



10033363

149
WYDAWNICTWO KSIĄŻEK SZKOLNYCH
ZAKŁADU NARODOWEGO IM. OSSOLIŃSKICH

WIADOMOŚCI
Z NAUKI FIZYKI

Przez

WŁADYSŁAWA NATANSONA

i
KONSTANTEGO ZAKRZEWSKIEGO

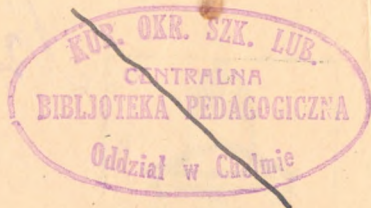


LWÓW
WYDAWNICTWO ZAKŁADU NARODOWEGO IM. OSSOLIŃSKICH
1922.



53.

9202/c



SPIS RZECZY.

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

O siłach. O ruchu. O pracy i energii.



	Strona		Strona
§ 1. Ciało. Objętość ciała. Powierzchnia ciała . . .	1	§ 26. Do przyspieszenia ciała dostosowany jest zawsze opór bezwładny . . .	29
§ 2. O mierzeniu	2	§ 27. Zależność przyspieszenia od masy	30
§ 3. O sile	3	§ 28. O mierzeniu mas	31
§ 4. Działaniu każdej siły towarzyszy przeciwdziałanie	4	§ 29. Zasady dynamiki	32
§ 5. O równowadze	6	§ 30. Jak ciała spadają. Przyspieszenie ciężkości	33
§ 6. Siła ciężkości	7	§ 31. Dla wszystkich ciał na ziemi przyspieszenie ciężkości jest jednakowe.	34
§ 7. Ciężary rozmaitych ciał	8	§ 32. Opór powietrza. Spadanie w próżni	35
§ 8. Mierzenie sił. Jednostka siły	9	§ 33. Masa a ciężar	36
§ 9. Środek ciężkości.	10	§ 34. Ruch ciała rzuconego pionowo do góry	37
§ 10. Równowaga ciała pod działaniem siły ciężkości.	11	§ 35. Ruch ciała rzuconego w kierunku poziomym	37
§ 11. Trzy siły działają na ciało. Równoległobok sił	13	§ 36. Bieg księżyca dokoła ziemi.	38
§ 12. Rozkładanie danej siły	13	§ 37. Ciężenie powszechne	39
§ 13. O ruchu ciał	15	§ 38. Wahadło	41
§ 14. Czas	17	§ 39. Wahanie się (drżenie) sprężyny	42
§ 15. Ruch wymaga czasu	17	§ 40. O pracy	43
§ 16. Prędkość	18	§ 41. Miara pracy	44
§ 17. Prędkość stała i zmienna. Jednostka prędkości	18	§ 42. O energii	44
§ 18. Ruch, złożony z dwóch ruchów	20	§ 43. Inne przykłady pracy	45
§ 19. Bezwładność	21	§ 44. Energia sprężyny skróconej, kamienia podniesionego	45
§ 20. Tarcie i jego wpływ na ruch ciał	22	§ 45. Praca, wykonywana na równi pochyłej	46
§ 21. Bezwładny opór ciał	24	§ 46. Nie można stworzyć pracy z niczego	47
§ 22. Ciała są mniej lub bardziej masywne	25	§ 47. Dźwignia	48
§ 23. Jak poruszają się ciała pod działaniem sił	25	§ 48. Inny rodzaj dźwigni	50
§ 24. Przyspieszenie	27		
§ 25. Przyspieszenie zależy od siły działającej	28		

§ 49. Waga	Strona	50	§ 52. Praca nie ginie	Strona	54
§ 50. Ciężar właściwy. Gęstość		51	§ 53. Tarcie pochłaniania prace		55
§ 51. Dźwignia nie daje oszczędności w pracy		52	§ 54. Praca nie ginie, ale może się przeobrazić		56

ROZDZIAŁ DRUGI.

O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

§ 55. Objętość a postać	55	§ 80. O ciałach pływających	76
§ 56. Ciała stałe i ciekłe	59	§ 81. O powietrzu	77
§ 57. Ścisłość cieczy	60	§ 82. Powietrze jest łatwiej ściśliwie niż woda	78
§ 58. Sprężystość ciał stałych	60	§ 83. O ciałach gazowych i ich własnościach	79
§ 59. Różne ciała są rozmaicie sprężyste	61	§ 84. Ciężar powietrza	80
§ 60. Granica sprężystości	62	§ 85. Ciśnienie otaczającego nas powietrza (atmosferyczne)	80
§ 61. Sprężystość ciał ciekłych	63	§ 86. Barometr	81
§ 62. Ciśnienie	63	§ 87. Doświadczenie Torricelli'ego	83
§ 63. Ciśnienie całkowite i ciśnienie jednostkowe	64	§ 88. Jak wielkie jest ciśnienie atmosferyczne	84
§ 64. Ciśnienie cieczy	64	§ 89. Jak działa ciśnienie powietrza	85
§ 65. Ciecze roznoszą ciśnienie	65	§ 90. Jak zachowuje się powietrze, gdy je zgęszczamy albo rozrzedzamy	85
§ 66. Ciecz może wykonywać pracę	66	§ 91. Pompa pneumatyczna rtęciowa	87
§ 67. Zasada prasy hydraulicznej	66	§ 92. Pompy pneumatyczne innej budowy	88
§ 68. Ciśnienie w cieczy, wynikające z jej ciężaru	68	§ 93. Doświadczenia, okazujące ciśnienie powietrza	89
§ 69. Jak wzrasta ciśnienie w głębi cieczy, gdy odalamy się od powierzchni	68	§ 94. O pompach, studniach, sikawkach i t. p	90
§ 70. Sprawdzenie doświadczalne	69	§ 95. Lewar	90
§ 71. O powierzchni cieczy	70	§ 96. Jak można zważyć powietrze	91
§ 72. O powierzchni mórz i oceanów	71	§ 97. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało w niem zanurzone	92
§ 73. Naczynia połączone	72	§ 98. O balonach	92
§ 74. Dlaczego w naczyniach połączonych ciecz w równowadze stoi jednakowo wysoko	72	§ 99. Im wyżej w atmosferze, tem ciśnienie powietrza jest mniejsze	93
§ 75. O mierzeniu ciśnień panujących w cieczy	73	§ 100. Im wyżej w atmosferze, tem powietrze jest rzadsze	94
§ 76. Manometr	74		
§ 77. Sprawdzenie doświadczalne	74		
§ 78. Ciecz usiłuje wyprzeć ciało zanurzone	75		
§ 79. Skąd powstaje w cieczach parcie do góry	76		

ROZDZIAŁ TRZECI.

O falach. O głosie.

§ 101. Ruch może przebiegać przez ciała	Strona	96	§ 110. Prędkość rozchodzenia się głosu	Strona	102
§ 102. Fala w powietrzu		98	§ 111. Jeszcze o sposobie rozchodzenia się głosu w powietrzu		103
§ 103. Fala w szeregu kul sprężystych		98	§ 112. Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych		103
§ 104. W jaki sposób fala postępuje naprzód		99	§ 113. Rozchodzenie się głosu w cieczach		104
§ 105. Fale prawidłowe; długość fali		99	§ 114. O odbijaniu się fal		105
§ 106. Fale podłużne oraz poprzeczne		100	§ 115. Odgłos		105
§ 107. Powstawanie głosu		100	§ 116. Głos urywany; głos ciągły		105
§ 108. Głos rozchodzi się w powietrzu		101	§ 117. Dźwięk; głosy bezładne		106
§ 109. Energia falującego powietrza		102	§ 118. Wysokość dźwięku		107

ROZDZIAŁ CZWARTY.

O zjawiskach cieplnych.

§ 119. Nasze wrażenia cieplne	108	§ 132. Skala stópniowa termometru rtęciowego	117
§ 120. Zjawiska cieplne	108	§ 133. Temperatury wyższe od 100° lub niższe od 0°	118
§ 121. W fizyce musimy mierzyć zimno i gorąco	109	§ 134. Rozszerzanie się gazów	119
§ 122. Czy ręka może służyć za termometr	109	§ 135. Ciśnienie gazów, ogrzewanych w objętości stałej, zwiększa się	120
§ 123. W jaki sposób działają ciała gorące lub zimne	110	§ 136. Ani ciężar ani masa ciała nie zależy od temperatury	120
§ 124. Dlaczego metale w dotknięciu wydają się zimne	111	§ 137. Gęstość ciał zależy od ich temperatury	121
§ 125. Objętość ciał powiększa się skutkiem ogrzewania	112	§ 138. Gazy gorące unoszą się do góry	122
§ 126. Objętość ciał zależy od ich temperatury	113	§ 139. Określenie grama	122
§ 127. Przykłady i zastosowania	114	§ 140. O mieszanii wody zimnej z gorącą	123
§ 128. Rozszerzanie się cieczy	114	§ 141. Ilość ciepła	124
§ 129. Zasada rtęciowego termometru	115	§ 142. Jednostka ilości ciepła	125
§ 130. Zero temperatur	116	§ 143. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają ilości ciepła niejednakowe	126
§ 131. Drugi punkt stały skali termometrycznej	117		

	Strona		Strona
§ 144. Punkt topliwości . . .	127	§ 156. Punkty wrzenia róż-	136
§ 145. Czemu jedne ciała są	127	§ 157. Ciepło parowania . .	137
§ 146. Ciepło topliwości . .	128	§ 158. O sztucznem oziębia-	137
§ 147. Para wodna	130	§ 159. Dobre i złe przewod-	138
§ 148. Ciśnienie pary	130	§ 160. Zamiana pracy na	139
§ 149. Para nienasycona . . .	132	§ 161. Ile ciepła otrzymuje-	140
§ 150. Ciśnienie nasycenia ro-	132	§ 162. Zamiana ciepła na	141
§ 151. Punkt wrzenia	133	§ 163. Omaszynach parowych	142
§ 152. Wrzenie pod ciśnie-	133	§ 164. Ciepło jest pewnego	143
§ 153. Skraplanie się pary . .	134		
§ 154. Para wodna w powie-	135		
§ 155. Rosa. Opady atmosfery-	135		

ROZDZIAŁ PIĄTY.

O elektryczności.

§ 165. Ogniwo elektryczne . .	145	§ 182. Żeby rozłożyć wodę,	160
§ 166. Kondensator. Elektro-	146	§ 183. Energja prądu elek-	160
§ 167. Przewodniki i izolato-	147	§ 184. O polaryzacji	160
§ 168. Przyciąganie i odpy-	148	§ 185. Ogniwa, dające prąd	161
§ 169. Elektryczność; dwa jej	148	§ 186. Światło elektryczne . .	162
§ 170. Czem jest elektrycz-	150	§ 187. Opór drutu	163
§ 171. Elektryczności nie u-	151	§ 188. Przewodnictwo elek-	164
§ 172. O różnych sposobach	152	§ 189. Elektromagnes	165
§ 173. Prąd elektryczny	153	§ 190. Telegraf elektryczny . .	166
§ 174. Rozbrojenie elektrycz.	154	§ 191. O magnesach	167
§ 175. Prąd elektryczny w o-	155	§ 192. Przyciąganie i odpy-	167
§ 176. Ciepło w obwodzie o-	156	§ 193. Magnetyzm ziemski . .	168
§ 177. Działania chemiczne	156	§ 194. Działanie prądu na	169
§ 178. Działania chemiczne	157	§ 195. Natężenie prądu. Gal-	171
§ 179. Elektroliza	158	§ 196. Zjawisko indukcji	173
§ 180. Elektroliza wody	159	§ 197. Zasada budowy ma-	173
§ 181. Uwaga dodatkowa o	159	§ 198. Telefon	174
		§ 199. Dalsze doświadczenia	176

	Strona		Strona
§ 200. O induktorach	176	§ 202. O promieniach Rönt-	178
§ 201. O promieniach kato-	178	§ 203. Zasada urządzenia te-	179

ROZDZIAŁ SZÓSTY.

O promieniowaniu.

§ 204. Światło	182	§ 218. Dlaczego światło zała-	192
§ 205. Światło rozchodzi się	182	§ 219. O obrazach odbitych	193
§ 206. Ciemnia optyczna	183	§ 220. Niektóre zjawiska, po-	194
§ 207. Cienie	183	§ 221. Soczewka	195
§ 208. Z wzrastającą odgło-	184	§ 222. Obrazy pozorne	196
§ 209. Słońce i gwiazdy stałe	184	§ 223. Obrazy rzeczywiste . . .	198
§ 210. Prędkość rozchodze-	185	§ 224. Latarnia magiczna	199
§ 211. Odległość ziemi od	186	§ 225. O fotografii	200
§ 212. O odbijaniu się światła	186	§ 226. Luneta	201
§ 213. Prawo odbijania się	187	§ 227. Mikroskop	202
§ 214. Rozpraszanie się	188	§ 228. Pryzmat	203
§ 215. Widzimy nie tylko	189	§ 229. Światło niebieskie ma	204
§ 216. Załamywanie się	190	§ 230. Widmo	204
§ 217. Prawo załamywania	191	§ 231. Promienie niewidzial-	205
		§ 232. Barwa jest tem dla	206
		§ 233. Promieniowanie	206

ZAKOŃCZENIE.

§ 234. O materji	207	§ 235. O energii	207
----------------------------	-----	----------------------------	-----

ROZDZIAŁ PIERWSZY.

O siłach. O ruchu. O pracy i energii.

§ 1. Ciało. Objętość ciała. Powierzchnia ciała.

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

Ciała zajmują i wypełniają miejsce; powiadamy, że każde ciało ma pewną *objętość*. Góra ma pewną objętość i ziarnko piasku ma pewną objętość ale góra ma znacznie *większą* objętość. Wnętrze dzbanka ma większą objętość niż wnętrze szklanki; powiadamy, że dzban ma większą *pojemność* niż szklanka.

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

czyli ponieważ ma mniejsze poprzeczne *przecięcie*. Ale bardzo długi drut może mieć taką samą objętość jak ołówek, jeśli mniejsze przecięcie wynagrodzi znacznie większą długością.

§ 2. O mierzeniu.

Porównywaliśmy w § 1-ym objętość góry z objętością ziarenka, pojemność dzbanka z pojemnością szklanki, powierzchnię papieru z powierzchnią klocka, długość drutu z długością ołówka. Można porównywać objętość z objętością, powierzchnię z powierzchnią, długość z długością. Ale nie można porównywać np. powierzchni z długością; ilekolwiek razy dodamy do siebie jakąkolwiek bądź długość, zawsze otrzymamy pewną nową długość, nigdy zaś powierzchnię. Nie można porównywać tak samo powierzchni z objętością ani objętości z długością.

Przypuśćmy, że porównaliśmy długości trzech prętów *A*, *B*, *C*. Przekonaliśmy się, że:

pręt *A* jest 3 razy dłuższy od pręta *B*;

pręt *B* jest 4 razy dłuższy od pręta *C*.

