znaczniejsze, jeżeli termometr w jedną i drugą stronę szybko kołysać będziemy; powstaje bowiem wtedy przewiew powietrza, unoszący cząsteczki pary. Wiatr więc wogóle przyspiesza parowanie; ziemia po deszczu prędzej schnie, gdy wiatr wieje; dla przedszego ostudzenia dmuchamy na ciała gorące.

Czy znasz ciecze łatwiej się od wody ulatniające? Jak one na termometr wpływają? Jeżeli kulkę termometryczną w podobny sposób zwilżymy eterem, termometr znacznie opadnie, o 10° i więcej.

Pojmujemy teraz, dlaczego zwilgocenie ręki chłodzi.

dzi ją; dlaczego po wyjściu z kąpieli, nawet ciepłej, doznajemy uczucia zimna; dlaczego deszcz ochładza powietrze, dlaczego w czasie skwaru ulice skrapiamy wodą. Deszcz padał ciepły; dlaczego jednak tak łatwo przeziębili się w odzieży na tym deszczu zmoczonej?

Aby w karafce wodę utrzymać chłodną, można ją otoczyć płótnem zwilgoconem; co tu zachodzi? W Hiszpanji, gdzie silnie panują upały, nie przechowują wody w naczyniach szklanych, ale w dzbanach z gliny niepolewanej, zatem dziurkowatych. Przez dziurki woda przesiąka w postaci drobnych kropelek; kropelki te ulatniają się. Cóż zatem?

W izbie, w której temperatura wynosi 50° lub 60°, wszystkie ciała tak samo się ogrzewają, zatem i temperatura człowieka tam przebywającego winna podnieść się do tej samej wysokości. Ale wiemy już, że ciepło takie jest już dla nas zabójcze. Jakżesz wytłómaczyć, że człowiek bez niebezpieczeństwa wchodzi do łaźni, lub pracuje w kuźniach i innych fabrykach, gdzie jest bardzo gorąco? Co wtedy z nami się dzieje? Im wyższe ciepło, tem gruczołki potowe silniejszemu ulegają podrażnieniu, tem więcej wydzielają wody, która się wydostaje przez otworki skóry. Cóż dalej? To nam też tłómaczy, dlaczego pies w czasie skwaru język wysuwa.

W Indjach Wschodnich rzeki nigdy lodem się nie pokrywają. Dla otrzymania więc lodu ustawiają płaskie naczynia z wodą w miejscach otwartych. W czasie nocy pogodnych woda ulatnia się szybko, zwłaszcza podczas wiatru, a ulatniająca się woda zabiera ciepło w dzie pozostającej, że ta krzepnie i ścina się w lód.

Pamiętasz cośmy mówili o mieszaninach oziębiających. Obecnie do wyrobu lodów nie trzeba się już nimi posługiwać. Używamy do tego maszynek, gdzie zimno utrzymuje się przez parowanie eteru lub innej lotnej (t. j. łatwo ulatniającej się) cieczy. W krajach, w których zimy są łagodne, zakładano nawet wielkie fabryki lodu; oziębienie wywołuje się tam podobnie przez parowanie.

§ 15. Skraplanie.

Jeszcze raz wróćmy do zimnej wody. Czy widzisz parę wznoszącą się z naczynia? Zdaje ci się tylko. To, co widzisz, to już nie para. Para bowiem jest bezbarwna, jak powietrze i dostrzedz jej niepodobna. To co widzimy, ów biały unoszący się obłoczek, to już nie para, ale para częściowo skroplona, para, która znowu w części do stanu ciekłego wróciła. Jak przez ogrzewanie woda w parę się zamienia, tak znów przez oziębianie para w wodę przechodzi. Gdy para wznosi się ponad naczynie, znajduje się w przestrzeni zimniejszej, ochładza się i wraca do stanu ciekłego. Ale w jakim sposobie kropelki wody w powietrzu utrzymywać się mogą, gdy woda jest od powietrza cięższa. Otóż ów biały obłoczek nie jest rzeczywiście utworzony z kropelek, ale z pęcherzyków wodnych, o cienkich błonkach, a wewnątrz pustych, albo raczej wypełnionych parą. Pęcherzyki te przypominają bańki mydlane, ale jakby niesłychanie drobniące, i unoszą się w powietrzu, jakby bardzo lekkie baloniki.

W życiu zwykłym pęcherzyki te nazywamy zwykle parą. Mówi się np., że para bucha z kotła, ale rozumiemy już teraz, że to, co widzimy, nie jest parą. Tak samo mówimy często, że w zimie ludziom z ust para idzie. Czy przy oddychaniu para wodna z ust naszych tylko w zimie wychodzi? dlaczego w lecie jej nie widzimy?

A teraz ponad ową parą z naczynia buchającą, czyli ponad owym białawym obłoczkiem potrzymaj zimny jakikolwiek przedmiot, np. talerz, łyżkę, płytę szklaną, albo też ponad garnkiem wrzącej wody potrzymaj pokrywkę. Co dostrzegasz? Stykając się z zimną powierzchnią, para skrapla się zupełnie i powierzchnia pokrywa się istotnymi kroplami wody, które z początku do niej przylegają, a następnie wskutek ciężaru odrywają się i opadają.

Co się dzieje, gdy karafkę z zimną wodą wnosimy do ciepłego pokoju? Skąd bierze się wilgoć osiadająca

na szkłe? Przecież woda z karafki przez szkło nie przecieka. Ale powietrze w pokoju zawsze przejęte jest parą wodną, gdy więc ta para styka się z zimną karafką, oziębia się i skrapla. Tak samo szyby naszych okien podczas chłodnych poranków pokrywają się wilgocią, wodą, a nawet, gdy w zimie szyby są zmrożone, woda

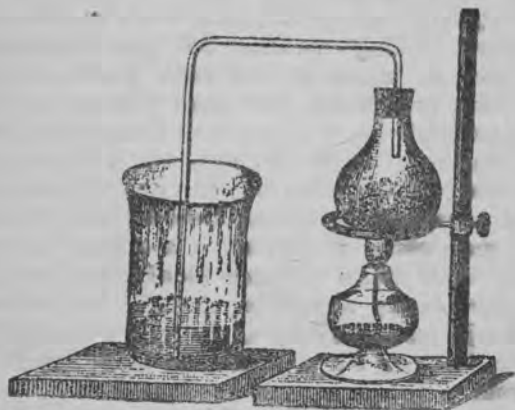


Fig. 11.

na szkłe marznie i szyby pokrywają się lodem. Szyba wilgoci się również, gdy na nią chuchniemy; najlepszy to dowód, że z płuc naszych i w zimie i w lecie wychodzi para wodna.

Gdy woda paruje, ciepło ulega pochłonięciu, utajeniu. Cóż się dzieje, gdy para się skrapla?

Zagotuj wodę w naczyniu, zamknawszy je przedtem korkiem przedziurawionym (Fig. 11), przez który przechodzi rura dwa razy zgięta; drugie ramię tej rury schodzi do dna naczynia, w którym jest woda. Para, wydobywająca się z naczynia, przechodzić musi przez rurę i dostaje się do zimnej wody, gdzie się ochładza i skrapla. Uważaj, co dalej zachodzi. Woda w szklance

ogrzewa się tak dalece, że sama zaczyna wrzeć. Skądże ciepło, które ją tak ogrzało? Widzimy z tego, że przy skraplaniu pary ciepło się oswobadza, wywiązuje. Jest to właśnie to ciepło, które uległo pochłonięciu przy parowaniu wody, a które już nie jest potrzebne, gdy para znów do stanu ciekłego wraca.

Jeżeli rurę zgiętą wprowadzimy nie do wody, ale do pustego zimnego naczynia, to para w niem skraplać się będzie. W wodzie, którą pijemy, są zawsze rozpuszczone niektóre ciała, jak wapno. Gdy ją wszakże gotujemy, to uchodząca para ciał tych nie zabiera; pozostają w naczyniu, w którym gotujemy wodę, a woda, powstająca znów ze skroplenia pary, jest już zupełnie czysta. Takie przygotowywanie i skraplanie wody nazywa się przepędzeniem albo destylacją; a woda przepędzona destylowana.

Z tego wszystkiego widzimy, że ciała pod wpływem ciepła przechodzą ze stanu stałego w ciekły i z ciekłego w lotny, a z ubytkiem ciepła z lotnego w ciekły i z ciekłego w stały. Znamy tedy cztery zmiany stanu skupienia; topnienie i krzepnięcie, parowanie i skraplanie. Ilorazkie jest parowanie? Jakie zachodzi podobieństwo, a jaka różnica między topnieniem a parowaniem? I topnienie i parowanie wymagają zużycia ciepła, ale ciała stałe topią się tylko w temperaturze oznaczonej, gdy ciecze w każdej parują.

§ 16. Para wodna w atmosferze.

Wiemy już, że woda ulatnia się w każdej temperaturze; wiadomo także, że większą część powierzchni ziemi pokrywają wody, morza bowiem zajmują $\frac{3}{5}$, a ląd tylko $\frac{2}{5}$ jej części. Cóż z tego wnosimy?

Rzeczywiście w atmosferze zawsze znajduje się para wodna. Podczas długotrwałej nawet suszy powietrze nigdy nie jest zupełnie suche. My sami przy wydychaniu, jak już wiemy, wyziewamy parę wodną, która uchodzi w powietrze.

Im temperatura jest wyższa, tem woda prędzej paruje, w lecie zatem jest więcej pary w atmosferze, aniżeli w zimie. W lecie tedy powietrze winno być zawsze wilgotne, w zimie suche. — Czy jest tak rzeczywiście? Wiemy przecież, że zarówno w lecie jak i w zimie bywają dni suche i dni wilgotne, chociaż w ogólności niewątpliwie w lecie tworzy się więcej pary aniżeli w zimie. Wilgotność więc powietrza nie zależy tylko od tego, ile w niem znajduje się pary wodnej. Od czegoż więc jeszcze zależy?

Wyobraźmy sobie pokój tak szczelnie zamknięty, że powietrze w nim jest zupełnie uwięzione i nie ma żadnej łączności z powietrzem zewnętrznem; powietrze ani się z pokoju wydostać, ani do niego wdrzeć nie może. Za przykład takiej przestrzeni, takiego pokoju, posłużyć nam może dzwon pompy powietrznej. Przypuśćmy jeszcze, że po całej podłodze takiego pokoju rozlano wodę. Woda ta wyparuje; powietrze pierwotnie suche, przejęte teraz będzie parą wodną, a podłoga wyschnie zupełnie. Rozlewamy wodę powtórnie; podłoga znowu wysycha, w powietrzu zaś więcej się pary nagromadziło. Dostrzegliśmy jednak przytem, że na to powtórne wyschnięcie podłogi przyszłoby nam dłużej czekać, niż na pierwsze. Powtarzamy toż samo dalej. Podłoga schnie coraz wolniej, aż nakoniec zupełnie schnąć przestanie, pozostanie wilgotną. W pokojach zwyczajnych tego nie dostrzeżemy; podłoga z czasem wyschnie, choćby ją najobficiej wodą zalali, bo, pomimo zamkniętych okien, powietrze ma przewiew swobodny i tworząca się para wciąż uchodzi. W naszym zaś pokoju szczelnie zamkniętym, pomimo, że na podłodze znajduje się woda, para już się nie tworzy, woda już nie paruje. Cóż wniesiemy z tego? Musimy powiedzieć, że w pokoju tym jest już tyle pary ile jej tylko zawierać się może, czyli innymi słowy, że pokój już jest parą nasycony.

Ale gdybyśmy pokój ten ogrzali, czyli podnieśli jego temperaturę, to woda dalejby parowała. Z tego widzimy,

że w jednej i tej samej przestrzeni więcej zawierać się może pary, jeżeli temperatura jest wyższa. Każda więc przestrzeń, w miarę, jak jej temperatura rośnie, do nasycenia swego wymaga pary więcej. W pokojach, w których zwykle przebywamy, nigdy się nie zdarza, aby powietrze było parą nasycone.

Pokój przeto nasz jest teraz parą nienasycony. Ale wyobraźmy sobie znów, że pokój się oziębia. W niższej temperaturze potrzebuje on do nasycenia mniejszej ilości pary. Ta przeto ilość, która obecnie istnieje, po oziębieniu jest już bliższa nasycenia; a jeżeli pokój będziemy coraz bardziej oziębiali, dojdzie nakoniec do tego, że wypełniająca go para już go nasycać będzie. A co się stanie, jeżeli poza tę granicę przejdziemy, jeżeli pokój bardziej jeszcze oziębimy? Oczywiście, będzie już pary więcej, aniżeli jej do nasycenia potrzeba, wszystka zatem w przestrzeni tej utrzymać się już nie zdoła. Nadmiar jej opadnie w postaci wody, część pary się skropi.

Chcąc mieć jasne pojęcie o tem, co znaczy wilgotność powietrza, trzeba dobrze pamiętać, co to jest powietrze parą nasycone, a co nienasycone. Rozumie się, że w lecie do nasycenia więcej potrzeba pary, aniżeli w zimie; ale pewnego dnia w lecie może jej być tyleż, co innego dnia w zimie. Czy powietrze podczas obu tych dni będzie jednakowo wilgotne? Kiedyż będzie wilgotniejsze.

Przykład objaśni nam to lepiej. Dajmy, że w pokoju naszym, w jakiegokolwiek zresztą przestrzeni, unoszą się dwa luty pary. Przyjmijmy jeszcze, że to dzień letni i że do nasycenia tej przestrzeni potrzeba 10-u lutów. Widzimy więc, że powietrze zawiera tam zaledwie piątą część tej ilości pary, jaką utrzymać może. Powietrze więc dnia tego jest suche. Innego dnia, w zimie zdarzyć się może, że w tejże samej przestrzeni znowu nagromadzi się pary dwa luty, ale dnia tego temperatura jest o wiele niższa. Do nasycenia potrzeba znacznie mniej pary, może 3-ch lutów. Powietrze więc zawiera już $\frac{2}{3}$ tej ilości pary, jaką zawierać może; dzień będzie wilgotny.

Przy jednakowej tedy ilości pary, raz powietrze będzie suche, drugim razem wilgotne. Wilgotność więc powietrza zależy nie tylko od tej ilości pary, którą ono zawiera, ale także i od temperatury. Możemy nadto oznaczyć wilgotność powietrza, jeżeli ilość pary, którą ono zawiera, podzielimy przez tę ilość, której przy tej samej temperaturze potrzeba do nasycenia powietrza.

Nauka o zjawiskach powietrznych, o wiatrach, deszczu, śniegu, o piorunach, nazywa się meteorologią. W gazetach podawane są codziennie wiadomości meteorologiczne, gdzie zamieszcza się, jaka dnia poprzedniego była temperatura, jak wysoko stał termometr. Otóż tam znaleźć także możemy wiadomość i o wilgotności powietrza. Będziecie rozumieli teraz, co to znaczy, wilgotność 0,2 albo 0,7 (wyraża się ją bowiem w ułamkach dziesiętnych, a nie w zwykajnych). Wilgotność 0,2 znaczy, że powietrze zawiera tylko dwie dziesiąte, czyli piątą część tej ilości pary, jakąby się nasyciło przy tej samej temperaturze.

Do oznaczenia zaś wilgotności powietrza obmyślono różne przyrządy, które nazwano hygrometrami, to jest wilgociomierzami. Zdarzyło się wam może widzieć osobliwe figurki, które mają służyć do przepowiadania deszczu lub pogody. Najczęściej figurka taka przedstawia kapucyna, który na deszcz nakłada kaptur na głowę, a na pogodę go zrzuca. Główną jednak rzeczą nie jest tu ani figurka, ani jej kaptur, ale włos, którym kapturek jest przyczepiony. Włos bowiem ma tę własność, że podczas wilgoci pochłania parę wodną i wskutek tego się wydłuża, podczas suszy zaś, gdy wodę traci, znów się kurczy. Otóż włos ten tak jest powiązany z kapturkiem, że gdy się wydłuża, nasuwa kaptur na głowę figurki, gdy się zaś kurczy, ściąga go i odrzuca w tył.

Figurki takiej właściwie nie możemy nazywać hygrometrem, bo ona wilgotności powietrza nie mierzy, lecz wskazuje ją tylko. Jest to więc tylko hygroskop,

t. j. wilgociowskaz. Obecnie meteorologowie posiadają doskonale hygrometry, zapomocą których dokładnie wilgotność mierzyć mogą.

Widzisz nieraz, że na zimę między podwojnemi oknami umieszcza się sól kuchenna; co się z nią po pewnym czasie dzieje? Sól więc przyciąga parę wodną z powietrza i w powstającej z niej wodzie rozpuszcza się i rozplywa. Gdybyśmy zważyli sól przed zakitowaniem okien, a następnie drugi raz po pewnym czasie, gdy się rozplynie, znaleźlibyśmy przybytek na ciężarze. Co znaczy ten przybytek ciężaru.

Są ciała, które jeszcze silniej pochłaniają parę wodną, aniżeli sól kuchenna, jak potaż albo chlorek wapna. Jeżeli pozostawimy je w miseczce w wilgotnym pokoju, rozplywają się szybko, a ciężar ich wzrasta. Ciała takie nazywają się hygroskopijnemi; można ich używać do usuwania wilgoci z mieszkań.

Zdarza się często, że podczas spokojnego powietrza dym z kominów nie wzbija się prosto w górę, ale ściele się nisko i opada. Takie rozpościeranie się dymu uważa się zwykle za zapowiedź deszczu; dlaczego? Jeżeli powietrze jest wilgotne, to cząsteczki sadzy czyli węgla, unoszące się z dymem, pochłaniają parę wodną, stają się cięższe i osuwają na dół. Opadanie przeto dymu jest oznaką wilgoci powietrza, a stąd wniosek, że deszcz padać może.

Dopóki para wodna jest w stanie lotnym, dostrzedz jej nie możemy; staje się widoczną dopiero, gdy się skrapla częściowo lub zupełnie, gdy z niej powstaje mgła lub rosa. Tworzenie się mgły tłómaczy nam biały obłoczek wznoszący się nad naczyniem parującej wody, a drobne krople, osiadające na karafce z zimną wodą, albo na oziębionych szybach okien, dają obraz rosy. Gdy w nocy temperatura tak się obniża, że szyby oziębiają się niżej zera, osiadająca na nich rosa marznie i zamienia się w warstwę lodową; w podobnych warunkach pokrywa się ziemia srońem. Jeżeli mgła nie rozpoście-

ra się już na powierzchni ziemi, ale unosi wysoko ponad nami, dostrzegamy chmurę; chmura jest to mgła unosząca się w górze, podobnie jak można powiedzieć, że mgła jest to chmura na ziemi rozpostarta. Gdy drobne kropelki chmury łączą się i zbijają w krople większe, z powodu ciężaru utrzymać się już w górze nie mogą i opadają, tworząc deszcz. Gdy wyższe warstwy atmosfery są silnie oziębione, kropelki zamieniają się w igielki lodowe, które układają się w płatki śnieżne, a wtedy zamiast deszczu pada śnieg.

Rosa i szron, mgła i chmury, deszcz i śnieg są to różne rodzaje opadu wodnego z atmosfery.

§ 17. Przewodnictwo ciepła.

Weź drut metalowy w rękę i drugi jego koniec wprowadź w jakikolwiek płomień. Po krótkim czasie palce, w których drut trzymasz, doznają uczucia ciepła, a następnie cały drut tak się rozgrzeje, że będziesz go musiał z ręką wypuścić.

Drut ogrzewamy na jednym końcu, ale ciepło rozchodzi się po nim coraz dalej, od jednej cząsteczki do następnej. Powiemy, że ciepło rozchodzi się po drucie przez przewodnictwo, że drut przeprowadza ciepło.

Postąp tak samo z pałeczką drewnianą. Zapali się, ale ciepła nie uczujesz, choć płomień będzie już bardzo blisko ręki. Drzewo zatem ciepła nie przeprowadza.

Według tego wszystkie ciała podzielić można na dobre i złe przewodniki ciepła, czyli na przewodniki i nieprzewodniki. Dobrymi przewodnikami są metale, zwłaszcza srebro i miedź; zлыми zaś drzewo, węgiel, popiół, słoma, siano, płótno, papier, śnieg, lód, powietrze; kamienie i szkło zajmują miejsce pośrednie.

Jeżeli rękę posypiemy warstwą popiołu grubą na pół cala, możemy na nią bez obawy położyć węgiel rozżarzony. Jeżeli naczynie, napelnione wodą gorącą, otoczmy kilkakrotnie tkaniną wełnianą lub bawełnianą, woda długo jeszcze pozostanie ciepłą. Dlaczego?

Owiń nitką pręt metalowy lub gwóźdź i wprowadź go w płomień świecy lub lampki. Te części nitki, które dotykają metalu, nie spłoną. Metal bowiem, jako dobry przewodnik, odprowadza ciepło na stronę, a nitka nie może ogrzać się tak wysoko, aby zapłonęła.

Dotknij ręką w ciepłym pokoju drzwi i klamki; co czujesz? A jednak klamka i drzwi posiadają jednakową temperaturę; dlaczegoż klamka wydaje ci się zimniejszą? Klamka metalowa jest lepszym przewodnikiem i prędzej ciepło ciała naszego odprowadza, stąd powstaje uczucie chłodu. Tak samo znów, gdy metal i drzewo jednakowo silnie są ogrzane, metal wydaje się gorętszym.

Woda, lubo jest złym przewodnikiem, jest jeszcze znacznie lepszym, aniżeli powietrze. Dlaczego tedy w wodzie doznajemy uczucia chłodu, chociażby nie była od powietrza zimniejsza?

Na zimę wstawiamy okna podwójne. Czy dobrzeby było umieszczać je tuż obok siebie? dlaczego pozostawiamy między nimi przestrzeń pustą? Między podwójnymi oknami pozostaje uwięziona warstwa powietrza, która od ciepła panującego w pokoju bardzo wolno się ogrzewa, a tem przeszkadza stracie ciepła. Ale powietrze w pokoju przecież tak samo jest złym przewodnikiem; w jakiz sposób ogrzewa się w całym pokoju? (§ 9). Między oknami szczelnie zamkniętymi powietrze jest jakby uwięzione i w prądach udziału nie bierze.

I woda jest złym przewodnikiem. Rzeczywiście też nie ogrzewa się przez przewodnictwo, ale przez prądowanie. Prądy w wodzie uwidocznić można, wrzuciwszy do niej trociny drewniane lub lak drobno potłuczony. Jeżeli



Fig. 12.

wtedy ogrzewamy wodę w naczyniu szklanem nad lampą spirytusową (Fig. 12), to dostrzegamy, że okruchy w pośrodku tuż nad lampą, pływającą się do góry, po bokach natomiast opadają. Wskazują one prądy wody; woda ogrzana u dołu staje się lżejszą i wznosi do góry, zimniejsza, jako cięższa, opada na dół, gdzie znów się ogrzewa i podnosi w górę, a ta wymiana trwa ciągle. Woda gorętsza miesza się jednostajnie z zimniejszą i w ten sposób wszystko się ogrzewa.

Gdybyśmy wodę ogrzewali od góry, czy prądy byłoby możliwe? Woda lżejsza po ogrzaniu zostawałaby u góry, zimniejsza u dołu; niema tedy powodu, wywołującego prądy. W takim razie woda rzeczywiście się nie ogrzeje. Rurkę u dołu zamkniętą, napelnioną wodą, trzymaj nieco pochyło nad płomieniem tak, aby górny jej koniec się ogrzewał. Woda od góry zagotuje się, a u dołu pozostanie zimną. Wyraźny to dowód, że woda jest złym przewodnikiem.

Na zimę przywdziewamy futra. Czy one nas grzeją? Przecież same są zimne. Ale są złymi przewodnikami, a nadto między włosami jest uwiecznione powietrze. Ciało więc nasze nie stygnie. Futra nas nie grzeją, chronią nas tylko od straty własnego naszego ciepła. Toż samo dotyczy się każdej odzieży obszernej, kołder lub pierzyn.

Płomień lampki spirytusowej naciśnij siatkę drucianą. Płomień przez oka siatki nie przejdzie; dlaczego? Siatka metaliczna odprowadza ciepło i tak dalece oziębia płonące gazy, że nad siatką już się nie palą. — Wyraźniej to jeszcze dostrzedz można, jeżeli posiadamy w mieszkaniu gaz. Odkręć kurek i w pewnej wysokości nad otworem umieść siatkę tak, aby gaz przez nią przepływał. Jeżeli gaz zapalisz nad siatką, to pod siatką płonące nie będzie, chociaż się pod nią znajduje. Dlaczego się nie pali?

Spostrzeżenie to ocaliło życie tysiącom ludzi w kopalniach węgla. W kopalniach tych wywiązuje się gaz, złożony z węgla i wodoru, podobny do gazu oświetlającego. Słyszeliście zapewne, że gaz oświetlający, zmieszany

ny z powietrzem, po zapaleniu gwałtownie wybucha. Tak samo dzieje się i z owym gazem w kopalni. Jeżeli w niej zbierze się znaczna ilość gazu i pomiesza z powietrzem, tworzy się mieszanina piorunująca. Gdy więc tam wejdzie górnik ze światłem, gaz ten wybucha, powodując gwałtowne wstrząśnienie, kopalnia zapala się, a dziesiątki i setki górników znajdują śmierć w jej gruzach. — Umieszczenie płomienia w kominku szklanym nie uchroni od wybuchu, bo gaz do płomienia zawsze znajdzie dostęp. Ale co innego będzie, jeżeli płomień otoczmy siatką drucianą. Gaz piorunujący przez siatkę dostać się może wewnątrz lampki, tam się zapala i powoduje słaby wybuch, ale płomień nie przedostanie się na zewnątrz i kłęski nie spowodzi, a słaby ten wybuch ostrzega już górnik o grożącym niebezpieczeństwie. Dlatego takie lampki (Fig. 13) nazywamy *lampkami bezpieczeństwa*.

U nas w kraju największe kopalnie węgla są w Dąbrowie, ale tam nie używają tych lamp bezpieczeństwa. Gaz bowiem wybuchający tam się nie wywiązuje, a przynajmniej w małych ilościach. Dlatego nasi górnicy do rozjaśnienia ciemności podziemnych posługiwali się mogą zwyczajnymi, małymi lampkami.

Widzimy z tych przykładów, jak często korzystamy zarówno z przewodnictwa jednych jak i nieprzewodnictwa innych ciał. Będziemy też teraz zapewne umieli już odpowiedzieć i na inne pytania. Dlaczego rolnik cieszy się, gdy śnieg pokrywa pola podczas mrozu, dlaczego ogrodnik delikatne drzewka słomą na zimę owija? Jaka jest różnica między piecami żelaznymi, a kafłowymi, między domami żelaznymi a drewnianymi? Dlaczego węgiel, wyrzucony z pieca na podłogę drewnianą, tli



Fig. 13.

się długo, a na płycie żelaznej szybko gaśnie? Dlaczego czajniki metalowe mają ręczki kościane lub drewniane?

W szafach ogniotrwałych ściany żelazne są podwójne, a między nie sypie się popiół; dlaczego?

Eskimosi budują swoje chaty z lodu, a w środku rozkładają ogień; czy im tam nie zimno?

Przytocz inne jeszcze przykłady zastosowania zasady przewodnictwa i nieprzewodnictwa ciał.

§ 18. Promieniowanie ciepła.

Stań w pewnej odległości naprzeciwko ognia płonącego na kominku. Natychmiast doznajesz uczucia ciepła. Czy ciepło doprowadziło nam powietrze przez przewodnictwo? Przecież powietrze jest złym przewodnikiem, a choćby się mogło ogrzać przez prądy, to na to trzebaby znacznego czasu, a tu ciepło dochodzi natychmiast. Zresztą, jeżeli ustawimy między ogniem a twarzą naszą jakąkolwiek przegrodę, choćby arkusz papieru, ciepła nie czujemy. Przegroda powstrzymuje ciepło, dochodzi więc do nas nie przez przewodnictwo.

A od słońca jak do nas ciepło dochodzi? Przecież powietrze sięga zaledwie na kilka lub kilkanaście mil, a na przestrzeni dwudziestu milionów między słońcem a ziemią jest próżnia; ciepło tedy przechodzi przez przestrzeń zupełnie pustą.

Widzieliśmy, że przegroda wstrzymuje ciepło w jego drodze. Gdyby iść mogło jakąkolwiek drogą krzywą, toby przegrodę obeszło i doszłoby do nas. Cóż z tego za wniosek? — Ciepło posuwa się tylko po liniach prostych, i dlatego mówić się zwykło o promieniach ciepła. Ciepło więc od ognia rozchodzi się przez promieniowanie.*

Ogień wysyła promienie jasne, świecące. Ale gdy potrzymamy rękę naprzeciwko pieca zamkniętego, żelaznego, lub kaflowego, również doznamy uczucia ciepła. Ciała przeto ogrzane, ale nie świecące, wysyłają promienie ciepła ciemne. Jeżeli ogrzewamy ciało jakiegokol-

wiek, jak np. pręt żelazny, to ciało to wysyła z początku tylko promienie ciemne. Przy silniejszym dopiero ogrzaniu zaczyna i świecić, do promieni ciemnych przybywają jasne. Promienie zatem i ciała rozżarzone wysyłają promienie ciemne i jasne. Promienie ciemne i jasne nie są między sobą odrębne; tenże sam promień, który w oku naszym sprawia wrażenie światła, wzbudza w nas uczucie ciepła; nie wszystkie tylko promienie działają na oko, są to więc promienie ciemne.

Ledwo słońce wejdzie, już doznajemy wpływu jego promieni. Ciepło więc promieniste bieży z niesłychaną szybkością, a toż samo, jak dowiemy się dalej, dzieje się ze światłem.

Nie wszystkie ciała jednakowo dobrze wysyłają ciepło. Szklankę jedną uczerń sadzą, np. przez okopcenie jej nad świecą, drugą taką samą oblep papierem blyszczącym, złocistym lub srebrzystym; obie napelnij wodą wrzącą i ustaw na jednakiej podstawie. Woda w obu szklankach stygnie, tak wskutek przewodnictwa podstawy i otaczającego powietrza, jak wskutek promieniowania, czyli wysyłania ciepła. Ponieważ obie szklanki umieszczone są na jednej podstawie, przez przewodnictwo więc tracą jednakową ilość ciepła, a jednak, gdy po pewnym czasie zanurzymy termometr w jedno i drugie naczynie, dostrzeżemy, że woda w szklance uczernionej jest zimniejsza. Cóż z tego za wniosek? Ciała mające powierzchnię ciemną i chropowatą, stygną prędzej (t. j. wysyłają więcej ciepła), aniżeli ciała o powierzchni jasnej i gładkiej.

Dlatego piec o białych kaflach zwolna stygnie i dłużej przechowuje ciepło; piecyk żelazny ciepło szybko na pokój wysyła i szybko stygnie.

Dlaczego czajniki i maszynki do kawy mają powierzchnię gładką i jasną, rury u pieców powierzchnię czarną i chropowatą?

Co się dzieje, jeżeli promienie ciepła padają na ciało? Ciało zatrzymuje je czyli pochłania i wskutek

tego się ogrzewa. Nie wszystkie jednak ciała pochłaniają ciepło jednakowo dobrze.

Też same co poprzednio dwie szklanki napelnij wodą jednakowo zimną i wystaw razem na działanie promieni słonecznych. Po pewnym czasie w szklance okopconej woda będzie cieplejsza, aniżeli w oblepionej papierem metalicznym. Obie szklanki wystawione były przez czas jednakowy na jednakowe promieniowanie, a mimo to woda w jednej ogrzała się wyżej. Cóż stąd za wniosek? — Ciała zatem czarne i chropowate pochłaniają ciepło silniej, aniżeli jasne i gładkie.

Jakie ciała silniej wysyłają promienie ciepła? Też same więc ciała, które posiadają większą zdolność wysyłania, posiadają też i większą zdolność pochłaniania ciepła.

Podczas pogodnego dnia zimowego rozpostrzyj na śniegu czarny płatek sukna lub innej tkaniny, a obok niego płatek biały. Pod sukniem czarnym śnieg się stopi, pod białym pozostanie niezmienny. Objasnij to. Jeżeli chcemy przyspieszyć topnienie śniegu, obsypujemy go węglem.

Ciała gładkie i jasne nie pochłaniają ciepła, zatem odrzucają je, odbijają. — W lecie używamy chętnie odzieży jasnej; dlaczego?

W kotłach i rondlach okopconych woda ogrzewa się prędzej, aniżeli w połyskujących; dlaczego?

Pączki wielu drzew posiadają kleiste powłoki połyskujące; jaki wpływ wywiera na nie ta powłoka w dzień i w nocy?

Jeżeli promienie słońca przechodzą przez ciało, które ich nie pochłania, to ciało to wcale się nie rozgrzewa. Powietrze doskonale przepuszcza promienie ciepła, prawie wcale ich nie zatrzymując; skutkiem tego powietrze nawet podczas najsilniejszego upału pozostaje zupełnie zimne. Przy samej tylko powierzchni ziemi może się ogrzać, ale to nie bezpośrednio od promienia słońca, lecz wskutek zetknięcia z ziemią. Górne warstwy ziemi pochłaniają promienie ciepła słonecznego i ogrzewają się,

a stykając się z dolnymi warstwami powietrza, udzielają im swego ciepła. Ogrzane warstwy powietrza wznoszą się wyżej, górne opadają; wskutek tych prądów następuje wymiana powietrza cieplejszego i zimniejszego i dlatego w ciągu dnia atmosfera do pewnej wysokości się ogrzewa. Ale w górze powietrze pozostaje lodowato zimne.

Słyszeliście zapewne, że na wysokich górach zimno, że żeglarze powietrznicy, wznosząc się balonami, zabierają ze sobą futra. Zdawałoby się, że na szczycie góry jesteśmy bliżej słońca; powinniśmy zatem tam być cieplej; czy można w ten sposób rozumować? Do słońca 20,000,000 mil geograficznych, najwyższa zaś góra na ziemi nie wznosi się wyżej nad milę. Czy więc znajdujemy się w dolinie, czy na szczycie góry, jest to względem odległości od słońca tak mała różnica, że nie ma żadnego znaczenia. Więc przynajmniej na szczycie góry powinniśmy również być ciepło, jak na powierzchni ziemi. Czyż promienie słoneczne są na górze zimniejsze niż na ziemi?

Zagadki tej dawniej ludzie rozwiązać nie umieli, i aby sobie wytłómaczyć, dlaczego w górze jest zimniej, utrzymywali niedorzecznie, że promienie słoneczne same przez się są zimne i stają się ciepłymi dopiero przez zetknięcie się z ziemią.

Teraz jednak potraficie rzecz tę należycie wyjaśnić. Jeżeli stoimy na górze, to strona naszego ciała, ku słońcu zwrócona, jest ogrzewana przez promienie. Powietrze tylko jest zimne i dlatego strona druga ciała doznaje lodowatego chłodu. Promienie słońca na górze i na ziemi ogrzewają jednakowo ciała, na które padają, ale powietrze na dole tylko jest ciepłe. Gdyby nie ogrzewanie się powietrza wskutek zetknięcia się z ziemią, to w słońcu byłoby bardzo gorąco, a w cieniu, gdzie promienie słoneczne nie dochodzą, panowałoby niesłychane zimno. Gdyby tedy powietrza nie było, to skoroby tylko słońce zaszło, po gorącym dniu następowalaby noc niewypowiedzianie mroźna, tak, że ludzie, zwierzęta i rośliny życia utrzymaćby nie mogli.