Wyberzmy długość pręta *C* za *jednostkę długości* czyli powiedzmy:

Długość pręta *A* = 12 razy długości pręta *C*;

Długość pręta *B* = 4 razy długości pręta *C*.

Gdyby wszyscy wiedzieli, jak długi jest pręt *C*, możnaby było krócej powiedzieć:

Długość pręta *A* = 12.

Długość pręta *B* = 4.

Taką właśnie długością, którą wszyscy znają, jest w wielu krajach *metr* (m). Długość metra jest prawnie przepisana i łatwo otrzymać jego kopję czyli odtworzenie. Gdy zatem powiemy „pięć metrów“ lub „półtrzecia metra“, wszyscy będą wiedzieli, o jakiej długości mówimy.

Długości porównujemy zatem z metrem czyli *mierzymy metrem*. Ale niekiedy bywa nam dogodniej mierzyć długości zapomocą części metra. Nazwy tych części są następujące:

Dziesiąta część metra nazywa się *decymetrem* (dm).

Setna część metra nazywa się *centymetrem* (cm).

Tysiączna część metra nazywa się *milimetrem* (mm).

Rys. 1-szy wyobraża 1 decymetr (w rzeczywistej długości), podzielony na 10 centymetrów.



Rys. 1.

Tysiąc metrów nazywamy *kilometrem*.

Podobnie jak długości można porównywać tylko z pewną długością, rozległości powierzchni czyli *pola* można porównywać tylko z rozległością pewnej powierzchni czyli z pewnym polem. Jednostką długości jest, jak wiemy, pewna, raz na zawsze obrana długość, mianowicie metr: podobnie jednostką pól jest pewne, raz na zawsze obrane pole. Metryczną jednostką pól jest *metr kwadratowy* (m²) czyli pole kwadratu, którego każdy bok ma po 1 metrze długości.

Inną jednostką pól jest t. zw. *ar* (a), który jest równy 100 metrom kwadratowym. Sto arów nazywamy *hektarem* (ha). Ar zatem można wyobrazić sobie jako kwadrat, którego każdy bok ma 10 metrów długości; hektar jako kwadrat, którego każdy bok ma 100 metrów długości. Obie te jednostki pola bywają używane przy pomiarach powierzchni gruntu.

Pragnąc mierzyć objętości, musimy posługiwać się pewną, raz na zawsze obraną objętością, którą nazywamy jednostką objętości. Taką jednostką objętości metryczną jest *metr sześcienny* (m³) czyli objętość sześcianu, którego każda krawędź ma 1 metr długości. Objętość sześcianu, którego każda krawędź ma 1 decymetr długości, nazywa się decymetrem sześciennym lub krócej *litrem* (l). Metr sześcienny zawiera zatem 1000 litrów.

Miary metryczne zostały po raz pierwszy ustanowione we Francji, w końcu XVIII stulecia; następnie, jako nadzwyczaj dogodne, upowszechniły się w wielu innych krajach i państwach.

§ 3. O sile.

Zwróćmy uwagę na przedmioty, znajdujące się w pokoju. One stoją nieruchome, dopóki ich kto nie popchnie, nie potrąci, nie pociągnie. Nietylko stoły i szafy stoją nieruchome, które i nam trudno poruszyć, ale też takie przedmioty, które

można wprowadzić w ruch z największą łatwością. Choćby się np. drzwi najlżej otwierały, nie otworzą się same przez się. Lampa, wisząca na sznurze lub huśtawka, którą tak łatwo poruszyć, pozostawione sobie, trwają w zupełnym spoczynku. Drzewa i liście na nich lub kłosa zboża w polu, które chwieją się i kołyszą za lada podmuchem wiatru, stoją zupełnie nieruchome w spokojnym powietrzu. Bez pobudzenia zatem, bez podniety z zewnątrz, ciała nie wychodzą ze spoczynku, nie zaczynają się ruszać.

Gdy chcemy, żeby się jakieś ciało poruszyło, dajemy mu do tego podniety. Ciągniemy szufladę, żeby ją wysunąć; popychamy okno, żeby je otworzyć. Potrącamy huśtawkę, ażeby ją rozkołysać; żeby koło wprowadzić w obrót, naprzemian ciągniemy ku sobie jego korbę i od siebie ją odpychamy. Ciągnięcie, pchanie, potrącanie, naciskanie — są to przykłady *wywierania siły*.

Człowiek wywiera siłę zapomocą mięśni. Ale nie tylko człowiek ma władzę wywierania siły. Kula tocząca się przewraca kęgle; woda płynąca porusza młyn wodny; wiatr wznosi kurz do góry, pędzi liście spadające jesienią, obraca wiatraki, niekiedy zrywa kapelusze z głów a nawet dachy z domów. Sprężyna nakręcona wprowadza kółka zegarka w ruch, więc musi je popychać i pociągać podobnie, jak ręka ludzka popycha i pociąga korbę koła, które obraca. Rzeczywiście, jeśli skreścimy sprężynę ręką, albo taśmę kauczukową mocno wyciągniemy w rękę, uczujemy, że sprężyna uciska rękę, że taśma ją ciągnie, zupełnie jak gdyby ktoś ją uciskał lub ciągnął. Próbując zgiąć młode drzewko i pochylić je ku ziemi, czujemy, że ono opiera się temu i ciśnie na naszą dłoń. Więc sprężyna skrecona, taśma wyciągnięta, drzewko zgięte mogą wywierać siłę.

Powiadamy zatem: *do wyprowadzenia jakiegobądź ciała ze spoczynku potrzeba działania siły*.

§ 4. Działaniu każdej siły towarzyszy przeciwdziałanie.

Ciągnąc szufladę, popychając drzwi lub okno, poruszając lampę lub huśtawkę, wprowadzając koło w obrót, czujemy *opór* szuflady, drzwi, okna, koła, lampy lub huśtawki. Zatem, gdy

my wywieramy pewną siłę, na nas wywierana jest siła przeciwna. Inaczej mówimy, że *działaniu naszemu na ciała towarzyszy przeciwdziałanie*, którego od tych ciał doznajemy.

Każde działanie łączy się, w podobny sposób, z przeciwnem mu przeciwdziałaniem. Możemy to wykazać różnemi sposobami. Pomieściwszy się w huśtawce lub w łódce, pocznijmy wyrzucać z niej kamienie, poprzednio tam ułożone. Zobaczymy, że huśtawka lub łódka cofa się za każdym rzutem. Kiedy więc my odpychamy kamienie, kamienie równocześnie odpychają nas a za naszym pośrednictwem łódkę czy huśtawkę. Z podobnej przyczyny pochodzi wsteczne uderzenie, które otrzymujemy, dając strzał ze strzelby, jak również znane cofanie się armat podczas wystrzału.

Przypuścimy, że utwierdziliśmy armatę w ziemi tak trwale, że ona nie może cofnąć się skutkiem wystrzału. Co stanie się wówczas z uderzeniem wstecznem, z przeciwdziałaniem? Armata utwierdzona stanowiąca widocznie całość z kulą ziemską; zatem uderzenie wsteczne zostało udzielone całej kuli ziemskiej, na ruch zaś bryły tak olbrzymiej wywarło wpływ niezmiernie mały. Z podobnego powodu przeciwdziałanie, którego doznajemy nieustannie od różnych ciał (na które wywieramy siłę czyli działanie) uchodzi zazwyczaj naszej uwagi; przekazujemy je zazwyczaj kuli ziemskiej za pośrednictwem własnego ciała, za pośrednictwem ścian i podłóg budynków.

Gdy koń ciągnie wóz po drodze, wspiera się kopytami o żwir, o kamienie lub piasek i odpycha się od nich w kierunku ruchu; ażeby zaś odepehnać się od nich, uciska je mocno. Im mocniej przyciśnie, tem silniej przez te ciała zostanie naprzód popchnięty. Często spostrzegamy istotnie, że po gładkiej powierzchni (np. asfaltu lub lodu) koń wcale ciągnąć nie może.

Nalewamy wody do dużego płaskiego naczynia; na powierzchni wody umieszczamy dwa jednakowe, lekkie, drewniane lub korkowe czółenka. W jednym czółenku układamy spory magnes (zob. rozdział piąty), w drugim kawałek miękkiego żelaza. Kiedy czółenka znajdują się w niezbyt znacznej odległości od siebie w środku naczynia i woda dokoła nich jest spokojna, uwalniamy je i pozwalamy obu czółenkom jednocześnie poruszać się swobodnie. Dostrzegamy wówczas, że czółenka płyną ku sobie. Zatem magnes ciągnie ku sobie żelazo, ale jednocześnie żelazo pociąga magnes ku sobie.

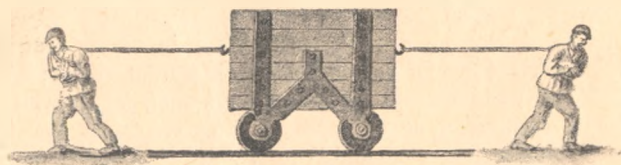
Wypowiadamy więc ogólne *prawo działania i przeciwdziałania* w następujący sposób: *działanie ciał na siebie jest zawsze*

wzajemne; siły wywierane przez dwa ciała na siebie nawzajem są zawsze skierowane przeciwnie.

§ 5. O równowadze.

Kiedy siła działa na jakieś ciało, wyprowadza je ze spoczynku i wprawia w ruch. Ale każdy ruch odbywa się w pewnym kierunku; zatem każda siła działa w pewnym kierunku, mianowicie w tym, w którym nadaje ruch. Naprzykład drzewko zgięte ciśnie w tym kierunku, w którym powróci do swego zwykłego położenia, gdy je oswobodzimy od nacisku.

Wyobraźmy sobie, że na jakiekolwiek ciało działają jednocześnie *dwie siły*, mające wprost przeciwny kierunki. Przypuśćmy, że jedna ciągnie ciało w prawo a druga w lewo. Może wydarzyć się, że ciało nie poruszy się ani w prawo ani w lewo i pozostanie w spoczynku. Mówimy wówczas, że *siły są równe sobie i przeciwnie skierowane* a zatem *równoważą się*; lub też mówimy, że ciało pod działaniem dwóch jednakowych lecz przeciwnych sobie sił pozostaje *w równowadze*. Jeśli np.



Rys. 2.

dwaj ludzie jednakowo silni staną po obu stronach wagonu i każdy pocznie ciągnąć go ku sobie (rys. 2), wówczas wagon nie ruszy wcale z miejsca, jak gdyby go nikt nie ciągnął.

Należy to dobrze zrozumieć, iż równowaga dwóch różnych sił nie ma nic wspólnego z istnieniem pomiędzy każdymi dwoma ciałami działania i przeciwdziałania, o czym była mowa w § 4-tym. *Równowagę* mamy, kiedy dwie różne i przeciwne sobie siły zostaną przyłożone *do tego samego ciała*, jak to np. widzimy na rys. 2-im; działanie zaś i przeciwdziałanie pomiędzy dwoma ciałami, jak mówiliśmy w § 4-ym, nie są przyłożone do tego samego ciała lecz przeciwnie *do dwóch różnych ciał*, wzajemnie działających na siebie; zatem wogóle nie wytwarzają równowagi.

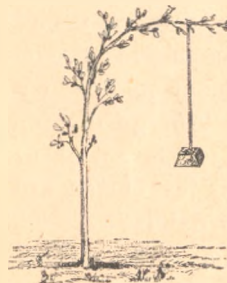
Przypuśćmy, że z pomiędzy dwóch ludzi, wyobrażonych na rys. 2-im, mocniejszy jest ten, który ciągnie w prawo. Wagon poruszy się wówczas także w prawo, w kierunku działania siły znaczniejszej. Jeżeli więc działają na pewne ciało dwie siły wprost przeciwnie i nierówne sobie, nastąpi ruch w kierunku działania siły przeważającej. Możemy przekonać się tym sposobem, która z dwóch przeciwnych sobie sił jest znaczniejsza.

§ 6. Siła ciężkości.

Umocujmy w podłodze jeden koniec taśmy kauczukowej a drugi ciągnijmy ku sobie; czujemy, że taśma ciągnie naszą rękę ku dołowi. Weźmy duży kamień i trzymajmy go w dłoni; kamień ciągnie ją ku dołowi, podobnie jak ciągnęła ją taśma. Połóżmy kamień na materacu lub poduszce; kamień przyciska je, podobnie jak gdyby kto ręką przyciskał. Zawieśmy kamień na drzewku wygiętym; drzewko nie wyprostuje się, jak gdyby kto przytrzymał je ręką (rys. 3). Jakaś siła musi więc działać na kamień, która sprawia, że kamień może przyciskać lub ciągnąć. Siłę tę nazywamy *siłą ciężkości*.

Wszystkie ciała, z którymi mamy do czynienia codziennie, są *ciężkie*; na wszystkie te ciała działa siła ciężkości. *Ciążar ciała* jest to działająca na to ciało siła ciężkości.

Gdy trzymamy kamień w ręku, równoważymy ciężar ciała siłą mięśni. Gdy otworzymy rękę, na kamień działa tylko siła ciężkości. Wiemy, że kamień poruszy się ku dołowi, że będzie *spadał*. Zatem siła ciężkości ciągnie ciało na dół, *ku ziemi*.



Rys. 3.



Rys. 4.

Nić, obciążona ciężarkiem i trzymana w ręku (rys. 4) lub zawieszona na drugim końcu nieruchomo, nazywa się *piómem*. Pod działaniem siły ciężkości ciężarek opuszcza

się jak tylko może najniżej, nie wypręża się i przybiera kierunek linii prostej, który nazywamy *kierunkiem pionowym*. Siła ciężkości działa więc w kierunku pionowym ku dołowi; kierunek ten wyznaczamy właśnie zapomocą pionu.

§ 7. Ciężary rozmaitych ciał.

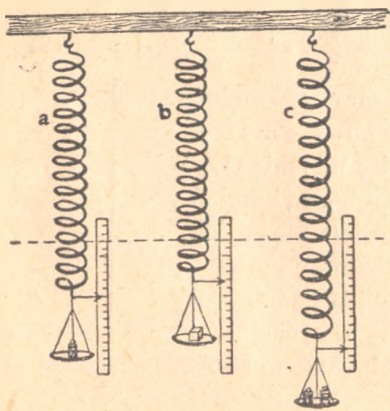
Trzymając w rękę rozmaite przedmioty, czujemy, że one nie są jednakowo ciężkie. Kawałek żelaza jest cięższy niż kawałek szkła tej samej objętości; kawałek szkła jest cięższy niż kawałek korka tej samej jak szkło objętości.

Weźmy dość długą sprężynę i umocujmy ją górnym końcem, np. na belce poziomej (rys. 5). Na swobodnym końcu sprężyny zawieśmy klocek żelazny (rys. 5 a); zauważmy na przyłożonej skali, o ile milimetrów wyciągnęła się sprężyna pod działaniem ciężaru żelaza. Powtórzmy to samo doświadczenie z klockiem kamiennym, tej samej objętości jak poprzedni żelazny (rys. 5 b); dostrzegamy, że klocek kamienny wyciąga sprężynę mniej niż żelazny.

Zawieśmy teraz na tej sprężynie dwa klocki żelazne, zupełnie jednakowe co do objętości i gatunku (rys. 5 c). Widzimy, że dwa klocki wyciągają sprężynę o długość dwa razy większą niż jeden klocek. Ale dwa jednakowe klocki są niewątpliwie dwa razy cięższe niż jeden klocek. Powiadamy zatem, że wydłużenie, którego doznaje sprężyna, jest tem większe, im większy jest ciężar, który na nią działa.

Wiedząc, o ile milimetrów wydłuża się sprężyna pod działaniem ciężaru pewnego ciała *A*, możemy

przekonać się, czy ciężar innego ciała *B* jest 2, 3, 4... razy większy (lub mniejszy) niż ciężar ciała *A*: zawieszamy w tym



Rys. 5.

celu ciało *B* na sprężynie i porównujemy wydłużenie z owym wydłużeniem, które sprawił ciężar ciała *A*. Przyrząd przedstawiony na rys. 5-ym może więc służyć do porównywania pomiędzy sobą ciężarów czyli do *ważenia*. Na tej zasadzie polega urządzenie t. zw. *wag sprężynowych* (rys. 6).

§ 8. Mierzenie sił. Jednostka siły.

Sprężynę wyobrażoną na rys. 5-ym ciągniemy ręką; przypuśćmy, że sprężyna wyciągnęła się o 8 mm. Dobieramy klocki drewniane lub inne ciężarki w taki sposób, żeby one, umieszczone pod sprężyną, wydłużyły ją również o 8 mm. Siła, którą wywieraliśmy na sprężynę, była zatem równa ciężarowi tych klocków czy ciężarków. Tym sposobem możemy porównywać rozmaite siły z ciężarem pewnego ciała, czyli możemy *mierzyć siły*. Z tego względu sprężynę z rys. 5-go albo wagę sprężynową nazywamy *siłomierzem*.

Ażebymy wynik porównywania sił z ciężarem był dla wszystkich zrozumiały, wybieramy za jednostkę siły ciężar znany, który łatwo odtworzyć. *Przyjmujemy ciężar 1 litra wody za jednostkę siły*; nazywamy go *ciężarem 1 kilograma (kg)*. Jedną setną część ciężaru 1 kilograma nazywamy ciężarem *dekagrama (dkg)*, w skróceniu *deka*; jedną tysięczną część ciężaru 1 kilograma nazywamy ciężarem *grama (gr)*.

Odmierzanie różnych objętości wody byłoby kłopotliwe przy mierzeniu sił; powszechnie w użyciu są tedy ciężarki, wykonane zwykle z msiądzu, które mają ciężar taki sam jak 1 cm³ wody (gram) lub 1 litr wody (kilogram) lub części albo wielokrotności tych jednostek.

Zadania.

1. Tonną nazywamy tysiąc kilogramów; ile dekagramów zawiera tona?
2. Ile razy większy jest ciężar dekagrama niż ciężar grama?
3. Miligram jest tysięczną częścią grama; ilu miligramom równoważny jest kilogram? dekagram? gram? Ile waży 1 mm³ wody? Ile waży 1 m³ wody?
4. Pewna sprężyna wydłuża się o 2 cm pod działaniem ciężaru 1 grama. Pod działaniem mojej ręki sprężyna ta wyciągnęła się o 1/2 cm.



Rys. 6.

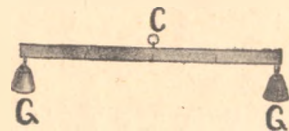
Jak znaczną siłę wywierałem ręką? Jeżeli wyciągnąłem ją innym razem o 3 cm, jak znaczną wówczas siłą działałem na sprężynę?

5. Wymienić siły, które równoważą się, gdy jakieś ciało leży na stole lub wisi uwiązane na sznurze?

6. Zawieszamy na sprężynie (rys. 5) po kolei: 1 gram, 2 gramy, 3 gramy, 4 gramy. Co dostrzegamy?

§ 9. Środek ciężkości.

Weźmy drążek drewniany (rys. 7), wkręmy w jego środku kółeczko C a na końcach uwiążmy jednakowe ciężarki G, G .



Rys. 7.

Zawieśmy kółeczko na haczyku. Ująwszy haczyk, możemy trzymać drążek w równowadze, tak żeby nie przechylał się ani w jedną ani w drugą stronę; możemy nawet, nie szkodząc równowadze, podnosić drążek ku górze. Dwa równe ciężary,

działając na końce drążka, równoważą się tutaj z siłą naszych mięśni, działającą na środek drążka.

Dzięki drążkowi równoważymy lub podnosimy oba ciężarki G, G , tak jak gdybyśmy bezpośrednio do nich przyłożyli naszą siłę H . Możemy tedy zastąpić te dwa ciężarki G, G przez jeden, dwa razy większy ciężarek F , wiszący w pośrodku drążka (rys. 8).



Rys. 8.

Siłę, działającą na pewien punkt drążka, wyobrażamy (na rysunku 8-ym i na innych rysunkach w tej książce) zapomocą prostego odcinka, zakończonego strzałką. Kierunek odcinka wskazuje kierunek działania siły, długość zaś odcinka jest tem większa, im znaczniejsza jest siła, którą chcemy wyobrazić.

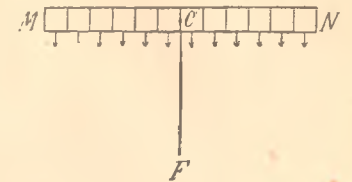
Przypuśćmy teraz, że drążek dźwiga cztery ciężarki G, G, G, G , jak na rys. 9-ym. Możemy zastąpić takie cztery ciężarki przez jeden cztery razy cięższy ciężarek F , wiszący w pośrodku, podobnie jak uczyniliśmy to przed chwilą w przypadku dwu ciężarków (rys. 8). Cztery siły G składają się zatem tutaj na



Rys. 9.

siłę F , która je może zastąpić; taka siła F nazywa się *wypadkową siłą składowych* G, G, G, G .

Weźmy na uwagę sztabę pełną MN (rys. 10). Możemy wyobrazić sobie, że ona składa się z osobnych części, z których każda ma własny swój ciężar; wszystkie te ciężary składają się na wypadkową siłę F czyli na ciężar wypadkowy F , działający w punkcie C . W owym punkcie skupia się niejako cały ciężar ciała; nazywamy go *środkiem ciężkości*.

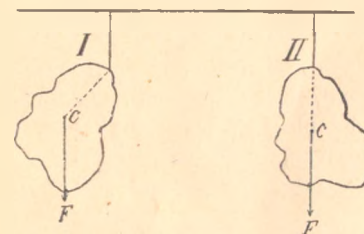


Rys. 10.

§ 10. Równowaga ciała pod działaniem siły ciężkości.

Siła ciężkości działa na każde ciało, jak gdyby była przyłożona do jego środka ciężkości.

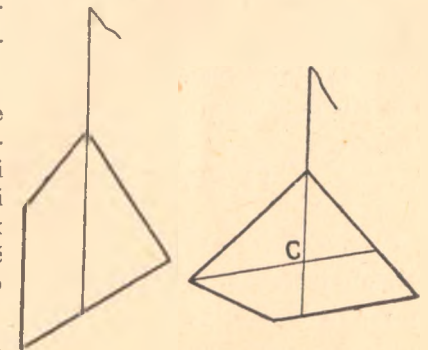
Można np. trzymać sztabę MN (rys. 10) i podobnie każdy pręt lub łaskę w położeniu poziomem, w równowadze, podpierając ją jednym palcem w punkcie C czyli w jej środku ciężkości.



Rys. 11.

Jeśli ciało wisi na sznurku (rys. 11), nie może ono być w równowadze, gdy środek ciężkości nie znajduje się wprost pod nicią, w jej bezpośrednim przedłużeniu. W położeniu więc I (na rys. 11-ym) ciało *nie będzie* w równowadze; w położeniu II ciało *będzie* w równowadze.

Jeżeli ciało wisi na sznurze (rys. 12) i pozostaje w równowadze, jego środek ciężkości musi leżeć w przedłużeniu linii sznura; rysunek objaśnia, jak można w przybliżeniu znaleźć miejsce tego środka w desce lub kawałku tektury.

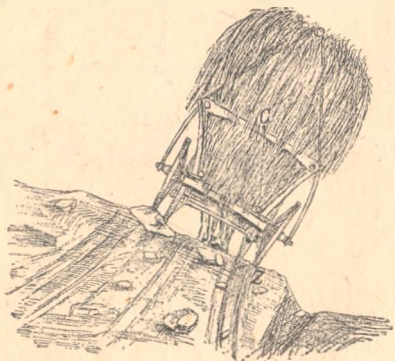


Rys. 12.

Powiedzieliśmy, że cały ciężar ciała jest niejako skupiony

W powiedzieliśmy, że cały ciężar ciała jest niejako skupiony

w jego środku ciężkości i działa na ten środek na dół pionowo. Zatem, jeżeli linja pionowa, poprowadzona ze środka ciężkości, trafia w podstawę ciała, wtedy ciało stoi czyli jest w równowadze. Jeżeli zaś ta linja trafia poza obręb podstawy,



Rys. 13.

ciało przewraca się, albowiem ciężar ciała nie znajduje oporu, któryby go równoważył.

Wóz na równej drodze jest w równowadze, lecz na pochyłości linja, wychodząca pionowo na dół ze środka ciężkości, zbliża się ku kołom. Na rys. 13-ym widzimy położenie, w którym linja ta (CZ) przechodzi właśnie przez koło; jeżeli nastąpi jeszcze najmniejsze pochylenie, wóz musi się wywrócić.

Zadania.

1. Dlaczego trudno postawić na stole kij, łaskę, parasol? Jak powinna być urządzona lampa naftowa, ażeby nie była wywrotna?
2. Gdy niesiemy ciężkie ciało w prawej ręce, przechylamy się mimowoli na lewo lub wyciągamy lewą rękę. Dlaczego?
3. Żeby pewnie lub bezpiecznie stanąć, rozstawiamy nogi możliwie najszerzej. Dlaczego?
4. Pochylamy stolik trójnożny dokoła linji, przechodzącej przez końce dwóch jego nóg, jak pokazuje rys. 14. Jak dalece możemy przechylić stolik, jeżeli on się nie ma przewrócić? To samo doświadczenie wykonać nad krzesłem, ławką i t. p.

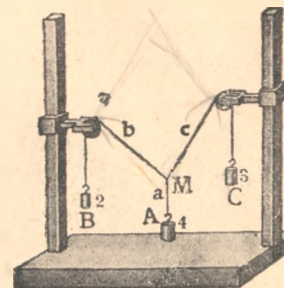


Rys. 14.

**§ 11. Trzy siły działają na ciało.
Równoległobok sił.**

Niechaj trzy siły działają na ciało; one mogą równoważyć się pomiędzy sobą, jeżeli mają odpowiednie wartości i kierunki. Zwróćmy uwagę na doświadczenie, wyobrażone na rys. 15-ym. Widzimy z rysunku, że ciężar $A=4$ kg (który

działa na M przez sznurek a) równoważy się z ciężarem $B=2$ kg (który działa przez b) i z ciężarem $C=3$ kg (który działa przez c).



Rys. 15.

Gdybyśmy przyłożyli do M siłę równą ciężarowi 4 kg, skierowaną pionowo do góry, zrównoważylibyśmy oczywiście ciężar ciała A ; M byłby znowu w równowadze. Widzimy zatem (rys. 16), że siły $MB=2$ kg i $MC=3$ kg, przyłożone do M , można w zupełności zastąpić przez siłę $MD=4$ kg, również przyłożoną do M . Taką siłę MD nazywamy w tym razie wypadkową sił MB i MC ; siły MB i MC nazywamy składowymi. Powiadamy, że składowe siły MB i MC składają się tutaj na wypadkową MD .



Rys. 16.

Narysujmy MB wzdłuż sznurka b (rys. 15), MC wzdłuż sznurka c , MD w przedłużeniu sznurka a , jak na rys. 16-ym. Weźmy nadto (por. § 9):

$$MB=2 \text{ cm}; MC=3 \text{ cm}; MD=4 \text{ cm}.$$

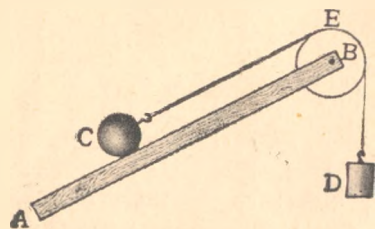
Przekonamy się wówczas, że MD jest przekątnią równoległoboku $MBDC$, zbudowanego na bokach MB i MC . Ażeby znaleźć wypadkową dwóch sił, działających na ten sam punkt, należy zbudować równoległobok na odcinkach, przedstawiających owe siły (składowe) co do wartości i co do kierunku. Przekątnia równoległoboku przedstawia siłę wypadkową co do wartości i co do kierunku.

Prawo to nazywamy zasadą równoległoboku sił.

§ 12. Rozkładanie danej siły.

Z zasady równoległoboku (§ 11) wyprowadzamy wniosek następujący: każdą daną siłę możemy zastąpić przez dwie inne siły, takie, ażeby przekątnia zbudowanego na nich równoległoboku przedstawiała, co do wartości i co do kierunku, daną siłę. Takie postępowanie nazywa się rozkładaniem danej siły. Ułatwia ono zrozumienie równowagi w rozmaitych przypadkach.

Uważajmy np. tak zwaną *równię pochyłą* czyli gładką, nachyloną do poziomu (rys. 17), deseczkę AB , po której posuwa się ciało C ; zapomocą sznurka, przerzuczonego przez kółko (blok) E , możemy ciągnąć ciało C do góry lub utrzymywać je w równowadze. Na rysunku widzimy drugi ciężar D , który, działając na ciało C przez pośrednictwo sznurka, utrzymuje je w równowadze. Jak znaczny musi

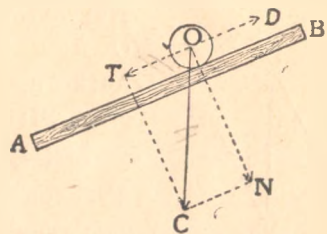


Rys. 17.

być ten ciężar D , ażeby C było w równowadze?

Ciężar ciała C wyobraźmy, co do wartości i kierunku, przez prostą OC (rys. 18), wychodzącą ze środka ciężkości O ciała.

Rozłóżmy siłę OC na dwie siły: na siłę ON , prostopadłą do deseczki i na siłę OT , równoległą do niej. Siła ON przyciska ciało do deski, ale nie może go pociągnąć ani do góry ani na dół; jako prostopadła do deski AB , siła ON nie przechyla się ani w stronę OD ani w stronę OT . Pozostaje zatem tylko siła OT , która ciągnie ciało wzdłuż deseczki na dół; trzeba zrównoważyć tę siłę OT , ażeby zapewnić równowagę ciała.