Na księżycu powietrza niema, albo przynajmniej jest niesłychanie rzadkie; dzień i noc trwają tam po dni 15, bo księżyc naokoło swej osi obraca się w tymże samym czasie, co naokoło ziemi, t. j. w ciągu miesiąca. Jakież więc klimat na księżycu panuje?

Wystaw na promienie słoneczne przez czas jednokowy miskę z piaskiem i miskę z wodą, a piasek daleko prędzej się ogrzeje; natomiast też, po usunięciu od słońca, prędzej ostygnie. W ogólności ląd prędzej się ogrzewa i prędzej stygnie aniżeli woda. W dzień tedy ląd jest gorętszy, w nocy zimniejszy, aniżeli morze; na morzu między temperaturą dnia i nocy różnica jest mniejsza, aniżeli na lądzie, a toż samo tyczy się i całych pór roku. Na morzu lata nie są tak skwarne, ani zimy tak mroźne, jak na lądzie, jeżeli oczywiście rozpatrujemy okolice morskie i lądowe w jednakich od równika odległościach; klimat morski bardziej jest jednostajny, aniżeli klimat lądowy.

Mówiliśmy już nieraz, że wszystkie przedmioty, znajdujące się w sąsiedztwie, posiadają jednakową temperaturę; ale jakżeż to wytłómaczyć, kiedy różne ciała rozmaicie szybko ogrzewają się i stygną? Przypomnij sobie należycie, cośmy mówili o zdolności wysyłania i pochłaniania ciepła.

§ 19. Skąd ciepło otrzymujemy?

Nikt nie wątpi, że głównem źródłem ciepła dla ziemi jest słońce. Słońce jest to bryła rozpalona, ognista; jest ono tak, jak ziemia, otoczone atmosferą, ale atmosferą płomienistą, w której nawet żelazo unosi się w stanie pary. Przypomnijcie sobie, jakto trudno na ziemi choćby stopić żelazo, a co dopiero mówić o zamianie go w parę. Już z tego wnosić możemy, jak niepojęty żar na słońcu panuje.

Słońce bezustannie na wszystkie strony rozsyła promienie ciepła, a drobna zaledwie ich cząstka na małą naszą ziemię pada. Ziemia bezustannie otrzymuje od słońca niesłychaną ilość ciepła; pojąć przeto można, ile

ciepła rozsyła słońce na wszystkie strony w ciągu całego roku.

Ale dlaczegoż jest w lecie cieplej, niż w zimie? Ci, co wiedzą, że ziemia jest czasem bliżej (19,500,000 mil), czasem dalej (20,500,000 mil) od słońca, sądziliby może, że w lecie ziemia jest bliżej słońca. Ale tak nie jest, bo wtedy właśnie, kiedy u nas na półkuli północnej panuje zima, ziemia jest bliżej słońca. Różnica między latem a zimą musi więc zależeć od innych okoliczności.

Wiesz zapewne, co to jest kierunek prostopadły, co linja prostopadła. Ołóż wystaw rękę swoją na słońce i trzymaj ją tak, aby promienie padały na nią prostopadle. Następnie pochylaj ją coraz więcej. Co czujesz? Promienie grzeją najsilniej, gdy padają prostopadle, im zaś padają ukośniej, tem słabiej działają. — Wiemy zresztą, że promienie ciepła są zarazem i promieniami światła; toż samo zatem odnosi się i do światła. Naprzeciwko lampy lub świecy umieść kartkę białego papieru, a następnie pochylaj ją coraz więcej. Kartka coraz słabiej będzie oświetlona.

Gdyby słońce znajdowało się tuż nad naszymi głowami, promienie padałyby na nas prostopadle. Promienie zatem do nas nigdy prostopadle nie dochodzą. W pobliżu tylko równika, albo, dokładniej mówiąc, między zwrotnikami, bywają dni, w których promienie padają prostopadle; dlatego tam panują najsilniejsze upały, a pas ten ziemi nazywa się strefą gorącą.

Słońce codziennie wschodzi, wznosi się nad poziom, dochodzi do pewnej wysokości, następnie obniża się i znów pod poziom zapada. W południe słońce zajmuje najwyższe położenie, promienie jego padają najbardziej prostopadle, działanie ich wtedy jest najsilniejsze. Ale spójrz, jakie położenie zajmuje słońce u nas w południe w czerwcu lub lipcu, a następnie znów w grudniu lub styczniu. Dostyc na to pobieżnie zwrócić uwagę, aby się przekonać, że w miesiącach letnich słońce wzbija się wyżej i promienie mają kierunek bardziej prostopadły. W zimie zaś słońce niewiele wznosi się nad poziom,

promienie padają ukośniej, działanie ich przeto jest znacznie słabsze.

Oto przyczyna, powodująca różnicę lata i zimy. Skąd zaś to pochodzi, że słońce w ciągu roku wzbija się na niebie do różnych wysokości, dowiedzieliście się przy nauce geografji.

Gdy w zimie słońce słabo dogrzewa, otrzymujemy potrzebne nam większe ciepło przez palenie w piecach. Co to jest p a l e n i e ?

Aby to zrozumieć, przypomnij sobie, jak przy budowie domu murarze przygotowują sobie wapno. Wysypują oni wapno palone w wykopany dół i polewają je wodą. Co się wtedy dzieje? Woda burzy się, gotuje, cała masa silnie się rozgrzewa. Co tu zaszło, skąd ciepło to powstało? Gdy burzenie się już ukończy, możemy rozjeżdżać ciało, które się w dole teraz znajduje. Jest to już nie toż samo wapno, które się pierwotnie w dole znajdowało. Wapno zwane palonem, bo otrzymuje się przez wypalenie minerału zwanego wapieniem, połączyło się z wodą i utworzył się związek wapna z wodą, czyli woda wapna, albo wapno gaszone.

Łączenie się takie ciał, skutkiem którego powstają nowe ciała, nazywamy łączeniem się c h e m i c z n e m. Przy łączeniu się chemicznem ciał wywiązuje się ciepło. Dlatego to woda nalana na wapno tak szybko się ogrzewa.

Znasz może kwas siarczany, często nazywany wiotryolem. Do szklanki wody wpuść bardzo ostrożnie kilka kropel tego kwasu i dotknij szklankę ręką, — szklanka jest gorąca. Kwas siarczany połączył się z wodą; nastąpiło połączenie chemiczne, wywiązało się ciepło. Należy dolewać kwasu siarczanego do wody, a nie wody do kwasu siarczanego; nastąpiłoby wtedy rozgrzanie tak silne, że szklanka mogłaby pęknąć.

Skądżesz bierze się ciepło przy paleniu węgla? Tworzy się tu związek chemiczny: węgiel łączy się z powietrzem, albo raczej z tlenem. Wiemy już bowiem, że powietrze jest mieszaniną dwu gazów, tlenu i azotu. Otóż

przy paleniu węgla łączy się on z tlenem, a stąd powstaje znany nam już gaz — kwas węglany.

Gdy palimy drzewo, także następuje łączenie się z tlenem węgla, który się w drzewie znajduje.

Lepiej to zrozumiemy, przyjrzaawszy się płomieniowi świecy. Stearyna, a także łój, wosk, składa się z węgla i gazu, zwanego wodorem. Skoro knot zapalimy, stearyna topi się i podnosi w górę, gdzie następuje spalanie. Ale płomień nie jest jednostajny; możemy w nim łatwo rozróżnić trzy części (Fig. 14): wewnętrzną, środkową i zewnętrzną. Część wewnętrzna *a* jest ciemna; znajduje się tu wprawdzie węgiel i wodór, które się tworzą z rozkładu stearyny, ale powietrze nie ma dostępu i dlatego palenie tu nie ma miejsca. Część ta przeto jest ciemna

i zimna, tak, że jeżeli naciśniemy płomień siatką drucianą, to na niej wyżarzy się kółko, a przestrzeń wewnętrzna pozostanie ciemna. Część środkowa *b* jest najświetniejsza. Tu powietrze ma już dostęp obfitszy, ale jeszcze nie zupełny. Wodór jest łatwiej palny niż węgiel; tu przeto następuje tylko spalanie wodoru, to jest łączy się on z tlenem, a z połączenia tego powstaje woda, albo raczej para wodna. Węgiel w tej części płomienia jeszcze się nie spala, ale już mocno się rozżarza i on to właśnie świeci. Jeżeli płomień naciśniemy szkłem lub metalem, przedmioty te natychmiast się kopcą, to jest pokrywają się sadzą czyli węglem. Ale węgiel ten jest w postaci nadzwyczaj drobnego proszku, a właśnie takie drobniutkie cząsteczki węgla rozżarzają się w płomieniu i świecą. Ostatnia nakoniec, zewnętrzna część tego płomienia

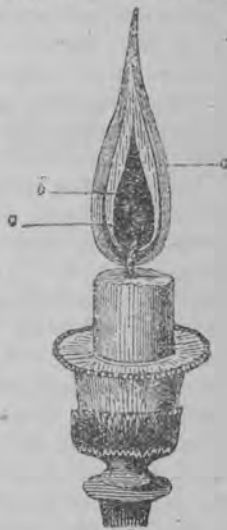


Fig. 14.

c stanowi jakby bladą powlokę, słabo świecąca. Tu już powietrze ma dostęp zupełny; nie tylko wodór, ale i węgiel łączy się tu z tlenem, nie ma już przeto cząsteczek węgla, któreby rozżarzać się mogły. Część ta słabo świeci, ale natomiast jest najgorętsza, bo tu palenie jest najpełniejsze, łączenie chemiczne odbywa się tu najżywiej; dlatego też wytwarza się tu najwięcej ciepła.

Nie wszystkie ciała przy paleniu, to jest przy łączeniu się z tlenem, wydają płomień. Żelazo i przeważna część innych metali żarzą się tylko. Płomień powstaje wtedy jedynie, gdy przy paleniu rozwijają się gazy. Płomień jest to płonący gaz; ciało stale żarzy się tylko.

Wiemy już, że ciepło wytwarzać może pracę; nazwajem także praca może być źródłem ciepła.

Uczniowie w szkole lubią płać kolegom swoim figle w ten sposób, że trą przez pewien czas silnie linję kantem o brzeg ławki, a następnie przykładają ją do twarzy lub ręki sąsiada. Jakiego doznaje on wrażenia? Przez tarcie zatem powstaje ciepło, ale na tarcie to trzeba wyłożyć pewną pracę. Praca więc wzbudza ciepło.

Jeżeli sztukę monety położysz na podłodze i nacisnąwszy ją palcami, szybko przesuwać będziesz w jedną i drugą stronę, moneta tak się rozgrzeje, że będzie parzyć palce.

Korek przekłuj szpilką i przez wązki ten otwór przecisnij drut (Fig. 15), a następnie przesuвай go szybko w górę i na dół, — korek również się rozgrzeje.

Tak samo jak przez tarcie, ciepło wzbudza się także przez uderzenie, ściskanie i t. d. Gdy koń w nocy o bruk kamienny podkową żelazną uderza, co wtedy dostrzegasz? Czem jest iskra? Przy gwałtownem uderzeniu odrywają się drobne cząsteczki żelaza, które wskutek wywiązującego się stąd ciepła silnie się rozżarzają. W dzień zachodzi toż samo, ale przy blasku dziennym światło to trudniej widzimy. Gdyby iskra taka padła na hubkę, hubkaby się zatliła; czy używamy tego sposobu do otrzymywania ognia? Przypomnij sobie krzesiwka złożone ze stali i krzemienia; objaśnij ich działanie. Gdy jeszcze

nie znano zapalek, krzesiwka takie były powszechnie używane.

Kawałek gumy elastycznej rozciągnij silnie i przyłóż do warg: dlaczego tu wzbudziło się ciepło? Przez rozciągnięcie guma się wydłużyła, ale zarazem zwężyła, cząstki jej przeto więcej się ku sobie zbliżyły, ścisnęły; ściskanie to wytwarza ciepło.

Słyszałeś zapewne, że Indianie amerykańscy otrzynują ogień przez tarcie dwu kawałków drzewa. Czy my obecnie inaczej go utrzymujemy? Także przez tarcie, ale zamiast drzewa używamy zapalek. — Na końcu zapalki znajduje się kawałek fosforu, który jest ciałem bardzo łatwo palnym, tak dalece, że w zetknięciu z powietrzem sam się zapala. Ale w zapalkach jest on pomieszany z gumą arabską, która powietrza do niego nie dopuszcza; za najslabszem wszakże potarciem guma ta pęka, a fosfor wskutek tego słabego rozgrzania, już się zapala. Nadto fosfor spala się tak szybko, że ogień nie mógłby udzielić się drzewu, dlatego drewno zapalki pokryte jest jeszcze siarką lub innym dosyć łatwo palnym ciałem. Naprzód tedy to ciało, a następnie dopiero drewno się zapala. W zapalkach szwedzkich fosfor nie znajduje się na drewnkach, ale rozpostarty jest na pudelkach; dlatego zapalka taka zapala się jedynie przez potarcie o pudelko.

Dlaczego osie kół u wozów powlekamy tłuszczami? Tłuszcze wygładzają osie i zmniejszają tarcie. Coby mo-



Fig. 15.

gło nastąpić, gdyby ostrożności tej zaniedbano? — Nie-raz już z tego powodu wozy się zapalały.

Przy ostrzeniu noży polewa się osiekę wodą. Dla-czego? Wskutek ogrzania stal się psuje.

Przytocz inne jeszcze przykłady powstawania cie-
pła przez pracę.

Wiadomo wam już też, że ludzie, zwierzęta ssące, ptaki posiadają temperaturę wyższą, aniżeli otaczające powietrze. Na najsilniejszym nawet mrozie ciało nasze jest ciepłe. Skąd powstaje to ciepło zwierzęce? Przy wdychaniu wciągamy w nasze płuca powietrze, za-tem tlen. W krwi naszej znajduje się węgiel, który z tle-
nem się łączy. Powstaje wtedy tenże sam gaz, co przy paleniu węgla, i przy wydychaniu z płuc naszych uchodzi kwas węglany. Krew przez oddychanie oczyszcza się, odświeża, ale zarazem wskutek zachodzącego przy tym łączenia się chemicznego wywiązuje się ciepło. Moż-
na powiedzieć, że oddychanie także jest paleniem.

Tlen płuca nasze biorą z powietrza; ale skąd bierze się węgiel? Przyjmujemy go w pokarmach; zarówno bo-
wiem ciała roślinne jak i zwierzęce węgiel zawsze za-wierają.

Gdy pracujemy, ciepło nasze zamienia się w pracę. Gdy nam brak pokarmu, spala się przy oddychaniu wę-
giel, wchodzący w skład naszego ciała, ciało się wycień-
cza, niszczy. Im kto więcej pracuje, tem więcej zużywa ciepła. Gdy dorośnięcie, nie jeden z was może będzie miał służących, robotników; niechżeż pamięta, że wtedy tylko będzie mógł od nich żądać sumiennej pracy, gdy ich dobrze żywicie będzie, i gdy wogóle losem ich szcze-
rze się zajmie.

Poznaliśmy różne źródła ciepła; ale najważniejszym z nich jest słońce. Gdyby nie było słońca, gdyby nie nad-
syłało nam promieni światła i ciepła, rośliny żyćby nie mogły, nie byłoby więc drzewa, nie moglibyśmy zatem ogrzewać się w zimie. I ciepło tedy, które podczas mro-
zu tak przyjemnie z kominka się rozchodzi, także słońcu zawdzięczamy.

Rozdział II.

O GŁOSIE.

§ 20. Jak powstaje głos?

Uważałeś zapewne, co się dzieje w pokoju, gdy ktoś głośno krzyknie, gdy rozlega się silny brzęk, gdy brzmi huczna muzyka? Cóż wnieść można z tego drżenia okien, z tego trzęsienia się sprzętów? Skoro głos wywołuje ruch, i sam przeto musi być pewnym ruchem, musi na pewnym ruchu polegać.

Rozpatrz się tylko dokładnie, jak głos powstaje, a po-
znasz łatwo, że każde wstrząśnienie jakiegokolwiek cia-
ła wywołuje głos.

Uderz prętem o stół, lub puść kamień na podłogę, a usłyszysz huk, tem głośniejszy, im uderzenie było gwał-
towniejsze. Gdy nożem trzesz o stół, lub gdy mniesz pa-
pier w rękę, rozlega się szmer. Gdy powietrze wzburzo-
ne wichrem, przeciska się przez szczeliny, słyszysz szum
lub świst, a gdy kołyszę liśćmi, powstaje szelest. Kamień
rzucony na wodę wyda plusk. Gdy pęcherz lub worek
wydęty nagle rozbijemy, wywołujemy tem wstrząśnie-
nie powietrza, tak samo, jak przy strzelaniu z pukawki
papierowej, a stąd powstaje huk.

Ciała w ten sposób uderzane, wstrząsane, drżą, czą-
steczki ich drgają. — Jeżeli ćwiartkę papieru, trzymaną
poziomo w ręce, posypiemy piaskiem, i trącać ją będzie-
my palcem drugiej ręki, ziarenka piasku będą w górę pod-
skakiwały i opadały; widoczny to dowód, że papier drga.

Gdy drgania następują bardzo regularnie jedne po

drugich, wtedy głos wywiera na ucho wrażenie przyjemne, słyszymy dźwięk muzyczny czyli ton. Takie drgania powstają, gdy strunę pociągamy smyczkiem. Ażeby się przekonać, że struna skrzypiec lub fortepianu, gdy brzmi, ulega drganiu, możemy na niej w różnych miejscach pozawieszać skrawki papieru, koniki, które spadają, skoro tylko struna głos wyda. Jeżeli nitkę wyprężoną ku górze zarwiemy w środku lub w którymkolwiek innym punkcie, będzie ona również drgała i wyda ton.

Narzędzia muzyczne, w których dźwięki powstają przez drgania strun, nazywają się *strunowe*. Takie są: skrzypce, wiolonczela, bas, arfa, gitara, lutnia, fortepian.

Zupełnie inny rodzaj narzędzi muzycznych stanowią fujarki czyli piszczałki. Jeżeli zaś dotknijemy dźwięczącej struny, czujemy jej drgania; przez naciśnięcie możemy zupełnie je powstrzymać. Jeżeli zaś dotykamy fujarki, ruchów żadnych nie czujemy, ani naciskiem dźwięku jej nie powstrzymamy. Cóż wnosimy z tego? Jeżeli zatem to nie rura sama, nie ściany fujarki drgają, ton wywołać musi inne ciało. Co się znajduje w fujarce? A więc w fujarce drga słup powietrza, który ją wypełnia. Powietrze wprawiamy w drganie, wstrząsamy je przez zadęcie. Jeżeli posiadamy szklaną szeroką fujarkę, możemy się łatwo o tem drganiu przekonać; gdy bowiem do fujarki takiej (Fig. 16) wpuścimy cienką miseczkę, uwiązaną na nitkach i obsypaną piaskiem, to skoro w fujarkę zadmiemy, piasek będzie podskakiwał, zdradzając tem drganie powietrza. — Flet, puzon, są to narzędzia muzyczne, do fujarki podobne.

Znasz zapewne harmonijkę ustną, jaką się często dzieci bawią; tony powstają tam przez drganie cienkich, wązkich blaszek metalowych, zwanych *językami* albo *stroikami*, które wprawiamy w ruch przez wdmuchiwanie. I w harmonijce zwyczajnej dźwięki wywoływane są przez drganie stroików, które wstrząsamy przez otwieranie i zamykanie harmonijki. Przyjrzyj się

jej i objaśnij jej działanie; przypomnij przytem sobie zasadę miecha *).

W wielu narzędziach dętych fujarki połączone są ze stroikami. Do takich narzędzi stroikowych należą trąbki dziecinne, klarnet, obój, fagot. W nich drgają i stroiki i cały słup powietrza.

Organy stanowią przyrząd złożony z licznych fujarek; do zadęcia służy miech, który tu zastępuje działanie naszych płuc.

Czy znasz cymbalki? Tam drgają tafelki czyli płytki wstrząsane przez uderzenie młoteczkami. A w dzwonach? — drgają także tafelki, ale pokrzywione. W bębnie wydaje dźwięk błona mocno rozciągnięta.

Błona ta koniecznie musi być wyprężona; i struna niewyprężona także dźwięku nie wydaje. Dlaczego? Błonę lub strunę niewyprężoną można uderzać lub zginać dowolnie, a one zachowują zawsze postać, jaką im nadamy. Skoro jednak są wyprężone, a my je uderzamy lub zegnemy, to będą dążyły do wyprostowania się, będą usiłowały wrócić do pierwotnej postaci, a dążenie to objawia się właśnie drganiem.

Ciała, które po ugnieceniu, zgięciu, wydłużeniu i t. d. wracają do pierwotnej postaci, nazywają się *sprężystymi*.

*) Książeczka pierwsza, § 39.



Fig. 16.

ży systemi. Takimi ciałami są: guma elastyczna, kość słoniowa, stal, powietrze. Co do powietrza, to sprężystość jego czyli prężność należy rozumieć tak, że ono dąży zawsze do zajęcia jak największej objętości; własnej postaci przecież powietrze nie posiada.

Dźwięki tedy wzbudzone być mogą tylko przez ciała sprężyste, bo te dają się wprawić w drganie.

§ 21. Jak się głos rozchodzi?

Wiemy już, że ciało drgające wydaje głos; ale to nie wystarczy jeszcze, byśmy wrażenie głosu otrzymali; potrzeba jeszcze ciała, któreby drgania te doprowadzało do naszego ucha. Domyśleć się łatwo można, jakie to być może ciało. Ciało drgające uderza o sąsiednie cząstki otaczającego powietrza; te znów poruszone, trącają o dalsze; w ten sposób drganie rozbiega się po powietrzu na wszystkie strony i dochodzi do naszego ucha.

Aby pojąć, jak ruch jednych cząstek powietrza udziela się innym, ulóż na stole obok siebie szereg jednakich monet, naprzykład dziesiątek miedzianych. Następnie pierwszą z nich wysuń naprzód z szeregu i trąć nią silnie tak, aby uderzyła pierwszą z pozostałych. Wtedy wszystkie pozostaną na miejscach, a tylko ostatnia odskoczy i odsunie się na taką samą odległość, na jakąśmy odsunęli pierwszą. Moneta uderzona nie może się posunąć, napotyka bowiem przeszkodę w następnej; oddaje jej wtedy ruch swój własny, a ta znowu udziela go następnej; taką drogą ruch ten dochodzi do ostatniej monety. I tu koniecznym warunkiem jest sprężystość uderzonych monet. — Można by do tego doświadczenia użyć kulek z kości słoniowej, albo kamyków. Gdyby to jednak były kulki z gliny, to pierwsze z nich po uderzeniu ugniotłyby się tylko, ale ruch dalejby się nie przniósł. Monety i kulki z kości słoniowej po uderzeniu także się ugniatają, tak jednak szybko odzyskują swą postać, że tego wcale nie dostrzegamy; ale właśnie przy

tym powrocie do pierwotnego kształtu naciskają sąsiednie i tym sposobem ruch swój na nie przenoszą.

W podobny sposób i cząstki powietrza drgające ruch swój na dalsze cząstki przenoszą. Ruchu tego w powietrzu dostrzedz nie możemy, ale doskonały tego obraz przedstawiają nam fale rozchodzące się po wodzie. Gdy kamień rzucimy na spokojną powierzchnię wody, tworzy się pod nim zagłębienie, a woda wypchnięta wznosi się wokół w górę. Poza tem wyniesieniem znów tworzy się dokoła zagłębienie, czyli dół, a dalej znów wyniesienie czyli góra. W ten sposób doły i góry rozwijają się jedne po drugich, tworzą coraz szersze koła czyli fale. Takie same fale wywołać można na misce wody, trącając jej powierzchnię lekko przecikiem.

Przyjrzyj się takim falom: zdaje ci się, że to woda przepływa od jednego do drugiego końca. A jednak jest to tylko złudzenie. Rzuć na wodę falującą kilka kawałków korka, drzewa, albo też skrawków papieru. Cóż dostrzegasz? Oto okruchy te pozostają na swoich miejscach, podnoszą się tylko i obniżają, ale nie przenoszą się z jednego miejsca na drugie. A co by się działo, gdybyś je puścił na wodę płynącą na rzekę? Zatem woda w stawie, falując, nie przyplywa, bo unosiłaby wraz z sobą ciała po niej pływające. Cząsteczki wody drgają, podnoszą się i opadają, ale pozostają na swoich miejscach, ruch się tylko przenosi od jednej do następnej cząsteczki, jak w powyżej rozważanym szeregu monet lub kulek.

Otóż w podobny sposób i ruch drgający rozchodzi się w powietrzu. Jeżeli kto mówi, a głos jego do nas dochodzi, to wtedy wstrząśnienie, które osoba ta w powietrzu wywołała, doszło do naszego ucha. Ale czy mniemać należy, że to cząsteczki powietrza bezpośrednio przez mówiącego poruszone, aż do naszego ucha dopływają? Zachodzi tu toż samo, co w ruchu falowym na wodzie: ruch się rozchodzi, ale cząsteczki, drgając, pozostają na swoich miejscach, nie posuwając się dalej. Podczas wiatru rzecz się ma inaczej; wtedy powietrze płynie, tak jak woda w rzece.

Trzeba wszakże pamiętać, że na wodzie ruch falowy rozchodzi się tylko na powierzchni; w powietrzu zaś drganie udziela się cząsteczkom na wszystkie strony: w górę, na dół, na boki.

§ 22. Wysokość głosu.

Każdemu wiadomo, że są tony wysokie i niskie. Czem się tony te różnią, trudno odpowiedzieć, ale kto tylko słyszał różne tony fortepianu lub skrzypiec, ten już wie, o czem tu mówimy. Należy nam tylko wyjaśnić, jaka jest przyczyna różnej wysokości tonów.

Wyprężmy strunę ponad stołem, uwiązawszy ją obu końcami, i wprawmy ją w drganie przez potrącenie palcami lub pociągnięcie smyczkiem. Następnie wyprężmy ją silniej, w tym razie wyda ton wyższy.

Jak to sobie wytłómaczyć? Struna silniej wyprężona jest sprężystsza, to jest prędzej usiłuje do pierwotnej swej postaci wrócić; drga zatem prędzej. A więc im drgania są prędsze, tem ton jest wyższy.

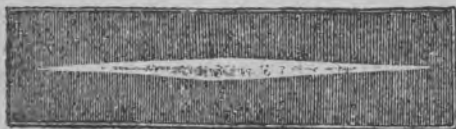


Fig. 17.

Jeżeli struna drga bardzo wolno, tak, że można oddzielne jej kołysania dostrzedz, tonu nie słyszymy. Przekonano się, że ton powstaje wtedy dopiero, gdy struna na sekundę zadrga około trzydziestu razy. Ton ten jest bardzo niski, a staje się coraz wyższym, w miarę jak struna drga coraz prędzej. Przy szybkim drganiu oko nasze nie dostrzega już oddzielnych jej położań, a struna wydaje się nam jakby błoną (Fig. 17). Gdy struna na sekundę wykonywa kilka tysięcy drgań, ton jest już bardzo wysoki; gdy zaś tych drgań będzie kilkadziesiąt

tysięcy, znów tonu żadnego nie słyszymy. Drgania zbyt wolne i zbyt szybkie na ucho nasze nie działają.

Mamy dwie struny, krótszą i dłuższą, jednakowo silnie wyprężone: która z nich wyda ton wyższy? Przyjrzyj się fortepianowi i powiedz. Po strunie krótszej fale szybciej przebiegają, drga ona prędzej, i wydaje tony wyższe. A czy cieńsza czy grubsza struna wydaje ton wyższy? Spójrz znowu na fortepian. A więc struna krótsza, cieńsza i silniej wyprężona wydaje ton wyższy, aniżeli dłuższa, grubsza i słabiej wyprężona.

Jeżeli strunę przytrzymamy w połowie, albo trzeciej części odległości jej od końca, będzie to samo, jak gdybyśmy użyli struny dwa, trzy razy krótszej.

To samo tyczy się i fujarek. Fujarka zatem im jest dłuższa, tem wydaje ton niższy. Przyjrzyj się organom, a poznasz, jak wysokie są fujarki, które wydają tony niskie basowe.

Flecik ma z boku dziurki, które możemy palcami zamykać. Jeżeli dziurki są otwarte, to długość fujarki liczyć można tylko do pierwszej dziurki, bo powietrze wstrząśnięte już wtedy ma ujście. Gdy więc zamkniemy pierwszą dziurkę, flecik stanie się dłuższym, długość jego bowiem liczyć wtedy można do drugiej dziurki. Gdy zaś wszystkie dziurki zamkniemy, wtedy słup drgającego powietrza wypełnia całą długość fujarki, od jednego do drugiego końca; mamy zatem wtedy ton niższy.

Takim sposobem z jednej struny i z jednej fujarki otrzymywać możemy różne tony, to jest tony różnej wysokości.

§ 23. Prędkość głosu.

Zdarzyło ci się może zdaleka patrzeć na armatę, z której strzelano. Dostrzegłeś wtedy zapewne błysk wcześniej, aniżeli słyszał huk. Gdybyśmy się znajdowali jednak blisko armaty, błysk i huk doszłyby do nas współcześnie. Tak samo błyskawica i grzmot razem powstają, a jednak błyskawica daleko prędzej do nas do-

biega. Gdy zdaleka na drwała rąbiącego drzewo spoglądamy, możemy dwa razy dostrzedz ruch siekiery, zanim pierwsze usłyszymy uderzenie.

Cóż z tego za wniosek? Głos na przejście pewnej drogi potrzebuje pewnego czasu; głos biegnie o wiele wolniej, aniżeli światło.

Prędkość głosu poznano w sposób następujący. Na miejscu wyniesionem ustawiono armatę A (Fig. 18); w miejscu odległym B, również wyniesionem, stanęli obserwatorowie, którzy strzali i widzieć i słyszeć jeszcze



Fig. 18.

możli. Skoro ujrzeli błysk, zaczęli liczyć sekundy, dopóki nie usłyszeli huku. Światło bieży tak szybko, że w B ujrzano je w tej samej chwili, gdy się ukazało w A. W tejże właśnie chwili w A powstał huk. Obserwatorowie w B liczyli więc sekundy, które upłynęły od chwili, kiedy głos rozległ się w A, czyli gdy ujrzeli błysk, aż do chwili, kiedy ten głos doszedł do B. Nadto odległość od A do B zmierzono starannie. Jeżeli ta odległość wynosiła 6800 metrów, huk słyszano po 20 sekundach. Jakaż jest prędkość głosu, to jest, ile metrów ubiega głos na sekundę? A więc prędkość głosu wynosi 340 metrów, czyli około 1200 stóp nowopolskich.

Człowiek szybko idący uchodzi na sekundę zaledwie 7 stóp; koń galopujący ubiega około 20, a pociąg pośpieszny około 50 stóp. Z tego można ocenić, jak szybko głos się posuwa. Kula jednak karabinowa pędzi prędzej, aniżeli głos, bo ubiega do 1750 stóp na sekundę; pocisk armatni bieży prędzej jeszcze.

Przy najsilniejszym nawet wicherze powietrze prze-

biega tylko około 150 stóp na sekundę. Widzimy więc, jak szybki jest ruch falowy w powietrzu. Jakkolwiek wszakże szybko bieży głos, to jednak prędkość jego w porównaniu z prędkością światła jest całkiem nieznaczna.

Czy mógłbyś poznać, jak daleko od nas piorun uderza? Od chwili, gdy ujrzysz błyskawicę, licz sekundy, aż do usłyszenia grzmotu. Jeżeli upłynęło 18 sekund, to jak daleko od nas piorun uderzył?

Jeżeli nie masz pod ręką zegarka sekundowego, możesz liczyć uderzenia swego tętna, czyli pulsu; cztery takie uderzenia przypadają mniej więcej na trzy sekundy. — Grzmot usłyszano po naliczeniu 48 uderzeń tętna; w jakiej odległości powstał piorun?

§ 24. Odgłos czyli echo.

Zdarzyło ci się już zapewne, że gdyś w pobliżu lasu krzyknął: hop! ktoś tym samym odpowiedział wykrzyknikiem; albo też, gdy późno w nocy, wracając i przyspieszając kroku, uderzałeś silnie o kamienie, słyszałeś, jak ktoś za tobą również głośno biegł, jakby cię gonił. Ale wiesz także, że głosy te to tylko oddźwięki własnego twego krzyku, własnych, twych stąpań, że jest to e c h o.

I to już wiesz zapewne, że echo jest odbiciem głosu, i dlatego po polsku nazwać je możemy o d g ł o s e m. Ale w jaki to sposób głos odbijać się może? Zrozumiemy to, jeżeli znowu przyjrzymy się falom na wodzie. Oto fale dobiegają do brzegu. Cóż się dzieje, skoro on uderzą? Zawracają się, to jest tworzą się koła idące, od brzegu, w kierunku przeciwnym temu, w jakim przybyły. To właśnie nazywamy odbiciem się fal.

A wiemy przecież, że głos w powietrzu rozbiega się w postaci fal, rozchodzących się na wszystkie strony w podobny sposób, jak fale wodne po jej powierzchni. Cóż więc zachodzić musi, gdy fale głosowe o jakąś zawadę uderzą, o ścianę, o las, o skałę? Skoro się odbija.

wrócą w przeciwną stronę, dopłyną do naszego ucha i przyniosą nam głos tak, jakby on pochodził od ściany, lub z lasu. Oto wyjaśnienie odgłosu.

Aby jednak głos nasz należycie wywoływał echo, powinniśmy się znajdować niezbyt blisko ściany odbijającej. Przekona nas o tem łatwy rachunek.

W ciągu sekundy wymówić możemy dziesięć zgłoszek, to jest na wymówienie jednej zgłoski potrzebujemy dziesiątej części sekundy. Aby echo powtórzyło wyraźnie wymówioną przez nas sylabę, winno wrócić dopiero wtedy, gdy my wymawianie jej ukończymy, zatem po upływie dziesiątej części sekundy, od chwili gdyśmy mówić zaczęli. Ale głos przez sekundę ubiega 1200 stóp, przez $\frac{1}{10}$ sekundy zatem 120 stóp. Aby przeto głos wrócił do nas po upływie $\frac{1}{10}$ sekundy, winien do ściany i z powrotem od niej przebieść 120 stóp, to jest ściana winna się znajdować w odległości 60 stóp.

Aby odgłos był dwuzgłoskowy, t. j. aby echo powtarzało wyraz z dwu głosek złożony, ściana winna być w odległości 120 stóp; dlaczego?

W jakiej odległości od ściany należy stanąć, aby otrzymać echo czterozgłoskowe?

Dlaczego w dzień nie słyszymy w mieście echa, gdy w nocy mury wyraźnie je odbijają?

Rozdział III.