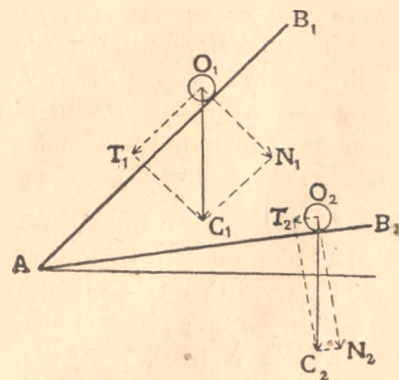
Rys. 18.

Sprawia to siła OD , która pochodzi (rys. 17) od działania siły ciężkości na D . Widzimy z rysunku 18-go, że OT jest mniejsza niż OC ; siła OD będzie więc również mniejsza niż OC . Powiadamy, że ciężar D musi być *mniejszy* niż ciężar C , jeżeli równowaga ma być zachowana.

Pochylamy teraz równię AB mniej albo więcej do poziomu. Wykonawszy doświadczenie, dostrzegamy, że potrzebny do równowagi ciężar D jest coraz mniejszy, im bliższa poziomego położenia jest deseczka AB .

Czemu tak jest, możemy zrozumieć, rozłożywszy siłę OC w dwóch różnych położeniach AB_1 oraz AB_2 deseczki (rys. 19) według zasady równoległoboku, w sposób, który przed chwilą objaśniliśmy. Widzimy, że O_2T_2 wypada znacznie mniejsza niż O_1T_1 . Jeżelibyśmy ustawili AB

dokładnie pionowo, OT stałaby się równa OC , więc ciężar D byłby wówczas równy ciężarowi C . W położeniu poziomym, przeciwnie, OT byłaby równa zeru, ciężar D byłby niepotrzebny.



Rys. 19.

Zadania.

Rozwiązać wykreślnie (przy pomocy cyrkla i linijki milimetrowej) następujące zadania:

1. Jaka jest wypadkowa sił 5 i 10 kilogramów, z których jedna działa w kierunku poziomym, a druga w pionowym?
2. Znaleźć wypadkową sił 3 kg i 4 kg, działających pod kątem 45 stopni do siebie wzajemnie.
3. Ciężarek 5 gr, wiszący na nitce, zbacza od kierunku pionowego o 30 stopni pod wpływem siły, działającej poziomo. Jak wielka jest ta siła?
4. Jaka siła potrzebna jest do utrzymania ciężaru 30 kg na równi pochyłej, która tworzy z poziomem kąt 30 stopni? Siła ta działa wzdłuż równi pochyłej.

§ 13. O ruchu ciał.

Jeśli ktoś stał na środku pokoju, a później widzimy go koło drzwi, powiadamy, że *zmienił miejsce* w pokoju. Gdybyśmy byli' ciągle nań zważali, bylibyśmy zobaczyli, że przeszedł od środka pokoju do drzwi; bylibyśmy widzieli, jak się *poruszał*. Każda zmiana miejsca jest wynikiem *ruchu*. Co nie zmienia miejsca, to jest w spoczynku t. j. nie porusza się.

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

Trzeba odróżniać ruch ciał jako *całości* od ruchu ich *części*. Gdy koło w maszynie obraca się, różne części koła są w ruchu,

ale całość koła nie zmienia swego miejsca. Jeżeli zaś, przeciwnie, ktoś ciągnie to samo koło po podłodze, porusza się ono wówczas jako całość. *Ruch całości ciała nazywa się postępowym.* Zatem koło, kręcące się w maszynie, *nie* odbywa ruchu postępowego; ruch, który ono odbywa, nazywa się *obrotowym.* Wyobraźmy sobie powóz, toczący się po drodze. Pudło tego powozu ma ruch postępowy; koła powozu odbywają ruch zarazem postępowy i obrotowy.

Każdy ruch odbywa się w jakimś *kierunku.* Kamień, puszczony swobodnie ale nie rzucony, biegnie prosto ku ziemi czyli *spada.* Idąc prosto przed siebie, wzdłuż linii prostej, odbywamy ruch w kierunku wciąż jednakowym; gdy zaś obchodzimy coś dokoła, ruch nasz ma w każdej chwili inny kierunek. Ruch wzdłuż jakiegokolwiek linii, prostej czy krzywej, może odbywać się w dwóch przeciwnych sobie kierunkach. Pociąg stojący na szynach może poruszać się bądź naprzód, bądź wstecz. Szufiadę można wysuwać i wsuwać. Statki i tratwy płyną po rzece z wodą i pod wodą.

Torcm pewnego ruchu nazywamy linię (prostą czy krzywą), po której ten ruch odbywa się. Wyobraźmy sobie na przykład, że kamień, uwiązany na sznurku, obracamy, trzymając drugi koniec sznurka w dłoni; kamień biegnie wówczas po torze kołowym. Poruszając szybko w ciemności zapalną tlejącą, widzimy smugę ognistą, którą zapalnik (jak się wydaje) zostawia po sobie. Gwiazda spadająca daje ślad świetlny na niebie. Statek, płynąc po jeziorze, tworzy smugę na powierzchni wody. W tych razach *widzimy* tor ruchu, który odbywała zapalnik w powietrzu, gwiazda na niebie lub statek po wodzie. Kiedy piszemy kredą na tablicy, dostrzegamy tor kredy po tablicy w postaci liter i wyrazów.

Przypuśćmy, że pewne ciało porusza się po torze, który jest linią prostą; wóz jedzie na przykład po szosie, prosto przed siebie biegnącej. Przypuśćmy, że w pewnej chwili wóz przejeżdża przed jakimś wiadomym przedmiotem, np. przed drogowskazem lub innym znakiem przydrożnym. Nieco później widzimy, że wóz zrównał się z pewnym upatrzonym drzewem. Jeżeli odległość drzewa od drogowskazu wynosi np. 36 metrów, powiadamy, że wóz, posuwając się po torze prostolinjowym, *odbył drogę 36 metrów.* *Drogą* nazywamy więc

odległość, którą, wzdłuż toru swego ruchu, przebywa poruszające się ciało.

Przypuśćmy, że chłopiec biegnie dokoła okrągłego trawnika i że obwód tego koła ma 24 m długości; wiemy, że możemy zmierzyć długość takiego obwodu, chociaż on nie jest linią prostą lecz zakrzywioną. Powiadamy, że chłopiec odbył drogę 24 m, gdy obiegł obwód trawnika raz jeden dokoła; że odbył drogę 48 m lub 72 m, jeżeli obiegł go dwa lub trzy razy z rzędu.

§ 14. Czas.

Czas ciągle płynie, cokolwiek bądź czynimy: czy pracujemy, odpoczywamy, bawimy się czy śpimy, czy o nim pamiętamy, czy zapominamy. Mijają sekundy, minuty i godziny, dni następują po nocach i noce po dniach, upływają tygodnie, miesiące, lata i stulecia, ani śpiesząc się ani się spóźniając.

Ciągły, jednostajny bieg czasu mierzymy ruchem wskazówek zegarów. Zegar zatem powinien iść jednostajnie. Ażeby się przekonać, czy zegar idzie jednostajnie, porównujemy go z innym sprawdzonym zegarem, np. z zegarem miejskim, z zegarem obserwatorium astronomicznego. Ale najlepszym zegarem jest sama kula ziemiska, na której mieszkamy. Wiemy istotnie, że ziemia obraca się dokoła swej osi; okres czasu, upływający podczas jednego takiego obrotu, nazywa się *dobą*; doba wynosi 24 godziny czyli 1440 minut czyli 86400 sekund.

§ 15. Ruch wymaga czasu.

Żeby ująć kilometr po zwykłej drodze, trzeba mniej więcej kwadransa czasu czyli 15 minut. Jadąc średnim kłusem końskim, przebywamy kilometr mniej więcej w ciągu 5 minut. Pociągowi pośpieszemu na kolei żelaznej wystarcza na przebycie kilometra jedna minuta. Wystrzelona z działa kula przebiega kilometr w ciągu dwóch sekund. Ziemia nasza w drodze swej około słońca zużywa na przejście kilometra tylko $\frac{1}{30}$ -tą część sekundy. Można by wyobrazić sobie, że jakieś ciało przebywa kilometr w czasie jeszcze krótszym, np. w ciągu $\frac{1}{100}$ -ej albo $\frac{1}{1000}$ -ej części sekundy. Ale nie można pomyśleć, ażeby na przebycie kilometra wcale nie potrzebo-

wało czasu; w tej samej chwili ciało nie może być u początku i u końca tego kilometra. *Wszelki ruch wymaga czasu.*

Kiedy pieniądz wypadnie komuś z ręki, wydaje się, jak gdyby w tej samej chwili już był na ziemi; lecz tak nie jest. Nietrudno jest pochwycić spadający pieniądz w biegu; zanim więc dobiegnie on ziemi, mamy widocznie czas spostrzec, co dzieje się i wprawić rękę w ruch, ażeby pieniądz pochwycić. Rzeczywiście, pieniądz, puszczonej z odległości półtora metra od ziemi, dobiegnie jej dopiero po upływie przeszło pół sekundy.

§ 16. Prędkość.

Mówi się, że ktoś idzie *prędko*, jeżeli niezbyt długi czas wystarcza mu do przebycia pewnej drogi. Jeżeli kto inny tę samą drogę przebywa w czasie dłuższym, powiadamy, że porusza się mniej *prędko* czyli z mniejszą *prędkością*. Zatem prędkość ruchu jest tem znaczniejsza, im krótszy jest czas, potrzebny do przebycia pewnej drogi. Kula ziemską, jak wiemy z § 15-go, biegnie *prędzej* niż pociąg *pośpieszny*; pociąg *prędzej* niż powóz; powóz *jedzie prędzej* niż człowiek *idzie pieszo*.

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

§ 17. Prędkość stała i zmienna. Jednostka prędkości.

Pociąg, stojąc na stacji, nie ma wcale prędkości. Kiedy wyrusza ze stacji, *jedzie* coraz *prędzej* t. j. nabiera coraz większej prędkości; ruch pociągu, jak mówimy, jest wówczas *przyspieszony*. Rozpędziwszy się należycie, pociąg nie *przyspiesza* ani też nie *zwalnia* biegu; porusza się więc z prędkością *stałą* czyli porusza się ruchem *jednostajnym*. Nareszcie, zbliżając się do następnej stacji, na której ma stanąć, pociąg *zwalnia* biegu, więc *zmniejsza* swą prędkość; tu znowu ruch pociągu jest

niejednostajny, mianowicie jest *opóźniony*. Po wyruszeniu z pierwszej stacji prędkość ruchu pociągu *zwiększa* się; pomiędzy stacjami jest *stała*; w pobliżu drugiej stacji *zmniejsza* się.

Jeśli pociąg, zupełnie rozpędzony i biegnący *jednostajnie*, przebywa kilometr w ciągu minuty, przebędzie piętnaście kilometrów w ciągu kwadransa, sześćdziesiąt kilometrów w ciągu godziny. Czy powiemy, że porusza się z prędkością kilometra na minutę, czy też, że porusza się z prędkością sześćdziesięciu kilometrów na godzinę, jest wszystko jedno, jeśli ruch jest *jednostajny*; wówczas bowiem prędkość jego jest *stała*. Zupełnie jest inaczej, jeśli ruch *nie* jest *jednostajny*. Gdy pociąg rozpędza się, nie jest wszystko jedno, czy *zważamy* drogę, przebytą w ciągu pierwszej minuty, czy drogę, przebytą w ciągu dziesiątej lub piętnastej minuty. W ciągu kwadransa pociąg przebywa *rzeczywiście* daleko dłuższą drogę, niż gdyby był się ciągle poruszał z prędkością, jaką miał w pierwszej minucie; albowiem prędkość ruchu *zwiększa* się co chwila.

Jak jednostką długości jest pewna długość, mianowicie centymetr lub metr, jak jednostką czasu jest pewien odstęp czasu, mianowicie sekunda, podobnie jednostką prędkości jest pewna prędkość; na przykład *prędkość 1 centymetra na sekundę* (1 cm na sek) albo też *1 metra na sekundę* (1 m na sek). Jeżeli np. ciało porusza się *jednostajnie* i przebywa drogę 60 cm w przeciągu 5 sekund, to w przeciągu jednej sekundy przebywa 12 cm. Prędkość wynosi zatem 12 cm na sek; jest 12 razy większa od jednostkowej prędkości 1 cm na sek.

Zadania.

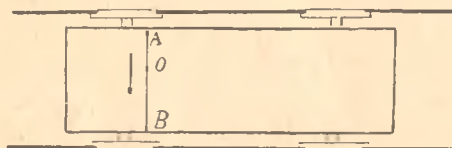
1. Ile kilometrów na godzinę, ile metrów na sekundę wynosi prędkość pociągu, który przebywa ruchem *jednostajnym* drogę 15 kilometrów w przeciągu kwadransa?
2. Ciało biegnie *jednostajnie* z prędkością 200 cm na sek. Jaką drogę przebędzie w przeciągu godziny? W jakim czasie odbędzie drogę 32 m?
3. Prędkość w pewnym ruchu *jednostajnym* wynosi 250 cm na sek. Wyrazie tę prędkość w kilometrach na godzinę.
4. Jakiego czasu ciało potrzebuje na przebycie drogi 2-ch kilometrów, gdy porusza się z prędkością *stałą* 20 cm na sek? Jaką drogę odbędzie w przeciągu 5 minut?

§ 18. Ruch, złożony z dwóch ruchów.

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

Przypuśćmy, że siedzimy nieruchomo w wagonie, który toczy się po szynach. *Względem wagonu nie zmieniamy miejsca*; ściany wagonu i przedmioty w nim umieszczone wydają nam się nieruchome; gdyby nie turkot i wstrząśnienia, moglibyśmy sądzić, że nie jesteśmy w ruchu. Ale skoro wyjrzymy przez okno, dostrzeżemy, że poruszamy się, że uczestniczymy mianowicie w postępowym ruchu wagonu; dostrzeżemy, że *względem ziemi, względem drzew, względem domów przydrożnych jesteśmy w ruchu*. Siedząc w wagonie, nie widzimy jego ruchu; ale ruch ten dostrzega człowiek, który stoi koło toru kolejowego.

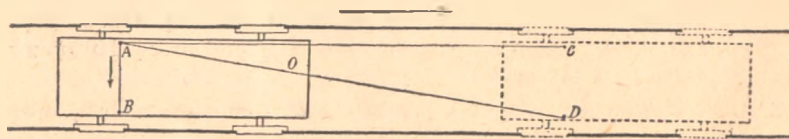
Przypuśćmy, że ktoś po wagonie chodzi wszerz, np. od okna do okna. Rys. 20-ty przedstawia widok tego wagonu,



Rys. 20.

widziany z góry, czyli innemi słowy widok wagonu niejako przeciętego płaszczyzną poziomą. Niechaj będzie *O* miejscem człowieka w wagonie. Jeżeli wagon jest w spoczynku,

wtedy torem, po którym ruch człowieka się odbywa, jest



Rys. 21.

prosta *AB*. Ale po jakim torze porusza się człowiek, jeśli chodzi wszerz po wagonie, biegnącym jednostajnie po szynach (rys. 21)? Człowiek odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy:

1. chodzi po wagonie wszerz, jak chodziłby po nieruchomym wagonie 2. posuwa się naprzód wraz z wagonem i ze wszystkim, co wogóle znajduje się w wagonie. Dzięki pierwszemu ruchowi człowiek porusza się w ciągu sekundy od *A* do *B* (rys. 21); byłaby to jego droga, gdyby wagon stał w miejscu. Ale wagon w ciągu tej sekundy posuwa się naprzód o długość *AC*; z nim razem cała droga *AB* posuwa się niejako naprzód, również o długość *AC*. Zatem rzeczywistą drogą człowieka jest linja *AD*. Posuwając w myśli człowieka od *A* do *B* wzdłuż linii *AB* a jednocześnie posuwając całą linię *AB* naprzód wzdłuż kierunku *AC*, zrozumiemy, że człowiek posuwa się ostatecznie po drodze *AD*. Powiadamy zatem: droga *AD* jest *wypadkową drogą*, która zastępuje dwie *drogi składowe* razem wzięte: *AB* i *AC*.

Ażeby znaleźć drogę wypadkową, która może zastąpić dwie dane drogi składowe, należy zbudować równoległobok na drogach składowych; przekątnia tego równoległoboku wyobraża drogę wypadkową co do długości i kierunku.

Widzimy, że zasada składania dróg, którą tutaj poznaliśmy, jest podobna do zasady równoległoboku sił, znanej nam już z § 11-go; nazywamy ją podobnie *zasadą równoległoboku dróg* albo jeszcze: *zasadą równoległoboku prędkości*.

§ 19. Bezwładność.

Wiemy z § 3-go, że ciało spoczywające nie zaczyna się poruszać, dopóki siła z zewnątrz przyłożona nie zmusi go do wyjścia ze spoczynku.

Przypuśćmy teraz, że ciało już znajduje się w ruchu. Przyglądając się uważnie zachowaniu się ciał będących w ruchu, spostrzegamy, że *ciało, które porusza się, nie zatrzymuje się samo przez się; że trwa w ruchu namiętnym, dopóki go nie powstrzyma siła z zewnątrz przyłożona*. Ciało rozpędzone nie zatrzyma się, ani nie zwolni biegu, ani nawet nie zboczy od pierwotnego swego kierunku, jeżeli nie zmusi go do tego siła obca, zewnętrzna. Taką powszechną własność ciał nazywamy ich *bezwładnością*. Powiadamy, że wszystkie znane nam ciała są *bezwładne*.

Jeżeli zatem na ciało nie działają żadne siły (albo też, jeżeli siły działające na nie równoważą się wzajemnie ze sobą),

wówczas ruch odbywa się mocą samej tylko bezwładności. W takim ruchu prędkość jest stała i kierunek ruchu jest niezmienny; a zatem: *ruch przez bezwładność jest jednostajny i odbywa się w kierunku linii prostej.*

Przykłady bezwładności spotykamy codziennie. Wyskakując z biegnącego powozu, czujemy, że ciało nasze dąży do zachowania nabytego ruchu. Gdy stoimy w biegnącym wagonie a pociąg nagle zwalnia, stopy nasze, oparte o podłogę, zwalniają bieg, ale reszta ciała przez bezwładność pochyła się naprzód. Przeciwnie, jeśli stoimy w wagonie nieruchomym a pociąg nagle rusza, przechylamy się wstecz. Z podobnego powodu gmachy i budynki pękają i rozpadają się wskutek trzęsienia ziemi; fundamenty poruszają się nagle, reszta zaś budowli trwa przez bezwładność w poprzednim spoczynku. Korzystamy z bezwładności, gdy strząsamy z drzewa dojrzałe owoce; przez bezwładność długi kij drewniany łamie nam się w rękę, gdy, trzymając jeden koniec, próbujemy nagle wywijać kijem bardzo prędko. Jeżeli, znajdując się w wagonie, upuściliśmy pieniądz na podłogę, wówczas spadnie on do stóp naszych, bez względu na to, czy wagon biegnie, czy jest zatrzymany. To dowodzi, że moneta, nawet i wtedy, kiedy spada swobodnie w powietrzu (kiedy przeto nic jej nie ciągnie ani nie popycha), zachowuje ruch, jaki miała, zanim została puszczone, mianowicie ruch wagonu. Płynąc czołnem, wyrzucimy piłkę pionowo do góry; nie wpadnie ona do wody poza czołnem, lecz wróci do naszych rąk. A zatem piłka podczas swej drogi w powietrzu zachowuje ruch, jaki miała, zanim została wyrzucona do góry, t. j. ruch czołna.

§ 20. Tarcie i jego wpływ na ruch ciał.

Mogłoby wydawać się napozór, że ciała *niezawsze* zachowują się tak, jak gdyby były bezwładne. Wprowadzone w ruch, ciała niekiedy zatrzymują się; napozór same przez się ustają. Wózek, popchnięty po zwykłej ścieżce, niebawem wstrzymuje się; rozkołysana huśtawka uspakaja się rychło; koło osadzone na osi, wprawione w ruch obrotowy, wkrótce przestaje się kręcić. Ale w tych przypadkach ciała *nie* są swobodne od działania sił zewnętrznych, *nie* poruszają się zatem wyłącznie przez własną bezwładność. We wszystkich

tych przypadkach działa *tarcie*. Koła wozu doznają tarcia od piasku lub żwiru ścieżki; sznury huśtawki trą się o haki, na których są zawieszane; oś koła trze się o łożysko, w którym się kręci. Żwir, piasek, ziemia, drzewo, sukno są chropowate, są szorstkie; powierzchnia takich ciał jest pełna drobnych wklęsłości i wyniosłości, jest >wyboista<. Łatwo zrozumieć, że ciało, które podczas ruchu styka się z taką powierzchnią, musi doznawać przeszkód, oporu i tarcia.

Im bardziej zmniejszamy tarcie, które sprzeciwia się ruchowi rozpędzonego ciała, tem ściślej prawo bezwładności okazuje się spełnione (§ 19). Po gładkich szynach wagon, wprawiony w ruch, biegnie daleko mocą bezwładności; podobnie sunie łyżwiarz po równym lodzie. W należytej wyolwionem łożysku oś koła doznaje słabego tarcia, koło zatem, wprawione w ruch obrotowy, kręci się długo. Po gładkiej posadzce kula potoczy się dalej niż po suknie; po lodzie wózek dalej pobiegnie niż po żwirze.

Czemu tak trudno przesunąć skrzynię po ziemi lub po podłodze? Skrzynia jest ciężka; ale siła ciężkości działa na dół *pionowo* (§ 6) a zatem nie sprzeciwia się wcale (por. § 12) *poziomemu* ruchowi. Trudno jest posunąć skrzynię po podłodze z powodu *tarcia* tego ciała o powierzchnię podłogi. Rzeczywiście, natrafiamy na całkiem inny opór, gdy chcemy wóz *podnieść* niż kiedy próbujemy go *ciągnąć*. W pierwszym razie mamy do czynienia z ciężarem wozu, w drugim razie — z tarcie osi o panewki. Kamień doznaje znacznego tarcia o sukno, mniejszego o szkło lub o lód; tymczasem, czy kamień leży na suknie, na szkłe czy na lodzie, jego ciężar jest oczywiście zawsze ten sam.

Widzieliśmy, że tarcie bywa nieraz przeszkodą w ruchu; lecz właśnie ta przeszkoda bywa nam często pożyteczna a nawet niekiedy wprost nieodzowna. Nie możemy chodzić bezpiecznie po drodze bardzo śliskiej, od której stopy nie doznają dostatecznego tarcia; podczas wypraw górskich niema też nic niebezpieczniejszego niż posuwanie się po powierzchni olbrzymich brył lodu, zwanych *lodowcami*. Bez pomocy tarcia nie moglibyśmy wcale trzymać przedmiotów w rękę; bez spóldziałania tarcia żaden gwóźdź nie trzymałby się w ścianie; stoły, szafy, krzesła nie stałyby w miejscu, sunęłyby raczej po podłodze za lada pobudką. Gdyby nie tarcie, koła lokomotywy kręciłyby się >luźno< i pociąg nie posuwałby się wcale naprzód po szynach. Gdyby nie tarcie, każda z naszych rzek byłaby wyżłobita oddawna olbrzymią pod dnem swoim przepaść; każda z naszych gór byłaby się rozsypała oddawna.

§ 21. Bezwładny opór ciała.

Jeżeli ciało znajduje się *w spoczynku* i próbujemy je poruszyć, czujemy wówczas, że ono opiera się naszemu działaniu. Jeżeli zaś ciało już jest *w ruchu*, wówczas opiera się każdemu usiłowaniu powstrzymania go w biegu. *Ciała odpowiadają więc pewnym oporem na każde działanie, zmierzające do zmiany ich spoczynku na ruch lub ich ruchu na spoczynek.* Ten opór nazywamy *bezwładnym*.

Bezwładny opór ciał objaśniamy sobie łatwo na mocy zasady działania i przeciwdziałania. Wiemy istotnie z § 4-go, że każdemu wywieraniu siły czyli działaniu towarzyszy zawsze przeciwdziałanie, t. j. wywieranie siły przeciwnej na ciało, które siłą wywiera. Opór bezwładny, którego doznajemy od ciał, jest właśnie przeciwdziałaniem tych ciał, wywieraniem na nasze mięśnie.

Bezwładny opór ciał jest nam znany z codziennego doświadczenia. Wyobraźmy sobie spore koło rozpedowe albo kamień młyński; gdy takie ciało jest osadzone na osi i kręci się o ile podobna bez tarcia, próbujemy wyprowadzić je ze spoczynku w ruch; albo też próbujemy zatrzymać je, gdy zostało wprowadzone w ruch obrotowy. Sama ostrożność, z jaką należy przedsięwziąć wszelką próbę podobną, świadczy, jak wielki bywa opór bezwładny ciał, które chcemy poruszyć lub wstrzymać. Chcąc powstrzymać bieg rozpedzonego pociągu, posługujemy się silnymi hamulcami; tylko potężne ich tarcie o koła wagonów jest w stanie zniweczyć rozpęd, którym biegnący pociąg jest ożywiony.

Przypuśćmy, że na stole leży ciało dość ciężkie, np. 500-gramowy ciężarek. Przywiązawszy nić do ciężarka, ujmujemy jej swobodny koniec w rękę i nagle pociągnięciem do góry próbujemy podnieść ciężarek. Nitka urywa się; zapytujemy: dlaczego? Nitka nie zdołała widocznie wytrzymać działania sił, które podczas szarpnięcia były w niej czynne. Ale wiemy przecie, że nitkę możemy tylko wówczas rozerwać, gdy ciągniemy jej końce w strony przeciwne. A zatem w nitce, w chwili szarpnięcia, musiały działać dwie siły. Jedną siłą skierowaną do góry, było nasze pociągnięcie; temu działaniu ciężarek sprzeciwił się, przeciwstawił mu opór bezwładny, skierowany na dół. Takie były dwie siły, które rozerwały nić.

§ 22. Ciała są mniej lub bardziej masywne.

Każde ciało przeciwstawia opór bezwładny działaniu siły z zewnątrz przyłożonej; ale w rozmaitych ciałach ten opór objawia się rozmaicie. Przypuśćmy na przykład, że na równej, gładkiej drodze albo na szynach znajduje się wózek. Jeżeli wózek jest pusty, łatwo go poruszyć lub poruszony zatrzymać; lecz jeżeli naładowano go kamieniami lub cegłą, wprowadzenie w ruch wózka przychodzi z trudnością, zatrzymanie rozpedzonego wymaga wówczas znacznego wysiłku. Powiadamy, że wózek naładowany jest *masywny*, że ma dużą *masę*; o pustym wózku mówimy, że masa jego jest znacznie mniejsza niż masa pełnego. *Masa ciała jest miarą oporu bezwładnego, który ono przeciwstawia działającej na nie sile.*

Wielkie wrota żelazne są bardzo masywne; drzwiczki drewniane w porównaniu do nich są mało masywne. Koło rozpedowe maszyny parowej jest ciałem masywnem, kółko zaś zegarka kieszonkowego jest stosunkowo mało masywne.

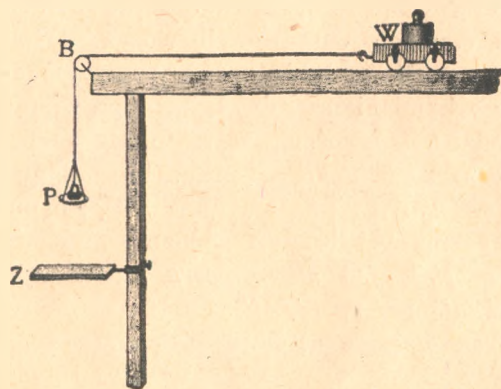
Wiemy, że wózek naładowany jest znacznie cięższy niż pusty; że masywne wrota są cięższe niż lekkie drzwiczki; że wielkie koło jest cięższe niż małe kółeczko. A zatem duża masa łączy się z dużym ciężarem, mała masa z małym ciężarem. Pomimo to jednak *masa a ciężar są to całkiem odmienne od siebie własności ciał.* Jeżeli chcemy poruszyć wrota, kręcące się w zawiasach, jeżeli staramy się zatrzymać obrót rozpedzonego kamienia młyńskiego, mamy do czynienia z oporem bezwładnym tych ciał, a zatem z ich *masą*. Gdybyśmy chcieli wrota leżące na ziemi podnieść do góry lub kamień młyński udźwignąć, mielibyśmy do czynienia z *ciężarem* tych ciał.

Przypuśćmy, że na szynach kolejowych stoi wózek zakryty, którego zawartość nie jest nam znana. Ażeby przekonać się, czy wózek jest pełny czy pusty, co każdy uczyni? potrąci ów wózek albo go popchnie. Wiemy istotnie, że wózek pusty, gdy zostanie popchnięty, potoczy się stosunkowo daleko; wózek naładowany, który równie mocno popchnęliśmy, poruszy się leniwie i zatrzyma się wkrótce. Pod działaniem tej samej siły ciało bardzo masywne nabywa stosunkowo małej prędkości, którą tarcie niebawem niweczy; ciało mało masywne nabywa prędkości znacznie większej, która nie wyczerpuje się tak rychło przez tarcie.

§ 23. Jak poruszają się ciała pod działaniem sił.

Chcemy teraz zbadać dokładniej, jak poruszają się rozmaite ciała pod działaniem rozmaitych sił. W tym celu przenosimy dotychczasowe nasze spostrzeżenia z toru kolejowego na stół pokoju szkolnego; powtarzamy te doświadczenia, zmniejszając ich skalę i odbywając je o ile można dokładnie.