O ŚWIETLE.

§ 25. Ciała świecące i ciemne.

Wiemy już, że każde ciało wysyła promienie ciepła, a gdy jest dostatecznie ogrzane, rozpalone, do tych promieni ciemnych przybywają i promienie jasne, świecące, czyli promienie światła. Wiemy już także, że promienie światła i ciepła nie są odmienne, ale że też same promienie świecą i grzeją.

Otoczające nas ciała są w ogólności ciemne; do świecących należą słońce, gwiazdy, oraz wszystkie ciała ziemskie rozpalone i rozżarzone. Ciała ciemne widzimy tylko wtedy, kiedy są oświetlone, to jest kiedy na nie padają promienie światła, które odrzucają, tak, że promienie od nich do naszego oka dochodzą, jakby od ciał świecących. Księżyc jest ciałem ciemnym; widzimy go tylko dlatego, że jest przez słońce oświetlony, tak samo zupełnie, jak i piec w pokoju naszym błyszczy, gdy nań padają promienie słoneczne. Mógłby kto zarzucić, że księżyc wtedy przecież świeci, gdy słońca nie widzimy; jakżeż może go ono oświetlać? Ale choć my słońca nie widzimy, niemniej promienie jego na księżyc padać mogą. Przecież lampę ustawić możemy tak, że ona oświetli figurkę stojącą na stole, chociaż my tej lampy widzieć nie będziemy.

Poznaliśmy też, że niektóre ciała, jak powietrze, przepuszczają przez siebie promienie ciepła. Tak samo mogą ciała przepuszczać i promienie jasne; są to ciała

ła przezroczyste, jak szkło, albo powietrze. Powietrze przepuszcza promienie ciemne i jasne, szkło zaś tylko jasne; dlatego promienie słoneczne mogą się do pokoju przez okna przedostać, ale ciepło, które piec wysyła, z pokoju nie uchodzi. Jakie mają znaczenie okna w cieplarniach czyli oranżeryjach? czy można je usunąć?

Szkło matowe słabiej przepuszcza promienie; nazywamy je ciałem przezświecającym.

§ 26. Cień.

Nieraz już zapewne zwracały twą uwagę smugi światła słonecznego, wdzierające się przez okna do pokoju; sądziłeś może, że te smugi właśnie stanowią światło. Tak wszakże nie jest; my nie widzimy światła, ale widzimy tylko przedmioty oświetlone. Skądże pochodzą te świetlne smugi? Oto w powietrzu unosi się zawsze mnóstwo drobnutkiego pyłku, choć go zwykle nie dostrzegamy. Ale gdy światło w pewnym kierunku do pokoju się wdziera, oświetla żywiej te pyłki, które na drodze swej napotyka i dlatego możemy je wyróżnić od pozostałych. Choć tedy światła samego nie widzimy, niemniej jednak wskutek tego oświetlenia możemy drogę jego rozpoznać.

Smugi te tedy wskazują wyraźnie, że promienie światła idą po liniach prostych, jak to już wiemy o promieniach ciepła. Ale lepszy jeszcze dowód, że światło biegnie tylko po liniach prostych, stanowi cień; gdyby bowiem mogło rozchodzić się również po liniach krzywych, okrężałoby wszelkie zawady i wszędzie mogłoby się dostać. Jeżeli zaś przechodzić może tylko drogi prostolinijne, to u każdej zawady nieprzeźroczystej zatrzyma się i tylko poza jej brzegami przejdzie. Chcąc oznaczyć krańce cienia, trzeba od światła S poprowadzić linje do brzegów ciała ciemnego M (Fig. 19); powstaje wtedy poza przegrodą przestrzeń ciemna, a na ścianie rysuje się cień. Postać cienia zależy od kształtu prze-

grody, od położenia światła i od kierunku ściany, na którą pada. Rysownicy i malarze winni zawsze baczyć, aby na obrazach swych cień należycie przedstawiali.

Kiedy cienie przedmiotów są najkrótsze w ciągu dnia? Czy w lecie, czy w zimie o tej samej godzinie cień jest dłuższy? (Ob. § 19).

Gdy stoimy blisko latarni, cień nasz jest krótki, powiększa się w miarę, jak się od niej oddalamy. Objaśnij rysunkiem przyczynę tego.



Fig. 19.

Jeżeli świecę oprowadzamy dokoła przedmiotu ciemnego, cień wraz ze świecą obraca się w różnych kierunkach. Tak samo w ciągu dnia słońce obraca się około ziemi (właściwie ziemia około swej osi), a więc cienie padają w różnych kierunkach. Możemy więc z kierunku rzuconego cienia wnosić, która jest godzina, i mieć zegar słoneczny czyli kompas.

§ 27. Natężenie światła.

Lampa pali się jaśniej aniżeli świeca, a wogóle różne źródła światła posiadają rozmałą siłę, czyli natężenie. Natężenie to zależy także od odległości, w jakiej znajdujemy się od lampy, świecy, wogóle od danego źródła światła.

Stań z książką w odległości jednego łokcia od świecy i staraj się dobrze zauważyć, jak silnie książka jest oświetlona. Następnie oddal się z książką na dwa łokcie; książka będzie słabiej oświetlona. Znajdujesz się

teraz od świecy dwa razy dalej, zdawałoby się tedy, że jeżeli na stole umieścisz świecę drugą, powinieneś od dwu tych świec otrzymać oświetlenie także samo, jak poprzednio od jednej. Tak jednak nie jest. Przystaw nawet trzecią również wielką świecę, a jeszcze nie odzyskasz oświetlenia pierwotnego. Dopiero, gdy czwartą dodasz świecę, otrzymasz w odległości dwu łokci oświetlenie równie silne, jak od jednej świecy w odległości łokcia. Z tego wypada, że gdy usunąłeś się na odległość dwa razy większą, natężenie światła jednej świecy stało się nie dwa, ale cztery razy, to jest 2×2 słabsze.

Usuń się jeszcze na łokieć, tak, że teraz znajdujesz się trzy razy od świecy dalej, niż początkowo. Poznasz, że dla przywrócenia pierwotnego blasku trzeba będzie aż 9 świec. Gdy tedy odległość powiększa się trzy razy, natężenie światła słabnie 9, t. j. 3×3 razy.

Ileż razy słabnie natężenie światła, gdy oddalamy się od niego 5, 6, 10 razy?

Wiecie może, że około słońca krąży nie tylko nasza ziemia, ale krążą inne jeszcze planety. Największa ze wszystkich planet jest Jowisz, odległy od słońca na 100 milionów mil; ziemia zaś odległa jest tylko na 20 milionów mil; ileż razy słabiej przez słońce oświetlany jest Jowisz, aniżeli ziemia?

Ponieważ promienie światła i ciepła są jednakie, przeto też sama zasada stosuje się i do ciepła; Jowisz więc jest także 25 razy słabiej, aniżeli ziemia, ogrzewany.

A teraz pytanie, dlaczego tak jest, dlaczego światło słabnie 4, 9, 16... razy, gdy odległość powiększa się 2, 3, 4... razy. Aby na to odpowiedzieć, weźmy linię AB (Fig. 20) 2 razy dłuższą od linii ab i na każdej z nich wystawmy kwadrat; widzimy, że pole pierwszego jest 4 razy większe od pola drugiego. Tak samo rysunek nauczyć nas może, że jeżeli bok jednego kwadratu jest 3, 4, 5 razy większy, aniżeli bok drugiego, to pole kwadratu jest 9, t. j. 3×3 , 16 t. j. 4×4 , 25 t. j. 5×5 razy większe.

Mamy kwadraty a, b, c (Fig. 21), ustawione w odległości 1, 2, 3 łokci od punktu S; widzimy, że pole kwadratu b jest 4, a kwadratu c 9 razy większe od a. Dajmy teraz, że w punkcie S znajduje się świeca; wtedy światło jej pada na przegrodę a. Gdy przegrodę tę usunie-

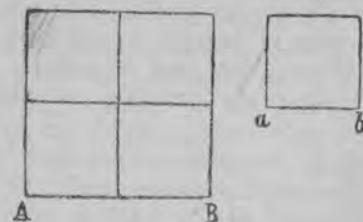


Fig. 20.

my, światło dojdzie do b, ale pole kwadratu b jest 4 razy większe; toż samo zatem światło, które poprzednio oświetlało pole kwadratu a rozchodzi się teraz po polu 4 razy większym, oświetla je przeto 4 razy słabiej. Gdy jeszcze usuniemy przegrodę b światło dojdzie do prze-

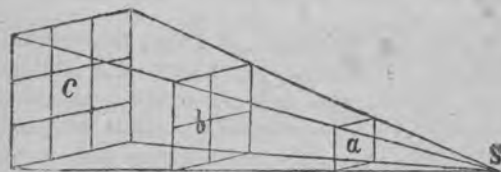


Fig. 21.

grody c, 3 razy dalszej aniżeli a, rozejdzie się po polu 9 razy większym, które przeto będzie 9 razy słabiej oświetlone.

Na tej zasadzie łatwo można ocenić, ile razy świeca jedna wydaje światło silniejsze, aniżeli druga. W niewielkiej odległości przed białą przegrodą mn (Fig. 22)

ustawiony jest pionowo pręcik *ab*; przegrodę taką zresztą urządzić sobie można z papieru, ujętego dwiema książkami, a pałeczkę zastąpić może ołówek wbity w korek, lub niezapalona świeca w lichtarzu. W pewnej odległości umieszczamy dwie świece *c* i *d*, albo wogóle dwa światła, których natężenie chcemy porównać. Oczywiście otrzymamy na przegrodzie dwa cienie. Cień wywołany przez pręt w świetle jednej będzie oświetcany przez drugą świecę, cień zaś wywołany przez drugą oświetcany będzie przez pierwszą; wypływa stąd, że

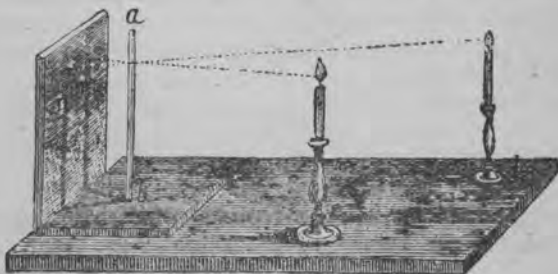


Fig. 22.

jeżeli światło jest silniejsze, to i cień odpowiedni będzie też silniejszy. Usuwamy tedy jedną albo zbliżamy drugą świecę, dopóki oba cienie nie staną się równej mocy; wtedy oba światła jednakowo silnie oświetcają przegrodę. Przypuśćmy, że jedna świeca jest w odległości jednego, a druga trzech łokci. Gdyby druga znajdowała się tuż obok pierwszej, to jest trzy razy bliżej, aniżeli się teraz znajduje, oświetlałaby przegrodę 3×3 , to jest 9 razy silniej; światło jej przeto wyrównywa światłu dziewięciu pierwszych świec.

Innym razem porównywano dwie świece, które wydały oświetlenie jednakowe, gdy jedna znajdowała się od przegrody w odległości trzech, a druga w odległości dwu stóp; jaki jest stosunek siły ich światła? Gdybyśmy obie świece umieścili w odległości jednej stopy od prze-

grody, pierwsza oświetlałaby ją 3×3 to jest 9, druga 2×2 to jest 4 razy silniej; zatem światło pierwszej świecy jest tyle razy większe od światła drugiej, ile razy 9 jest większe od czterech, czyli świeca jaśniejsza świeci przeszło dwa razy silniej.

Przy jednakowem oświetleniu przegroda lampy jest od niej odległa na 5, świeca na 3 stopy; ile razy światło lampy jest silniejsze od światła świecy?

Przyrząd taki do mierzenia natężenia światła nazywa się *fotometrem*, *fos* bowiem po grecku znaczy światło. Widzimy, że dla oceny natężenia różnych światel trzeba je porównać ze światłem pewnej, oznaczonej świecy, jak np. takiej świecy stearynowej, których idzie cztery na funt. Znaczy to, że światło takiej świecy przyjmujemy za jednostkę do mierzenia siły światła.

§ 28. Prędkość światła.

Wiemy już, że światło bieży o wiele prędzej, aniżeli głos; prędkość jego jest tak wielka, że trudno ją sobie nawet wyobrazić, jest bowiem niemal milion razy większa, aniżeli prędkość głosu. Nie mogę wam teraz opowiedzieć, jaką drogą zdołano tak olbrzymią prędkość ocenić; przytoczę tylko, że wynosi 42,000 mil, to jest, że światło przebiega na sekundę 42 tysiące mil. Aby o tak wielkiej liczbie nabrać pojęcia przypomnijmy sobie, że południk ziemski ma długości około 5400 mil; gdyby więc światło mogło się po krzywych liniach rozchodzić, to promień, przez potężną jakąś lampę wysłany, w ciągu sekundy chiełby ziemię dokoła przeszło 7 razy!

Księżyc odległy jest od nas na 50,000 mil, światło więc jego dochodzi do nas w ciągu sekundy, ale słońce oddalone jest na 20,000,000 mil, jakiegoż więc czasu potrzebuje światło na przebycie tej drogi? — Gdyby słońce nagle zgasło, widzielibyśmy je jeszcze przez osiem minut.

Gwiazdy są to bryły, do naszego słońca podobne,

ale tak dalekie, że światło dochodzi od nich do ziemi zaledwie po latach, dziesiątkach i setkach lat. Choćby więc gwiazdy dziś pogasły, długoby jeszcze nam świeciły.

Drogę od najbliższej gwiazdy światło przebiega w ciągu $3\frac{1}{2}$ lat; jak więc daleko do najbliższej gwiazdy?

§ 29. Odbijanie światła.

Igrałeś zapewne nieraz zwierciadkiem w promieniach słonecznych, wiesz już zatem, że od ciał nieprzezroczystych światło się odbija.

Umieść zwierciadko poziomo tak, aby na nie padały promienie słońca, lub też świecy. Dostrzeżesz gdzieś na ścianie lub na suficie przestrzeń jasno oświetloną, a jeżeli oko umieścisz między zwierciadłem a tą przestrzenią oświetloną, promienie światła padają na oko i oślepiają je. To uczy wyraźnie, że skoro promienie padają na zwierciadło, zmieniają dotychczasowy swój kierunek i idą inną drogą. To właśnie zjawisko nazywamy odbijaniem się światła.

Jeżeli zwierciadło obracamy, przestrzeń oświetlona zmienia swoje położenie, a stąd wnosimy, że promienie odbite w innym idą kierunku. Zamiast zwierciadła, użyć możemy płytki metalowej, deszczulki drewnianej dobrze wypolerowanej, naczynia napelnionego rtęcią, albo też wodą, jednym słowem jakiegokolwiek ciała, byleby o powierzchni dobrze wygładzonej.

Aby lepiej zrozumieć, jak światło się odbija, odwołamy się do gry w piłkę. Jeżeli piłkę sprężystą rzucamy o podłogę ukośnie, odskakuje i odbiega w stronę przeciwną; gdy piłkę rzucimy w kierunku bc (Fig. 23), to odbiwszy się w punkcie c , podniesie się w kierunku ca . Linja bc i linja ca jednakowo są ku podłodze pochylone, piłka zatem odskakuje pod tymże kątem, pod którym pada. Wiadomo wam też zapewne, co to znaczy linja prostopadła. Oto z punktu c , w którym piłka o podłogę uderzyła, wyprowadźmy do tejże podłogi prosto-

padłą cn , to oczywiście, ponieważ drogi, po których piłka bieży przy padaniu i odskakiwaniu jednakowo pochylone względem tej prostopadłej, co zwykle wyrażamy, mówiąc, że kąt bcn równa się kątowi acn . Zgodzono się zaś kąt bcn nazywać kątem padania, kąt acn kątem odbicia; powiemy tedy, że piłka i wogóle ciała sprężyste, odbijają się tak, że kąt odbicia równa się kątowi padania.

Co się dzieje, gdy piłkę rzucamy o podłogę pionowo?

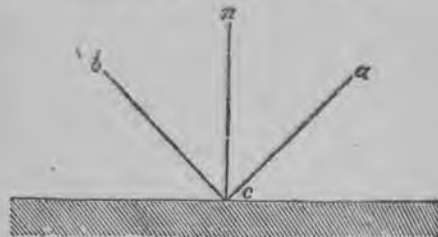


Fig. 23.

wo? Dlaczego? Czemu się wtedy równa kąt padania? Zatem i kąt odbicia także być musi zerem, a piłka odskakuje w kierunku do podłogi prostopadłym, czyli pionowym, to jest w tym samym kierunku w jakim padała.

Otóż i światło odbija się według podobnej zasady, według takiegoż samego prawa, jak i piłka. Ale nie trzeba mniemać, by można było światło do piłki porównywać, by światło miało być jakimś ciałem. Przecież i głos się odbija, a czemuż jest? Podobnie i światło jest także objawem pewnego ruchu, pewnych drgań, i rozchodzi się w przestrzeni w postaci fal, jak głos, ale drgania te są niesłychanie szybkie, a fale nader krótkie, ale tego zaraz rozbierać nie będziemy.

Aby przekonać się, czy przy odbijaniu się światła kąt odbicia równa się kątowi padania, można przez otwór w okiennicy (Fig. 24) wpuścić do ciemnego po-

koju wąską smugę światła i na jej drodze umieścić zwierciadelko. Dostrzeżemy wtedy wyraźnie smugę odbitą i poznamy, że jest tak samo pochylona, jak i smuga padającego światła. Kto posiada kątomiar, potrafi nawet wymierzyć, ile stopni ma kąt padania ABD i kąt odbicia ABC , a wtedy przekona się dokładnie, że kąty te są równe.

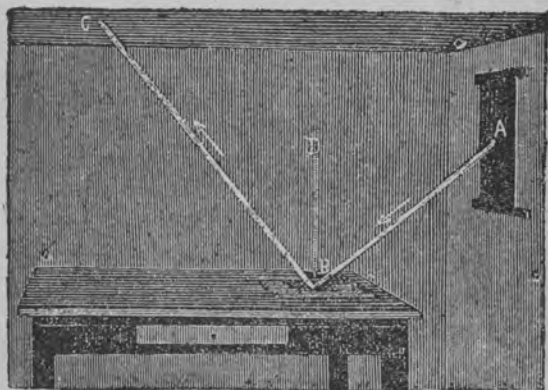


Fig. 24.

§ 30. Zwierciadło płaskie.

Kto dobrze rozumiał, cośmy mówili o odbijaniu się światła, pojmie już łatwo, dlaczego za zwierciadłem dostrzegamy obrazy przedmiotów, które się przed nim znajdują.

Na fig. 25 linja MN przedstawia nam zwierciadło, przed którym znajduje się przedmiot jakiegokolwiek, np. świecznik ABC . Z punktu A , tak samo jak z każdego innego punktu tego świecznika, wybiegają promienie na wszystkie strony; mnóstwo ich tedy pada i na zwierciadło, od którego się odbijają. Mamy tu przedstawione dwa promienie Ar i As , które po odbiciu dochodzą do oka P ; przebiegły tedy drogi złamane ArP i AsP , ale

oko sądzi o położeniu przedmiotów jedynie z tego, w jakim kierunku promienie do niego dochodzą.

Aby to lepiej zrozumieć, wyobraźmy sobie, że ktoś poza nami stojący trąca nas pięciem; czujemy, skąd uderzenie to nastąpiło i zgadujemy, gdzie znajduje się osoba, która nas trąciła. Ale jeżeli uderzono nas pięciem

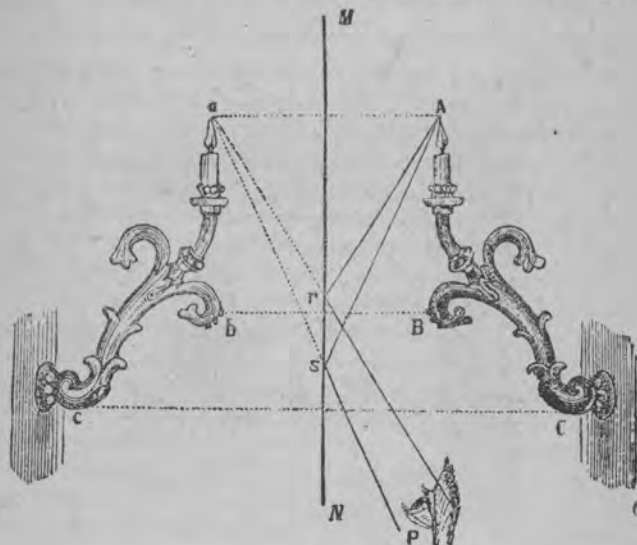


Fig. 25.

kiem złamanym abc (Fig. 26), będziemy niezawodnie mniemali, że osoba, która nas uderzyła, znajduje się w kierunku cd , gdy tymczasem stoi gdzieindziej. Sąd nasz jest błędny dlatego, żeśmy przywykli zawsze odsyłać wrażenia w tym kierunku, w jakim do nas dochodzą.

Takiemu samemu złudzeniu ulega też oko nasze. Promienie przybywają doń po odbiciu od zwierciadła w kierunkach rP i sP (Fig. 25), odsyłamy tedy wrażenie w tychże samych kierunkach i mniemamy, że promienie te pochodzą z punktu a , położonego za zwier-

ciadłem. Toż samo powiedzieć można o wszystkich innych punktach świecznika ABC, wszystkie tedy dostrześć będziemy poza zwierciadłem, tak, że tam utworzy się obraz świecznika.

Czy obraz ten rzeczywiście za zwierciadłem się znajduje? Przecież tam promienie nie dochodzą, poza zwierciadło się nie przedostają. Jest to więc tylko obraz pozorny, urojony; ten tylko go widzi, kto patrzy w zwierciadło.



Fig. 26.

Obraz jest takiej samej wielkości, jak przedmiot, i w takiej samej odległości znajduje się za zwierciadłem, jak przedmiot przed nim.

Zwierciadłem być może każda powierzchnia, byleby doskonale wygładzona. Najlepiej znacie zwierciadła szklane, ale bardzo dobre są także metalowe. Szkło jest przezroczyste; dlatego musi być na stronie tylnej pokryte ciałem nieprzezroczystym. Używa się do tego amalgamatu cyny, to jest masy złożonej z rtęci i cyny. W zwierciadle metalowem odbija więc promienie po-

wierzchnia przednia, w szklanem tylna. Można stąd łatwo poznać, czy zwierciadło jest metalowe, czy też szklane, jeżeli przyłożymy do niego ołówek końcem zastruganym. Co dostrzegasz przytem?

Tak samo postępujemy, gdy, kupując zwierciadło, chcemy poznać grubość szkła. Grubość ta wyrównywa połowie odległości między końcem ołówka a jego obrazem w zwierciadle. Dlaczego?

Ustaw dwa zwierciadła równoległe, jedno naprzeciw drugiego, a między nimi świecę. Co widzisz? Skąd bierze się ten długi szereg świec? Promienie świecy padają na jedno zwierciadło i wydają obraz, ale stąd po odbiciu padają na drugie i dają nowy obraz, i znów wracając na pierwsze, wytwarzają dalszy obraz, i t. d. Jedno i drugie zwierciadło działa jednakowo; otrzymujemy tedy niesłychane mnóstwo obrazów, których końca dojrzeć nie można. Jeżeli zamiast jednej, ustawimy dwie świece, będziemy widzieli jakby aleję świec, ciągnącą się daleko w jedną i drugą stronę.

A teraz ustaw dwa zwierciadła pochylone ku sobie pod kątem, to jest tak, jakby rozwartą książkę, i umieść znów między nimi świecę. Co teraz widzisz? Wszystkie te obrazy ustawione są w kółko, i jest ich tem więcej, im zwierciadła są bardziej pochylone ku sobie. Wytnij z papieru trójkąt i umieść go między zwierciadłami, a otrzymasz wskutek odbicia gwiazdkę, z trójkątów takich złożoną.

Znasz może piękną zabawkę, zwaną kalejdoskopem? Rurka tekturowa zawiera dwa zwierciadła ku sobie pochylone; dno jej zamknięte jest szkłem matowym, ponad którem znajduje się drugie denko szklane przezroczyste, a między te oba denka wysypuje się szkiełka różnobarwne, piórka, kamyczki przeświecające i t. p. Drugi koniec rurki zamknięty jest denkiem tekturowem, posiadającym wązki otworek.

Szkiełka między denkami rozrzucone są bezładnie, ale widok ich przez odbicie w dwu zwierciadłach powtarza się kilkakrotnie w jednakowy sposób, a stąd po-

wstaje bardzo ładna gwiazdka. Jeżeli kalejdoskop choćby cokolwiek odwrócimy, szkiełka przesypują się i otrzymujemy już gwiazdkę odmienną. W ten sposób wraz z obrotem rurki tworzą się coraz nowe gwiazdki, co stanowi widok zajmujący i piękny. Stąd to poszła i nazwa tej zabawki, bo *kalos* po grecku znaczy piękny.

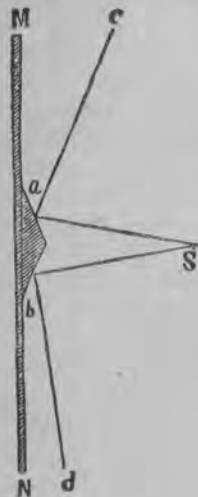


Fig. 27.

Mówimy ciągle, że zwierciadła winny być doskonale wygładzone, a czyż powierzchnie niegładkie, szorstkie, chropowate, jak naprzykład ściany, nie odbijają światła? Oczywiście odbijają także, ale promienie odbite od różnych chropowatości do oka naszego nie dochodzą razem, jak na fig. 25, i obraz się nie tworzy. Aby to lepiej zrozumieć, przyjrzyjmy się fig. 27; linia *M N* wyobraża ścianę, której chropowatość przedstawiona jest w powiększeniu przez osadzoną na niej wyniosłość, padające na nią promienie *S a* i *S b* po odbiciu idą w kierunkach *a c* i *b d* i do oka razem nie dochodzą. Mówimy więc, że ściany rozpraszają światło. Tak samo działa i powietrze; rozprasza ono światło na wszystkie strony. Co by się działo, gdyby ziemia nie posiadała atmosfery? Przypomnij sobie, cośmy mówili o ciepłe promienistym (§ 18). Widno byłoby tam tylko, gdzie promienie słoneczne dochodzą bezpośrednio, w cieniu zaś panowałaby noc najczarniejsza.

Po zachodzie słońca ciemność nocna zwolna tylko, nie nagle zapada. Słońca już nie widzimy, ale promienie jego dochodzą jeszcze do górnych warstw atmosfery, tak jak lampka, trzymana nieco niżej i z boku stołu, stołu tego już nie oświetla, choć promienie jej rozjaśniają górną część ściany i sufit. Od tych wyż-

szych warstw atmosfery promienie słoneczne odbijają się, rozpraszają na wszystkie strony i rozjaśniają przez pewien czas mroki nocne.

W pokojach panuje także światło rozproszone. Wtedy tylko, gdy promienie przez okna się wdzierają, mamy bezpośrednie światło słoneczne.

§ 31. Zwierciadło kuliste.

Zwierciadło, jak już wiemy, winno być należycie wygładzone, ale nie idzie za tem, aby musiało być płaskie; mogą tedy być zwierciadła o powierzchni krzywej. Nieraz już zapewne dostrzegałeś, że wyroby metalowe pokrzywione, byle wygładzone, jak naprzykład naczynia różnych kształtów, podstawy lamp i t. p., dają obrazy przedmiotów otaczających. Zwróciło to też zapewne twą uwagę, że obrazy te nie są już zupełnie podobne do przedmiotów, jak w zwierciadłach płaskich, ale wydłużone lub rozszerzone, często do niepoznania zmienione, zmniejszone lub zwiększone.

Wiesz zapewne, co to jest kula, walec, stożek, czyli ostroką, znasz więc powierzchnię kulistą, walcową, stożkową; są zresztą i inne jeszcze powierzchnie. Zwierciadła tedy krzywe mogą być bardzo rozmaitych postaci. Najważniejsze z nich są wszakże zwierciadła kuliste i o nich tylko mówić tu będziemy; dają zawsze obrazy zupełnie podobne do przedmiotów, ale powiększone lub zmniejszone.

Zwierciadła kuliste mogą być wklęsłe lub wypukłe, jak to łatwo pojąć można. Każda wygładzona kula metalowa przedstawia zwierciadło wypukłe; o zwierciadło wklęsłe też nie trudno, a kto się o nie postara, dostrzeże mnóstwo ciekawych zjawisk. Szkiełko od zegarka, jeżeli ma formę kulistą, pokryte amalgamatem cyny od strony wypukłej, stanowi zwierciadło wklęsłe.

Wziąwszy zwierciadło wklęsłe w rękę, zwróć je ku słońcu, tak, aby promienie jego na nie padały; w drugą zaś rękę weź ćwiartkę białego papieru, któ-

rażę trzymaj przed zwierciadłem, tak wszakże, aby promieni słonecznych nie zakrywała. Pochylając wtedy nieco zwierciadło, dostrzeżesz na papierze jasne kółko. Jeżeli papier przesuwając będziesz w jedną lub drugą stronę, kółko to powiększać się będzie i blednąć, lub też zmniejszać się i nabierać jasności. Uchwycisz wszakże łatwo położenie takie, w którym kółko stanie się nader drobnem, prawie tylko punkcikiem i będzie oślepiającą jasności. — Skądżeż się to kółko bierze?

Odbijanie się to promieni słonecznych od zwierciadła wklęsłego objaśnia fig. 28. Linje AB, CD, — GH

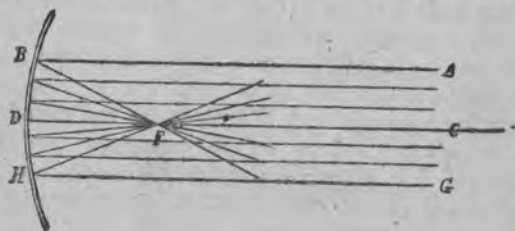


Fig. 28.

i t. d. przedstawiają promienie słoneczne, słońce bowiem jest tak daleko, że promienie jego trzeba uważać jako linje równoległe. Po odbiciu promienie idą w kierunkach BF, DF, HF i t. d., zatem blisko się z sobą schodzą i tworzą jasny punkt, a raczej małe, jasne kółeczko.

Jasne więc to kółeczko stanowi obraz słońca. Widzimy naprzód, że obraz ten jest zmniejszony, bo stanowi prawie punkcik tylko. Ale nadto obraz taki zupełnie jest odmienny, aniżeli w zwierciadle płaskim. Tam on rzeczywiście nie istniał, był tylko pozorny, urojony; tu zaś tworzy się istotnie, promienie schodzą się w jednym miejscu. W zwierciadle płaskim ten tylko dostrzega obraz, kto w nie spogląda; tu widzi go każdy, kto na papier patrzy; jest to więc obraz rzeczywisty.

Ale wiemy, że promienie światła są zarazem promieniami ciepła; w tym punkcie, gdzie skupiają się

promienie słoneczne, będzie też i silne działanie ciepła. Dostycy potrzymać w tem miejscu rękę, aby się o tem przekonać, jeżeli do jasnego kółka na papierze przyłożymy zapalną, po kilku chwilach zaplonie.



Fig. 29.

Dlatego punkt, w którym tworzy się obraz słońca, nazywa się ogniskiem, a zwierciadło wklęsłe palącym. Już starożytni znali tę własność zwierciadeł wklęsłych; opowiadali nawet, że Archimedes tym sposobem palił okręty rzymskie, stojące w porcie Syrakuz. Niepodobna jednak temu wierzyć. Aby bowiem zwierciadła wklęsłe mogły tak potężne skutki wywierać, musiałyby być bardzo wielkie (dlaczego?), a wyrób olbrzymich zwierciadeł przedstawia tak wielkie trudności, że i dziś nie zdołano ich wyrobić, co dopiero w czasach,

gdy sztuka ich wyrabiania na bardzo niskim jeszcze stała stopniu.

Słońce stanowi przedmiot nieskończenie od zwierciadła daleki; zobaczmy, jaki otrzymamy obraz, jeżeli przedmiot będzie bliżej, lubo jeszcze od zwierciadła daleko, jak np. dom odległy (Fig. 29). I teraz obraz jest

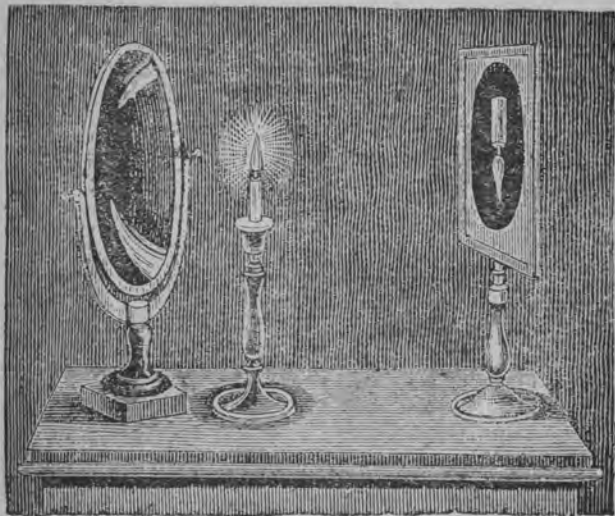


Fig. 30.

rzeczywisty, rysuje się na papierze, każdy go widzi, kto na papier spojrzy; nadto jest zmniejszony i odwrócony. Jest to widok prawdziwie zachwycający, jak wszystkie szczegóły przedmiotu wiernie się odtwarzają.

Możemy przedmiot umieścić jeszcze bliżej zwierciadła, jak np. świecę (Fig. 30). I teraz otrzymamy obraz rzeczywisty, ale będzie się on znajdował dalej od zwierciadła, aniżeli przedmiot, będzie także odwrócony, ale powiększony; płomień świecy rysuje się w olbrzymiej postaci na odległej przegrodzie, na ścianie, lub drzwiach.

Ale rzecz cała zmienia się zupełnie, jeżeli przedmiot znajdzie się już bardzo blisko zwierciadła, bliżej, aniżeli ognisko. Obrazu rzeczywistego już niema; tworzy się obraz za zwierciadłem, dokąd oczywiście promienie już nie dochodzą. Jest to więc obraz urojony, jak w zwierciadle płaskim, ale powiększony. Obraz ten maleje w miarę tego, jak przedmiot bliżej do zwierciadła przystępuje. Zwierciadło wklęsłe stanowi więc wtedy z zwierciadło powiększające.

Zwierciadło wypukłe każdemu jest znane. — W ogrodach często umieszczają się dla ozdoby kule, w których widzimy obrazy przedmiotów otaczających w zmniejszeniu. Zwierciadło wypukłe daje zawsze obrazy urojone i zmniejszone, jest tedy zwierciadłem zmniejszającym.

§ 32. Załamywanie światła.

Wiemy, że światło rozchodzi się tylko po liniach prostych; jeżeli wszakże przechodzi z jednego ciała do innego, jak z powietrza do wody lub szkła, wtedy zbacza z pierwotnego swego kierunku, promień zatem światła załamuje się.