Na poziomym, gładkim stole (lub lepiej na małych szynach) znajduje się wózek *W*, który porusza się o ile podobna bez tarcia. Wzdłuż drogi wózka sporządzono skalę z metryczną podziałką. Siły pociągowej dostarcza ciężar drobnego ciężarka *P* umieszczonego, jak pokazuje rysunek, w lekkiej szalce; ciężar ten działa na wózek za pośrednictwem nici, przez bloczek *B*.



Rys. 22.

Szalke wraz z ciężarkiem *P* trzymamy najprzód nieruchomo w rękę, następnie puszczamy ją swobodnie, nie popychając jej ani potrącając w żadnym kierunku. Ciężarek *P* zaczyna opadać i ciągnie za sobą wózek. Podsuwając zastawkę *Z*, zatrzymujemy szalke w chwili, kiedy od początku ruchu upłynęła 1 sekunda. Ciężar *P* działał zatem na wózek *W* przez czas 1 sekundy. Wózek, rozpedzony tem działaniem, w końcu zaś sekundy nagle uwolniony od niego, porusza się dalej przez bezwładność, ruchem jednostajnym, z taką prędkością, jakiej nabył przez czas tej 1 sekundy. Pilnie zauważmy prędkość tego ruchu jednostajnego; żeby ją zmierzyć, odczytujemy drogę, którą wózek przebywa w ciągu jeszcze dalszej (drugiej) sekundy. Przypuśćmy na przykład, że wózek *W* waży 600 gramów, mały zaś ciężarek *P* waży 10 gramów. Wózek pozostawał pod działaniem ciężaru 10 gramów przez czas *jednej* (pierwszej) sekundy; w drugiej sekundzie posunął się naprzód o 16 cm wzdłuż skali. Ponieważ w drugiej sekundzie wózek poruszał się ruchem jednostajnym, przez bezwładność, powiadamy zatem: pod działaniem ciężaru 10 gramów wózek *W* uzyskał w ciągu *pierwszej* sekundy prędkość 16 cm na sek. Pozwólmy teraz ciężarowi *P* działać na wózek *W* przez czas *dwoch* sekund. Przy końcu drugiej sekundy znowu zatrzymujemy szalke, w której znajduje się *P*; wózek porusza się dalej przez bezwładność, ruchem jednostaj-

nym, z taką prędkością, jaką uzyskał w ciągu 2-ch pierwszych sekund doświadczenia. Mierzmy drogę, przebytą przez wózek w ruchu jednostajnym w ciągu trzeciej sekundy; przekonujemy się, że ta droga wynosi 32 cm. Powiadamy zatem: pod działaniem ciężaru 10 gramów wózek *W* osiągnął w przeciągu *dwoch* pierwszych sekund prędkość 32 cm na sek. Pozwólmy ciężarowi *P* działać na wózek *W* przez czas *trzech* sekund; zatrzymawszy szalke, mierzymy drogę, przebytą przez wózek w ruchu jednostajnym w ciągu czwartej sekundy; przekonujemy się, że ta droga wynosi 48 cm. Pod działaniem ciężaru 10 gramów wózek *W* osiągnął zatem, w przeciągu *trzech* pierwszych sekund, prędkość 48 cm na sekundę.

Zbierzmy otrzymane wyniki. Pod działaniem ciężaru 10 gramów wózek *W* uzyskał:

- w ciągu 1 sekundy: prędkość 16 cm na sek
- w ciągu 2 sekund: prędkość 32 cm na sek
- w ciągu 3 sekund: prędkość 48 cm na sek.

Widzimy, że prędkość osiągnięta po upływie 2 sekund jest 2 razy większa niż osiągnięta po upływie 1 sekundy; osiągnięta po upływie 3 sekund jest 3 razy większa niż osiągnięta po upływie 1 sekundy. *Im dłużej działała siła poruszająca, tem większa jest prędkość, nabyta przez wózek.*

§ 24. Przyspieszenie.

Powróćmy jeszcze raz do wyników poprzedzającego doświadczenia. Widzimy, że, pod działaniem nie zmieniającej się czyli *stałej* siły, mianowicie ciężaru 10 gramów, prędkość wózka *W* powiększała się z biegiem czasu coraz bardziej. Prędkość ta wynosiła:

- w końcu 1-ej sekundy: 16 cm na sek
- w końcu 2-ej sekundy: 32 cm na sek
- w końcu 3-ej sekundy: 48 cm na sek.

Powiadamy zatem, że wózkowi *W* *przybywało* prędkości jak następuje:

- od początku ruchu do końca 1-ej sek. przybyło 16 cm na sek.
- od końca 1-ej sekundy do końca 2-ej " 16 cm na sek.
- od końca 2-ej sekundy do końca 3-ej " 16 cm na sek.

Innymi słowy: *pod działaniem siły niezmiennej przybywa ciętu w każdej sekundzie jednakowo wiele prędkości.*

Jak wiadomo z § 17-go, ruch, w którym prędkość coraz bardziej się zwiększa, nazywa się przyspieszonym. Przyspieszeniem takiego ruchu nazywamy właśnie przybytek albo powiększenie się prędkości w jednej sekundzie. Powtarzamy zatem wypowiedziane przed chwilą twierdzenie w sposób następujący: kiedy ciało porusza się pod wpływem siły niezmiennej, ruch jego jest przyspieszony; przyspieszenie ruchu jest wówczas niezmiennie. Naprzykład, w doświadczeniu powyższym, przyspieszenie, wytworzone pod działaniem ciężaru 10 gramów, wynosiło stale 16 cm na sek w każdej sekundzie.

§ 25. Przyspieszenie zależy od siły działającej.

Powtarzamy doświadczenie, opisane w §§ 23-im i 24-ym; ale kładziemy na szalkę coraz znaczniejsze ciężarki. Zamiast 10-gramowego ciężarka (jak w § 24-ym) kładziemy naprzykład 20-gramowy. Wózek 600-gramowy (jak wyżej) nabywa pod działaniem ciężaru 20 gramów następujących prędkości:

- w końcu 1-ej sekundy : 32 cm na sek
- w końcu 2-ej sekundy : 64 cm na sek
- w końcu 3-ej sekundy : 96 cm na sek;

przybytek prędkości w jednej sekundzie czyli przyspieszenie wynosi zatem stale : 32 cm na sek w każdej sekundzie. Zamiast 20-gramowego ciężarka kładziemy teraz na szalkę 30-gramowy. Przekonamy się wówczas, że wózek (zawsze 600-gramowy wózek jak wyżej) nabywa pod działaniem ciężaru 30 gramów następujących prędkości:

- w końcu 1-ej sekundy : 48 cm na sek
- w końcu 2-ej sekundy : 96 cm na sek
- w końcu 3-ej sekundy : 144 cm na sek;

przybytek prędkości w sekundzie czyli przyspieszenie wynosi wówczas stale : 48 cm na sek w każdej sekundzie. Zbierzmy znowu wyniki, które otrzymaliśmy; zestawmy ciężary czyli siły działające oraz wywołane przez nie przyspieszenia.

Ciężar działający	Przyspieszenie wytworzone
10 gr	16 cm na sek w 1 sek
20 gr	32 cm na sek w 1 sek
30 gr	48 cm na sek w 1 sek.

Przyspieszenie jest tem większe, im znaczniejsza jest siła, która działa na ciało. Gdy siła działająca stała się dwa razy większa,

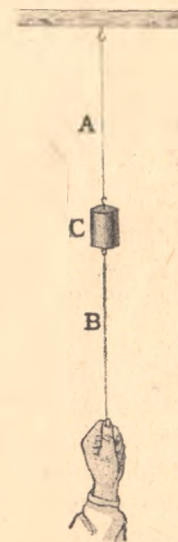
przyspieszenie stało się dwa razy większe; gdy siła stała się trzy razy większa, przyspieszenie stało się trzy razy większe. *Przyspieszenie ciała zmienia się w takim samym stosunku, w jakim zmienia się siła, która działa na ciało; lub innymi słowy: przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły.* #

§ 26. Do przyspieszenia poruszającego się ciała dostosowany jest zawsze jego opór bezwładny.

Nagłym szarpnięciem do góry próbowaliśmy w § 21-ym podnieść ciężarek kilkusetgramowy. Ta próba nie powiodła się, ponieważ urwała się nić, za której pośrednictwem pociągnęliśmy ciężarek. Spróbujmy teraz poruszyć ciężarek łagodnie, ciągnąc swobodny koniec nici do góry ostrożnie, stopniowo i oględnie wzmagając wysiłek. Podnosimy wówczas ciało mniejszym wysiłkiem niż w razie nagłego szarpnięcia. Siła, której użyliśmy, była nieznaczna, opór bezwładny ciężarka był również niewielki; dlatego w tym razie nitka nie urwała się wcale.

Uwiążmy ciężarek *C* na nici *A* i zawieśmy go u sufitu. Do dolnej powierzchni ciężarka *C* przywiążmy drugą nić *B* (rys. 23), taką samą jak *A*. Jeżeli szarpniemy mocno nić dolną *B*, ta nić *B* przerywa się; ciężarek *C* skutkiem swego bezwładnego oporu zachowuje się tak, jak gdyby był przytwierdzony do sufitu. Jeżeli jednak pociągniemy nić *B* ku dołowi ostrożnie, łagodnie wzmagając ciągnięcie, urywa się wówczas nić górna *A*. Łatwo to zrozumieć, zważywszy, że nić *A* jest wyprężona przez działanie ciężaru *C*, od czego nić *B* oczywiście jest wolna.

Lecz czemuż różni się nagłe szarpnięcie od ostrożnego, łagodnego ciągnięcia? Nagłe szarpnięcie usiłuje wzbudzić ruch gwałtownie przyspieszony, ruch, w którym prędkość powiększa się nadzwyczaj raptownie. Łagodne ciągnięcie wywołuje, przeciwnie, ruch słabo przyspieszony, t. j. ruch, w którym prędkość wzmaga się z czasem nieznacznie. Powiadamy zatem: *jeżeli poruszamy ciało nagłe czyli raptownie, wówczas przyspieszenie, które wytwarzamy, jest duże; zatem i siła, której użyć musimy, jest duża (§ 25); opór bezwładny ciała jest wówczas także duży. Jeżeli jednak to samo ciało poruszamy łago-*



Rys. 23.

dnie, przyspieszenie jego jest małe, siła przez nas użyta jest mała, opór bezwładny ciała jest wówczas mały.

§ 27. Zależność przyspieszenia od masy.

Urozmaicamy teraz w inny sposób doświadczenia opisane w § 23-im. W wózku *W* umieszczamy najpierw jeden żelazny klocek, następnie dwa takie same klocki, trzy takie same i t. d. Na szalce umieszczamy zawsze ten sam (np. 10-gramowy) ciężarek *P*. Powtarzamy za każdym razem pomiary, które wykonywaliśmy w §§ 24-ym i 25-ym. Przekonywamy się, że *przyspieszenia, które okazuje wózek W pod działaniem tej samej siły, są tem mniejsze, im więcej klocków umieściliśmy w wózku.*

Przypomnijmy sobie teraz treść §§ 21-go i 22-go. Widzimy z nich, że dwa jednakowe klocki żelazne muszą przeciwstawić z pewnością *większy opór bezwładny* działającej na nie sile aniżeli jeden taki sam klocek żelazny; muszą one zapewne przeciwstawić takiej sile *dwa razy większy opór bezwładny*. Lub innemi słowy: dwa jednakowe klocki żelazne muszą być dwa razy *masywniejsze* niż jeden, muszą mieć *masę 2 razy większą* (zob. § 22). Powiadamy więc: *przyspieszenia, które okazuje pewne ciało pod działaniem tej samej siły, są tem mniejsze, im masa ciała jest większa.*

Umieszczamy w wózku *W* (rys. 22) najpierw ołowiany klocek, następnie żelazny (tej samej objętości), potem kamienny, szklany, drewniany, korkowy. Wykonawszy znane nam z §§ 23, 24 i 25-go doświadczenia i pomiary, przekonywamy się, że wózek naładowany ołowiem okazuje najmniejsze przyspieszenie, klocek zaś wyrobiony z korka okazuje przyspieszenie największe. Ołów w tej samej objętości ma więc większą masę niż żelazo, żelazo ma większą masę niż kamień i t. d.; najmniejszą masę w tej objętości ma korek.

Ze wszystkich naszych doświadczeń, czynionych przy pomocy wózka (rys. 22), począwszy od § 23-go, wyprowadzamy teraz następujący wniosek ogólny. Przypuśćmy, że pewne ciało jest poddane działaniu pewnej siły, np. pewnego określonego ciężaru. Przyspieszenie, które dana siła wytwarza w danem ciele, zależy od dwóch okoliczności: od wartości siły i od masy ciała. *Przyspieszenie zmienia się w takim samym stosunku,*

w jakim zmienia się siła i w odwrotnym stosunku niż ten, w którym zmienia się masa; lub innemi słowy: przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do siły i odwrotnie proporcjonalne do masy.

Stąd wynika, że, jeżeli podwoimy siłę działającą ale jednocześnie powiększymy masę ciała w dwójnasób, wówczas przyspieszenie pozostanie to samo. Jeżeli potroimy siłę działającą ale jednocześnie powiększymy masę ciała w trójnasób, przyspieszenie znowu pozostanie to samo. Z pomiędzy klocków, które umieszczaliśmy w wózku, ołowiany miał masę największą, korkowy zaś miał najmniejszą. Jeżeli więc przyspieszenie wózka ma być to samo, musimy nań działać największą siłą wówczas, gdy jest naładowany ołowiem, najmniejszą zaś siłą wówczas, gdy leży na nim klocek korkowy. *Jeżeli przyspieszenie ma być to samo, znaczna masa wymaga działania znacznej siły, drobna masa — działania siły słabej.*

Powtórzmy doświadczenie, które wykonaliśmy dawniej (§ 4) przy pomocy magnesu i kawałka żelaza. Przypuśćmy, że masa kawałka żelaza jest 3 razy mniejsza niż masa magnesu. Spostrzegamy bez trudności, że żelazo w ruchu swoim ku magnesowi nabywa w tym samym czasie większych prędkości aniżeli magnes w ruchu ku żelazu; że zatem żelazo ma większe przyspieszenie aniżeli magnes. Gdybyśmy zmierzili prędkość żelaza i magnesu, przekonalibyśmy się, że przyspieszenie żelaza jest 3 razy większe niż przyspieszenie magnesu. Stąd wynika, według twierdzeń poprzedzających, że siły działające na żelazo i na magnes muszą być równe sobie. *Gdy dwa ciała A i B działają na siebie, siły, wywierane przez nie wzajemnie, są równe: A działa na B równie mocno jak B działa na A; innemi słowy przyspieszenia ciał A i B działających wzajemnie na siebie są odwrotnie proporcjonalne do ich mas.* Widzieliśmy rzeczywiście, że, jeżeli masa kawałka żelaza jest 3 razy mniejsza niż masa magnesu, wówczas przyspieszenie tego kawałka żelaza jest 3 razy większe niż przyspieszenie magnesu.

§ 28. O mierzeniu mas.

Wyobraźmy sobie dwa ciała: *A* i *B*. Przypuśćmy, że wytworzenie w ciele *B* pewnego wiadomego przyspieszenia (na przykład 12 cm na sek w każdej sekundzie) wymaga działania

siły 2 razy większej niż wytworzenie takiego przyspieszenia w ciele *A*. Na zasadzie § 27-go powiadamy wówczas: masa ciała *B* jest dwa razy większa niż masa ciała *A*. Jeżeli masę ciała *A* obraliśmy za *jednostkę masy*, tedy zmierzylismy masę ciała *B*; otrzymaliśmy dla tej masy liczbę 2.

Za *jednostkę masy* wybieramy masę jednego litra wody; nazywamy ją *masą kilograma* (albo krótko *kilogramem*). Masa 1 centymetra sześciennego wody jest więc *masą 1 grama*.

Powyższe określenie wymaga pewnego uzupełnienia, które podamy w czwartym rozdziale (§ 139) tej książki.

Porównawszy masę jakiegokolwiekbądź ciała, w sposób przed chwilą wskazany, z masą kilograma lub grama, możemy zmierzyć masę tego ciała.

§ 29. Zasady dynamiki.

Nauka o zależności ruchu ciał od działania sił nazywa się *dynamiką*. W rozdziale niniejszym poznaliśmy już najważniejsze prawa czyli *zasady* tej nauki. Możemy je streścić w kilku krótkich twierdzeniach:

I. Jeżeli dane ciało znajduje się pod wpływem pewnej siły, przyspieszenie ciała jest wprost proporcjonalne do siły i odwrotnie proporcjonalne do masy ciała (§ 27).

II. Jeżeli ciało nie znajduje się pod wpływem żadnej siły, nie ma ono wówczas wcale przyspieszenia; prędkość ciała jest wówczas niezmienna albo równa zeru, zatem ruch ciała jest prostoliniowy i jednostajny albo też jest spoczynkiem (§ 19).

III. Działanie ciał na siebie jest zawsze wzajemne. Siły, wywierane przez dwa ciała na siebie wzajemnie, są równe sobie i skierowane przeciwnie; przyspieszenia tych dwóch ciał są wówczas odwrotnie proporcjonalne do ich mas (§§ 4 i 27).

Zadania.

1. W pewnym ruchu prędkość w końcu 1-ej sekundy (od początku ruchu) wynosi 50 cm na sek, w końcu 2-ej sekundy wynosi 100 cm na sek. Jakie jest przyspieszenie?

2. Prędkość w pewnym ruchu wzrasta stale o 5 cm na sek w przeciągu każdej połowy sekundy. O ile wzrosnie prędkość tego ruchu w przeciągu 15 sekund?

3. Pewne ciało porusza się w taki sposób, że jego przyspieszenie jest stałe. Prędkość ciała wzrasta o 30 cm na sek w przeciągu każdych

2-ch sekund. Jaka będzie prędkość po upływie 5 sekund od początku ruchu? Po ilu sekundach (od początku ruchu) prędkość wyniesie 120 cm na sek?

4. Pod wpływem pewnej stałej siły masa 30 gr nabyła prędkości 20 cm na sek w przeciągu połowy sekundy. Jak wielka masa nabyłaby pod działaniem tej samej siły prędkości 60 cm na sek w przeciągu 2-ch sekund?

5. Masa *M* nabyła prędkości 3 cm na sek, w ciągu jednej sekundy (od początku ruchu), pod wpływem pewnej stałej siły. Jaka siła mogłaby wytworzyć w tejże masie *M* prędkość 12 cm na sek w przeciągu jednej sekundy (od początku ruchu)?

6. Masa huśtawki i człowieka, wyrzucającego z niej kamienie, jest 55 razy większa niż masa wyrzuconego kamienia; w jakim stosunku jest przyspieszenie kamienia do przyspieszenia cofającej się huśtawki?

7. Dno naczynia, mającego kształt walca, liczy 2 cm² rozległości; wysokość walca wynosi 10 cm. Jaka jest masa wody wypełniającej naczynie?

8. Ile wynosi masa jednego sześciennego metra wody? Jaką objętość zajmuje jedna tona wody?

9. Ciało *C* biegnie po obwodzie koła; czy możemy wówczas twierdzić, że pozostaje ono pod działaniem jakiejś siły? Jeżeli tak, to na jakiej zasadzie?

§ 30. Jak ciała spadają. Przyspieszenie ciężkości.

Wiemy z § 6-go i z artykułów późniejszych, że ciała, z którymi miewamy codzienną czynienia, są *ciężkie*, że ulegają działaniu siły ciężkości. To działanie jest stałe, niezmienne. Gdybyśmy zmierzili ciężar danego ciała przy powierzchni ziemi, później na drugim albo trzecim piętrze wysokiego domu, albo u szczytu wieży kościelnej, nie znaleźlibyśmy różnicy. Ale nie tylko wartość tej siły jest niezmienna; kierunek jej jest również niezmienny; siła ciężkości działa zawsze w kierunku pionowym (§ 6).

Wyobraźmy sobie jakieś ciało *A*, na przykład małą kulę ołowianą. Puszczamy to ciało zupełnie swobodnie, ze znacznej wysokości nad ziemią. Ciało *A* biegnie ku dołowi; upływie jednakże pewien czas, przypuścimy kilka sekund, zanim ono dobiegnie do ziemi (§ 15). Przez ten czas siła ciężkości działa na ciało *A* wciąż jednakowo: nateżenie jej jest stałe, kierunek niezmienny. Stąd wynika, według § 23-go, że ciało *A* biegnie ku dołowi *coraz prędzej*; w każdej sekundzie prędkość jego *powiększa się*. Ów przybytek prędkości czyli jej zwiększenie w jednostce czasu nazywa się, jak wiadomo (§ 24),

przyspieszeniem. Zatem: ruch ciała pod działaniem siły ciężkości jest przyspieszony; ciało spadające okazuje w ruchu ku dołowi pewne przyspieszenie.

Wiemy istotnie, że z ławki lub krzesła możemy zeskoczyć bez szkody, ale skok z wysokości szafy albo pieca mógłby być bardzo niebezpieczny. Szklanki, talerze i podobne przedmioty ulegają tem pewniej stłuczeniu, z im większej wysokości zostały upuszczone. To wszystko wskazuje, że prędkość, z jaką spadające ciało dobiega do ziemi, jest tem większa, im większa jest wysokość, z której ciało spada; to znaczy: im dłuższy czas upłynął od początku spadania.

Zapytujemy teraz: *o ile powiększa się prędkość spadającego ciała w pierwszej sekundzie spadania? o ile w drugiej? o ile w trzeciej? i t. d.* Ponieważ siła przyłożona do ciała (siła ciężkości) działa jednakowo w pierwszej, w drugiej, w trzeciej sekundzie, zatem, według § 24-go: *prędkość ciała spadającego powiększa się jednakowo w każdej sekundzie spadania.* Albo innemi słowy: *przyspieszenie ciała spadającego jest to samo w pierwszej, w drugiej, w trzeciej... sekundzie spadania.* To niezmiennne przyspieszenie, które ciała mają podczas swobodnego spadania, nazywamy *przyspieszeniem ciężkości.*

§ 31. Dla wszystkich ciał na ziemi przyspieszenie ciężkości jest jednakowe.

Zmierzono oddawna przyspieszenie ciężkości i sprawdzono, że ono rzeczywiście jest *stałe podczas spadania*, od pierwszej aż do ostatniej chwili ruchu ku dołowi. Ale czyniąc takie pomiary, przekonano się jeszcze o innej prawdzie. Istnieją dokoła nas rozmaite ciała; jedne są wyrobione z żelaza, inne z miedzi, z cyny, z ołowiu; jeszcze inne z drzewa, szkła, z gliny, z papieru, z kauczuku i t. d. *Z czegokolwiek jest zrobione ciało spadające, przyspieszenie, które ono okazuje podczas spadania, jest jednakowe. Przyspieszenie ciężkości w spadaniu swobodnem nie zależy zatem od rodzaju (od składu chemicznego) ciała. Mianowicie: jakiegokolwiek jest ciało, prędkość jego swobodnego spadania wzrasta w każdej sekundzie prawie o 10 metrów na sekundę.* Tyle zatem wynosi przyspieszenie ciężkości dla wszystkich ciał za ziemi.

Gdy ciało swobodnie upuszczone zaczyna spadać ku ziemi, ma prędkość równą zeru w początku ruchu, czyli w początku pierwszej sekundy. W początku drugiej sekundy ma prędkość blisko 10 m na sek; w początku trzeciej sekundy ma prędkość niemal 20 m na sek.

I tak samo dalej. Przyspieszenie wynosi więc blisko 10 m na sek w każdej sekundzie.

Dokładniejsza wartość przyspieszenia ciężkości wynosi w Polsce 981 cm na sek w każdej sekundzie.

§ 32. Opór powietrza. Spadanie w próżni.

Mogłoby się może wydawać, że nie wszystkie ciała, spadając swobodnie, nabywają w jednakowym czasie prędkości jednakowych. Kamyk, moneta, kulka metalowa spadają widocznie w czasie krótszym niż lekkie pióro lub skrawek papieru. Pamiętajmy jednakże, że *spadanie, które dostrzegamy zwyczajnie, odbywa się w powietrzu*; ciało, poruszające się w powietrzu, doznaje oporu. Powiewając wachlarzem lub arkuszem tektury, czujemy wyraźnie opór powietrza. Trzeba uwolnić ciała spadające od tego oporu, ażeby podczas spadania podlegały jedynie działaniu siły ciężkości.

W następującem doświadczeniu uwalniamy spadające ciała od oporu powietrza. Z rury szklanej (rys. 24), zaopatrzonej w kurek B (który można zaśrubować na talerzu pompy pneumatycznej, zob. rozdz. II), wyciągnięto powietrze; trzymamy ją kurkiem do góry, tak, że kulka metalowa i piórko (które włożono do rury przed jej zamknięciem) leżą przy końcu A. Przewracamy teraz rurę raptownie: widzimy, że kulka i piórko *spadają razem i jednocześnie dochodzą do spodu rury.*

Otworzywszy kurek, wpuszciliśmy tym sposobem powietrze i powtarzając doświadczenie, przekonujemy się, że piórko przybiega później do spodu rury niż kulka. Dlaczego tak się dzieje? Dlaczego opór powietrza opóźnia bardziej spadanie piórka niż spadanie kulki? Albowiem opór powietrza zależy od powierzchni ciała, a nie od jego masy. Piórko ma większą powierzchnię niż kulka, więc doznaje od powietrza większego oporu. Nadto, ponieważ masa piórka jest mniejsza, więc wpływ tego oporu na ruch piórka jest większy.

Powiadamy zatem, jak w § 31-ym: *wszystkie ciała spadają z jednakowym przyspieszeniem pod działaniem samej tylko siły ciężkości.*



Rys. 24.

§ 33. Masa a ciężar.

Twierdzenia, podane w §§ 31 i 32-im wywołują w pierwszej chwili pewną nieufność. Klocek żelazny jest cięższy aniżeli drewniany (równiej z nim objętości). Na klocek żelazny działa więc siła *większa*; czemu nie przyspiesza go *bardziej*? Ponieważ klocek żelazny ma nietylko większy *ciężar* ale i większą *masę* (§§ 7, 22). Większa masa wymaga właśnie działania większej siły, ażeby mieć to samo przyspieszenie, ażeby w jednakowym czasie nabyć prędkości tej samej (por. § 27).

Ciała mniej masywne i bardziej masywne spadają w próżni jednakowo; to dowodzi, że na masywniejsze ciała działa ciężar większy, na mniej masywne mniejszy. Innemi słowy: *ciężary ciał są w takim samym stosunku, w jakim są masy tych ciał.*

Za jednostkę ciężaru wybraliśmy w § 8-ym ciężar 1 litra wody; za jednostkę masy wybraliśmy w § 28-ym masę 1 litra wody. Skoro ciężary są w tym samym stosunku jak masy, więc powiadamy: ciało, które ma np. ciężar 5·2 kg, ma również i masę 5·2 kg. *Liczby, wyrażające ciężary ciał, są te same jak liczby, wyrażające ich masy.* Pomimo to jednak ciężar ciała i masa ciała są to dwie całkiem różne i odrębne jego własności, jak to już powiedzieliśmy w § 22-im.

Uczeni przekonali się, zapomocą dokładnych pomiarów, że przyspieszenie ciężkości nie jest całkiem niezależne od wzniesienia ciała nad ziemią; nie wspominaliśmy o tem w § 30-ym dla uproszczenia rozumowania. Udowodniono, że przyspieszenie ciężkości (a zatem i ciężar ciał) *zmniejsza się* wraz z oddalaniem się od powierzchni ziemi, jednakże nader powoli. Gdybyśmy mogli oddalić jakieś ciało od powierzchni ziemi o 800, 900 albo 1000 kilometrów, *ciężar* ciała w tej odległości okazałby się wyraźnie mniejszy niż przy powierzchni; tymczasem *masa* ciała nie doznałaby zmiany.

Zadania.

1. Jakiej prędkości nabywa w końcu ruchu ciało, które spadało na ziemię w przeciągu pięciu sekund? Jeżeli spадanie trwało ćwierć sekundy, jaka była prędkość końcowa?
2. Jaką masę posiada ciężar 2-kilogramowy?
3. Czy moneta upuszczona spadnie na ziemię równocześnie z kawałkiem papieru, upuszczonym jednocześnie z tej samej wysokości?
4. Jak długo musiałoby spadać ciało, ażeby uzyskać prędkość 68·67 m na sek?

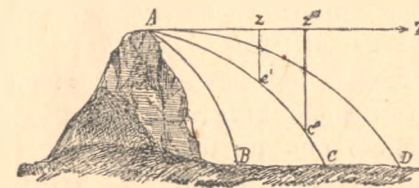
§ 34. Ruch ciała rzuconego pionowo do góry.

Gdy rzucamy jakiegokolwiek ciało pionowo do góry, nadajemy mu tem samem prędkość, skierowaną pionowo do góry. Gdyby siła ciężkości nie działała, ciało poruszałoby się przez bezwładność ze stałą prędkością (tą, którą mu nadaliśmy) w kierunku pionowym do góry, bez końca. Ale siła ciężkości działa nieustannie na ciało, od pierwszej zaraz chwili, w której zostało rzucone; działa mianowicie tak samo, jak działałaby na to ciało, gdyby ono było w spoczynku. Czy ciało biegnie do góry, czy ku dołowi, siła ciężkości sprawia ten sam skutek: wytwarza w niem przyspieszenie ku dołowi, jak powiedzieliśmy w § 30-ym. Jaki ruch będzie się zatem odbywał? *Ruch złożony* (zob. § 18) z *dwu ruchów*: a) z ruchu jednostajnego do góry, wytworzonego przez pierwotne rzucenie b) z ruchu przyspieszonego ku dołowi, sprawianego przez siłę ciężkości. Prędkość ciała w jego ruchu ku górze będzie się stopniowo zmniejszała, aż w końcu dojdzie do zera. Ciało zatrzyma się na chwilę; w tej chwili znajdzie się u szczytu swego toru, w najwyższym położeniu nad ziemią. Od tej chwili zacznie spadać ku dołowi, tak samo, jak każde ciało puszczone swobodnie.