Aby się o tem przekonać, połóż na dno talerza głębokiego lub miseczki o ścianach nieprzezroczystych drobny jaki przedmiot, jak np. monetę *m* (Fig. 31); następnie usuń się tak daleko, aby ci brzegi naczynia przedmiot ten zasłoniły. Niech wtedy kto inny naleje do naczynia wody, tak ostrożnie, by moneta z miejsca się nie poruszyła; aby ją od tego uchronić, można ją przylepić woskiem. W tej chwili ujrzysz znowu monetę, ale wydawać ci się będzie położoną wyżej.

Cóż tu zająć mogło? Ani moneta miejsca swego nie zmieniła, ani tyś głową nie poruszył. Promień tedy *mo*, który poprzednio do oka nie dochodził, gdyż go zatrzymywały brzegi naczynia, niewątpliwie kierunek swój odmienił musiał i przy wyjściu z wody poszedł po linii kropkowanej. Ponieważ zaś, jak już wiemy (§ 30), oko

odsyla wrażenie zawsze w tym kierunku, w jakim je otrzymuje, dlatego monetę widzieć będziemy w miejscu *n*.

Uważałeś też zapewne nieraz, że pręt, ukośnie w wodę wprowadzony, wydaje nam się złamany w tem miejscu, w którym się z powierzchnią wody styka. Jest to także wynik załamania się światła.



Fig. 31.

Na papierze nakreśl linię prostą i ustaw na niej szklanekę napelnioną wodą, lub też grube szkło, tak, by linja z obu stron poza nie sięgała. Jeżeli wtedy z góry na wodę lub na szkło ukośnie patrzeć będziesz, część linji pod niemi będąca wyda się podniesioną wskutek załamania światła. Jeżeli wszakże oko trzymamy wprost nad szkłem lub wodą, widzieć będziemy linię nieprzerwaną. W tym ostatnim razie promienie, idące od linji do naszego oka, padały na powierzchnię wody prostopadle; promienie więc prostopadle przechodzą z jednego ciała do drugiego bez załamania.

Załamania światła tłómaczy nam, dlaczego stawy i rzeki, zawierające wodę przezroczystą, wydają nam się płytsze, a ryby ukazują się bliżej powierzchni wody, aniżeli są istotnie. Ale to tylko tak się przedstawia oku

patrzacemu na wodę ukośnie; gdy patrzymy wprost z góry, złudzenia tego nie znajdujemy.

Oko nasze, podobnie jak i inne zmysły, nieraz złudzeniom ulega. Trzeba zawsze umieć dokładną sobie zdawać sprawę z wrażeń, jakie odbieramy; często może być w błędzie człowiek, który mówi: „na własne oczy to widziałem“.

§ 33. Soczewki.

Każdy z was zna szkło palące. Jest to szkło z obu stron wypukłe, jakby utworzone z dwu odcinków

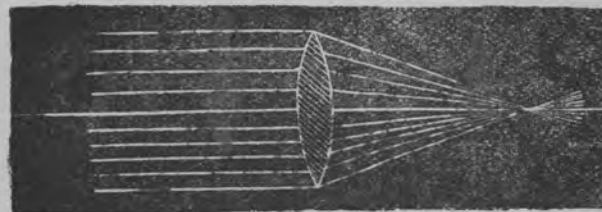


Fig. 32.

kuli; postać taką otrzymamy, jeżeli złożymy dwa szkiełka od zegarka. Szkla takie nazywają się soczewkami. Szkło palące jest to soczewka wypukła.

Gdy soczewkę wypukłą zwrócimy ku słońcu, a poza nią trzymamy ćwiartkę papieru, otrzymamy na niej małe, jasne kółko. Skąd ono pochodzi? Promienie słoneczne w przejściu przez soczewkę załamują się tak, że schodzą się w jednym miejscu. Soczewka zatem wypukła zbiera promienie słoneczne; jest to soczewka zbierająca. Jeżeli papier zbliżamy lub oddalamy od szkła, jasne to kółko powiększa się lub maleje, a można uchwycić takie położenie, w którym kółko to jest najmniejsze, tak, że stanowi prawie jeden tylko punkt. Jest to więc punkt, w którym się promienie słoneczne schodzą po przejściu przez soczewkę; przebieg ich wskazuje fig. 32.

Punkt ten daje obraz słońca; jest to obraz rzeczywisty, bo promienie istotnie przez szkło przechodzą.

Oczywiście w punkcie tym jest bardzo gorąco. Proch lub zapalka, w tem miejscu trzymane, zapalają się; w papierze nawet wypala się dziurka, a łatwiej w czarnym, aniżeli w białym; dlaczego? (Ob. § 18).

Punkt, w którym zbiegają się promienie słoneczne, nazywa się, podobnie jak w zwierciadle wklęsłym, ogniskiem.

Nie napróżno przypomnieliśmy tu zwierciadło wklęsłe. Przedstawia ono uderzające podobieństwo do soczewki wypukłej; powtarzają się tu też same zjawiska, które tam poznaliśmy.

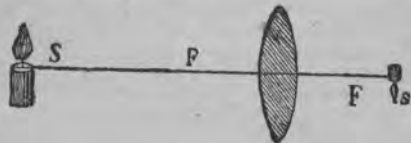


Fig. 33.

I tak, jeżeli przedmiot znajduje się daleko od soczewki, otrzymujemy poza nią obraz rzeczywisty, zmniejszony i odwrócony; tak świeca *S* wyda obraz *s* (Fig. 33); przedstawi się on na papierze, podobnie jak na Fig. 29 i 30, jakby to był obraz wiernie odmalowany. Obraz ten przypada blisko soczewki, nieco dalej, aniżeli jej ognisko *F*; a gdy przedmiot zbliża się do soczewki, obraz się od niej oddala i zarazem rośnie. Nie trudno znaleźć położenie, w którym umieścić należy papier biały, aby na nim wyraźny obraz przedmiotu otrzymać.

Jeżeli zaś przedmiot *S* (Fig. 34) znajduje się dosyć blisko soczewki, niewiele poza jej ogniskiem, to obraz *s* rysuje się dalej i tem więcej trzeba usuwać papier, na którym się ten obraz rysuje, im przedmiot jest bliżej ogniska. Otrzymujemy wtedy obraz rzeczywisty i odwrócony, ale znacznie powiększony.

Gdy nakoniec przedmiot umieszczony będzie bardzo

blisko soczewki, bliżej, aniżeli jej ognisko, zachodzi znowu toż samo, co w podobnym przypadku w zwierciadle wklęsłym: obraz staje się urojonym. Należy tu tylko pamiętać o jednej różnicy. W zwierciadłach wklęsłych

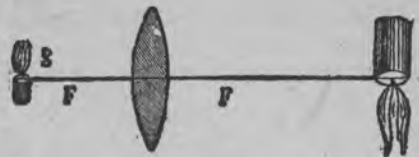


Fig. 34.

obrazy rzeczywiste tworzą się z tej samej strony, co przedmiot, a w soczewkach ze strony przeciwnej. Promienie bowiem światła przez soczewki przechodzą, ale poza zwierciadło nie przedostają się. Obrazy natomiast urojone tworzą się za zwierciadłami, a w soczewkach powstają z tejże strony, z której znajduje się przedmiot. Jeżeli więc umieścimy drobny przedmiot, jak n. p. ro-

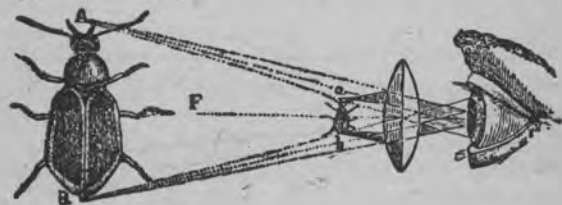


Fig. 35.

baczka *a b* (Fig. 35), blisko soczewki, to, patrząc w nią, zamiast tego przedmiotu widzieć będziemy jego obraz *AB*, powiększony i nieodwrócony. W tym razie soczewka wypukła staje się szkłem powiększającym. Tak samo jak zwierciadło wklęsłe jest palące i powiększające, tak też soczewka wypukła jest szkłem zarazem palącym i powiększającym.

Soczewka wypukła jest grubsza w części środkowej aniżeli po brzegach; ale jest inny jeszcze rodzaj soczewek, które w środku są cieńsze aniżeli po brzegach. Są to soczewki wklęsłe.

Jeżeli przez soczewkę taką patrzymy na jakiegokolwiek przedmiot, widzimy je zawsze zmniejszone i zbliżone, jak na Fig. 36, zamiast urny A B, jej obraz *a b*. Jest to obraz urojony, bo przypada z tej samej strony, co

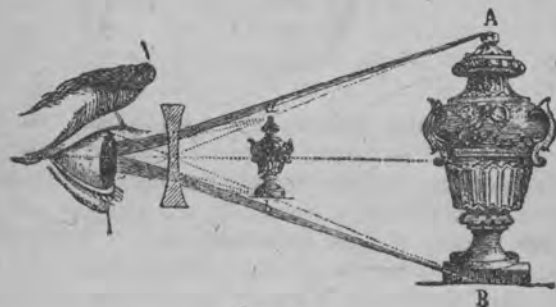


Fig. 36.

przedmiot, i ten tylko go widzi, kto w soczewkę patrzy. Soczewki tedy wklęsłe dają zawsze obrazy urojone, zmniejszone, nieodwrócone i zbliżone. Są to szkła zmniejszające.

Widzimy też, że odpowiadają one zupełnie zwierciadłom wypukłym.

Soczewki są to przyrządy niesłychanie użyteczne, zarówno w nauce, jak w życiu powszednim. Jeżeli soczewka wypukła powiększa dość silnie, tak, że można nią dokładnie rozglądać drobniejsze części roślin, jak pylniki pręcików, znamiona szupków, albo zalążki w związkach, nazywa się *lupa* i jest niezbędną przy nauce botaniki. Gdy powiększa silniej jeszcze, nazywa się *mikroskopem pojedynczym*. Silniejsze powiększenia otrzymać można dopiero zapomocą *mikroskopów złożonych*, t. j. przyrządów, składają-

cych się z dwu lub więcej soczewek, we właściwy sposób ze sobą zestawionych i umieszczonych we wspólnej rurze. Za pomocą takich mikroskopów rozpatrywać można tkanki i komórki roślinne i zwierzęce.

Przez inne znów połączenie soczewek zbudować można przyrządy do rozpatrywania bądź przedmiotów bardzo oddalonych na ziemi, bądź też ciał niebieskich: słońca, księżyca, planet. Takie przyrządy nazywają się *lunetami*, gdy składają się z samych soczewek; jeżeli zaś zawierają nadto zwierciadła wklęsłe, noszą zwykle nazwę *teleskopów*.

Wiemy też, że gdy przedmiot znajduje się blisko soczewki, albo nieco dalej, aniżeli jej ognisko (Fig. 34), otrzymujemy obrazy powiększone. Gdy więc umieścimy tam malowidła jakiegokolwiek, silnie oświetlone, otrzymamy na stosownej zasłonie papierowej lub płóciennej obrazy powiększone, bardzo wyraźne. Przyrząd do tego służący nazywa się *latarnią czarnoksiąską*. Jest to bardzo piękna zabawka; znasz ją zapewne. Malowidła te przedstawiać mogą różne zabawne figurki i wtedy latarnia taka stanowi igraszkę dla dzieci. Ale też mogą to być widoki pewnych okolic, albo też rysunki naukowe, które tym sposobem otrzymujemy w znacznym powiększeniu; latarnia staje się tedy przyrządem bardzo użytecznym przy wykładzie różnych nauk. Pamiętać tylko należy, by malowidła umieszczane były w latarni odwrócone: dlaczego?

Wiemy dalej, że gdy przedmioty są znacznie od soczewki oddalone, otrzymujemy obrazy także rzeczywiste, ale zmniejszone (Fig. 33). Obrazy te są tak dokładne i wyraźne, że kto tylko je widział, zapragnął niezawodnie obraz ten na papierze na zawsze zachować. Długo nad tem myślano, aż poznano nakoniec takie ciała, takie związki chemiczne, które ulegają działaniu światła. Chlorek srebra jest ciałem białym, ale skoro go wystawimy na promienie światła, natychmiast czernieje. Na stosownie tedy przygotowanej płycie obraz wywołany przez soczewkę pozostawia trwały ślad. Aby *wszakże*

plytę taką uchronić od wpływu światła ubocznego, umieszcza się ją w stosownej skrzynce, zwanej ciemnią optyczną; soczewka mieści się w przedniej jej części naprzeciwko płyty. Ta płyta zastępuje papier biały, używany przez nas za tło, na którym rysowały się obrazy rzeczywiste. Sztuka utrwalania obrazów soczewkowych nazywa się fotografią.

§ 34. Barwy czyli kolory.

Widziałeś pewno ognie bengalskie. Palą się one różnemi barwami, rozsyłają światło rozmaitych barw.

Widziałeś też zapewne nieraz, że przez szkło czerwone przechodzi światło czerwone, przez szkło niebieskie światło niebieskie.

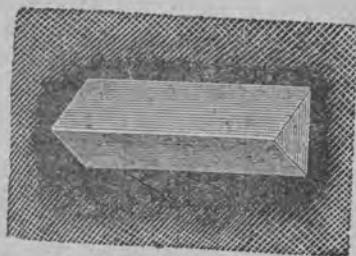


Fig. 37.

Czem tedy jest barwa? Jest to tylko światło pewnego rodzaju; jak głosy są różnej wysokości (§ 22), tak światło być może rozmaitych barw.

Nieraz też zapewne spoglądałeś przez szlifowane szkiełka od żyrandola i zajmowały cię żywe barwy, które się w nich mieniły. Skąd one tam powstają? Aby na pytanie to odpowiedzieć, trzeba rzecz tę bliżej rozważyć.

Zamiast szkiełka oszlifowanego w bryłkę o licznych ścianach jak u żyrandoli, użyjmy szkła, mającego postać graniastoslupa trójkątnego (Fig. 37); bryła taka na-

zywa się też pryzmatem i tę właśnie nazwę nadajemy zwykle szklę, w ten sposób oszlifowanemu. Zobaczymy, jakim zmianom ulega wiązka czyli smuga światła, gdy przez pryzmat szklany przechodzi.

W pokoju, do którego wdzierają się promienie słoneczne, ustawmy niedaleko okna arkusz grubej tektury,

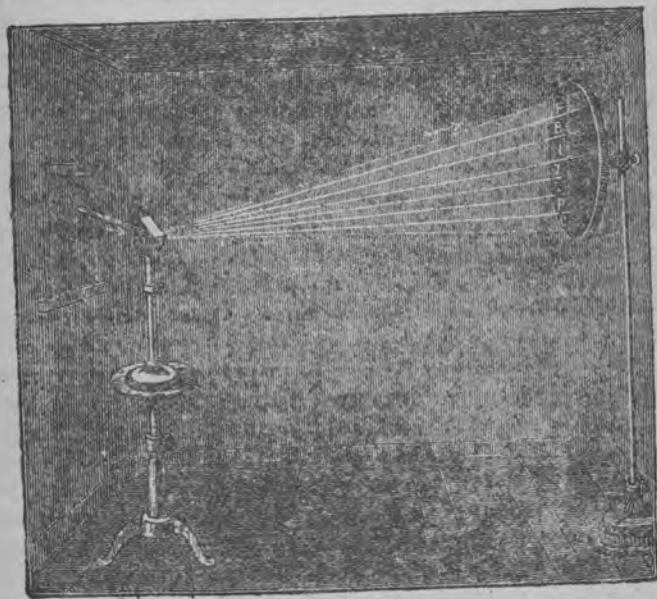


Fig. 38.

w którym przewiercono mały okrągły otworek (Fig. 38). Oczywiście przez otworek ten przejdzie wiązka światła, tak, że gdzieś na przeciwległej ścianie, albo na podłodze, stosownie do kierunku padających promieni, odrysuje się jasne kółeczko. A teraz poza przegrodą, na drodze promieni ustawmy pryzmat, jak figura wskazuje. Jakiego zjawiska możemy wtedy oczekiwać? Ponieważ promienie w przebiegu przez pryzmat ulegną dwukrot-

nemu załamaniu, przy wejściu do szkła i przy wyjściu z niego w powietrze, spodziewać się można, że promienie zmieniają swój kierunek, a kółko odrysuje się w innym miejscu. Promienie rzeczywiście załamują się, ale występuje inne niespodziane zjawisko. Zamiast kółka rysuje się na ścianie, lub na umyślnie ustawionej zasłonie, pas podłużny światła różnobarwnego. Barwy te są bardzo piękne i żywe, i idą w porządku następującym: czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, jasno-niebieska, ciemno-niebieska (błękitna) i fioletowa, a cały obraz ten nosi nazwę w i d m a. Dodać należy, że oddzielne barwy nie są między sobą odgraniczone ostro, wyraźnie, ale jedne w drugie przechodzą stopniowo.

Ze smugi tego światła zwykłego, białego, powstały promienie różnych barw. Różnobarwne te światła nie utworzyły się w pryzmacie; istniały więc już poprzednio w zwykłym świetle dziennym. Zwykle przeto białe światło jest wynikiem połączenia światel różnych barw, a w przejściu przez pryzmat dzieli się, r o z s z c z e p i a na barwy oddzielne. Po przejściu przez pryzmat promienie zmieniają pierwotną swą drogę i odstupują od niej, przyczem czerwone zbaczają najmniej, pomarańczowe więcej, żółte jeszcze więcej i t. d., najwięcej zaś fioletowe. Widzimy tedy, że promienie różnych barw załamują się rozmaicie silnie, czerwone najslabiej, fioletowe najsilniej. W pierwotnej wiązce światła biegly razem, po załamaniu musiały się rozdzielić, rozszczepić.

Barwy widmowe są zresztą znane każdemu, bo one to właśnie stanowią też b a r w y t ę c z o w e. Rzeczywiście, tęcza powstaje w pewnych warunkach przez rozszczepienie światła w kropelkach deszczu.

Światło więc zwykle, białe, jest światłem złożonym z różnych barw. W mieszaninie barw oko nie różnia barw oddzielnych, ale łączy je w jedną i otrzymuje jedno złożone wrażenie. Jeżeli zatem wszystkie barwy widmowe znów złączymy, otrzymamy wrażenie światła białego. A jakże je znów złączyć? Oto zamiast zasłony na drodze promieni rozszczepionych ustawiamy

soczewkę wypukłą, która je znów zbiera razem: tworzy się wtedy kółeczko białe. Widoczny to dowód, że światło białe jest wynikiem połączenia wszystkich barw widmowych.

Tak samo, jeżeli zmieszamy dwie farby, otrzymamy już inną, a w tej mieszaninie oko nie rozróżni farb użytych. Ale nawet farby, których zwykle używamy, mają już barwy złożone a nie pojedyncze. Barwa żółta w widmie jest nie złożona, ale powstaje też przez zmieszanie barwy czerwonej z zieloną.

Jak wytlómaczymy sobie teraz barwy różnych ciał? Skąd to pochodzi, że ciała są czerwone, zielone, niebieskie? Ciała widzimy wskutek tego, że odbijają czyli odrzucają padające na nie światło. Ale nie każde ciało wszystkie promienie odrzuca; wiemy już przecież (§ 18), że ciała pochłaniają promienie słoneczne. Jeżeli ciało odrzuca wszystkie padające nań promienie, a żadnych nie pochłania, przedstawia się oku jako białe. Jeżeli natomiast wszystkie pochłania, żadnych zaś nie odrzuca, do oka od tego ciała światło wcale nie dochodzi; wydaje się nam oho czarne. Właściwie tedy ciał czarnych nie widzimy wcale. W ciemności żadne ciało nie odrzuca promieni, bo żadne promienie nań nie padają; dlatego to w nocy wszystkie ciała są czarne. W dzień dostrzegamy ciała czarne, gdyż stanowią sprzeczność z ciałami rzeczywiście oświetlonymi. Jeżeli zaś ciało odrzuca wszystkie promienie, ale słabo, czyli dosyć silnie je pochłania, jest szare. Barwa szara jest to mieszanina białej z czarną; papier gęsto zadrukowany albo suknia gęsto kratkowana, czarno i białą, wydają się zdaleka szare.

Przeważna wszakże ilość ciał odrzuca tylko niektóre z promieni, składających światło białe; ciało takie jest już barwne, kolorowe. Jeżeli ciało odrzuca tylko promienie czerwone, lub tylko niebieskie, a inne pochłania, będzie czerwone, lub niebieskie. Chociaż bowiem oświetlone jest światłem białym, t. j. chociaż padają na nie wszystkie promienie barwne, ciało to jednak

odsyla tylko czerwone, lub tylko niebieskie. Te więc tylko promienie do oka naszego dochodzą, a ciało wydaje się ubarwionem.

Jeżeli ciało odrzuca tylko żółte promienie, jest żółte, ale gdy odrzuca jednocześnie promienie czerwone i zielone, będzie także żółte, oko bowiem łączy te barwy w jedną. W pierwszym razie barwa żółta byłaby pojedyncza, w drugim złożona. Kolory wszystkich prawie ciał są złożone.

Ciało białe, oświetlone światłem czerwonym, wydaje się czerwonym. Dlaczego? Gdy bowiem padają na nie jedynie tylko promienie czerwone, to je tylko odbijać może.

Czy więc barwa ciała jest jego własnością niezmienną? Zależy od dwu okoliczności: od zdolności odbijania promieni, t. j. od rodzaju promieni, które ciało odbijać może, i od oświetlenia.

Alkohol, paląc się, wydaje światło bardzo blade, gdy jednak knot lampki spirytusowej natrzemy solą kuchenną, płomień stanie się natychmiast jasnym, barwy silnie żółtej. Sól kuchenna bowiem zawiera w sobie ciało zwane sodem, dlatego, że ono także wchodzi w skład sody, a para sodowa barwi płomień na żółto. Taki tedy płomień oświeca w nocy pokój światłem żółtym, a wszystkie przedmioty okazują się wtedy inaczej zabarwione, aniżeli przy świetle dziennym. Przedmioty białe stają się żółtymi; dlaczego? Żółte okazują jeszcze żywszą barwę żółtą, aniżeli za dnia, czerwone zaś wydają się czarnymi. Ciała bowiem czerwone odbijają tylko promienie czerwone, inne pochłaniają. Skoro tedy oświeca je światło tylko żółte, nie odbijają żadnych zgoła promieni, stają się więc czarnymi. Przy takim oświetleniu sodowem ludzie nabierają barwy żółtej, a rumiane lica i czerwone wargi ukazują się czarnymi, twarze wydają się trupiami.

I zwykle nasze oświetlenie wieczorne, światło świec, lamp, gazu, także jest żółte; dlaczego jednak powyższego złudzenia nie dostrzegamy? Jakkolwiek pło-

mień świecy na pozór jest tak samo żółty, jak płomień sodowy, zachodzi między nimi znaczna różnica. Płomień sodowy wydaje jednorodne światło żółte, płomień zaś świecy wysyła promienie różnych barw, z przewagą tylko żółtych, jak o tem łatwo przekonać nas może pryzmat (w jaki sposób). Dlatego przy zwykłym oświetleniu wieczornem przedmioty nie tak bardzo ubarwienie swe zmieniają. Wiadomo jednak, że wieczorem zamiast rękawiczek białych używać można żółtych; właściwie to nie żółte wydają się białe, ale białe nabierają odcienia żółtego; dlaczego?

Przy różnobarwnych ogniach bengalskich łatwo można zauważyć, jak silnie barwy przedmiotów zależą od barwy oświetlenia.

Rozdział IV.

O MAGNETYZMIE.

§ 35. Magnes.

Znasz niewątpliwie magnes i wiesz, że jest to pręt żelazny, mający własność przyciągania żelaza. Magnes ten nazywa się sztucznym. Może on być wyrobiony z pewnego gatunku żelaza, ze stali, przez pocieranie go innym magnezem sztucznym, lub też magnezem naturalnym. Magnes naturalny jest to minerał, znajdujący się głównie w Szwecji. Jest on pewną rudą żelazną, szczególnym związkiem żelaza z tlenem, o którym już nieraz mówiliśmy; w mineralogji ruda ta nosi nazwę żelaziaka magnetycznego. Inne rudy żelazne własności magnetycznych całkiem nie posiadają.

O magnes zresztą nie trudno; do znanych zabawek magnetycznych, np. rybek lub czółenek, sprzedający dodają zawsze magnes.

Uwiąż na nitce klucz, gwóźdź, lub jakikolwiek pręt żelazny i zbliżaj go zwolna do jednego z końców magnesu (Fig. 39). Nitka odchyła się z położenia pionowego i kierunkiem swoim okazuje widocznie, że magnes przyciąga żelazo. Gdy bardziej jeszcze przedmiot ten żelazny ku magnesowi zbliżymy, zetknie się on z nim zupełnie i pozostanie do niego dość silnie uczepony.

Pomiędzy magnezem a żelazem umieść kartkę papieru, tafelkę szkła, deszczulkę drewnianą; nitka zacho-

wa ukośne położenie; przegrody te nie osłabiają zgola przyciągania magnetycznego. Igła umieszczona na papierze posuwa się niewolniczo za magnesem, który pod papierem trzymamy.

Uwiąż u nitki jakikolwiek drobny przedmiot mosiężny, srebrny, złoty, albo też drewniany, szklany, a nitka w pobliżu magnesu zachowa kierunek pionowy. Wpływowi magnesu ulega tedy jedynie tylko żelazo. Poznano wszakże, że gdy magnes jest bardzo wielkiej siły, działa on i na inne metale, a nawet na wszystkie ciała.

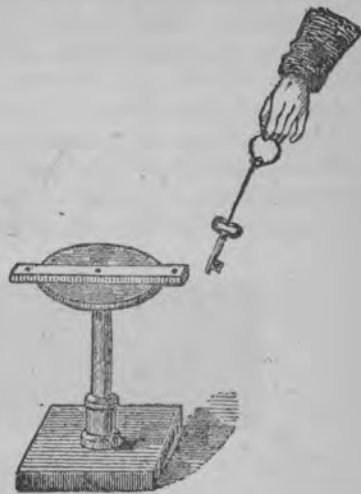


Fig. 39.

Uwiąż teraz u nitki magnes i zbliżaj go ku jakemukolwiek kawałkowi żelaza. Nitka odchyli się tak samo, jak na Fig. 39. Magnes więc i żelazo nawzajem się przyciągają.

§ 36. Bieguny magnesu.

Klucz uwiązany u nitki (Fig. 39) zbliż do drugiego końca magnesu; będzie on przyciągany tak samo, jak w końcu pierwszym. Ale przesuwaj go teraz ku środkowi magnesu; przyciąganie będzie coraz słabsze, a około środka ustaje zupełnie, po drugiej zaś stronie przyciąganie wzrasta znów aż do końca magnesu.

Różne tedy miejsca magnesu, różne jego punkty, okazują działanie niejednakowe. W pobliżu każdego końca znajduje się punkt, w którym działanie jest najsilniejsze; dwa te punkty nazywają się biegunami

magnesu. Przestrzeń zaś środkowa, w której nie występuje żadne zgoła działanie magnetyczne, nazywa się *pasem obojętnym* albo *strefą obojętną*.

Różnice te lepiej jeszcze uwydatnić można za pomocą opilek żelaznych, które otrzymać możesz od każdego ślusarza. Między opilkami temi mogą być i opilki innych metali; jak je rozdzielisz? W opilki te zanurz magnes *a b* (Fig. 40): gdy go wyjmiesz, ujrzysz po obu jego końcach osobliwe narośle, jakby brody, utworzone z opilek. Opilki zbierają się głównie u biegunów, a w strefie obojętnej, t. j. w pośrodku, nie przylegają zgoła do magnesu.



Fig. 40.

Należy się teraz przekonać, czy między obu biegunami niema jakiej różnicy. Użyjmy do tego igielki magnesowej; znasz ją zapewne, znajduje się bowiem bardzo często przy globusach, wyobrażających kulę ziemską.

Igielka magnesowa jest to cienki magnes stalowy, w obu końcach zaostrowy (Fig. 41); w środku posiada on otworek, ponad którym umieszczona jest osada mosiężna lub agatowa w postaci maleńkiej miseczki, tak, że igielka może być oparta na ostrzu stalowem. Jest więc jakby zawieszona nad środkiem ciężkości i może się swobodnie obracać na prawo i lewo, to jest w płaszczyźnie poziomej. Zresztą zamiast igielki opartej na ostrzu, zawieszać też można pręt magnesowy na nitce nieskręconej (Fig. 42).

Jeżeli w taki sposób oprzemy na ostrzu lub zawiesimy na nitce jakikolwiek pręć drewniany lub meta-

lowy, utrzymywać się on będzie w położeniu poziomem; ale jakikolwiek mu nadamy kierunek, to jest, czy go zwracać będziemy ku oknu, czy ku drzwiom, czy ku którejkolwiek ścianie pokoju, zawsze pręć kierunku ten zachowa, niema bowiem żadnej przyczyny, któraby go w inną stronę obracała.

Z igielką wszakże magnesową dzieje się inaczej. Przyjmuje zawsze pewien oznaczony kierunek. Odchyla ją w prawo lub w lewo, a zawsze wraca do położenia, które pierwotnie zajmowała. Ściany, okna pokoju nie mają na kierunek ten żadnego wpływu; tenże sam ho-

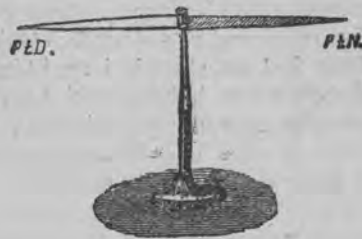


Fig. 41.

wiem kierunek utrzymuje igielka pod otwartem niebem. Jak kierunek ten oznaczyć? Jeżeli umiesz rozróżnić cztery okolice widnokregu, wschód i zachód, północ i południe, łatwo poznasz, że igielka zawsze jednym swym końcem zwraca się ku północy, a drugim ku południowi.

Koniec zwracający się ku północy, nazywamy *biegunem północnym*, drugi zaś koniec biegunem *południowym*. Jeżeli zechcemy igielkę biegunem północnym zwrócić na południe, odwróci się od poprzedniego położenia. Dwa zatem bieguny, chociaż jednakowo przyciągają żelazo, nie wszystkie własności mają jednakowe. Dla odróżnienia, północnej połowie igielki nadaje się zwykle barwę błękitną. Na prętach

magnesowych koniec północny oznacza się głoską N („Nord“), południowy głoską S („Süd“).

Jeżeli tedy nie wiemy, gdzie przypadają różne okolice świata, igielka magnesowa nam je wyznaczy, wskaże bowiem gdzie jest północ; zwróciwszy się twarzą ku północy, mamy poza sobą południe, wschód po prawej, a zachód po lewej stronie. Pojmujemy teraz, jak wielkie usługi oddawać może igielka żeglarzom. Stanowi dla nich jakby drogowskaz, który im zawsze powiada, czy we właściwym płyną kierunku. Dopóki nie znano tej własności magnesu, żeglarze nie odważali się zapuszczać daleko na otwarte morze; przy pomocy dopiero igielki magnesowej mógł Kolumb dopłynąć do Ameryki. Zwykle igielkę umieszcza się nad kółkiem, którego okrąg podzielony jest na stopnie i na którym wypisane są nazwy różnych stron świata; taki przyrząd, zwykle pokryty szkłem dla ochrony od działania wiatrów, nazywa się *k o m p a s e m*. Małe kompasy często umieszczone bywają przy globusach.

Możemy kompasami posługiwać się do orjentowania się w dalekich przechadzkach i wycieczkach.

Ale należy nam jeszcze wyszukać przyczynę, która magnesowi nadaje tak oznaczony kierunek.

§ 37. Dwa magnesy.

Zawieś magnes na nitce, lub też umieść igielkę na ostrzu, jak na Fig. 41. Drugi magnes weź w rękę i biegun jego północny zbliżaj do bieguna południowego magnesu zawieszzonego. Już zdaleka objawia się przyciąganie: igielka odchyła się ze swego położenia, kołysz się przez czas pewien i nakoniec biegun jej południowy zwraca się ku zbliżanemu biegunowi północnemu magnesu. Toż samo się dzieje, gdy biegun południowy jednego magnesu zbliżamy do bieguna północnego magnesu drugiego. Biegun tedy północny i południowy nawzajem się przyciągają.

Zbliż teraz biegun północny magnesu, który trzy-

masz w rękę, do bieguna północnego igielki, albo też południowy do południowego: igielka odbiega przed magnesem zbliżanym. Biegun zatem północny jest odpychany przez północny, a południowy przez południowy.

Cośmy tu poznali, możemy krócej tak wypowiedzieć: bieguny jednoimiennie odpychają się, a bieguny różnoimiennie przyciągają się nawzajem.

Masz pręt magnesowy, nie wiesz wszakże, z której strony jest jego biegun północny. Oznacz go przy pomocy igielki.

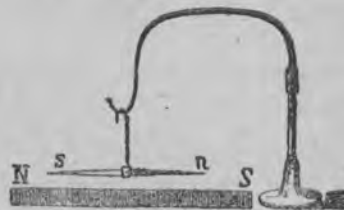


Fig. 42.

Nad prętem magnesowym zawieś igielkę (Fig. 42), albo też nad igielką (Fig. 41) trzymaj magnes w położeniu poziomem. Co tu zająć musi? Biegun północny igielki, odpychany przez biegun północny magnesu, a przyciągany przez jego biegun południowy, zbliży się do tego ostatniego tak samo, jak biegun południowy igielki posunie się do bieguna północnego magnesu. Igelka więc przyjmie położenie takie samo, jak magnes, czyli raczej do niego równoległe, a bieguny jej zwrócone będą w strony przeciwne względem odpowiednich biegunów magnesu.

Choć jednak igielka zawieszona jest swobodnie, a w pobliżu jej niema żadnego magnesu, także przyjmuje oznaczony kierunek. Zachowuje się więc zupełnie tak, jakby zostawała pod wpływem jakiegoś magnesu. Gdzież tego magnesu szukać? Ponieważ igielka podobny

kierunek przyjmuje we wszystkich miejscach ziemi, musimy więc się zgodzić, że cała ziemia działa jakby wielki magnes, mający jeden biegun w stronie północnej, drugi w południowej. Ponieważ biegun igielki, który zwraca się na północ, nazwaliśmy północnym, musimy zatem powiedzieć, że na półkuli północnej ziemi przypada jej biegun magnetyczny południowy, a jej biegun magnetyczny północny znajduje się na półkuli południowej.

Gdyby ktoś uważał za właściwe biegun magnetyczny ziemi, znajdujący się na półkuli północnej, nazwać północnym, a biegun, przypadający na półkuli południowej, południowym, jakby w takim razie trzeba było nazywać bieguny igielki?

Bieguny magnetyczne ziemi znajdują się wprawdzie w pobliżu jej biegunów geograficznych, ale z nimi się nie schodzą. Z tego wypada, że biegun północny igielki niezupełnie dokładnie zwraca się ku północy. — Jak się nazywa linja, idąca w danym miejscu z północy na południe? Powiemy tedy, że igielka magnesowa zbacza cokolwiek z kierunku południka geograficznego. U nas biegun północny zbacza cokolwiek na zachód: mówimy więc, że zboczenie jest na zachodzie. W innych znów okolicach ziemi zboczenie jest wschodnie. Co to znaczyć będzie, gdy powiem, że są i takie miejsca, dla których zboczenie jest zero.

§ 38. Wzbudzenie magnetyzmu.

Przyczynę, wywołującą ogrzewanie ciał, nazywamy ciepłem; przyczynę, sprowadzającą oświelenie, światłem. Tak samo przyczynę działań magnetycznych nazwać możemy magnetyzmem. Powiemy zaś następnie, że są dwa magnetyzmy, północny i południowy, że magnetyzmy jednoimienne odpychają się, a różnoimienne przyciągają.

Do jednego z biegunów magnesu zbliż jednym końcem kawałek drutu żelaznego; drut zostanie przez ma-

gnes przytrzymany. Pod drugi koniec tak uczepionego drutu podsuń naczynie z opilkami żelaznymi; drut przyciągnie je; a to jest dowodem, że i on stał się magnesem.

Jeżeli ciało zimne znajduje się w pobliżu ciepłego, ogrzewa się, ale natomiast ciało cieplejsze stygnie; ciepło więc przechodzi z ciała cieplejszego do zimniejszego. Można by mniemać, że i tu także magnetyzm przechodzi, przelewa się z magnesu do żelaza. Ale usuń magnes: opilki od drutu odpadną natychmiast. Żelazo więc było magnesem tylko tak długo, dopóki zostało pod wpływem magnesu, magnes zaś ze siły swej nic nie utracił. Zachodzą tu zatem objawy odmienne, aniżeli przy przechodzeniu ciepła z jednego ciała do innego.

Jeżeli magnes jest dosyć silny, można u pierwszego drutu zawiesić drugi, u tego trzeci i t. d. (Fig. 43); można zresztą powiązać tak samo kilka kluczy, biorąc coraz mniejsze. Gdy ujmiemy w rękę pierwszy drut lub klucz, a następnie magnes usuniemy, cały łańcuch natychmiast się rozpadnie.

Poznamy jednak lepiej, co tu zachodzi, jeżeli zamiast drutu z żelaza miękkiego czyli kutego, użyjemy kawałka stali, igły, lub pióra stalowego. Stal jest innym gatunkiem żelaza, który od żelaza miękkiego różni się tem, że zawiera w składzie swoim więcej węgla, ale mniej, aniżeli trzeci gatunek żelaza, zwany surowcem, czyli żelazem lanem. Stal zaleca się swoją twardością i sprężystością, a pod względem magnetyzmu tem się różni od żelaza miękkiego, że skoro raz stanie się magnesem pod wpływem innego magnesu, własności magnetyczne zachowuje nawet po jego usunięciu, gdy

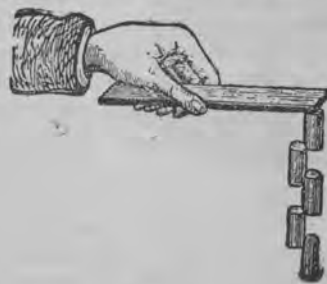


Fig. 43.

tymczasem żelazo, miękkie, jak widzieliśmy, magnetyzm swój natychmiast traci. — Uczep tedy igłę stalową u bieguna północnego magnesu i pozostaw ją na pewien czas; następnie magnes usuń. Igła pozostanie już magnesem; magnes pierwszy jednak nic zgola ze siły swej nie utracił, magnetyzm więc nie przyszedł z magnesu do igły.

Rozpoznaj teraz za pomocą igielki magnesowej, który koniec igły stanowi biegun północny, a który południowy. Poznasz łatwo, że koniec, który był uczepiony u bieguna północnego magnesu, stał się biegunem południowym, a koniec przeciwny północnym. Jest to dowód, że magnetyzm nie przeszedł do igły z magnesu, bo w takim razie koniec, uczepiony u bieguna północnego, stałby się też powinien biegunem północnym.

Jeżeli więc magnetyzm nie dostał się do igły z zewnątrz, musiał istnieć już w niej poprzednio, lubo działania swego nie objawiał. Jak to rozumieć? Oto powiemy, że w każdej bryle, w każdym przecie żelaznym, istnieją oba magnetyzmy, północny i południowy. Ponieważ jednak nawzajem się przyciągają, utrzymują się w związku, są jakby pomieszane. To co jeden przyciąga, drugi odpycha, nie mogą zatem żadnego działania wywierać, przeszkadzają sobie nawzajem.



Fig. 44.

Ale gdy do takiego pręta żelaznego zbliżymy magnes SN Fig. (44), magnetyzm jego północny przyciąga ku sobie magnetyzm południowy pręta, a odpycha jego magnetyzm północny; w końcu więc s powstaje biegun południowy, a w końcu n północny. Po usunięciu magnesu SN, jeżeli pręt był z żelaza miękkiego, oba magnetyzmy łączą się znowu, a żelazo przestaje być magnesem, jeżeli zaś to był pręt stalowy, magnetyzmy pozostają już rozdzielone, pręt zostaje magnesem.

Mówimy tedy, że magnetyzm wzbudza się przez wpływ, t. j. przez wpływ innego magnesu. Każdy kawałek żelaza, przyciągany przez magnes, sam już jest magnesem; magnes zaś dlatego tylko przyciąga żelazo, że przyciągają się dwa magnetyzmy różnoimiennie. Objaśnij to bliżej.

Byłby jednak w zupełnym błędzie, ktoby mniemał, że jedna połowa magnesu zawiera tylko północny, druga tylko południowy magnetyzm.

Złóż w jeden dwa magnesy jednakowo silne, tak, aby biegun północny jednego, zetknął się z południowym drugiego, jak to wskazuje Fig. 45. Sprobuuj przyczepić



Fig. 45.

klucz żelazny w miejscu, gdzie bieguny się schodzą; nie dostrzeżesz tam żadnego działania magnetycznego. Dwa przeciwne magnetyzmy dwu magnesów przyciągają się tu i zobojętniają, tak, że tworzy się z nich jakby jeden tylko magnes.

Zamiast składać dwa magnesy w jeden, przełam na dwoje jeden magnes, n. p. drut stalowy namagnesowany. Można było się spodziewać, że otrzymamy jakby dwa półmagnesy, każdy o jednym biegunie. Tymczasem każda połowa jest zupełnym magnesem, każda ma biegun północny i południowy; dzieje się tu toż samo, jak gdybyśmy rozsunęli dwa magnesy w Fig. 45. Jeżeli każdą z tych połów rozłamiemy znowu na połowy, otrzymamy cztery magnesy, tylko mniejsze i słabsze. Tak samo możemy magnes dzielić dalej na 8, 16 i więcej części. Każdy więc magnes składa się jakby z mnóstwa małych magnesów, ułożonych w podobny sposób, jak dwa magnesy z Fig. 45. Narysuj tedy tak samo magnes, złożony z 4, 6 lub 18 części magnetycznych.

Każda, chociażby najdrobniejsza cząstka magnesu,

jest magnesem, każda posiada dwa magnetyzmy, dwa bieguny.

§ 39. Magnesowanie.

Jeżeli masz magnes dosyć silny, możesz nim łatwo magnesować druty lub igły; wiesz już także, że druty muszą być stalowe; dlaczego?

Umieść drut na stole (Fig. 46); koniec jego przytrzymaj ręką lewą, a prawą weź magnes, biegun jego południowy oprzyj o środek drutu i pocieraj nim zwolna

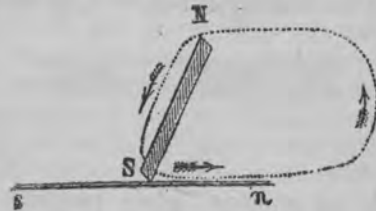


Fig. 46.

prawą połowę drutu aż do końca; potem unieś magnes w górę i pnieś go nad drutem w kierunku, jak to linja kropkowana wskazuje, znowu nad środek drutu, a następnie powtórz to 25 do 30 razy. Następnie odłóż magnes, drut przytrzymaj ręką prawą, a wzięwszy magnes w lewą, oprzyj jego biegun północny o środek drutu i tak samo jak poprzednio pocieraj lewą jego połowę, także 25 do 30 razy. Prawy koniec drutu stanie się biegunem północnym, lewy południowym, jak figura wskazuje.

Czy przez magnesowanie stali sam magnes słabnie? Jak tu rozumieć jego działanie?

Wielkie magnesy wyrabiają się zwykle nie w postaci prętów, ale podków.

Rozdział V.

O ELEKTRYCZNOŚCI.

§ 40. Ciała naelektryzowane.

Rozsyp po stole drobne kawałki papieru, skrawki pióra, kulki z korka, lub tym podobne lekkie ciała i zbliż ku nim łaskę laku; między lakiem a papierkami, jak można się było spodziewać, nie dostrzegamy działania. A teraz przeź laskę laku sukmem lub flanelą; coż dostrzegasz? Lekkie te ciała podskakują ku lakowi z pewnej odległości i przyczepiają się do niego, a po krótkim czasie znów od niego odpadają. Przez tarcie więc wzbudziła się w laku własność przyciągania lekkich ciał.

Tę samą własność okazuje bursztyn. Ponieważ bursztyn po grecku nazywa się elektron, dlatego mówimy, że lak potarty jest w stanie elektrycznym, jest naelektryzowany. Stąd poszło, że przyczynę, która zjawiska te wywołuje, nazwano elektrycznością.

Czy lak naelektryzowany przedstawia podobieństwo do magnesu? Ale magnes przyciąga tylko żelazo, gdy lak naelektryzowany działa na wszystkie ciała. Magnes, przyciągnięte żelazo przytrzymuje stale, lak po krótkim czasie odpycha pochwycony skrawek papieru. Magnes zachowuje własność swą przyciągania żelaza, lak po krótkim czasie traci swój stan elektryczny. Są jeszcze inne podobieństwa i inne różnice między magnetyzmem, a elektrycznością.

I inne ciała, jak żywica, siarka, papier, szkło, dają

się również przez tarcie naelektryzować. Za szkło do naelektryzowania służyć nam może choćby epruwetka, kominek od lampy. Należy je naprzód starannie wytrzeć i wysuszyć nad lampą spirytusową, a następnie nacierać je trzeba suknem lub futrem; ale dłużej, aniżeli lak; przez pocieranie kauczukiem szkło elektryzuje się łatwiej.

Papier naelektryzować się daje przez pocieranie gumą elastyczną; ale także przedewszystkiem trzeba je ogrzać nad lampą lub przy piecu. Jeżeli pasek papieru, umieszczony na stole, kilkakrotnie wzdłuż pociągniemy gumą i przyłożymy następnie do ściany, zostanie on przez nią pociągnięty i uczepli się jej. Można go nawet naelektryzować, przeciągając go między palcami.

Elektryczność wywołuje i inne zjawiska, nietylko przyciąganie. Jeżeli naelektryzowaną laskę laku zbliżymy do zgiętego palca, to między lakiem a palcem przeskakuje iskierka, przyczem daje się słyszeć słaby trzask. Rozumie się, że iskierka ta daje się łatwiej dostrzec wieczorem, w ciemności, aniżeli przy świetle dziennem. Cwiartka papieru, ogrzana przy piecu i następnie naelektryzowana gumą elastyczną, również wywołuje iskrę, gdy do niej palec zbliżymy.

§ 41. Przewodniki i nieprzewodniki.

Radbyś się teraz zapewne dowiedzieć, czy wszystkie ciała dają się przez tarcie naelektryzować, czy też tylko niektóre.

Przez długi czas mniemano, że elektryczność może się wzbudzać tylko na niektórych ciałach; metale, jakkolwiek je długo i silnie nacierano, nie okazywały objawów takich, jak lak lub szkło.

Zdarzyło się wszakże, że ktoś potarł pręt metalowy, ująwszy go w rękę nie bezpośrednio, ale przez tkaninę jedwabną: w tym razie metal okazał własności elektryczne.

Jakąż tu rolę odegrał jedwab? Zapewne elektry-

czność wzbudza się na metalu i wtedy, gdy go wprost ręką ujmujemy, ale z niego uchodzi, nie zatrzymuje się na nim, jak na laku, jedwab zaś stanowi jakby przegrodę, która zatrzymuje elektryczność.

Przypomnij sobie, cośmy mówili o przewodnikach i nieprzewodnikach ciepła; podobnie należy rozróżnić przewodniki i nieprzewodniki elektryczności. Lak jest nieprzewodnikiem; gdy go pocieramy, elektryczność pozostaje w miejscach, gdzie wzbudzoną została, nie rozprzestrzenia się na całym cieple. Metal jest przewodnikiem; elektryczność, w którymkolwiek miejscu na nim wywołana, rozchodzi się po całej jego powierzchni i przez naszą rękę i nasze ciało przepływa do ziemi. Ciało więc nasze stanowi także przewodnik. Jedwab zaś jest nieprzewodnikiem, nie przepuszcza do ręki naszej elektryczności, która przeto na metalu pozostaje i objawia swoją działalność.

Do nieprzewodników zatem należą: żywica, lak, siarka, jedwab, gutaperka, szkło i suche powietrze. Najlepszymi przewodnikami są metale, dalej węgiel, ciało zwierząt, woda i para wodna, unosząca się w powietrzu.

Dlatego, aby naelektryzować szkło lub papier, jak widzieliśmy, trzeba je było osuszyć; dlatego też do świadczenia elektryczne można wykonywać tylko w miejscach suchych i najlepiej podczas dni pogodnych. Gdy pocieramy szkło w powietrzu wilgotnem, para wodna zabiera wciąż powstającą elektryczność stąd szkła naelektryzować niepodobna.

Jeżeli na przecie lub na kuli metalowej nagromadzić chcemy elektryczność, należy je zawiesić na nitkach jedwabnych, albo też oprzeć na nóżkach szklanych; mówimy wtedy, że metal jest odosobniony czyli izolowany. Każdy nieprzewodnik może być ciałem odosabiającem.

§ 42. Przyciąganie i odpychanie elektryczne.

Wiemy już, że ciało naelektryzowane przyciąga lekkie przedmioty. Aby objawom tym lepiej się przyjrzeć,

uczep na nitce jedwabnej drobniutki krążek cienkiego papieru i nitkę tę trzymaj w ręku, albo lepiej zawieś ją na podstawce, jak na Fig. 47. Przyrząd ten stanowi waha delko elektryczne. Zamiast krążków papierowych zawieszać można drobne kuleczki korkowe, albo kuleczki z lekkiego rdzenia roślin, jak bzu czarno-jagodowego albo sitowia.

Do takiego krążka papierowego lub kuleczki z rdzenia bzowego zbliż naelektryzowaną łaskę laku. Kulka

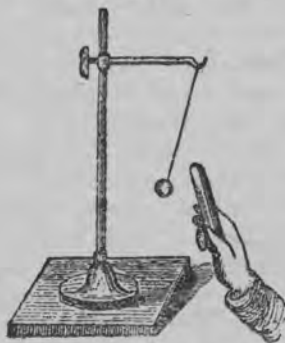


Fig. 47.

zostanie przyciągnięta, po chwili odepchnięta, i znów ku niej przesuwać będziesz lak, kulka będzie się od niego wyraźnie oddalała. Domyślamy się, że i kuleczka stała się elektryczną, że elektryczność przechodzi z ciała naelektryzowanego na nieelektryczne przez zetknięcie. Podobnież l a s k a l a k u za każdym dotknięciem się ręki naszej traci część swej elektryczności, a jeżeli ją raz za razem w różnych miejscach dotykamy, możemy ją zupełnie odelektryzować. Również cząsteczki powietrza otaczającego zabierają ciała elektryczność; dlatego kuleczka na nitce jedwabnej po krótkim czasie elektryczność swą utraci, i przez lak odpychana już nie będzie.

Jeżeli kulkę zawiesimy nie na nitce jedwabnej, ale

na lnianej, będzie ona także przez lak przyciągnięta ale odpychania nie dostrzeżemy. Czyż powiemy, że w tym razie kulka nie zabiera lakowi elektryczności? Przecież zetknięcie zachodzi tu tak samo, jak poprzednio? Tak, ale nitka lniana jest przewodnikiem; elektryczność przechodzi do ziemi przez nitkę i przez naszą rękę, lub przez podstawkę, jeżeli ta nie jest z laku albo ze szkła, kulka więc nie może się okazać elektryczną.

Ale wróćmy do kulki, zawieszonej na nitce jedwabnej. Doświadczenie to uczy, że dwa ciała elektryczne nawzajem się odpychają. Jeżeli np. dwa paski papierowe naelektryzujemy w znany nam sposób i ujmimy jednym końcem w rękę, to będą się odpychały drugimi końcami.

Tak samo zupełnie, jak lak, działa też i szkło naelektryzowane, przyciąga na chwilę kulkę, udziela jej swej elektryczności i natychmiast odpycha.

Naelektryzuj łaskę laku i walec szklany. Dotknij kulki waha delka lakiem. Kuleczka nabiera elektryczności laku i zostaje odepchnięta. Zbliż teraz ku niej walec szklany; kulka będzie przezeń przyciągnięta. Tak samo zupełnie, jeżeli naprzód kulki dotkniemy szkłem, nabierze ona elektryczności szkła i będzie przyciągana przez lak.

Poznasz to lepiej jeszcze, jeżeli na wspólnej podstawie zawieszisz dwa wahadelka (Fig. 48)). Udziel im elektryczności laku; będą się odpychały. Dotknij ich ręką, dla zabrania im tej elektryczności i udziel im elektryczności szkła, a będą się również odpychały.

Przygotuj sobie teraz dwa wahadelka (Fig. 49; jednej kulki dotknij lakiem, drugiej szkłem, a przyciągać się będą.

Widzimy więc, że trzeba rozróżnić elektryczność



Fig. 48.

laku i elektryczność szkła. Możnaby sądzić, że jest także odmienna elektryczność żywicy, siarki, gutaperki, papieru. Tak jednak nie jest, bo żywica i siarka, naelektryzowane, odpychają kulkę odepchniętą przez lak, a przyciągają kulkę odpychaną przez szkło; żywica zatem i siarka posiadają elektryczność też samą, co lak, papier znów potarty gumą odpycha kulkę, posiadającą elektryczność szkła, a przyciąga kulkę naelektryzowaną przez lak; papier więc posiada elektryczność takąż samą, jak szkło.

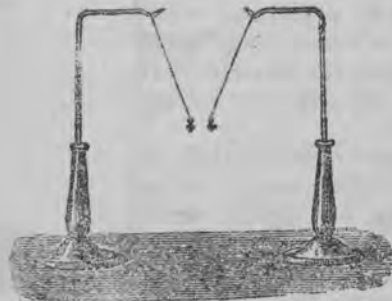


Fig. 49.

Można zatem powiedzieć, że są dwa rodzaje elektryczności, że są dwie elektryczności. Ponieważ rozrózniono je najpierw na szkłe i żywicy, nazwano je naprzód elektrycznością szklaną i żywiczną, ale teraz zwykle nazywa się inaczej. Elektryczność szklaną nazywamy elektrycznością dodatnią, a żywiczną elektrycznością ujemną.

Doświadczenia powyższe nauczyły nas, że elektryczności dodatnia i dodatnia odpychają się, elektryczności ujemna i ujemna odpychają się, a elektryczności dodatnia i ujemna przyciągają się. Powiemy krócej, że elektryczności jednoimiennie odpychają się, różnoimiennie zaś się przyciągają.

Nie należy też sądzić, że tylko ciało pocierane na-

biera elektryczności, ciało bowiem pocierające staje się również elektrycznym. Jeżeli papier elektryzujemy gumą, to i guma też przyciąga lekkie ciała, tak, że jeżeli ją zbliżymy do wahałki odepchniętego przez lak, to ona je również odpychać będzie. Guma przeto nabrała elektryczności ujemnej, gdy papier, jak już wiemy, nabrał dodatniej. Tak samo, gdy lak pocieramy sukmem, sukno nabiera elektryczności dodatniej; aby się o tem przekonać, trzeba sukno odosobnić.

A więc, przy pocieraniu dwu ciał wzbudzają się na obu elektryczności, przeciwne, różnoimiennie.

§ 43. Wzbudzanie elektryczności przez wpływ.

Przypomnij sobie, jak wytłomaczyliśmy przyciąganie żelaza przez magnes. Powiedzieliśmy tam, że w każdej bryle żelaza istnieją oba magnetyzmy, ale działania swego objawić nie mogą dlatego, że nie są rozdzielone, rozdzielają się jednak pod wpływem zbliżanego magnesu.

Gdy do kulki wahałki zbliżamy ciało naelektryzowane, posuwa się ona już zdaleka ku niemu, tak, jakby już była elektryczna. Można się zatem domyślać, że ciało naelektryzowane z pewnej już odległości wzbudza przez swój wpływ elektryczność w innym ciele; zachodzi więc tu objaw podobny, jak przy wzbudzaniu magnetyzmu w żelazie.

Możemy to powiedzieć, że w każdym ciele istnieją już obie elektryczności, dodatnia i ujemna, ale ze sobą złączone, zmieszane; ponieważ zaś co jedna odpycha, druga przyciąga, przeto nawzajem się znoszą i działania żadnego wywierać nie mogą: jest to tedy elektryczność obojętna. Rzecz się jednak zmienia, gdy zbliżamy ciało naelektryzowane.

Kulka wahałki (Fig. 50) posiada elektryczność obojętną, czyli obie elektryczności pomieszane. Ale gdy zbliżymy do niej laskę laku, która posiada elektryczność

ujemną, laska ta przyciąga elektryczność dodatnią kulki a odpycha jej elektryczność ujemną, jak to na figurze objaśniają znaki — i +. Elektryczność dodatnia jest wszakże bliżej, przyciąganie więc przeważa nad odpychaniem, i kulka zbliża się do laski. Skoro się z nią zetknie, elektryczność jej dodatnia łączy się z częścią elektryczności ujemnej laski; na kulce więc zostaje tylko elektryczność ujemna, tak samo, co na laski, kulka zatem zostaje odepchnięta.



Fig. 50.

Czy więc elektryczność przeszła z laski na kulkę? A jednak lask stracił część swej elektryczności; dlaczego? Wzbudzenie elektryczności przez wpływ możemy też nazwać rozkładem jej przez wpływ; dlaczego? Działanie to poznamy lepiej na przyrządzie, którym się teraz zajmiemy.

§ 44. Elektrofor.

Dotąd otrzymaliśmy elektryczność tylko przez tarcie szkła lub laski. Do wywoływania silniejszych działań służyć nam może przyrząd bardzo prosty i dogodny, zwany elektroforem.

Elektrofor składa się z krążka żywicznego i pokrywki metalowej, opatrzonej rączką szklaną (Fig. 51). Masa żywiczna (4 części kalafonji i 1 część szellaku) stopiona wylewa się na talerz czy formę blaszaną, w której zastyga i krzepnie; pokrywka może być z drzewa oblepionego cynfolją, a zamiast rączki szklanej można przyczepić trzy sznurki jedwabne i połączyć je u góry w jeden.

Daleko jednak lepsze są elektrofony, w których masę

żywiczną zastępuje krążek z gumy stwardniałej, czyli ebonitu. Nie trzeba wtedy nawet talerza, jeżeli krążek ebonitowany podlepony jest cynfolją, t. j. cienką blachą cynową. Elektrofor taki z krążkiem cynkowym jest niedrogi i zawsze dobrze działa.

Mając tedy elektrofor, natrzyj lub natrzep krążek gumowy lub żywiczny futrem kocim lub ogonem lisim, albo wreszcie tkaniną wełnianą. Powierzchnia górna



Fig. 51.

krążka nabierze elektryczności ujemnej. Tak naelektryzowany krążek nakryj teraz pokrywką metalową i zbliż do niego kuleczkę rdzeniową na nitce jedwabnej. Kulka zostanie przyciągnięta, górna zatem powierzchnia krążka okazuje się elektryczną. Gdy kulka dotknie się pokrywki i sama stanie się przez to elektryczną, zbliż do niej potartą laskę laski; kulka zostanie odepchnięta. Jakąż posiada tedy elektryczność? A więc i na górnej powierzchni pokrywki znajduje się swobodna elektryczność ujemna.

Jeżeli podniesiesz pokrywkę, trzymając ją za rączkę szklaną lub za sznurek jedwabny, możesz się spodziewać, że będzie elektryczną. Tymczasem, gdy ją podniesiesz, nie okaże żadnego działania elektrycznego.

Połóż znów pokrywkę na krążek gumowy, ale tym

razem przed podniesieniem dotknij ją ręką (Fig. 51). Wtedy okaże się silnie naelektryzowaną; gdy zbliżysz ją do palca, przeskoczy duża iskra.

Należy nam poznać, co tu zachodzi. Krążek gumowy posiada elektryczność ujemną, pokrywka zaś metalowa, jak każde ciało, przedstawia elektryczność obojętną. Cóż więc się dzieje pod wpływem elektryczności ujemnej krążka gumowego? Obojętna elektryczność pokrywki rozkłada się. Gdzie się zbiera elektryczność dodatnia, a gdzie ujemna? Gdy pokrywkę podnosimy, elektryczność krążka gumowego już wpływu nie ma; coż więc następuje? Ale gdy przed podniesieniem pokrywki dotykamy jej ręką, jedna elektryczność odpływa; która pozostaje? Dodatnia ująć nie może, bo jest jakby związana przyciąganiem elektryczności ujemnej krążka. Czy można się przekonać, że pokrywka wtedy jest naelektryzowana dodatnio? jakim sposobem?

Czy elektryczność krążka gumowego przeszła do pokrywki, czy krążek co z niej utracił? Za każdym tedy przyłożeniem i podniesieniem pokrywki, po poprzednim dotknięciu jej ręką, nabiera ona nowej elektryczności, tak, że jedno potarcie krążka gumowego może na długo wystarczyć.

Jeżeli dotkniemy pokrywki naelektryzowanej ręką w któremkolwiek miejscu, natychmiast traci wszystką swą elektryczność; gdy zaś dotykamy naelektryzowanego laku, żywicy, gumy, tracą elektryczność tylko w miejscu dotknięcia; dlaczego?

Za pomocą elektroforu powtórzyć możemy doświadczenia, o których poprzednio mówiliśmy. Kulka wahaćka zdaleka już przyskakuje do pokrywki, a po chwili gwałtownie odbiega. Dwie kulki obok siebie zawieszono, dotknięte pokrywką, silnie się rozsuwają.

Jeżeli, trzymając pokrywkę w ręce prawej, zbliżymy ku niej zgięty palec ręki lewej, zobaczymy wyraźną iskrę, niekiedy dosyć silną, uczujemy lekkie ukłucie i zarazem usłyszymy lekki trzask. Co tu zachodzi? Elektryczność dodatnia krążka rozkłada elektryczność obo-

jętną naszego palca, odpycha dodatnią, a przyciąga ujemną, przy znaczniejszem zaś zbliżeniu z tą ujemną się łączy. Iskra następuje zawsze przy łączeniu się dwu elektryczności, gdy napotykają opór w powietrzu, które jest złym przewodnikiem. A jak wytłomaczyć ów lekki trzask? Przy przebiegu iskierki powietrze ulega wstrząśnieniu, cząsteczki jego rozbiegają się i następnie znów gwałtownie wracają, a ten ruch jest przyczyną głosu. Jeżeli iskra jest dosyć duża, przebiega zygakowato.

Jeżeli na pokrywce umieścimy lekkie ciałko, papierki lub kulki rdzeniowe, to przy podnoszeniu jej te lekkie ciałka gwałtownie w różne strony na bok odskakują; dlaczego? Jeżeli kulki te złączymy w postać węża, odskakuje on z niej jakby ożywiony.

Jeżeli w korku osadzimy drut, a na jego końcu uwiesimy dwa paski cienkiego papieru, i korek ustawimy na pokrywce, to za podniesieniem jej paski rozbiegają się; dlaczego?

Rozłóż na stole kilka kulek rdzeniowych i zbliż ku nim z góry pokrywkę elektroforu: kulki przez pewien czas bardzo żywo przeskakują w górę i na dół pomiędzy pokrywką a stołem. Jak to objaśnić? Kulki przyciągnięte przez naelektryzowaną pokrywkę stają się same elektrycznymi i zostają odepchnięte, na stole elektryczność tracą, zostają znów przyciągnięte i t. d. Czy pokrywka przytem traci swą elektryczność? Po pewnym czasie zatem ruchy te kulek ustają. Podskakiwanie to kulek nazywa się *g r a d e m e l e k t r y c z n y m*; tak samo zresztą przeskakuje i piasek. Jeżeli papier naelektryzujemy w znany nam już sposób, możemy wywołać nim także i grad elektryczny.

Potrzymaj pokrywkę elektroforu ponad głową swego towarzysza: włosy jego podniosą się i najeżą.

Zamiast krążka żywicznego lub gumowego można też użyć szklanego; pokrywka wtedy nabiera elektryczności ujemnej. Objaśnij to.

§ 45. Maszyna elektryczna.

Silniejsze jeszcze działanie elektryczne otrzymać możemy za pomocą maszyny elektrycznej. W maszynie tej elektryczność wywiązuje się przez tarcie, składać się więc ona musi z ciała pocieranego i pocierającego, nadto z części trzeciej, służącej do nagromadzenia wytworzonej elektryczności.

Maszyny elektryczne posiadają rozmaite urządzenia. Najczęściej ciałem pocieranym, jak to widzimy na rycinie ((Fig. 52), jest płyta szklana, okrągła, przedziurawiona w środku i osadzona na osi, tak, że za pomocą korby można ją szybko obracać. Przy tym obrocie przeciska się ona między poduszkami skórzanymi, których na rycinie znajdujemy cztery, po dwie u góry i u dołu, przybite do ramy, przez którą płyta szklana przechodzi. Przy obrocie tedy zachodzi tarcie tej tafli o poduszki, a wskutek tego wywiązuje się na szkle elektryczność dodatnia.

Ciałem, na którym się gromadzi elektryczność, wywiązana na szkle, musi być zawsze przewodnik czyli *k o n d u k t o r*, aby się po nim swobodnie rozchodzić mogła. Przewodnik ten winien być wszakże starannie odosobniony; dlaczego? W maszynie, którą przedstawia rycina, konduktor składa się z dwu walców mosiężnych, połączonych prętem metalowym, a osadzonych na czterech nóżkach szklanych, które go odosabiają, t. j. nie dozwolają gromadzącej się na nim elektryczności uchodzić do ziemi. Oba walce konduktora, jak widzimy na rycinie, opatrzone są w widelki, które z obu stron obejmują płytę szklaną; na widelkach zaś osadzone są kolce, zwrócone ku powierzchni szkła; przez te kolce, jak to poznamy zaraz lepiej, elektryczność przechodzi ze szkła na konduktor.

Walce konduktora nie koniecznie muszą być pełne; mogą być wewnątrz puste. Trzeba bowiem wiedzieć, czegośmy dotąd nie mówili, że elektryczność rozchodzi się zawsze tylko na powierzchni przewodników. Moż-

my nawet zrozumieć, dlaczego tak się dzieje. Wyobraźmy sobie bowiem, że elektryczność nagromadziła się we wnętrzu jakiegokolwiek bryły metalowej, jak np. kuli

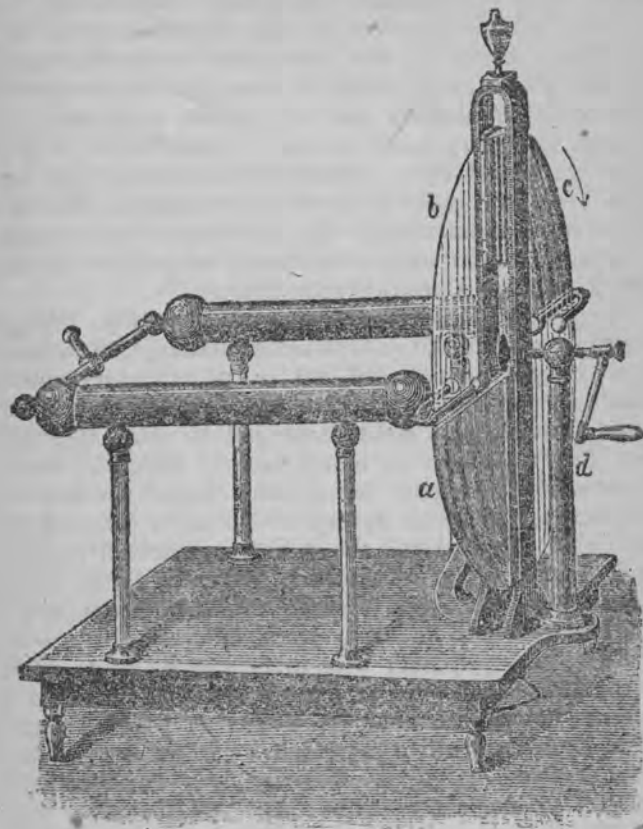


Fig. 52.

mosiężnej; cóż dzieć się tu będzie? Ponieważ elektryczności jednoimienne odpychają się, przeto nagromadzona tu elektryczność rozbiega się po przewodniku na

wszystkie strony i zatrzymuje się dopiero na jego powierzchni, gdyż powietrze suche, jak wiemy, jest złym przewodnikiem i tamuje dalsze rozchodzenie się elektryczności. Gdy przewodnik ma postać wydłużoną, to, skutkiem właśnie tego wzajemnego odpychania się elektryczności, zbiera się ona przeważnie w częściach najdalej od środkowego punktu wybiegających. Jeżeli zaś przewodnik wydłużony jest tak dalece, że kończy się ostrzem, to elektryczność tak się w niem obficie nagromadzi, że nawet opór powietrza powstrzymać jej nie może, i elektryczność z konduktora uchodzi. Dlatego przewodnika zaostzonego naelektryzować nie można, a wszystkie konduktory, do zbierania elektryczności służące, winny być starannie zaokrąglone.

Przyjrzyjmy się teraz działaniu maszyny, gdy ją obracamy w kierunku, jaki strzałka wskazuje. Przeciskając się między poduszkami, nabiera płyta elektryczności dodatniej; ćwiartka więc jej *a* jest naelektryzowana dodatnio i wahadełko elektryczne jest tu silnie przyciągane. Pod wpływem tej elektryczności dodatniej szkła, elektryczność obojętna konduktora ulega rozkładowi, elektryczność dodatnia zostaje odepchnięta do dalszych jego części, ujemna zaś zbiera się w częściach najbliższych szkła, zatem w kolcach widełek. Przez kolce wszakże, jak już wiemy, elektryczność uchodzi, napotyka elektryczność dodatnią szkła, łączy się z nią i zobojętnia; przy przejściu więc przez widełki płyta szklana traci swą elektryczność i nie posiada jej w części *b*, o czem znowu przekonać się można za pomocą wahałki. Cośmy mówili o częściach *a* i *b*, toż samo dzieje się w częściach *c* i *d*, zawsze więc dwie ćwiartki płyty szklanej są naelektryzowane. Aby elektryczność przy obrocie płyty od poduszek do widełek nie ulegała zataccie, części *a* i *c* pokryte są tkaniną jedwabną.

Aby maszyna dobrze działała, należy poduszki narzec pewną substancją, która składa się z cyny, cynku i rtęci i nazywa się amalgamatem cyny i cynku, każde

bowiem połączenie rtęci z jakimkolwiek metalem nazywa się amalgamatem.

Czy na poduszkach także zbiera się elektryczność? Aby ta elektryczność ujemna uchodzić mogła do ziemi, u poduszek zawieszają się łańcuszek metalowy. Gdybyśmy jednak połączyli je z konduktorem odosobnionym, to na nim gromadziłaby się elektryczność ujemna. Możemy więc posiadać maszyny, które dostarczają obu rodzajów elektryczności.

Gdy do naelektryzowanego konduktora maszyny zbliżamy palec, iskra przeskakuje z dosyć silnym trzaskiem: wielkie maszyny elektryczne wydają iskry, mające po kilka i kilkanaście cali długości.

Gdy na rurce szklanej ponaklejamy małe kawałki cynfolji (Fig. 53), tak, aby się nawzajem nie dotykały, i gdy rurę taką zawiesimy na konduktorze, to między skrawkami cynfolji przeskakują iskierki tak szybko, że nam się wydaje, jakby to był wąż ognisty; dlatego też doświadczenie to nazywa się wężem elektrycznym.

Wiemy już, że ciało ludzkie jest niezłym przewodnikiem elektryczności; jeżeli więc człowiek stanie na stoleczku, posiadającym szklane nóżki, a ręką dotykać będzie konduktora maszyny, to będzie go można naelektryzować, jak każdy inny przewodnik odosobniony. Włosy tak naelektryzowanego człowieka jeżą się (dlaczego?), gdy zaś do ciała jego zbliżymy palec, przeskakuje iskra. Podobny stółek o szklanych nóżkach nazywa się wyspą elektryczną; można też użyć deseczki, opartej na czterech wytrzymałych butelkach.

Ciekawe także doświadczenie przedstawia dzwonek elektryczny. Pręcik metalowy *AB* (Fig. 54), zawieszony na konduktorze maszyny, dźwiga trzy dzwonki, a raczej czarki metalowe. Czarki *C* i *E* zawieszono na łańcuszkach metalowych, środkowa zaś *D* na nitce jedwabnej. Elektryczność dodatnia (+) konduktora przechodzi na czarki *C* i *E*, a pod ich wpływem wzbudza się elektryczność ujemna na czarce *D*, która połączona jest z ziemią łańcuszkiem metalowym (dlaczego?)

go?). Pomiędzy trzema czarkami wiszą na nitkach jedwabnych dwie kulki miedziane; gdy czarki są naelektryzowane, kulki te przeskakują w jedną i drugą stronę, uderzają o czarki i dzwonią.

Obecnie posiadamy maszyny elektryczne inaczej urządzone, które działają daleko silniej i wydają daleko większe i głośniejsze iskry; kto jednak posiada zwykłą maszynę elektryczną, albo choćby elektrofor, to i zapomocą tych przyrządów wykonywać może wiele ciekawych doświadczeń.

Im dłużej obracamy maszynę, tem więcej zbiera się na niej elektryczności. Ale każde ciało naelektryzowane z wolna traci elektryczność, udziela się cząstkom powietrza; im silniej ciało jest naelektryzowane, tem większa jest ta strata. W miarę tedy, jak konduktor coraz więcej nabiera elektryczności, tem więcej jej traci. Każdy zatem konduktor naładować można tylko do pewnego stopnia; posiadamy jednak przyrząd, który nam pozwala elektryczność gromadzić w większej ilości i otrzymywać skutki potężniejsze. Przyrządem tym jest butelka lejdejska.

§ 46. Butelka lejdejska.

Butelka lejdejska jest to słoik (Fig. 55), wyklejony wewnątrz i zewnątrz cynfolją, tak jednak, że powłoka ta metaliczna nie dochodzi do samego brzegu; powłoki te nazywamy zbrojami. Słoik zakryty jest krążkiem tekturowym, przez który przechodzi gruby drut, kończący się u góry galką z metalu. Z dolnego jego końca wychodzą druty, dotykające zbroi wewnętrznej. Brzegi szkła, ponad zbroją ze-



Fig. 53.

wewnętrzną, należy powlec werniksem, t. j. lakiem rozpuszczonym w alkoholu.

Butelka lejdejska może mieć postać flaszki; zbroję wewnętrzną zastępują wtedy opilki w nią wsypane, w których tkwi drut, kończący się u góry galką, jak na fig. 56.

W ogólności można powiedzieć, że butelka lejdejska składa się z dwu przewodników, t. j. zbroi metalicznych, rozdzielonych nieprzewodnikiem, t. j. szkłem. Nazwa jej pochodzi stąd, że zbudowano ją po raz pierwszy w Lejdzie, w Holandji, przed 160 blisko laty.

Aby ją naładować elektrycznością, trzymamy ją w jednej ręce za zbroję zewnętrzną, drugą zaś ręką podnosimy pokrywkę elektroforu i zbliżamy do galki (Fig. 56). Za każdym zbliżeniem dostrzegamy iskrę i powtarzamy to 20 do 50 razy.

Gdy posiadamy maszynę elektryczną, dla naładowania butelki należy galkę jej zetknąć z konduktorem, podczas gdy maszynę wprawiamy w obrót.

Jeżeli trzymając w jednej ręce tak naładowaną butelkę, zbliżymy do galki zgięty palec drugiej ręki, to w chwili, gdy między galką a palcem przebiega silna iskra, doznajemy gwałtownego uderzenia, czyli wstrząśnienia elektrycznego, głównie w stawach ręki. W jaki sposób mogło się tak spotęgować działanie elektryczności?

Pokrywka elektroforu posiada elektryczność dodat-

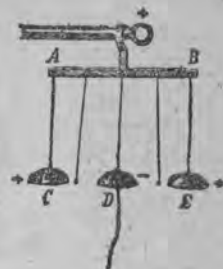


Fig. 54.



Fig. 55.

nią; gdy ją zbliżamy do galki butelki i gdy przeskakuje iskra, zbroja wewnętrzna też nabiera elektryczności dodatniej. Czy elektryczność ta wprost z pokrywki na galkę przechodzi? co znaczy iskra? Zbroja zewnętrzna,



Fig. 56.

jak każde ciało, posiada elektryczność obojętną. Co tu zachodzi pod wpływem elektryczności dodatniej zbroi wewnętrznej, która elektryczność jest przez nią przyciągana, która odpychana? Butelkę trzymamy w ręce, więc elektryczność odpychana uchodzi przez nasze ciało do ziemi; elektryczność ujemna pozostaje, bo jest przyciągana przez elektryczność dodatnią zbroi wewnętrznej, a raczej obie przyciągają się nawzajem. Każda iskra sprowadza nową ilość elektryczności dodatniej na zbroję wewnętrzną, a ta znów wiąże nową ilość elektryczności ujemnej. Mamy więc nagromadzone znaczne ilości elektryczności dodatniej i ujemnej, które z sobą się nie łączą, bo je odgranicza nieprzewodnik, to jest szkło. A chociaż dotykamy ręką zbroi zewnętrznej, elektryczność jej nie uchodzi, bo jest jakby związana. Ale skoro dotykamy jedną ręką zbroi zewnętrznej, a drugą zbliżamy do galki, t. j. do zbroi wewnętrznej, obie elektryczności znajdują drogę dołączenia się za pośrednictwem naszego ciała; iskra więc i gwałtowne wstrząśnienie są znowu objawem łączenia się dwu przeciwnych elektryczności.

Gdy butelka ma znaczne wymiary, albo raczej, gdy kilka butelek połączonych jest w jedną baterję, wstrząśnienie może być bardzo niebezpieczne, a nawet zabójcze.

Jeżeli uniknąć chcemy wyładowywania butelki za pośrednictwem naszego ciała, można do tego użyć wyładowacza (Fig. 57). Jest to drut zgięty, zakończony galkami, z których jedną przykładamy do zbroi zewnętrznej, a drugą zbliżamy do galki drutu, wiodącego do zbroi wewnętrznej. Cóż więc? Chociaż drut trzymaliśmy w ręku, wstrząśnienia nie uczujemy, bo elektryczność wybiera zawsze drogi najkrótsze i najlepsze przewodniki. Gdyby jednak butelka była zbyt silnie naładowana, elektryczność mogłaby przebiec drogą boczną, przez nasze ciało. Przez ostrożność zatem drut osadza się na rękocyści szklanej.

Jeżeli między galką butelki i galką wyładowacza trzymamy ćwiartkę papieru, iskra ją przebija, tak, że znaleźć można następnie otworek o poszarpanych brzegach. Jest to dowód, że elektryczność wywiera także może działania mechaniczne.

§ 47. Błyskawica i grzmot.

Kto widział iskrę elektryczną i słyszał słaby, towarzyszący jej trzask, temu niezawodnie wpadło na myśl, że iskra ta i trzask są obrazem błyskawicy i grzmotu. Rzeczywiście, piorun jest zjawiskiem elektrycznym, błyskawica jest olbrzymią iskrą, a grzmot jest następstwem gwałtownego wstrząśnienia powietrza.

Przekonano się, że powietrze jest zawsze naelektryzowane. Podczas pogody, elektryczność atmosferyczna jest słaba, jest dodatnia; powierzchnia zaś ziemi posiada również słabą elektryczność ujemną. W czasie burzy jednak elektryczność gromadzi się w powietrzu w znacznej ilości i niezawsze bywa dodatnia; podczas burzy zatem chmury posiadać mogą elektry-

czność dodatnią albo ujemną. Jeżeli przebiegają, jedna nad drugą, dwie chmury posiadające elektryczności przeciwne, to elektryczności ich przyciągają się i łączą ze sobą, a objawem tego łączenia się jest błyskawica.



Fig. 57.

Błyskawica powstać może jednak i wtedy, gdy tylko jedna chmura jest naelektryzowana, a druga posiada elektryczność obojętną; dlaczego?

Ale chmura silnie naelektryzowana może również przez wpływ działać na powierzchnię ziemi. Gdy chmura naelektryzowana dodatnio przesuwana się ponad jakim przedmiotem wysokim, nad wieżą lub drzewem, to elektryczność jej wywołuje rozkład elektryczności obojętnej, wieży lub drzewa, odpycha elektryczność dodatnią, o przyciąga ku szczytowi elektryczność ujemną. W chmurze tedy i szczycie wieży lub drzewa nagromadzone są dwie elektryczności różnoimienne. Być może, że chmura, pędzona wiatrem, posunie się dalej, a wtedy wzbudzona przez nią elektryczność cofa się znów do ziemi. Ale łatwo też nastąpić może połączenie tych elektryczności, pojawia się więc błyskawica i grzmot. Mówimy wtedy, że piorun uderzył w wieżę lub drzewo.

Błyskawica ma często postać zygzakowatą, podobnie, jak długa iskra maszyny elektrycznej. Często też zamiast takiej linii katowej dostrzegamy tylko nagłe rozjaśnienie się nieba, jeżeli błyskawica przebiega bardzo daleko, albo też między chmurami.

Grzmot, jak już wiemy, powstaje wskutek wstrząśnienia powietrza. Błyskawica ma znaczną długość, a to nam tłumaczy, dlaczego loskot grzmotu trwa tak długo. Jeżeli błyskawica przebiegła n. p. 4 razy więcej, niż 340 metrów, to grzmot rozlega się przez 4 sekundy. Objasnisz to, jeżeli sobie przypominasz, że głos na sekundę ubiega 340 metrów. Rzeczywiście jednak grzmot toczy się dłużej, aniżeli z rachunku tego wypada, głos bowiem odbija się od chmur, gór i innych zawad. Jak można ocenić, w jakiej od nas odległości piorun uderza? (Ob. § 23).

Piorun przebiega zawsze ku przedmiotom najwyższym i obiera drogę do ziemi po najlepszych przewodnikach. Jeżeli przebiega po złych przewodnikach, rozrywa je i gruchocze, przedmioty łatwo palne zapala, a ludzi i zwierzęta ogłusza i zabija. Gdy dostanie się do ziemi wilgotnej, która jest dobrym przewodnikiem, rozchodzi się w niej i ginie bez śladu; jeżeli zaś przebiega poprzednio przez suchy piasek, topi go i zamienia w masę szklistą, mającą postać długiej rurki, zwanej skałką piorunową. Ludzie niewiedzący, że piorun jest tylko objawem wyładowania elektryczności, sądzą, że kamienie takie z piorunem na ziemię spadają.

Podczas burzy niebezpiecznie jest chronić się pod drzewa; dlaczego? Na polu znajdujący się człowiek może sam być najwyższym przedmiotem. W mieszkaniach należy trzymać się zdala od przewodników, bo te mogą być w którymkolwiek miejscu przerwane i elektryczność obrać może drogę przez nasze ciało; dlatego należy usuwać się od ścian, okien, kominów, zwierciadeł i t. p.

Jak trzeba postąpić, aby dom od piorunu uchronić? Elektryczność obiera zawsze drogę najdogodniejszą,

a po najlepszych przewodnikach. A więc? Piorunochron jest to gruby pręt metalowy, sięgający wysoko ponad dom, u góry zastrzony, a dolnym końcem zapuszczony w ziemię. Winien on się kończyć w wodzie, a koniecznie przynajmniej w ziemi bardzo wilgotnej; dlaczego? Jeżeli piorunochron w którymkolwiek miejscu jest przerwany, to zamiast ochrony, spowoduje owszem niebezpieczeństwo dla gmachu; dlaczego?

Rozdział VI.

PRĄD ELEKTRYCZNY CZYLI GALWANIZM.

§ 48. Co to jest galwanizm?

Poznaliśmy, że elektryczność wywiera liczne i różne działania, a butelka lejdejska byłaby przyrządem bardzo użytecznym, gdyby nagromadzona w niej elektryczność odpływała nie nagle i nie gwałtownie, ale zwolna i spokojnie.

Po drucie wyladowywacza elektryczność dodatnia płynie w jedną, a ujemna w drugą stronę. Możemy więc powiedzieć, że mamy tu prąd elektryczny, ale trwający bardzo krótko, chwilowy tylko; aby prąd ten trwał stale, musiałaby się elektryczność ciągle zbierać na obu zbrojach.

Poznano jednak, że elektryczność może powstawać czyli wywiązywać się nie tylko przez tarcie, ale i w zupełnie inny sposób. Fig. 58 przedstawia naczynie, napełnione w części słabym kwasem siarczanym, to jest cieczą, która w handlu nazywa się witryolem. W cieczy tej narzucone są dwa prążki metalowe, jeden miedziany *m*, drugi cynkowy *c*. Otóż na prążkach tych zbiera się wciąż elektryczność, a mianowicie: na mie-

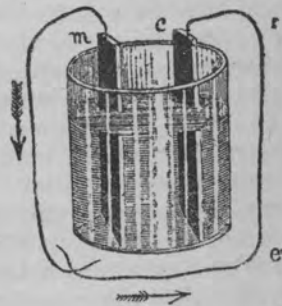


Fig. 58.

dzianym dodatnia, na cynkowym ujemna. Przyrząd taki nazywa się *stosem*, a końce obu metali *biegunami*, dodatnim i ujemnym. Jeżeli więc połączymy bieguny te drutem, który tu stanowi jakby wyładowywacz, elektryczność dodatnia płynie po nim od miedzi do cynku, a ujemna od cynku do miedzi. Ponieważ elektryczność ciągle się na biegunach gromadzi, mamy po drucie prąd ciągły, stały.

Gdyby nas zapytano, w którą stronę prąd płynie, należałoby odpowiedzieć, że płynie w obie strony: od miedzi do cynku i od cynku do miedzi. Zgodzono się jednak kierunkiem prądu nazywać kierunek, w którym płynie elektryczność dodatnia; powiemy więc, że prąd płynie w drucie od miedzi do cynku, jak na rycinie wskazuje strzałka.

Powiedzieliśmy, że przyrząd ten nazywa się *stosem*; właściwie jednak stanowi on jedno tylko ogniwo, czyli jeden *element* stosu; takich elementów bowiem łączyć można po kilka, kilkadziesiąt, a nawet kilkaset, dla utworzenia jednego stosu.

Gdybyśmy otrzymali elektryczność za pomocą maszyny elektrycznej, trzebaby było ją wprawiać w obrót. Należało więc wykonać pewną pracę, a elektryczność wywiązywała się kosztem zużytej pracy. Skoro teraz wiemy, że elektryczność wywiązuje się także w stosach, możnaby mniemać, że powstaje ona z niczego, jedynie tylko przez zanurzenie metali w ciecz. Tak jednak nie jest: cynk rozpuszcza się tu w kwasie siarczanym, a raczej łączy się z nim i wydaje nowe ciało, zwane siarczanem cynku. W miarę zatem, jak prąd elektryczny płynie, cynk zużywa się, niszczy, i po pewnym czasie trzeba go innym zastąpić.

Już przed stu laty poznano, że elektryczność tą drogą powstawać może, a pierwsze doświadczenia, które do odkryć tych doprowadziły, wykonał Galvani. Dlatego elektryczność wytwarzająca się w stosach, nazywano *galwanizmem*. Nie należy jednak mniemać, że galwanizm znaczy co innego, aniżeli elektry-

czność. Prąd galwaniczny jest to toż samo, co prąd elektryczny.

Prąd galwaniczny jest niesłychanie użyteczny, wywiera bowiem różne działania, często bardzo potężne, które człowiek umie do różnych celów stosować.

§ 49. Stosy galwaniczne czyli elektryczne.

Nazwa stosów wydawać się może niewłaściwą; naczynie bowiem z cieczą i dwoma prążkami metalowymi wcale do stosu nie jest podobne. Aby zrozumieć, skąd nazwa ta się wzięła, trzeba wiedzieć, że pierwszy taki przyrząd, który urządził Volta, miał właśnie postać stosu. Składał się także z miedzi, cynku i kwasu siarczanego, ale blaszki metalowe miały postać *kółek* czyli *krążków*, a kwasem siarczanym napojone były okrągłe płatki sukienne; naczynie więc było niepotrzebne. Volta umieścił na spodzie krążek miedziany, na niego nałożył płatek napojony słabym czyli rozcieńczonym kwasem siarczanym, a dalej krążek cynkowy; było to więc jedno ogniwo, odpowiadające zupełnie temu urządzeniu, jakie widzimy na Fig. 58, bo i tu mamy przecież także miedź, kwas siarczany i cynk. Na takie jedno ogniwo Volty nałożyć można drugie także samo ogniwo, dalej trzecie, czwarte i t. d.; mieć więc będziemy istotny stos, w którym kolejno następują po sobie miedź, kwas siarczany, cynk, miedź, kwas siarczany, cynk, znowu miedź kwas siarczany, cynk i t. d. Ogniwo takich zestawień można po kilkadziesiąt albo kilkaset, do ostatniej miedzi i do ostatniego cynku przylutować druty, a gdy końce tych drutów złączymy, przepływać będzie po nich wciąż prąd elektryczny. Gdy końce drutów złączymy, mówimy, że stos zamykamy, t. j. prąd przepuszczamy; gdy je rozdzielamy, mówimy, że stos otwieramy, t. j. prąd przerywamy.

Gdy zobaczymy, jakie usługi prąd elektryczny oddawać nam może, poznamy, że stos Volty był wynalazkiem bardzo ważnym; nie był on jednak bardzo do-

godny, bo prąd elektryczny, choć z początku działał silnie, rychło zaczynał słabnąć; nauczono się jednak następnie urządzać stosy, które przez czas długi działać mogą stale, t. j. wytwarzają prądy, zachowujące wciąż jednakową siłę.

Pierwszy stos o stałym działaniu urządził Daniell. Stos Daniella składa się z tychże samych metali, co stos Volty, tj. miedzi i cynku, ale oprócz kwasu siarczanego zawiera jeszcze inną ciecz, mianowicie roztwór siarczanu miedzi. Siarczan miedzi jest to substan-

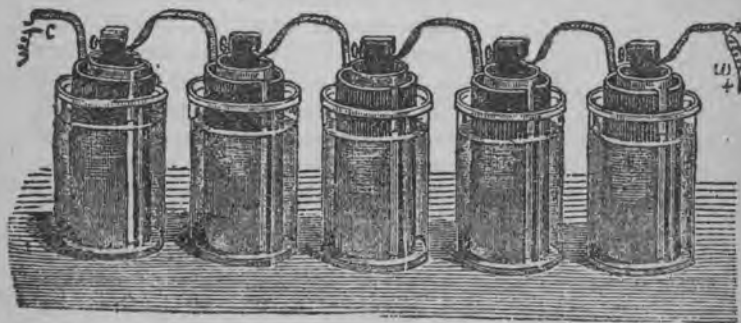


Fig. 59.

cja barwy niebieskiej, zwana w handlu koperwasem miedziowym; w wodzie się łatwo rozpuszcza. Aby ciecz te rozdzielić, do słoika szklanego (Fig. 58) wstawia się słoik czyli walec z gliny dziurkowanej; kwas siarczanym rozcieńczony wlewa się do przestrzeni między szkłem a gliną, roztwór zaś siarczanu miedzi do słoika glinianego; cynk zanurza się w kwas siarczanym, a miedź w siarczan miedzi; tak samo zresztą, jak w stosie Volty, miedź stanowi biegun dodatni, cynk biegun ujemny, co znaczy, że w drucie prąd płynie od miedzi do cynku.

Silniejszy jest stos Bunsena, który urządzony jest w podobny sposób, jak stos Daniella, ale składa się z innych substancji. Zamiast miedzi mamy tu węgiel,

a zamiast koperwasu miedziowego kwas azotny. Węgiel, do budowy stosów używany, otrzymuje się przez wyżarzenie się węgla kamiennego i jest niezłym przewodnikiem elektryczności. Fig. 59 przedstawia stos zestawiony z pięciu ogniw Bunsena; ogniwo każde składa się z naczynia szklanego, w którym umieszczony jest walec cynkowy, u dołu i u góry otwarty; w walcu tym mieści się naczynie z gliny dziurkowanej, a wewnątrz niego pręt węglowy. Do naczynia szklanego wlewa się rozcieńczony kwas siarczanym, a do naczynia glinianego kwas azotny.

Na rycinie tej widzimy nadto, w jaki sposób oddzielne ogniwa wiążą się w jeden stos. Cynk pierwszego ogniwa łączy się z węglem drugiego, cynk drugiego z węglem trzeciego itd. Z pierwszym węglem połączony jest prądek metalowy; przy *w* zatem mamy biegun dodatni. Cynk ostatniego ogniwa stanowi biegun ujemny *c*. Jeżeli końce *w* i *c* połączymy drutem, płynąć po nim będzie prąd elektryczny.

Można te ogniwa inaczej jeszcze powiązać, a mianowicie wszystkie węgle drutami połączyć z sobą i oddzielnie, wszystkie cynki również z sobą; w tym razie powiedzieć można, że mamy tylko jedno ogniwo wielkie. Niekiedy korzystniej jest mieć stos złożony z wielu, choćby małych ogniw; w innych znowu razach wystarcza jedno, ale wielkie ogniwo.

Stos Bunsena przedstawia tę niedogodność, że wydziela czerwone pary, które pochodzą z rozkładu kwasu azotnego i szkodliwie na płuca działają; nadto ustawienie go jest dosyć kłopotliwe. Bardzo natomiast łatwy do użycia jest stos Greneta (Fig. 60), chociaż działa słabiej. Ogniwo tego stosu ma postać butelki, zamkniętej krążkiem ebonitowym; płytka cynkowa *c* umieszczona tu jest między dwiema płytkami węglowymi *w*, i razem z niemi zanurzona w cieczy. Ciecz zaś jest tu mieszaniną rozcieńczonego kwasu siarczanego z inną substancją, zwaną dwuchromianem potasu. Na daną ilość wody destylowanej bierze się na wagę $\frac{1}{20}$

kwasu siarczanego stężonego i $\frac{1}{20}$ dwuchromianu potasu; mieszaninę taką nabywać można w składzie materiałów aptecznych. Nad pokrywą widzimy trzy śrubki; ze śrubek bocznych jedna połączona jest węglem i stanowi biegun dodatni, druga z cynkiem i stanowi biegun ujemny; do obu łatwo przymocować druty. Śrubka środkowa *a* służy do podnoszenia i opuszczania płytki



Fig. 60.

cynkowej. Po ukończeniu doświadczeń nie trzeba stosu rozbierać, ale dosyć jest płytkę cynkową wysunąć w górę; gdy znów stosu potrzebujemy, przez opuszczenie płytki zanurzamy ją w ciecz, i stos do działania jest gotów. Ciecz, z początku żółta, następnie czernieje; gdy stos zaczyna działać słabiej, należy ją zmienić.

Poznamy później, że można otrzymywać prądy elektryczne zupełnie bez udziału stosów.

§ 50. Siła prądu.

Mówiliśmy już wyżej, że prąd działać może silniej, albo słabiej; zobaczymy od czego siła prądu zależy.

Prąd polega na ciąglem przepływanu elektryczno-

ści; im zatem więcej przepływa jej przez drut, tem prąd jest silniejszy. Przepływa zaś jej oczywiście tem więcej, im więcej wytwarza się jej w stosie, a to zależy od materiałów, z których się stos składa. Mówimy, że rozmaite stosy posiadają rozmaitą siłę elektrowzbudzącą; siła elektrowzbudząca stosu Bunsena jest większa, aniżeli stosu Daniella.

Aby jednak elektryczność szybko mogła przez drut przepływać, trzeba, aby napotkała w nim słaby opór. Wiemy już, że jedne ciała są lepszymi, inne gorszymi przewodnikami elektryczności; miedź jest przewodnikiem lepszym, aniżeli żelazo, prąd zatem przepływa łatwiej przez drut miedziany, aniżeli przez żelazny. Im ciało jest gorszym przewodnikiem, tem większy stawia opór przepływowi elektryczności; prąd jest tem silniejszy, im napotyka opór mniejszy.

Prąd przepływać może przez drut dłuższy i krótszy, przez drut grubszy i cieńszy; w których razach natrafia na opór większy? Opór jest tem większy, im drut jest dłuższy i cieńszy.

Siła więc prądu zależy od siły elektrowzbudzącej i od oporu; jest ona tem większa, im siła elektrowzbudząca jest większa i im opór jest mniejszy.

Prąd płynie nie tylko przez drut łączący bieguny stosu, ale płynie także w stosie przez metale i ciecze. Ciecze są znacznie gorszymi przewodnikami elektryczności, aniżeli metale, a prąd elektryczny napotyka w nich znaczny opór. Ogniwa małe i wielkie, złożone z jednakich materiałów, posiadają jednaką siłę elektrowzbudzącą, ale w ogniwie wielkiem prąd przechodzi przez grubszą warstwę cieczy, napotyka więc opór mniejszy. Widzieliśmy, jak z wielu małych ogniw można utworzyć jedno ogniwo wielkie, nie powiększamy przez to siły elektrowzbudzącej, ale zmniejszamy opór, co w pewnych razach jest rzeczą pożyteczną.

Wiemy już tedy, jak prąd powstaje; należy nam teraz poznać działania, jakie wywierać może.

§ 51. Ciepło wzbudzone przez prąd elektryczny.

Połącz oba bieguny krótkim drutem i dotknij go ręką: drut okaże się rozgrzanym, prąd elektryczny wywołuje więc objawy ciepła.

Drut cienki rozgrzewa się silniej, aniżeli gruby, drut platynowy silniej, aniżeli miedziany. Platyna jest gorszym przewodnikiem, aniżeli miedź; cóż stąd wynika? Prąd wzbudza ciepło tem znaczniejsze, im większy napotyka opór. Gdy opór ten jest bardzo znaczny, gdy zatem drut jest bardzo cienki, wywiązywanie ciepła jest tak silne, że drut rozżarza się świeci bardzo silnie. Pod wpływem silnego prądu, druty nawet platynowe mogą być stopione.

Jeżeli prąd przebiega przez cienki pręcik węgla, czyli przez drut węglowy, węgiel rozżarza się czyli przepala, podobnie jak drut platynowy. Czy węgiel tak długo świecić będzie? W powietrzu, jak wiemy, łączy się z tlenem i bardzo szybko spłonie zupełnie.

Czy można węgiel od szybkiej zagłady uchronić? Jeżeli usuniemy powietrze, węgiel spalać się nie będzie i przez długi czas będzie mógł świecić. W ten sposób urządza się lampy elektryczne.

Lampę taką widzimy na Fig. 61. Pasek węglowy bardzo cienki, zgięty w podkowę, umieszczony jest w kuli szklanej, z której powietrze zostało starannie wypompowane. Za pośrednictwem drucików metalowych końce tego paska węglowego połączone są śrubkami, do których doprowadzają się druty, idące od stosu.

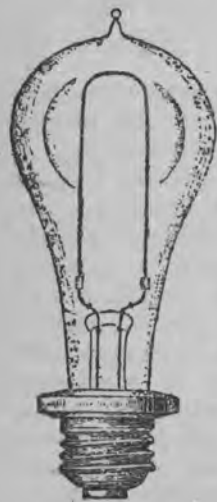


Fig. 61.

Skoro prąd przepływa, węgiel rozżarza się i świeci; gdy prąd przerwiemy, światło natychmiast gaśnie.

Podobne lampy elektryczne nazywają się żarzącymi lub żarówkami, światło ich bowiem powstaje wskutek rozżarzenia drucika węglowego, który zresztą może być i w inny sposób zwinęty, naprzykład w kształd litery M. Lampy żarzące niedawno wynalezione zostały i mogą doskonale zastępować lampy gazowe lub naftowe. Są wszakże innego rodzaju lampy elektryczne, które wydają światło o wiele silniejsze.

§ 52. Światło elektryczne.

Do obu biegunów stosu przymocujmy druty. Gdy końce tych drutów, które nazywają się zwykle elektrodami, zbliżamy ku sobie, iskry żadnej nie dostrzegamy; gdy jednak rozsuwamy zetknięte z sobą elektrody, ukazuje się iskierka. Czy możemy powiedzieć, że jest to zwykła iskra elektryczna? Iskra elektryczna przeskakuje już z daleka, gdy jakiegokolwiek ciała do przewodnika naelektryzowanego zbliżamy, ta zaś iskierka występuje dopiero, gdy rozdzielamy elektrody. Ma więc inne znaczenie i dla odróżnienia nazywamy ją iskrą galwaniczną.

Gdy rozsuwamy zetknięte końce drutów, po których prąd przebiega, rozżarzone ich cząsteczki odrywają się i przebiegają między niemi. Cząsteczki takie oczywiście są niesłychanie drobne, cienkie, przedstawiają też nader wielki opór przepływowi prądu elektrycznego i dlatego silnie się rozgrzewają, rozżarzają. Stąd wynika, że iskra galwaniczna jest tem świetlniejsza, im łatwiej cząsteczki te się odrywają. Zamiast stykać z sobą końce drutów bezpośrednio, zanurzymy je w rtęć. Ilekroć drut jeden z rtęci wysuwamy, okazuje się iskra bardzo żywa, od ciekłej bowiem rtęci cząstki odrywają się bardzo łatwo.

Szczególniej żywe światło występuje, gdy elektrody utworzone są z zaostzonych węgli, jak widzimy na Fig. 62. Pręciki węglowe *a* i *b* umieszczone są w osadach

metalowych, z którymi łączą się druty, idące od stosu. Osady metalowe oparte są na nóżce szklanej, a za pomocą rękojeści *A* można koniec węgla *a* zbliżać ku *b*,

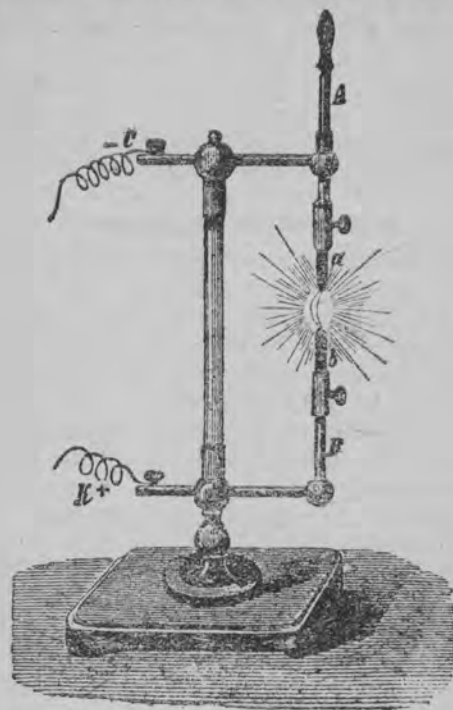


Fig. 62.

lub go oddalać. Gdy tedy węgiel górny zbliżymy tak, aby się zetknął z węglem *b*, prąd od stosu przechodzi przez druty, osady metalowe i węgle. W zaostzonych wszakże końcach tych węgla prąd napotyka opór bardzo znaczny, wskutek czego węgle rozżarzają się bardzo silnie i w punkcie ich zetknięcia ukazuje się nader jasna gwiazda, która, gdy znowu węgle nieco rozsuniemy,

powiększa się i nabiera oślepiającego blasku. Jeżeli stos składa się z kilkudziesięciu ogniów, to światło jest tak siłne, że, podobnie jak na słońce, można na nie patrzeć jedynie przez szkło okopcone. Wtedy widzieć można wyraźnie, że światło to ma postać łuku, i dlatego nazywa się łukiem woltanicznym albo łukiem galwanicznym jest zaś wogóle światłem elektrycznym.

Wiemy już, skąd to światło powstaje: cząstki węgla dodatniego odrywają się ciągle i przebiegają ku węglowi ujemnemu; jest to jakby pomost utworzony z drobniotkich cząsteczek, który przyplywowi prądu stawia bardzo znaczny opór i dlatego tak silnie się rozpala. Z powodu tego przebiegu cząstek, węgiel dodatni ciągle się wyżłabia w końcu, węgiel ujemny narasta, ale ponieważ znaczna ilość cząstek ulega spaleni, odległość między elektrodami ciągle się powiększa, prąd więc napotyka opór coraz większy, aż nakoniec pokonać go nie może i światło gaśnie. Trzeba więc węgle znowu ku sobie zbliżyć i następnie rozsunać. Obmyślono jednak urządzenia, przy których pomocy węgle pozostają ciągle w jednakowej odległości, a światło wtedy utrzymuje się jednostajnie.

Urządzenia takie stanowią lampy elektryczne, które się nazywają lampami łukowymi. Aby światło nie raziło oczu, otacza się je zwykle kulą ze szkła mlecznego. Węgale mogą być także ustawione nie naprzeciwko siebie, ale jeden obok drugiego, a takie urządzenia nazwano świecą elektryczną.

Lampy łukowe wydają światło bardzo silne i nadają się do oświetlenia ulic i wielkich placów.

Temperatura w łuku galwanicznym jest nader wysoka; nawet platyna może się w nim stopić. Jest to najwyższa temperatura, jaką otrzymać umiemy.

§ 53. Działanie chemiczne prądu elektrycznego.

Dotąd przeprowadziliśmy prąd elektryczny jedynie przez druty metalowe lub przez węgiel. Czy możnaby

go przeprowadzić przez wodę? Oczywiście, jeżeli końce obu drutów, idących od stosu, t. j. oba elektrody zanurzymy w wodę w pewnej między nimi odległości, to prąd przebiegać będzie od jednego do drugiego elektrodu przez wodę.

Woda przeprowadza elektryczność znacznie gorzej, aniżeli metale. Aby przewodnictwo jej powiększyć, można ją lekko zakwasić kilku kroplami kwasu siarczanego. Dlatego zaś, aby elektrody miały większą



Fig. 63.

powierzchnię, należy na końcach drutów osadzić niewielkie płytki platynowe. Zobaczymy wtedy, że na powierzchni płytek platynowych osadzają się drobne pęcherzyki gazowe, które się następnie odrywają i uchodzą.

Aby te uchodzące gazy zebrać, dwie epruwetki napełnione wodą umieszczamy nad elektrowodami tak, aby elektrody znajdowały się w różnych epruwetkach, jak widzimy na Fig. 63. Skoro tylko prąd przepuścimy, dostrzeżemy, że pęcherzyki gazowe przebiegają przez wodę w epruwetkach i ścierają się w górze. Gaz wywiązuje się żywiej nad elektrodem ujemnym, aniżeli nad dodatnim, a po pewnym czasie poznajemy, że objętość

gazu w epruwetce pierwszej jest dwa razy większa, aniżeli w drugiej. Do doświadczenia tego użyć trzeba stosu złożonego z kilku ogniów.

Jakie gazy zebrały się w epruwetkach? Skoro epruwetka nad elektrodem ujemnym już napełni się gazem, wydobądźmy ją z wody i zbliżmy do niej szybko zapalone drewnienko. Gaz natychmiast zapali się słabym wybuchem. Do epruwetki znów z nad elektrodu dodatniego zbliżmy drewnienko tylko zatlone, a zajaśnieje daleko żywiej i silniej żarzyć się będzie. Po tych cechach poznajemy, że w epruwetce pierwszej zebrał się wodór, a w drugiej tlen. Ale woda właśnie jest to połączenie obu tych gazów, wodoru i tlenu, skądżeż się one tu wzięły?

Pod wpływem więc prądu elektrycznego, woda ulega rozkładowi, cząstki wody rozpadają się na składowe swe części, przyczem wodór zbiera się przy biegunie ujemnym, tlen zaś przy dodatnim.

Nie trzeba sądzić, że gazy te tworzą się tylko przy elektrodach; rozkład następuje na całej drodze, którą prąd przebiega; w częściach pośrednich wszakże oswobodzony tlen jednej cząstki wody spotyka się z wodorem cząstki następnej i znów się z nią łączy, rozkład więc widocznym staje się tylko przy samych elektrodach.

Im silniejszy jest prąd, tem woda prędzej się rozkłada, tem więcej wywiązuje się w danym czasie gazów; z ilości tych gazów przeto wnosić można o sile prądu. Dlatego to przyrząd, przedstawiony na Fig. 63, nazywa się *w o l t a m e t r e m*.

Podobnie jak woda, tak również inne ciała ulegają rozkładowi pod wpływem prądu. Znać zapewne kamień piekielny, którego często używają lekarze; kamień piekielny jest to azotan srebra. W wodzie kamień piekielny łatwo się rozpuszcza. Przygotujmy tedy roztwór azotanu srebra i do cieczy tej wprowadźmy druty, idące od stosu. Pod wpływem prądu azotan srebra rozkłada się, kwas azotny zbiera się przy biegunie dodatnim,

srebro na ujemnym. Srebro wydziela się w postaci nader drobnego proszku, który na elektrodzie osiada. Połączmy teraz z drutem idącym od bieguna ujemnego jakikolwiek przedmiot miedziany, np. łyżkę. Wówczas oczywiście łyżka stanowi elektrodę ujemną, a na całej jej powierzchni osiada proszek srebrny, tworzący warstwę silnie do miedzi przylegającą. Łyżka zatem zostaje posrebrzona.

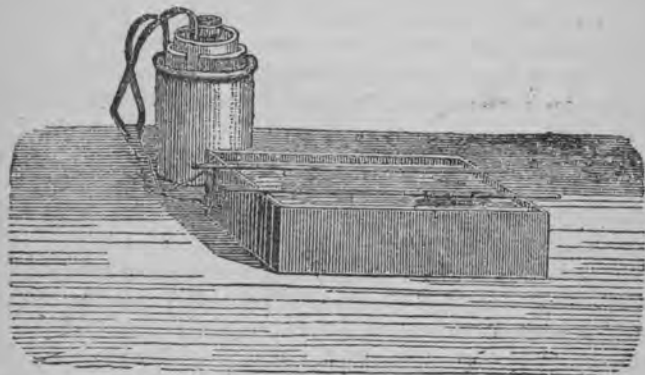


Fig. 64.

Mamy więc łatwy sposób srebrzenia różnych wyrobów z tańszych metali; im dłużej prąd przez roztwór azotanu srebra przechodzi, tem więcej srebra się wydziela, tem tedy grubsza jest warstwa srebra osiadająca na przedmiocie. Ten dogodny sposób srebrzenia nazywa się srebrzeniem galwanicznym. Fig. 64 przedstawia przyrząd do tego celu służący. Jest to naczynie, na którego brzegach oparte są dwa pręty miedziane, a pręty te łączą się z biegunami stosu i na jednym z nich (na którym?) zawieszają się przedmioty, które mamy posrebrzyć. Na pozostałym zaś zawieszają się płytkę srebrną, która ważne ma znaczenie. Gdy bowiem srebro osiada na przedmiotach, roztwór staje się

coraz uboższy w srebro i w końcu straciłby je zupełnie, zanim jeszcze przedmioty miedziane były dostatecznie posrebrzone. Ale jednocześnie na płycie srebrnej zbiera się kwas azotny (skąd się bierze?) i rozpuszcza ją ciągle. W miarę zatem, jak azotanu srebra z roztworu ubywa, przybywa coraz nowa jego ilość i srebrzenie odbywa się ciągle jednostajnie.

Czy można tak samo złocić wyroby miedziane lub srebrne? Oczywiście, trzeba się tylko postarać o taki związek złota, który jak azotan srebra, w wodzie się rozpuszcza.

W podobny sposób, wskutek działania prądu elektrycznego, można otrzymywać odciski metaliczne monet, medali, figur, lub innych wyrobów. Mamy np. rzadki medal, którego byśmy pragnęli posiadać odcisk miedziany. Przedewszystkiem przygotowuje się odlew danego przedmiotu ze stearyny, z wosku, gipsu, lub z innych materiałów miękkich, któreby mogły wiernie odtworzyć wszystkie rysy medalu. Odlew taki służy za formę, którą zawieszamy na pręcie (Fig. 64). Stearyna wszakże i wosk są złymi przewodnikami elektryczności, należy je przeto pokryć proszkiem grafitowym, który przewodnictwo powiększa. Naczynia napelniamy znany nam już roztworem siarczanu miedzi; pręt na którym wisi przygotowana forma, łączymy z biegunem ujemnym stosu, na drugim zaś pręcie, połączonym z biegunem dodatnim, zawieszamy płytkę miedzianą; dlaczego? Po pewnym czasie osiada tak gruba warstwa miedzi na formie, że formę można wykruszyć i pozostanie blaszka miedziana, stanowiąca dokładny odcisk metalu.

Rysunki w tej książce nazywają się drzeworytami dlatego, że po wyrysowaniu na drzewie były następnie wycięte. Po powleczeniu więc tuszem drukarskim mogły być odbijane na papierze. Drzewo wszakże nie jest materiałem dosyć twardym, po wielokrotnym odbijaniu rysunek się zaciera i dalsze odbicia nie będą już tak wyraźne i piękne, jak pierwsze. Czy można temu za-

radzić? Zamiast używać drzeworytów bezpośrednio do odbijania, można z nich otrzymywać odciski na miedzi, zwane galwanotypami, i tymi dopiero odciskami posługiwać się w druku.

Sposób ten otrzymywania wogóle odcisków metalowych nazywa się galwanoplastyką.

Teraz także możemy zrozumieć, dlaczego pierwotny stos Volty, złożony tylko z miedzi, cynku i wody zakwaszonej kwasem siarczanym, nie działał stale. Woda bowiem ulega rozkładowi i wewnątrz samego stosu, a wodór zbiera się na miedzi, osłabia jej przewodnictwo i przerywa należyte zetknięcie metalu tego z cieczą.

W stosie Bunsena zamiast miedzi mamy węgiel, ale wodór, powstający z rozkładu wody, dążąc do węgla napotyka na drodze swej kwas azotny, w którym węgiel jest umieszczony. Kwas azotny zawiera w sobie tlen w znacznej obfitości i łatwo go oddaje; wodór łączy się z tym tlenem, tworzy wodę, na węglu już nie osiada i nie osłabia prądu. Kwas zaś azotny, po utracie pewnej części swego tlenu, zamienia się w gaz, który uchodzi w powietrze.

§ 54. Prąd elektryczny i igła magnesowa.

Widzieliśmy, że prąd wywiera działanie na drut, po którym przepływa, rozgrzewa go i rozżarza; wpływ prądu okazuje się wszakże nie tylko w samym drucie, ale nawet w jego sąsiedztwie, prąd bowiem działa na igłę magnesową, umieszczoną w pobliżu.

Na Fig. 65 widzimy igielkę, opartą na pręciku, która, jak zwykle, przyjmuje kierunek z północy na południe; nad igielką, w kierunku do niej równoległym, rozciągnięty jest drut XY, którego końce łączymy ze stosem. Skoro tylko prąd przepływa przez drut, igielka zbacza od swego położenia pierwotnego. Jeżeli mianowicie koniec drutu X połączony jest z biegunem dodatnim, a koniec Y z biegunem ujemnym, czyli gdy prąd płynie w kierunku od X do Y, to biegun północny igielki zba-

cza w kierunku strzałki F'; gdy natomiast prąd w drucie płynie w kierunku od Y do X, biegun północny igielki zbacza w stronę przeciwną, t. j. w kierunku wskazaną przez strzałkę F.

Jeżeli zaś drut umieścimy poniżej igielki, to te zboczenia mają kierunki wprost przeciwne; gdy prąd płynie od X do Y, biegun północny zbacza w kierunku strzałki F, a gdy płynie od Y do X, biegun ów zbacza w kierunku strzałki F'.

Z doświadczeń tych wnosimy, że prąd elektryczny usiłuje znajdującą się blisko igielkę magnesową odchy-

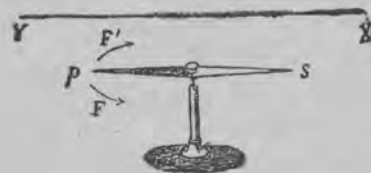


Fig. 65.

lic od zwykłego jej położenia południowego i nadać jej kierunek prostopadły do kierunku w jakim płynie. Aby oznaczyć, w jakim kierunku to odchylenie ma miejsce, wyobraźmy sobie figurkę, która płynie w kierunku prądu, t. j. tak, jakby prąd wchodził przez jej nogi, a wychodził przez jej głowę, i nadto zwrócona jest twarzą ku igielce: w takim razie biegun północny igielki zwraca się zawsze w stronę lewej ręki tej figurki. Zasada ta podana została przez Ampère'a i dlatego nazywa się regułą albo prawidłem Ampère'a.

Otoczmy teraz igielkę drutem tak, żeby tworzył około niej jakby prostokąt, jak widzimy na Fig. 66. Prąd płynie około igielki kolejno w kierunkach AB, BC, CD, DF; czy różne te kierunki prądu wywierają wpływ jednakowy na zboczenie igielki i nawzajem sobie pomagają, czy też przeszkadzają? Jak na to odpowiemy? Trzeba sobie wystawić, że ową figurkę, o któ-

rej wyżej mówiliśmy, umieszczamy kolejno w każdej części prądu i uważamy, gdzie przypada jej lewa ręka. W części AB figurka miałaby głowę zwróconą ku B, a twarz ku igielce, zatem ku dołowi, jej więc ręka lewa znajdowałaby się przed płaszczyzną rysunku, czyli przed papierem, i biegun północny zbacza przed papier, jak strzałka wskazuje. W części BC figurka miałaby głowę zwróconą ku dołowi, twarz ku igielce, ręka jej lewa zatem znowu znajdowałaby się przed papierem i biegun północny tak samo zbacza przed papier. Rozważwszy podobnie położenia, jakie by miała owa figurka w części CD i w części DF, poznamy, że mają na igielkę wpływ taki sam, jak w części AB i BC.

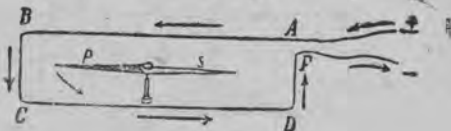


Fig. 66.

Igielka pod wpływem ziemi usiłuje pozostawać w kierunku południkowym; jeżeli w pobliżu igielki przebiega prąd bardzo słaby to nieznacznie tylko odchylić ją zdoła. Gdy jednak drut ten obiega dokoła igielki, jak na Fig. 66, to wszystkie jego części wzajemnie sobie pomagają, działanie prądu wzmacnia się i igielka więcej się odchyła. Jeżeli zaś drut wielokrotnie oprowadzimy dokoła igielki, jak na Fig. 67, wtedy wszystkie skręty drutu działają jednakowo i igielka nawet pod wpływem słabego prądu, silnie odchyłać się będzie. Drut ten, ułożony w gęsto idących zwojach, winien być oprzędzony jedwabiem; dlaczego?

Na rycinie tej widzimy dwie igielki, zawieszona na jednej nici; jaki cel ma to urządzenie? Igielki te połączone są z sobą tak, że biegun północny jednej przypada nad biegunem południowym drugiej; łatwo zatem wnosimy, że wpływ ziemi na niej nie jest usunięty,

a także igielki, zwane *astatycznymi*, ulegają działaniu choćby najslabszego prądu elektrycznego. Im prąd będzie silniejszy, tem igielka więcej się odchyli.

Przyrząd ten zatem może służyć do mierzenia siły przepływających prądów galwanicznych i wtedy nazywa się *galwanometrem*; trzeba tylko poniżej górnej igielki umieścić kolo podzielone na stopnie, aby dokładnie można było oznaczyć odchylenie się igielki od ich położenia pierwotnego. Nadto przyrząd cały

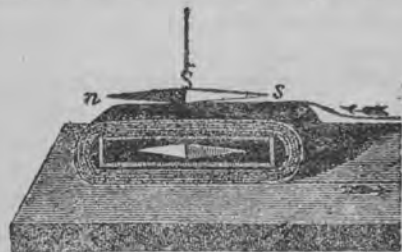


Fig. 67.

okrywa się kloszem szklanym, aby go uchronić od przewiewu powietrza. Zapomocą czułych galwanometrów przekonano się, że w mięśniach i nerwach naszych krążą słabe prądy elektryczne.

Odchylenie igielki magnesowej pod wpływem prądu wskazuje, że istnieje związek elektryczności z magnetyzmem. Związek ten jeszcze wybitniej nam się dalej uwidoczni.

§ 55. Elektromagnetyzm.

Wskutek działania prądu elektrycznego żelazo staje się *magnesem*.

Pręt walcowy z żelaza miękkiego otocz dokoła zwojem drutu, jak to wskazuje Fig. 68; końce tego drutu połącz z biegunem stosu. Gdy prąd po drucie przepływa, żelazo staje się *magnesem*, przyciąga bowiem wtedy

opilki lub brylki żelazne, w chwili zaś, kiedy prąd przerywamy, przyciągnięte masy żelazne opadają. Właściwości więc magnetyczne trwają tylko podczas obiegu prądu i wraz z nim ustają.

Powtarza się tu jednak toż samo, co ze wzbudzeniem magnetyzmu w żelazie miękkim i stali (§ 38). Jeżeli bowiem, zamiast walca z żelaza miękkiego, użyjemy pręta stalowego, a po otaczających go zwojach przez czas pewien przepuszczając będziemy prąd, stal stanie się również magnesem, ale pozostanie nim także po przerwaniu prądu. Możemy więc stal magnesować bez pomocy magnesu.

Większej wszakże wagi, jak zobaczymy, są dla nas magnesy z żelaza miękkiego, które tracą magnetyzm wraz z przerywaniem prądu i odzyskują go natychmiast po przepuszczeniu prądu. Są to więc magnesy chwilowe i nazywają się elektromagnesami. Elektromagnes nie tylko przyciąga żelazo, ale, podobnie jak każdy magnes, posiada dwa bieguny, północny i południowy. Jak się o tem przekonać?

Elektromagnes, przedstawiony na Fig 68, posiada biegun północny u dołu, południowy u góry. Jeżeli kierunek prądu zmienimy, albo jeżeli zwój drutu skęcimy w stronę przeciwną, bieguny zmienią swe położenie. Wiedząc, jaki jest kierunek, w którym prąd płynie, z góry przewidzieć możemy, w którym końcu pręta żelaznego przypadać będzie biegun północny, a w którym południowy, i tu bowiem zastosować możemy prawo Ampère'a. Gdy wiadoma figurka płynie w kierunku prądu i patrzy na pręt żelazny, biegun jego północny przypada zawsze po lewej ręce figurki. Czy to się sprawdza na naszej rycinie?

Jeżeli prąd jest słaby, to elektromagnesy, przez prąd ten wzbudzone, także są słabe: im prąd jest silniejszy, tem silniejszy jest elektromagnes. Siła elektromagnesu zależy wszakże jeszcze od ilości skrętów. Gdy skręty biegną gęsto obok siebie, a prąd jest dostatecznie silny, elektromagnesy są o wiele silniejsze od magnesów zwy-

kłych, o których mówiliśmy dawniej. Gdy drut biegnie w gęstych skrętach, winien być oprzędzony jedwabiem.

Szczególnie wszakże silne są elektromagnesy zgięte w podkowę, jak na Fig. 69. Gdy do takiego elektromagnesu przyłożymy pręt żelazny, czyli t. zw. kotwicę, mo-

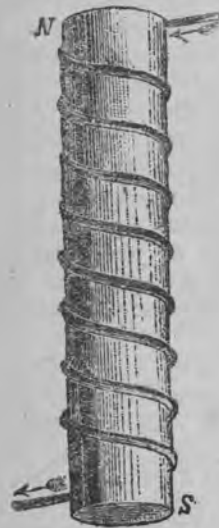


Fig. 68.

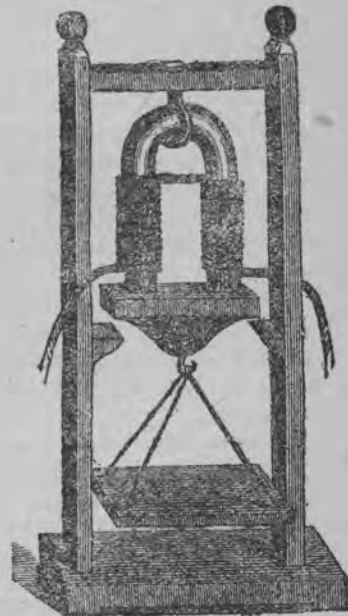


Fig. 69.

żna na niej zawieszać znaczne ciężary, tem większe, im elektromagnes jest większy i przepływający po nim prąd silniejszy, kotwica ta jednak odpada natychmiast, skoro tylko prąd przerywamy.

Tak potężne elektromagnesy działają nietylko na żelazo, ale i na inne ciała. Magnetyzm więc nie jest, jak mniemaliśmy dotąd, wyłączną własnością żelaza. Dopóki używano tylko zwykłych, słabych magnesów,

wpływu ich na inne ciała, prócz żelaza, nie można było dostrzec. Papier nawet jest przez silny elektromagnes przyciągany; jest więc, podobnie jak żelazo, ciałem magnetycznym. Są wszakże inne ciała, jak srebro, miedź, siarka, które zachowują się przeciwnie, t. j. są przez bieguny elektromagnesów odpychane.

Jeżeli pręt żelazny (Fig. 68) wysuniemy z otaczających go skrętów drutu, to pozostanie nam tylko rurka, utworzona z drutu spiralnie skręconego. Rurka taka, chociaż wewnątrz niej nie znajduje się już wałek żelazny, gdy przez jej drut przebiega prąd, okazuje także własności magnetyczne, jakkolwiek słabsze, niż wtedy, kiedy w niej było żelazo. Przyciąga opilki żelazne, a gdy jest zawieszona swobodnie tak, że może się obracać, układa się w kierunku z północy na południe; posiada zatem biegun północny i biegun południowy. Gdy do niej zbliżymy inną podobną rurkę, okaże się, że zachowują się podobnie, jak dwa magnesy, to jest, bieguny ich różnoimienne przyciągają się, a jednoimienne odpychają. Rurka taka z drutu skręconą nazywa się *senoidem*.

Z tego wszystkiego wniesić możemy łatwo, że zachodzi ścisły związek między elektrycznością a magnetyzmem, a z tego związku, jak zaraz zobaczymy, można dogodnie korzystać.

§ 56. Dzwonek elektryczny. Telegraf.

W wielu mieszkaniach urządzone są dzwonki elektryczne; są to właściwie dzwonki elektromagnetyczne, bo najważniejszą ich część stanowi elektromagnes. Do dzwonka takiego dochodzą druty od stosu, który znajduje się gdziekolwiek bądź w mieszkaniu. Aby zadzwonić, trzeba tylko nacisnąć guzik, przez naciśnięcie to bowiem zamykamy prąd, t. j. zbliżamy do siebie rozdzielone w tem miejscu końce drutów, a prąd natychmiast dobiega do dzwonka. W przyrządzie takim (Fig. 70) prąd przepływa przez sprężynę *g*, stąd przez kotwicę

żelazną *f* i przez drucik *m* dochodzi do śrubki *p*, a następnie do elektromagnesu *e*; obiegłszy zaś zwoje, otaczające elektromagnes, przez śrubkę *p* wraca do stosu. Podczas obiegu prądu przez zwoje drutu, otaczające podkowę żelazną, podkowa ta staje się magnesem i przyciąga kotwicę żelazną *f*, a w tej chwili młoteczek *K* uderza o dzwonek *T* i wydaje dźwięk. Tem samym kotwica *f* oddala się od sprężyny *g*, prąd więc przerywa się natychmiast i elektromagnes traci swój magnetyzm,



Fig. 70.

przestaje być magnesem, kotwica więc nie jest już przyciągana. Wraca przeto na swoje miejsce, ale wtedy dotyka znowu sprężyny *g*, a więc prąd przebiega, podkowa staje się magnesem, przyciąga kotwicę i następuje uderzenie młotka o dzwonek. Toż samo powtarza się ciągle, dopóki tylko prąd płynie, dzwonek tedy brzmi ustawicznie, gdy guzik naciskamy; prąd zamyka się i otwiera bez naszego udziału.

Dzwonek można umieścić w innym, niż naciskany guzik mieszkaniu, albo wogóle w jakimkolwiek miejscu, choćby odległym, byleby istniało odpowiednie połączenie drutami; naciskając guzik, możemy wywołać dzwonenie. Prąd, który wypływa z pewnego punktu, natychmiast okazuje działanie swe w punkcie, choćby

bardzo odległym, szybkość bowiem tego rozchodzenia się porównać można z szybkością światła. W tejże samej przeto chwili, w której naciskamy guzik, już rozlega się głos dzwonka, choćby się w innym mieście znajdował.

Za pomocą takich dzwonek mamy tedy możność porozumiewania się z osobami oddalonymi (sygnały na kolejach żelaznych). O wiele wszakże doskonalszy sposób szybkiego przesyłania wiadomości na znaczną odległość dają telegrafy.

W telegrafach, również jak w dzwonekach, zastosowane są elektromagnesy. Nie służą tu jednak do wywoływania dźwięku, ale przy pomocy stosownego urządzenia kreślą na papierze znaczki stanowiące pismo.

Na jednej stacji, którą nazwijmy A, znajduje się stos i przyrząd do przerywania prądu, na drugiej B, elektromagnes. Obie te stacje połączone są drutami, rozciągniętymi na słupach, do których przytwierdzają się za pośrednictwem osad szklanych lub porcelanowych, a to dlatego, aby druty należycie były odosobnione. Drut powinien iść od stosu ze stacji A do elektromagnesu na stacji B, i stąd znowu wracać do stosu. Dla połączenia tedy dwu stacji trzeba by właściwie dwu drutów, poznano wszakże, że jeden drut do tego celu wystarcza, drugi bowiem drut zastępuje nam tu ziemia.

Dzieje się to w sposób, jak wskazuje Fig. 71. Na jednej i drugiej stacji zapuszczają się w ziemię płyty miedziane; połączone z obu końcami drutu. Prąd od A do B płynie po drucie, a wraca do stosu przez ziemię. Może się nam to wydawać dziwnem, że prąd odnajduje w ziemi kierunek właśnie do pierwotnej stacji i nie zwraca się w inną stronę. Nie należy wszakże mniemać, że ziemia działa tu jak drut między dwoma stacjami; stanowi tu ona raczej olbrzymi przewodnik, po którym elektryczność wciąż się z drutów rozchodzi, a wskutek tego po drucie prąd bez przeszkody może ciągle przepływać.

Aby zaś można było wiadomości przesyłać także

w kierunku odwrotnym, t. j. ze stacji B do A, należy unieść stos na stacji B, a elektromagnes na stacji A, a nadto należałoby połączyć je drugim drutem. Przy pomocy jednak stosownego urządzenia jeden drut tylko wystarcza do telegrafowania w obie strony.

Urządzenie to obu stacji przedstawione jest w ogólnym rysie na Fig. 71. Na każdej stacji znajdujemy stos i elektromagnes M, a nadto jeszcze przyrząd do-

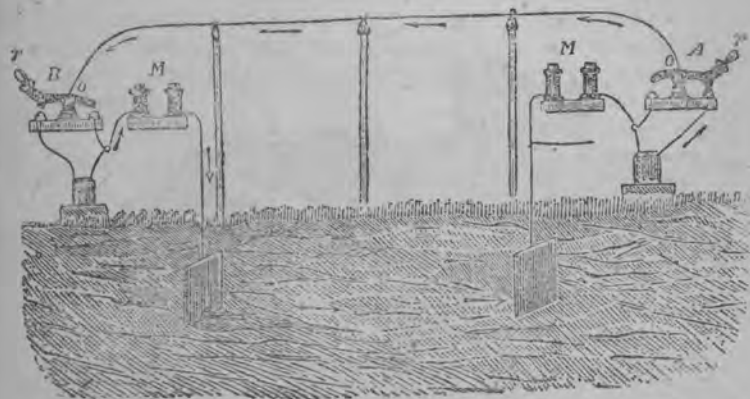


Fig. 71.

datkowy, który się nazywa „kluczem”. Klucz jest to drążek mosiężny, który może się obracać około osi o i zwykle pozostaje w takim położeniu, jakie na rysunku naszym zajmuje na stacji B, zapomocą jednak rączki drewnianej r można go przechylać, a wtedy przyjmuje położenie takie, jakie na rysunku przedstawia klucz stacji A. Jeżeli się przyjrzymy dokładnie rysunkowi, to zauważymy, że na stacji A klucz jest połączony ze stosem, a na stacji B z elektromagnesem M. Prąd więc płynie ze stosu na stacji A przez klucz A, przez druty i przez klucz stacji B do tamtejszego elektromagnesu M, a stąd przez płytę miedzianą rozchodzi się po ziemi.

Przy takim ustawieniu kluczy stacja A wysyła depeszę, stacja B ją odbiera, telegrafista porusza rączką klucza A, przerywa zatem lub zamyka prąd, biejący po drucie, a wraz z tem przerywaniem i zamykaniem prądu elektromagnes stacji B traci swe własności magnetyczne, lub znowu je zyskuje; poznamy zaś zaraz, w jaki sposób to się ujawnia.

Urządzenie, służące do wypisywania otrzymanych depesz, przedstawione jest na Fig. 72. Elektromagnes,

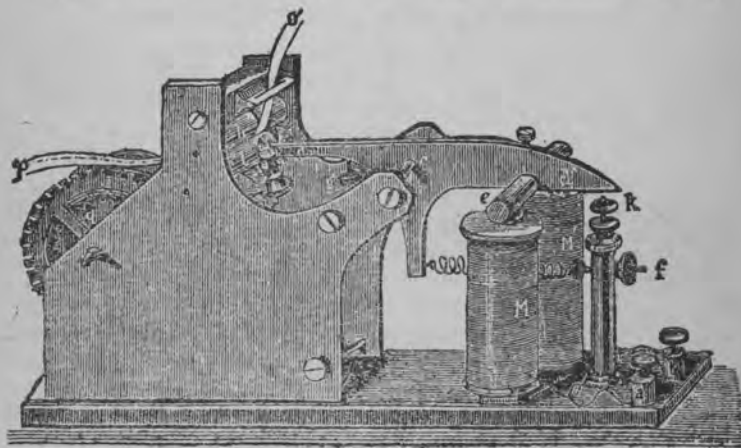


Fig. 72.

MM jest to ten sam elektromagnes, który na rycinie poprzedniej znaczone był literą M; ponad nim znajduje się drążek *dd*, który na jednym końcu dźwiga kotwicę żelazną *e*, a na drugim ostrze stalowe *i*. Skoro prąd z innej stacji przybywa i obiega zwoje elektromagnesu, kotwica zostaje doń przyciągnięta, jednocześnie drążek *dd* pochyla się, a ostrze naciska pasek papierowy *op*, który się nad nim przesuwa. Gdy prąd ten trwa tylko krótką chwilę, t. j. gdy telegrafista na stacji wysyłającej depeszę chwilowo tylko klucz naciśnie, ostrze na

papierze wytłacza kropkę; gdy prąd trwa dłużej, na papierze wyciska się kreska, z kropek zaś i kresek ułożyć można umówiony alfabet, i tak: . — oznacza *a*, — . . . *b*, — . — . *c*, itd. Sprężyna służy do utrzymywania drążka w zwykłym jego położeniu, tak, że skoro prąd zostaje przerwany, a elektromagnes traci magnetyzm, sprężyna ściąga drążek *dd* do pierwotnego położenia, przy którym ostrze już nie dotyka papieru. Do przesuwania paska papierowego, nawiniętego na kole (nie przedstawionem na rycinie), służy przyrząd zegarowy, którego część widzimy przy *q*. W przyrządzie są inne jeszcze części dodatkowe, których wszakże opisywać nie będziemy.

Przyrząd tego rodzaju nazywa się aparatem drukującym Morse'a. Są jednak inne przyrządy, drukujące zwykłymi czcionkami, a nawet takie, które odtwarzają dokładnie pismo lub rysunek, złożone na innej stacji, co polega na zastosowaniu działań chemicznych prądu.

Telegrafy wynalezione zostały dopiero przed osiemdziesięciu laty, a obecnie już druty telegraficzne nawet na dnach morskich są ułożone, jak na dnie oceanu Atlantyckiego, łączące Europę z Ameryką, a wiadomości z Ameryki, na które dawniej długo czekać trzeba było, dochodzić do nas mogą w jednej chwili.

Własności elektromagnesów, dają się zastosować do wielu innych celów praktycznych, ale już telegraf wskazuje w sposób uderzający, jak znaczne korzyści możemy z nich osiągnąć.

§ 57. Prądy indukcyjne.

Wiemy już, że pod wpływem prądu elektrycznego żelazo stawać się może magnesem; zabaczmy teraz, że nawzajem pod wpływem magnesu powstawać mogą prądy elektryczne.

Długi i cienki drut, oprzędzony jedwabiem, owińmy dokola rury czyli *c e w k i* drewnianej lub tekturowej A

(Fig. 73) tak, by skręty biegły gęsto obok siebie, jak widzimy na Fig. 73. Oba końce drutu dochodzą do dwu śrubek mosiężnych *a* i *b*, z którymi także łączyć można

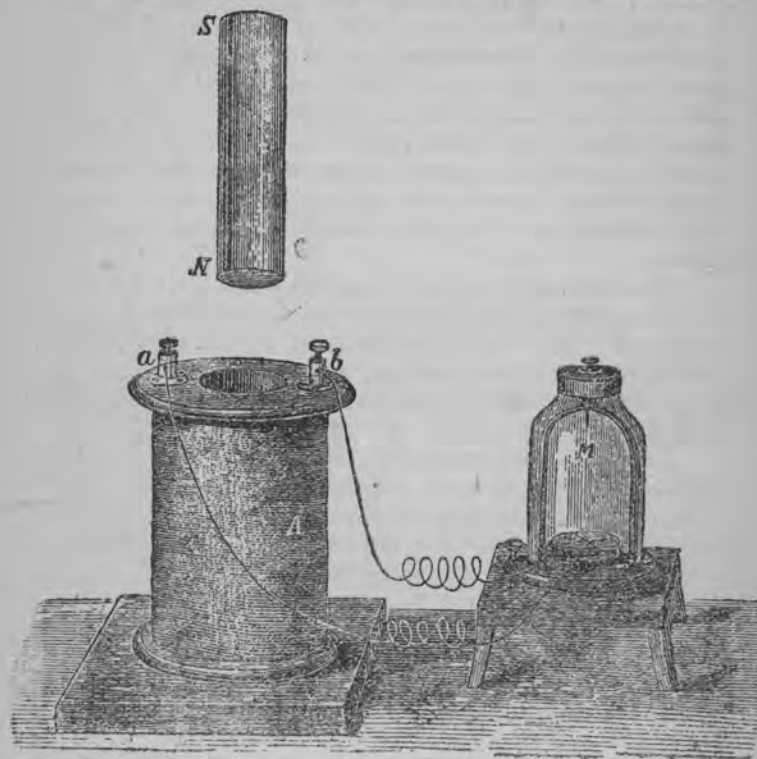


Fig. 73.

inne druty. Na rycinie naszej druty te, osadzone w śrubkach *a* i *b*, połączone są z przyrządem M. Przyrząd ten znamy, jest to bowiem galwanometr (§54), który ma nam okazać, czy prąd elektryczny przebiega po drucie.

Przygotowawszy w ten sposób cewkę i galwanometr, weźmy w rękę silny magnes NS i wsuńmy go szybko w rurę. Cóż dostrzegamy w tej chwili? Oto igielka magnesowa galwanometru odchyła się i zbacza ze swego położenia, ale natychmiast do niego wraca. Ruch ten igielki wskazuje, że po drucie przebiegł prąd. W chwili zatem, w której do zwoju drutu zbliżaliśmy magnes, w drucie został wzbudzony prąd krótkotrwały, chwilowy, który ustaje, przerywa się, skoro tylko zatrzymujemy magnes. Dopóki magnes wewnątrz cewki się znajduje, igielka galwanometru pozostaje nieruchoma, po drucie zatem prąd nie płynie.

Wysuńmy teraz magnes z cewki: igielka znowu zbacza na chwilę, ale w stronę przeciwną. Przy oddalaniu tedy magnesu od drutu powstaje w nim również prąd chwilowy, ale przebiegający w kierunku przeciwnym. Przypomnijmy sobie, co rozumiemy przez kierunek prądu (§ 54).

Powtórzmy to doświadczenie, ale odwróciwszy magnes; jeżeliśmy go zbliżali poprzednio do drutu biegunem południowym, zbliżajmy go obecnie biegunem północnym. Igelka zbacza teraz w tę stronę, w którą odchylała się poprzednio przy wysuwaniu magnesu. Tak samo wreszcie przy oddalaniu magnesu igielka odchyła się teraz w tę stronę, co poprzednio przy jego zbliżaniu.

Doświadczenie to zatem wyraźnie wskazuje, że zarówno przy zbliżaniu, jak i przy oddalaniu magnesu od drutu, wzbudzają się w nim prądy chwilowe, krótkotrwałe, przebiegające to w jedną, to w drugą stronę. Przy zbliżeniu bieguna południowego wytwarza się w drucie prąd, płynący w tym samym kierunku, co przy oddaleniu bieguna północnego, a znowu zbliżenie bieguna południowego ma wpływ taki sam, jak oddalenie bieguna północnego.

Te prądy elektryczne nazywają się prądami indukcyjnymi, t. j. wzbudzonymi. Są to wprawdzie prądy chwilowe tylko, ale jeżeli magnes szybko zbliżamy i oddalamy od drutu, następują po sobie bar-

dzo szybko. Moznaby się też zapytać, czy nie szkodzi, że prądy przebiegają po drucie naprzemian, to w jedną, to w drugą stronę; otóż, w niektórych razach nie jest to wcale szkodliwe, w innych znów przypadkach obmyślano urządzenia, które wszystkie te prądy chwilowe zwracają w jedną stronę a wtedy, gdy szybko po sobie następują, działają zupełnie tak, jakby po drucie płynął zwykły, trwały prąd elektryczny. Mamy zatem możliwość otrzymywania prądów elektrycznych zgoła bez stosów.

Nie tylko jednak magnes wywoływać może prądy w drucie sąsiednim, podobnież działa i prąd elektryczny. Jeżeli do cewki A (Fig. 73), zamiast magnesu, wsuwać będziemy zwój drutu, po którym płynie prąd ze stosu, to w drucie otaczającym cewkę powstają także prądy chwilowe, indukcyjne, które przy zbliżaniu zwoju drutu płyną w jedną, a przy oddalaniu go w przeciwną stronę.

Ale prąd elektryczny wywołać może prądy indukcyjne i w inny jeszcze sposób. Gdy prąd elektryczny szybko przerywamy i zamykamy, to w drucie sąsiednim wzbudzają się wciąż chwilowe prądy indukcyjne, przebiegające naprzemian w strony przeciwne; jakiegokolwiek zresztą zmiany w natężeniu prądu zachodzą, wszelkie jego ruchy, drgania, wystarczają do wywoływania podobnych prądów indukcyjnych.

Przy odpowiednim urządzeniu prąd elektryczny przebiegający po drucie oddziaływać może nawet na drut w bardzo znacznej odległości rozciągnięty; skorzystano z tego do przesyłania depesz telegraficznych między dwiema stacjami, które zgoła drutem nie są połączone. Mamy wtedy telegraf bez drutu.

Podobnie więc, jak głos i światło, tak też i działania elektryczne rozchodzić się mogą na znaczną odległość bez widocznego pośrednictwa, i podobnie, jak przy rozprzestrzenianiu się głosu i światła (§ 31), tworzą się tu pewnego rodzaju fale elektryczne, ale teraz mó-

wie nie będziemy, w jaki sposób można bliżej je poznać.

Prądy indukcyjne przed sześćdziesięciu przeszło laty odkrył uczony angielski Faraday; oddawać nam mogą bardzo ważne usługi, a Faraday odkryciem ich zasłużył na wdzięczność ludzką.

Faraday był synem bardzo biednych rodziców, którzy go do szkoły posyłać nie mogli i kierowali go na introligatora. Pracując jednak w swem rzemiośle, znajdował czas na czytanie książek użytecznych i starał się powtarzać doświadczenia, o których czytał. Dzięki tak gorliwej pracy stał się jednym z najznakomitszych uczonych i dokonał wielu ważnych odkryć, służąc jednocześnie za przykład, jak wytrwałością i pracą pokonywamy ciężkie nawet przeszkody i dochodzimy do upragnionego celu.

§ 58. Maszyny magneto-elektryczne.

Poznaliśmy już, że można otrzymywać prądy elektryczne zgoła bez udziału stosów, a jedynie wskutek ruchu magnesów. Przyrządy, służące do takiego wytwarzania prądów, nazywają się maszynami magneto-elektrycznymi.

Jak maszynę taką urządzić można, poznajemy łatwo z Fig. 74. Widzimy tu magnes zgięty w podkowę, którego biegun północny jest N, a południowy S. Naprzeciwko tego magnesu umieszczony jest pręt z żelaza miękiego również zgięty w podkowę; na obu jego odnogach w pobliżu końców, osadzone są dwie cewki, otoczone drutem, który z jednej przechodzi na drugą tak, że gdy na pierwszej zwinie się do góry ku dolowi, na drugiej biegnie od dołu ku górze. Gdy wprawiamy magnes w szybki obrót, bieguny jego zbliżają się ku cewkom, lub oddalają od nich, w zwojach przeto drutu wzbudzają się prądy. Gdy biegun północny zbliża się do cewki A, w tejże chwili biegun południowy zbliża się do cewki B; w obu tedy zwojach wytwarzają się prądy, lecz biegnące w strony przeciwne. Ale druty te

na obu cewkach skrócone są w strony przeciwnie; prądy te więc łączą się w jeden. Gdy przy dalszym obrocie oba bieguny oddalają się od cewek, prąd w obu zwojach zmienia razem swój kierunek; mamy więc znowu jeden prąd elektryczny, ale płynący teraz w stronę przeciwną. Ilekroć zatem w czasie obrotu bieguny przesuwały się obok cewek, prąd w drucie zmienia swój kierunek. Maszyna taka wydaje przeto prądy krótkotrwałe, szybko po so-

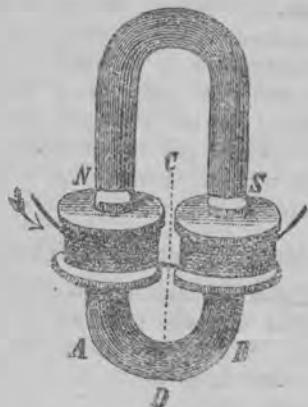


Fig. 74.

bie następujące, biegnące naprzemian to w jedną, to w drugą stronę.

Przy takim obrocie magnesu, wzbudza się też i nienie bezustannie magnetyzm w pręcie żelaznym AB, a to przyczynia się znacznie do wzmożenia tego działania, a prądy indukcyjne stają się silniejsze.

Niekoniecznie zresztą trzeba w obrót wprowadzić magnes, może on pozostawać nieruchomym, jeżeli natomiast obracać będziemy podkowę żelazną AB. Wtedy zwoje drutu zbliżają się i oddalają od biegunów magnesu i tak samo wzbudzają się w nich prądy. Linja kropkowana CD na rycinie wskazuje oś, około której obrót ten następuje.

Na rysunku przedstawione są tylko główne części maszyny; potrzeba tu jeszcze korby, któraby ją w szybki obrót wprowadzić mogła. Pojmujemy też łatwo, że jeżeli złożymy ją z większej ilości magnesów i cewek, prądy będą silniejsze, a potężne maszyny magneto-elektryczne wydają prądy bardzo silne, jakie możnaby otrzymać jedynie ze stosów, złożonych z bardzo wielkiej ilości ogniw.

Widzimy więc, że maszyna taka zastępuje nam stos galwaniczny, a końce drutu, otaczającego cewki, odpowiadają biegunom stosu, z tą tylko różnicą, że tu każdy koniec drutu staje się naprzemian biegunem dodatnim i ujemnym. Jeżeli oba te końce połączymy z galvanometrem, co dostrzeżemy podczas obrotu maszyny? Ruchy te igielki wskazują, że prądy, wzbudzone w zwojach drutu, płyną wciąż w strony przeciwnie.

Jeżeli na końcach drutu osadzimy walce mosiężne i ujmemy je w ręce, to podczas obrotu maszyny doznajemy silnych wstrząśnień, jakby od ciągłego wyładowywania butelki lejdejskiej. Wstrząśnienia te pochodzą stąd, że prąd nie jest ciągły, ale przerywany. Maszyny takich używają często lekarze.

Silne maszyny magneto-elektryczne doskonale służyć mogą do oświetlenia elektrycznego. Tu bowiem nie szkodzi bynajmniej, że prądy płyną wciąż w strony przeciwnie. Do wprowadzenia w ruch tak wielkich przyrządów nie wystarcza wprawdzie siła ręki ludzkiej i trzeba używać do tego maszyny parowej, ale w każdym razie wypada to korzystniej i taniej, aniżeli nastawiać stos z kilkuset ogniw. Dlatego też światło elektryczne rozpowszechniać się zaczęło dopiero wtedy, kiedy zbudowano silne maszyny magneto-elektryczne.

Czy jednak maszyna taka zawsze zastępować nam może stos, czy można jej używać do robót chemicznych, jak np. do srebrzenia, do rozkładu wody? Wiemy przecież, że tlen zbiera się zawsze przy biegunie dodatnim, a wodór przy ujemnym, tu zaś bieguny ciągle się zmieniają każdy koniec drutu naprzemian staje się biegu-

nem dodatnim i ujemnym... Cóż zatem?... Oba gazy zbierałyby się wciąż przy obu końcach drutu i wciąż ze sobą znowu by się łączyły; rozkład więc wody nie następowałby zgoła.

Aby więc maszyna magneto-elektryczna służyć mogła do rozkładów chemicznych, trzeba się postarać o to, aby wszystkie chwilowe prądy płynęły w jednym kie-



Fig. 75.

runku. Do tego celu służy przyrząd dodatkowy, zwany komutatorem, t. j. zmieniaczem, który wszystkie prądy zwraca w jedną stronę. Można jednak urządzić maszynę magneto-elektryczną, która nawet bez komutatora wytwarza prądy płynące w jednym kierunku, a to w ten sposób, że zamiast walcowych zwojów drutu używa się pierścienia, otoczonego drutem, jak widzimy na Fig. 75. Pierścień ten, zwany pierścieniem indukcyjnym, obraca się między dwoma biegunami magnetycznymi N i S, a wskutek tego w zwojach

drutu, które przypadają w pobliżu bieguna południowego, wzbudza się prąd, płynący w jednym, w zwojach zaś drutu, będących w pobliżu bieguna północnego, prąd, płynący w kierunku przeciwnym. Prądy te znosiłyby się nawzajem, gdyby w miejscach p i p' nie przylegały do drutu prątki metalowe, po których spływają na zewnątrz. Gdy więc prątki p i p' połączymy drutem, to prąd płynąc po nim będzie wciąż w jednakim kierunku, jak to znów objaśnia Fig. 76.



Fig. 76.

Pierwszą taką maszynę urządził Gramme, nie możemy jej tu szczegółowo opisywać, ale z tego, cośmy powiedzieli, jest widoczne, że może zupełnie już zastępować stosy galwaniczne i przydaje się zarówno do oświetlenia elektrycznego, jak i do robót chemicznych.

Maszyny magneto-elektryczne oddają nam bardzo ważne usługi. Możliwe nawet błędnie sądzić, że prądy elektryczne wywiązują się tu bez żadnego nakładu. Rzeczywiście, gdy prądy otrzymujemy ze stosów, to materiały do nich używane, jak cynk, ciągle się zużywają; tu zaś magnes wystarcza raz na zawsze. Nie zapomnijmy jednak, że prądy powstają wtedy tylko, gdy maszyna jest w ruchu; aby zaś ruch ten utrzymywać, potrzeba pracy. Zdawałoby się, że to nietrudno przecież zwój drutu obracać, ale doświadczenie uczy, że gdy

w pobliżu zwoju znajduje się magnes, gdy więc w zwoju tym wywiązują się prądy elektryczne, obrót natychmiast staje się o wiele trudniejszym, i wymaga tem większego nakładu pracy, im te prądy są silniejsze. Poznajemy z tego łatwo, że w maszynach magneto-elektrycznych elektryczność powstaje kosztem pracy, na obrót ichłożonej.

Wynaleziono nawet maszyny, które wytwarzają prądy elektryczne zgoła bez magnesów. Wiemy, że żelazo miękkie pod wpływem prądu elektrycznego staje się silnym magneselem, można przeto do budowy maszyn magneto-elektrycznych, zamiast zwykłych, stalowych magnesów, użyć elektromagnesów (§ 55), t. j. wałców z żelaza miękiego, dokoła których przebiega prąd elektryczny. Oczywiście z urządzenia takiego korzyści nie byłoby żadnej, bo trzeba by doprowadzić prąd ze stosu; poznano jednak, że można tu korzystać z prądu, który sama maszyna wydaje. Zamiast magnesów mamy tu tylko pręty żelazne, otoczone drutem, który się łączy ze zwojami drutu pierścienia indukcyjnego. Przypomnijmy sobie, że żelazo, które było magneselem, nie traci zupełnie swego magnetyzmu: zawsze choć drobna resztką magnetyczna pozostaje, a nawet każda bryła żelaza miękiego jest magneselem, chociaż nadzwyczaj słabym. Gdy więc maszynę taką zaczynamy obracać, ten słaby magnetyzm wystarcza już do wzbudzenia prądu, wprawdzie bardzo słabego. Ale słaby ten prąd, obiegając dokoła żelaza, wzmacnia jego magnetyzm, a pod wpływem silniejszego magnesu prąd staje się silniejszym. Prąd więc i magnetyzm wzmacnia się nawzajem, a w ten sposób w zwojach drutu powstają prądy daleko silniejsze, aniżeli by można otrzymać za pomocą maszyn magneto-elektrycznych takiej wielkości. Rozumie się jednak, że wzmacnianie to prądu musi mieć swoje granice, boć przecie i żelazo miękie tylko do pewnej granicy magnesować można.

Maszyny takie zaczęto budować przed pięćdziesięciu laty, a wynalezieniem ich zasłużył się Siemens.

W tych maszynach, jak widzieliśmy, elektryczność rozwija się jedynie kosztem wyłożonej pracy, bo w nich niema wcale magnesów stałych, stalowych. Dlatego też nazywają się maszynami dynamo-elektrycznymi, bo dynamis po grecku znaczy siła. Pamiętajmy jednak, że są tylko odmianą maszyn magneto-elektrycznych, w obu zarówno prądy elektryczne jedynie wskutek nakładu pracy powstają.

Nawzajem też prądy elektryczne wytwarzać mogą pracę. Wiemy już, że podobnie, jak między dwoma magnesami, tak też między magnesami, a prądami zachodzi również przyciąganie lub odpychanie, a to stosownie do tego, w jakim kierunku prądy te płyną (§ 54). Jeżeli tedy między dwoma magnesami umieścimy pierścień żelazny, otoczony zwojami drutu, jak na Fig. 75, i przez owe zwoje przepuścimy prąd, to pierścień ten będzie przez jeden biegun magnesu przyciągany, przez drugi odpychany. Zaczyna się zatem obracać i pozostaje w ruchu, dopóki tylko prąd po drucie płynie. Im silniejsze są prądy elektryczne, tem prędzej pierścień się obraca.

Maszynę więc dynamo-elektryczną można odwrócić, a zatem używać jej można w dwojaki sposób. Gdy pierścień maszyny obracamy ręką albo motorem parowym, to wytwarza ona silne prądy elektryczne; gdy natomiast przez zwoje drutu przepuszczamy prąd elektryczny, pierścień przechodzi w szybki obrót. Aby pierścień taki mógł się obracać, musi być oczywiście osadzony na osi, a gdy osę tę połączymy pasem z jakąkolwiek maszyną, np. z kołowrotem, to kołowrót ten przejdzie także w ruch i wykonywać może jakąkolwiek pracę. Widzimy przeto, że maszyna dynamo-elektryczna może działać jako motor, jako maszyna poruszająca.

Prąd, który przepuszczamy po zwojach tej maszyny, pochodzić może ze stosu albo z innej maszyny dynamo-elektrycznej. Ustawmy więc dwie maszyny dynamo-elektryczne obok siebie, połączmy drutem ich zwoje, i jedną z nich wprawmy w obrót za pomocą ma-

szyny parowej, skutkiem czego wytwarzać się z niej będzie prąd elektryczny. Prąd ten przechodzi do zwojów drugiej maszyny, pierścień jej zatem będzie się obracał i może nam służyć do wykonywania jakiegokolwiek pracy, jak n. p. do poruszania pily.

Ale tu słusznie każdy zapyta, jaka korzyść z takiego urządzenia wynika? Przecież można kołowrót ten wprost za pomocą maszyny parowej obracać, pocóż tu wirać dwie maszyny dynamo-elektryczne, aby na przód pracę zamieniać w prądy elektryczne, a potem znów prądy elektryczne w pracę.

To prawda, ale czyż do poruszania pierwszej maszyny dynamo-elektrycznej konieczne ma służyć motor parowy, czyż nie możnaby do tego użyć innego działania, np. spadku wody? Druga zaś maszyna niekoniecznie ma się znajdować tuż obok pierwszej; może być umieszczona od niej w znacznej odległości, kilku, kilkunastu, albo i więcej mil, byleby z nią była połączona drutem dostatecznie długim.

Teraz rozumiemy już zapewne, na co się nam to przydać może. Jeżeli gdzieś daleko od nas pędzi bystry prąd wody, możemy z siły jego korzystać, może bowiem poruszać nasze maszyny; za pośrednictwem elektryczności wykonywać może pracę w odległości kilkudziesięciu mil. Powiedzieć można, że elektryczność przynosi nam pracę.

§ 59. Telefon.

Telefon jest to przyrząd, służący do przenoszenia głosu na znaczną odległość; przenoszenie to dokonywa się za pośrednictwem prądów indukcyjnych. Główne części telefonu przedstawia Fig. 77.

Widzimy tu magnes NS otoczony zwojem drutu, który przechodzi dalej do drugiej stacji i tam w podobny sposób otacza także sam magnes N_1S_1 . W pobliżu obu magnesów umieszczone są dwie cienkie, okrągłe płytki żelazne PP i P'P', które pod ich wpływem same

stają się magnesami, tak, że naprzeciwko biegunów północnych powstają bieguny południowe płytek. Dajmy teraz, że na jednej stacji mówimy tuż obok płytki PP. Wtedy drganie, wywołane w powietrzu przez nasz głos, udziela się na płytce, która wskutek tego przybliża się i oddala naprzemian od magnesu NS, chociaż bardzo nieznacznie. Jakkolwiek ruchy te są nieznaczne to jednak przy każdym zbliżeniu i oddaleniu płytki w zwoju, otaczającym magnes, powstają prądy indukcyjne, które biegną już w jedną, już w drugą stronę. Prądy te przechodzą po drucie do drugiej stacji i tam płyną po zwoju, otaczającym magnes N_1S_1 . Gdy zaś



Fig. 77.

prąd płynie dokoła magnesu, wzmacnia jego magnetyzm, albo też osłabia, stosownie do tego, czy płynie w jednym, czy też w drugim kierunku; magnes przeto drugiej stacji N_1S_1 staje się już to silniejszym, już słabszym, a tem samem przyciąga już to silniej, już słabiej płytkę P'P'. Płytką ta tedy naprzemian zbliża się i oddala od magnesu, przechodzi zatem w szybkie drgania, które dokonywują się zupełnie w takiż sam sposób, jak drgania płytki PP na pierwszej stacji. Ale drgająca płytką P'P' na drugiej stacji zostaje w zetknięciu z powietrzem, uderza o nie i wprawia je także w drgania, które w uchu naszym wywołują wrażenie głosu, w drugiej więc części telefonu odtwarzają się też same tony, które wywołały ruch płytki pierwszej czę-

ści telefonu. W taki sposób wszystkie dźwięki i wyrazy, wymawiane do telefonu na jednej stacji, przenoszą się za pośrednictwem prądów indukcyjnych do stacji drugiej. Tak samo oczywiście głos ze stacji drugiej przenosić się może do pierwszej, stąd każdy telefon służyć może zarazem jako „przesyłacz” i „odbieracz” głosu.

Magnes i płytka osadzone są w stosownej osadzie drewnianej, a płytka winna tak być umieszczona, aby mogła drgać swobodnie. Osada drewniana zakończona jest jakby lejkiem, w który się mówi, a to dlatego, aby drgania powietrza silniej uderzały o płytkę.

Osoby, mieszkające w różnych punktach jednego miasta, a nawet w miastach odległych, mogą ze sobą za pomocą telefonów dobrze rozmawiać.

Telefon zaleca się szczególnie swoją nadzwyczajną prostotą; nie wymaga wcale stosów, głos osoby mówiącej wystarcza do wywołania prądu pod wpływem magnesu.

Są jeszcze inne przyrządy, zwane mikrofonami, które odtwarzają głos silniej niż telefony, ale do nich potrzeba już stosów, i nadto mają budowę bardziej zawiłą.

§ 60. Przyrządy elektro-indukcyjne.

W maszynach magneto-elektrycznych prądy elektryczne wzbudzają się pod wpływem magnesów. Wiemy jednak, że i prądy elektryczne wywoływać mogą podobne prądy indukcyjne w drucie sąsiednim; rzeczywiście też posiadamy przyrządy, w których pod wpływem prądów elektrycznych nowe prądy powstają.

Mogłoby się wydawać rzeczą zgoła zbyteczną wywoływanie nowych prądów, gdy do otrzymania ich potrzeba mieć już prądy elektryczne, wytwarzane w stosach, ale nowe te prądy indukcyjne, jak wiemy, są nader krótkotrwałe, chwilowe, i przebiegają szybko jedne po drugich, a stąd posiadają pewne odrębne właściwości, albo raczej wywierają pewne działania, do któ-

rych nie są przydatne prądy zwykle, nieprzerwanie po drutach przebiegające.

Każdy przyrząd elektro-indukcyjny składać się tedy musi z dwóch drutów oddzielnych, z których po jednym przebiega prąd główny czyli wzbudzający, w drugim zaś powstają wzbudzone prądy indukcyjne; dla wzmożenia działania druty te zwijają w liczne skręty, które, jak zwykle w tych razach, oprzędzone są jedwabiem. Prądy indukcyjne wzbudzają się wszakże w tym tylko razie, gdy w prądzie głównym zachodzą jakiegokolwiek

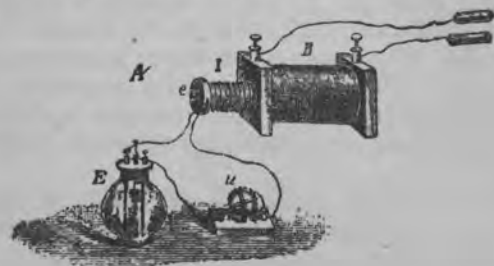


Fig. 78.

zmiany, a w szczególności, gdy ulega on szybkim przerwom, potrzebne więc jest urządzenie, pozwalające prąd główny szybko otwierać i zamykać.

Taki przyrząd elektro-indukcyjny przedstawia Fig. 78. Dokoła rury czyli cewy drewnianej lub tekturowej okręcony jest zwoj drutu I, który daje się przesuwac w rurze II, również zwojem drutu otoczonej. Końce drutu I łączą się z biegunami stosu galwanicznego E, po zwoju tym zatem przebiega prąd elektryczny; ponieważ zaś prąd ten ulegać ma ciągłemu przerywaniu, w obieg jego wtrącone jest kółko zębate u w ten sposób, że końce drutu rozdzielonego opierają się o zębki; przy obrocie więc kółka zsuwają się z nich i prąd ulega ciągłemu przerywaniu, a przy każdej takiej przerwie, przy każdym otwieraniu i zamykaniu go, w zwoju otaczają-

cym II wzbudzają się szybko przebiegające prądy indukcyjne. We wnętrzu rury umieścić można wiązkę drutów żelaznych *e*, które magnesują się pod wpływem prądu obiegającego, a przy jego otwieraniu i zamykaniu tracą i odzyskują wciąż swój magnetyzm, stąd więc same wpływają na wzbudzenie prądów indukcyjnych i wzmacniają działanie prądu głównego. Zwój I składa się z niewielu skrętów drutu grubego, by prąd główny nie doznawał osłabienia skutkiem znacznego oporu; natomiast zwój II wyrabia się z drutu bardzo cienkiego i długiego, by jaknajliczniejsze skręty przypadały w pobliżu zwoju głównego. Na rysunku naszym końce drutu zaopatrzone są w walce mosiężne; gdy je ujmujemy w ręce podczas działania przyrządu, doznajemy silnych wstrząśnień, jakby wskutek szybko po sobie następujących, ciągłych wywoływań butelki lejdejskiej.

Stąd już wnieść można, że przyrządy te spowodować mogą i inne objawy, polegające na nagłem wyladowywaniu, elektryczności, jakie poznaliśmy przy opisie maszyny elektrycznej i butelki lejdejskiej. Przypominamy sobie, że wyladowanie takie ujawnia się zwłaszcza przebiegiem iskry; w przyrządach elektro-indukcyjnych wyladowania elektryczne następują wciąż jedne po drugich, wydają zatem ciągły prąd iskier, przebiegających z trzaskiem między obu biegunami.

Do wywoływania takich iskier służy dogodnie przyrząd zwany cewą Ruhmkorffa albo bobiną Ruhmkorffa (Fig. 79), w którym oba zwoje drutu oprowadzone są dokoła wspólnej rury, przyczem zwój główny I zajmuje położenie wewnętrzne, a zwój indukcyjny II, obejmujący często tysiące skrętów, oprowadzony jest na zewnątrz; w wydrążeniu rury znajduje się wiązka drutów żelaznych, które, podobnie jak w przyrządzie Fig. 78, przy zamykaniu i otwieraniu prądu głównego zyskują i tracą naprzemian magnetyzm. Przerzwanie wszakże prądu głównego dokonywa się tu samodzielnie, czyli automatycznie, bez udziału naszej

ręki, a to za pomocą młotka *h*, urządzonego w sposób taki, jak w dzwonku elektrycznym (Fig. 70); młotek ten utrzymuje się w ruchu pod wpływem magnetyzmu wzbudzanego w wiązce drutów, a w tym ciągłym ruchu zamyka i przerywa obieg prądu przybywającego ze stosu, jak w dzwonku elektrycznym. Druty prowadzące prąd ze stosu, kończą się w śrubkach umieszczonych na podstawie przyrządu i mających połączenie ze zwojem głównym, wewnętrznym; przy *w* znajduje się urządzenie, które pozwala w razie potrzeby zmieniać

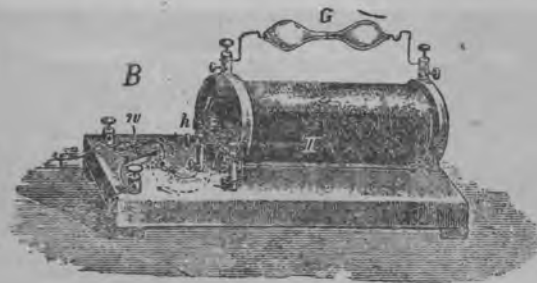


Fig. 79.

kierunek prądu głównego. Zwój drutu indukcyjnego kończy się w śrubkach osadzonych po bokach cewy, a druciki, w tychże śrubkach utkwione, stanowią bieguny czyli elektrody wzbudzanych prądów indukcyjnych.

Gdy przyrząd wprawiony jest w działanie, przebiegają między biegunami temi iskry oślepiającej jasności w towarzystwie silnego trzasku; w przyrządach małych iskry mają 2 do 5 centymetrów długości, ale wielkie i potężne przyrządzenia Ruhmkorffa dają iskry na pół metra, na łokieć zatem przeszło długie.

Objawy te urozmaicają się niesłychanie, gdy wyladowywanie elektryczne dokonywa się nie w powietrzu zwykłym, ale w gazach rozrzedzonych. Do doświad-

czeń tych służą rury rozmaicie wygięte i wypełnione gazami nader silnie rozrzedzonymi, a zwane rurami Geisslera. Rury te posiadają na obu końcach wtopione drobne i cienkie druciki platynowe, które sięgają do wnętrza, a na zewnątrz opatrzone są uszkami, którymi osadzić je można na biegunach przyrządu indukcyjnego, jak widzimy na Fig. 79. Gdy wyladowanie elektryczne dokonywa się w takiej rurze G, w powietrzu rozrzedzonym lub w innych gazach również rozrzedzonych, ustaje przebieg iskier i towarzyszący im trzask,

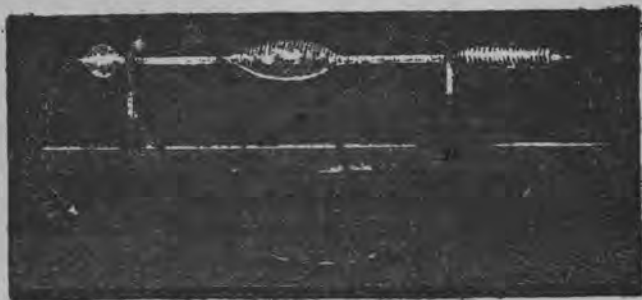


Fig. 80.

a natomiast rura wypełnia się blaskiem, którego barwa zależy od rodzaju gazu w rurze zawartego; należyta obserwacja tego zjawiska wymaga izby przyciemnionej. W świetle zapelniającem rurę występuje wyraźne uwarstwowanie (Fig. 80), światło rozpada się na smugi, oddzielone między sobą warstwami ciemnymi i pozostające widocznie w bezustannem drzeniu, co stąd pochodzi, że wyladowanie elektryczne dokonywa się tu w sposób przerywany. Żywa ta gra barw jaśniejących należy do najpiękniejszych objawów świetlnych, jakie w doświadczeniach wywołać umiemy.

Objawy te zresztą zmieniają się w szczegółach, w miarę, jak rozrzedzenie gazu w rurze dalej postępuje; przy nader znacznym rozrzedzeniu światło uwarstwo-

wane niknie zupełnie, a natomiast z bieguna ujemnego rozbiegają się po liniach prostych promienie, które gazu w rurze nie rozświetlają, gdzie jednak ciemne te promienie uderzają szklaną ścianę rury, wywołują jej świecenie czyli fluorescencję, barwa zaś tego światła zależy od rodzaju szkła. Ponieważ promienie te rozchodzą się z bieguna ujemnego czyli z elektrodu ujemnego, który ma nazwę katodu (biegun dodatni nazywa się anod), dlatego promienie te noszą nazwę promieni katodalnych. Wyobrazić sobie można, że z bieguna ujemnego robiegają się niewypowiedzianie drobne cząstki ładunkiem elektrycznym opatrzone, cząstki elektryczne czyli elektrony, które w powietrzu rozrzedzonym posuwają się biegiem nader szybkim, a potrącając ścianę przeciwną rury, świecenie jej pobudzają.

Promienie katodalne posiadają wiele innych jeszcze własności osobliwych, ale najbardziej zdumiewającą jest rzeczą, że same dają początek innym jeszcze promieniom, które nazwano promieniami X albo promieniami Röntgena, od nazwiska fizyka, który je odkrył.

Promienie Röntgena wybiegają z tych punktów rury Geisslera, które świecą pod wpływem padających na nie promieni katodalnych; są również niewidzialne i również wywołują świecenie różnych ciał, na które padają, a nadto działają na płytę fotograficzną i pozostawiają na niej ślad, podobnie jak promienie światła. Szczególną wszakże ich własnością jest to, że przez wszelkie ciała, przez rozmaite przegrody, przedzierają się daleko łatwiej, aniżeli światło, papier, drzewo, nawet cienkie płyty różnych metali są względem nich przezroczyste.

Przedzierają się również i przez ciało ludzkie, ale mięśnie przepuszczają je łatwiej, aniżeli kości; gdy więc na drodze tych promieni umieszczamy rękę, mięśnie pozostawiają na płycie fotograficznej tylko ślad, gdy cienie kości rysują się wyraźnie i występują tak dobitnie,

jak gdybyśmy przed sobą mieli fotografię szkieletu. Czarniejsze jeszcze obrazy wydają ciała obce w mięśniach ukryte, jak szpilka lub kula. Takie więc obrazy ciała ludzkiego przynoszą nader doniosłą pomoc przy badaniach lekarskich i operacjach chirurgicznych, a stąd promienie Röntgena, które niedawno dopiero odkryte zostały, zyskały znaczny rozgłos.

Dlatego też wspomnieliśmy tu o tych nowych promieniach, dowiedzieliśmy się jak powstają, skąd się rodzą, więcej wszakże mówić tu o nich nie możemy. O wielu także innych rzeczach nie mówiliśmy w tej książce; kto jednak ją przeczytał i zapamiętał, czego się z niej nauczył, zyskał zasób wiadomości, który mu będzie pomocny przy dalszej nauce fizyki, a nieraz i w dalszem życiu przydatnym się okaże.

K O N I E C .

~~Biblioteka nauczycielska
gimnazjum w Kolnie~~



S P I S R Z E C Z Y.

183.

Rozdział I.: O ciepłe.

§§	Str.
1. Ciepło i zimno	5
2. Rozszerzalność ciał od ciepła	6
3. Rozszerzalność ciał ciekłych	8
4. Rozszerzalność ciał lotnych	10
5. Termometr	12
6. Podziałka termometru	15
7. Inne podziałki	18
8. Jeszcze o termometrze	19
9. Prądy w powietrzu	21
10. Topienie	25
11. Jeszcze o topieniu	27
12. Krzepnięcie	31
13. Parowanie	32
14. Jeszcze o parowaniu	38
15. Skraplanie	41
16. Para wodna w atmosferze	43
17. Przewodnictwo ciepła	48
18. Promieniowanie ciepła	52
19. Skąd ciepło otrzymujemy?	56

Rozdział II.: O głosie.

20. Jak głos powstaje?	63
21. Jak się głos rozchodzi?	66
22. Wysokość głosu	68
23. Prędkość głosu	69
24. Odgłos czyli echo	71

Rozdział III.: O świetle.

25. Ciała świecące i ciemne	73
26. Cień	74
27. Natężenie światła	75
28. Prędkość światła	79
29. Odbijanie światła	80
30. Zwierciadło płaskie	82
31. Zwierciadło kuliste	87

§§	Str.
32. Załamywanie światła	91
33. Soczewki	98
34. Barwy czyli kolory	98

Rozdział IV.: O magnetyzmie.

35. Magnes	104
36. Bieguny magnesu	105
37. Dwa magnesy	108
38. Wzbudzenie magnetyzmu	110
39. Magnesowanie	114

Rozdział V.: O elektryczności.

40. Ciała naelektryzowane	115
41. Przewodniki i nieprzewodniki	116
42. Przyciąganie i odpychanie elektryczne	117
43. Wzbudzenie elektryczności przez wpływ	121
44. Elektrofor	122
45. Maszyna elektryczna	126
46. Butelka lejdejska	130
47. Błyskawica i grzmot	133

Rozdział VI.: Prąd elektryczny czyli galwanizm.

48. Co to jest galwanizm?	138
49. Stosy galwaniczne czyli elektryczne	139
50. Siła prądu	142
51. Ciepło wzbudzone przez prąd elektryczny	144
52. Światło elektryczne	145
53. Działania chemiczne prądu elektrycznego	147
54. Prąd elektryczny i igła magnesowa	152
55. Elektromagnetyzm	155
56. Dzwonek elektryczny. Telegraf	158
57. Prądy indukcyjne	163
58. Maszyny magneto-elektryczne	167
59. Telefon	174
60. Maszyny elektro-indukcyjne	176

Spis treści 183