§ 35. Ruch ciała rzuconego w kierunku poziomym.

Podobnie mają się rzeczy, gdy rzucamy ciało w kierunku poziomym. Ciało odbywa wówczas jednocześnie dwa ruchy, czyli odbywa ruch *złożony* (§ 18) z *dwu ruchów*: a) z ruchu jednostajnego przez bezwładność, który wytworzyliśmy rzutem b) z ruchu, sprawianego przez nieustanne działanie siły ciężkości.

Przypuśćmy na przykład, że z wierzchołka wieży lub góry wystrzelono kulę armatnią w kierunku AZ (rys. 25). Gdyby nie było ciężkości, kula pobiegłaby w kierunku AZ i przez bezwładność musiałaby biec w tym kierunku coraz dalej i dalej. Ale siła ciężkości pociąga kulę ku dołowi od pierwszej chwili. Dlatego, zamiast do z , kula



Rys. 25.

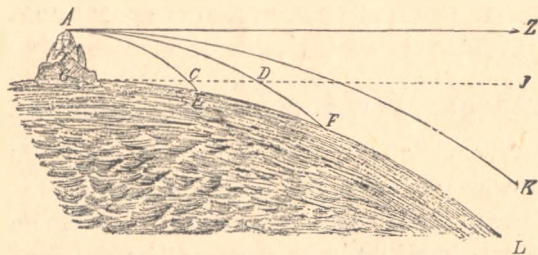
dochodzi do c' ; zamiast do s'' , dochodzi do c'' i t. d.; jednem słowem odbywa drogę AC . Gdyby wystrzelono kulę z większą prędkością (zapomocą silniejszego naboju), zdążyłaby ona pobiec dalej w stronę AZ , zanim ciężkość zdołałaby pociągnąć ją ku dołowi tak samo jak poprzednio; zatem w razie większej początkowej prędkości drogą kuli będzie np. AD . W razie mniejszej prędkości, przeciwnie, drogą jej będzie np. AB .

Cwiczenie.

Rzućmy poziomo piłkę niezbyt mocno i przekonajmy się, że droga, którą ona zakreśli, jest podobna do tych, jakie są narysowane na rys. 25-ym.

§ 36. Bieg księżycy dokoła ziemi.

Wiemy, że ziemia nie jest płaska, lecz kulista; rozważmy jeszcze raz ruch kuli armatniej, pamiętając o tem. Na rys. 26-ym widzimy część powierzchni ziemi $GEFL$. Gdyby ziemia była płaska, kula wystrzelona z A byłaby spadła, jak powiedzieliśmy, w C ; istotnie więc spadnie nie w C , lecz w E . Wystrzelona silniej, spadnie nie w D , lecz w F . Widzimy, że powierzchnia ziemi GL obniża się coraz bardziej pod po-



Rys. 26.

ziom linii GJ podobnie, jak linje AE i AF obniżają się pod poziom AZ ; lecz linje AE i AF obniżają się raptowniej, więc dobiegają do powierzchni ziemi GL . Możemy *pomyśleć*, że wystrzelono kulę z wierzchołka A z taką prędkością, że pobiegnie ona po drodze AK t. j. po drodze, która obniża się tak samo pod poziom AZ , jak GL obniża się pod poziom GJ . Możemy *wyobrazić sobie*, że wystrzelono kulę z taką prędkością. Środki dotychczas znane nie wystarczają na to, ażeby to rzeczywiście wykonać; lecz przypuśćmy, że wynaleziono sposób wyrzucania pocisków potężniejszy niż armaty; wystrzelono więc kulę z wierzchołka A z tak znaczną prędkością, iż bie-

gnie ona po drodze AK . Wówczas kula, chociaż ciągle spada, nie zbliża się do ziemi; o ile bowiem kula zniża się pod działaniem ciężkości, o tyle zniża się powierzchnia samej ziemi wskutek swej kulistości. Co zatem stanie się z kulą? oczywiście okrzyży ziemię i powróci do A ze strony przeciwnej. Gdyby w którymś miejscu tej drogi, np. w A , siła ciężkości nagle przestała działać, kula pobiegłaby przez bezwładność po linii takiej jak AZ w miejscu A , czyli po *stycznej*; ale to być nie może, siła ciężkości jest czynna wciąż, bez przerwy. Więc działanie ciężkości polega na tem, że *zakrzywia ona ustawicznie drogę kuli* i tym sposobem nie pozwala jej odbiec od ziemi; bezwładność zaś kuli krążącej nie pozwala jej ulec wpływowi ciężkości i upaść na ziemię.

Wiemy, że siła ciężkości działa na najwyższych górach i w największych wysokościach, do jakich wzniesiono się balonami. Księżyc znajduje się jeszcze znacznie wyżej nad nami, znacznie dalej od ziemi; ale niewątpliwie i w księżycowej odległości ciężkość jeszcze jest czynna. Rozumiemy teraz, dlaczego księżyc obiega ziemię dokoła, ani spadając na nią ani odbiegając od niej. *Księżyc krąży tak jak kula, która pobiegła po drodze AK* . Ta sama siła przyciągania ziemi, która nadaje ciałom ciężar, która wypręża pion i zmusza upuszczone jabłko do spadania, ta sama siła nie pozwala księżycowi odbiec po linii stycznej (jak AZ w miejscu A na rys. 26); ta siła ustawicznie zakrzywia drogę księżycy i zmusza go tym sposobem do krążenia dokoła ziemi.

Jak powiedzieliśmy w § 33-cim, im większą masę ma pewne ciało, tem większy ma ciężar. Ponieważ ciężar ciała jest to siła przyciągania, jaką ziemia wywiera na to ciało, więc powiadaemy: *siła przyciągania ciała przez ziemię jest tem większa, im większa jest masa tego ciała*.

§ 37. Ciężenie powszechne.

Jak księżyc dokoła ziemi, podobnie krąży ziemia dokoła słońca. Ziemia nasza trzyma się w odległości mniej więcej 149 milionów kilometrów od słońca i obiega w ciągu roku koło, zakreślone tak ogromnym promieniem; zatem odbywa tę drogę z prędkością blisko 30 kilometrów na sekundę. Ziemię, ożywioną tak znaczną prędkością, utrzymuje na wodzy

przyciąganie słońca; albowiem przyciąganie działa pomiędzy słońcem a ziemią, podobnie jak pomiędzy ziemią a księżycem. Bryła słoneczna swem przyciąganiem utrzymuje na wodzy nie tylko ziemię, lecz również niektóre inne ciała niebieskie, które widzujemy nocą jako świetne gwiazdy i które nazywamy *planetami*. Słońce przyciąga ziemię i planety, ustawicznie zakrzywia ich drogi i zmusza je tym sposobem do krążenia dokoła siebie, po drogach mniej więcej kołowych.

Dokoła niektórych planet biegną znowu księżyce, podobnie jak dokoła naszej ziemi; planety przyciągają swe księżyce, podobnie jak ziemia przyciąga swój księżyc, jak słońce przyciąga ziemię i planety. Co więcej: księżyc również przyciąga ziemię i ziemia przyciąga słońce; planety przyciągają słońce i są przyciągane przez swoje księżyce. *Przyciąganie pomiędzy ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne*; nazywamy je także *ciągnięciem*.

Ziemia przyciąga więc kamień i kamień przyciąga ziemię; przyciąganie z obu stron jest jednakowe; ale ta sama siła nadaje ciału przyspieszenie tem mniejsze, im masa tego ciała jest większa (§ 27). Owóż masa ziemi jest miliony milionów razy większa niż masa kamienia; dlatego, gdy oba ciała poczynają spadać nawzajem ku sobie, bieg ziemi ku kamieniowi jest miliony milionów razy powolniejszy niż bieg kamienia ku ziemi.

Powiedzieliśmy, że przyciąganie pomiędzy dwoma ciałami jest zawsze obustronne, wzajemne; jest to tylko przykład na ogólną zasadę (§ 4), że z wszelkiem *działaniem*, z istnieniem wszelkiej wogóle siły, połączone jest *przeciwdziałanie* czyli istnienie siły równie znacznej, ale skierowanej wprost przeciwnie.

Pomiędzy wszystkimi bez wyjątku ciałami na świecie istnieje takie wzajemne ciągnięcie. Jest ono tem większe, im większe są masy ciał ciężących ku sobie. Wiemy, że ziemia przyciąga ku sobie kulę pionu; otóż kulę taką przyciąga ku sobie również i góra, tylko słabiej niż ziemia, gdyż masa góry jest znacznie mniejsza niż masa ziemi. To też w pobliżu góry pion nie wisi dokładnie pionowo, lecz odchyła się ku niej nieznacznie.

Wyobraźmy sobie dwa kilogramy *A*, *B*, położone niedaleko siebie. Możemy być pewni, że one przyciągają się wzajemnie. Lecz siła ta jest nieznaczna, tak że odczuć jej bezpośrednio nie możemy. Uczonym udało się wykazać, a nawet i zmierzyć zapomocą nadzwyczaj czułych

przyrządów, przyciąganie pomiędzy dwoma kilogramami. Możemy łatwo zrozumieć, czemu to przyciąganie jest bardzo słabe. Weźmy kilogram *A* w rękę; ciężar jego, który czujemy w rękę, jest przyciąganiem, czynnem pomiędzy kilogramem *A* a ziemią. Przyciąganie pomiędzy tym kilogramem *A* a drugim *B* jest oczywiście tyle razy słabsze od ciężaru *A*, ile razy masa kilograma *B* jest mniejsza od masy ziemi; a zatem wiele milionów razy słabsze od ciężaru *A*.

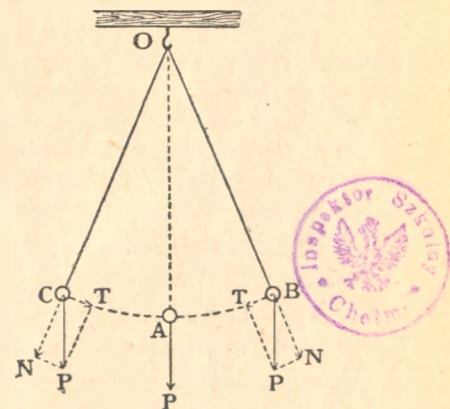
Ciążenie ciał jest zatem *powszechnie*; ono rządzi ruchami na niebie i ziemi. Odkrył to uczony, nazwiskiem *Newton* (czyt. Niuton), który żył w Anglii lat temu dwieście. Tem odkryciem zasłużył na wdzięczność i część całej ludzkości.

§ 38. Wahadło.

W pionie wiszącym spokojnie (§ 6) nie wypręża się pionowo pod działaniem siły ciężkości. Spróbujmy odchylić pion od pionowego położenia równowagi *OA* (rys. 27), na przykład do *OB*. Trzymając kulę pionu w położeniu *B*, czujemy, że ona okazuje dążność do powrotu do *A*; jakoż, puściwszy ją swobodnie, widzimy, że porusza się istotnie ku *A*.

Rozumiemy łatwo, dlaczego tak się dzieje. Niechaj *BP* wyobraża ciężar kuli wiszącej w położeniu *B*; siła ta (jak zawsze siła ciężkości) działa na dół pionowo. Rozłożmy tę siłę, według zasady równoległoboku (§ 12), na dwie składowe: *BN* idącą w przedłużeniu kierunku *OB* oraz *BT* prostopadłą do tego kierunku. Wiemy, że siły *BN* i *BT* zastępują siłę właściwie działającą czyli ciężar *BP*. Owóż, z pomiędzy tych sił, pierwsza *BN* wypręża tylko nie, ale nie wywiera wpływu na ruch kuli, ponieważ ten ruch odbywa się po łuku *BA*, tak iż składowa *BN* jest prostopadła do drogi (por. § 12). Druga składowa *BT*, styczna do drogi, ciągnie kulę od *B* ku *A*. — Kula biegnie zatem ku *A*; ale w miarę zbliżania się ku miejscu *A*, składowa *BT*, wywołująca ruch, staje się coraz mniejsza, w miejscu zaś *A* niknie zupełnie. W miejscu *A* działa tylko siła *AP*, która wypręża nie, ale nie wywiera wpływu na ruch. Kula przebiega tedy przez *A* przez prostą bezwładność, z prędkością, której nabyła w drodze *BA*.

Prędkość, nabyta przez kulę podczas opadania od *B* do *A*, wyczerpuje się teraz podczas podnoszenia się od *A* do *C*.

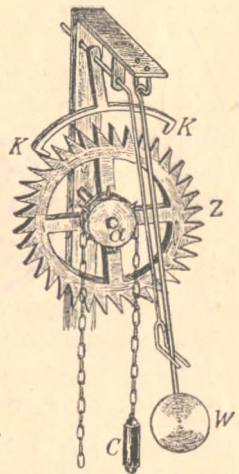


Rys. 27.

Istotnie, rozłożywszy ciężar CP kulki w miejscu C w taki sam sposób, jak to uczyniliśmy w miejscu B (zob. rys. 27), spostrzegamy, że składowa CN wypręża tylko nić, składowa zaś CT sprzeciwia się ruchowi kuli od A do C .

Kula, puszczone w miejscu B zupełnie swobodnie, dobiegnie do miejsca C , znajdującego się na tym samym poziomie jak B . Zatrzymawszy się na chwilę w miejscu C (tam bowiem wyczerpie się właśnie prędkość, nabyta po drodze BA), kula wraca i opada ku A ; ruch po drodze CA odbywa się podobnie, jak ruch po drodze BA , który już objaśniliśmy. Mocą bezwładności kula przebiega przez A , prędkość nabyta na drodze CA wyczerpuje się na podnoszenie się od A do B i t. d. Tym sposobem ruch kuli powtarzałby się bez końca, gdyby nie przeszkadzało mu tarcie w miejscu O oraz opór powietrza.

Przyrząd, który opisaliśmy w artykule niniejszym, nazywa się *wahadłem*; powiadamy, że kula wahadła odbywa ruch wahadłowy czyli *waha się* pomiędzy B a C .



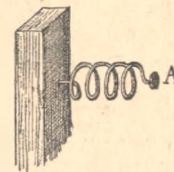
Rys. 28.

Prawa spadania ciał i ruchu wahadeł odkrył wielki uczony *Galileusz*, który żył we Włoszech w końcu XVI-go i na początku XVII-go stulecia.

§ 39. Wahanie się (drganie) sprężyny.

Weźmy krótką sprężynkę, zrobioną przez skręcenie drutu około rury, umocujmy ją na jednym końcu (rys. 29) a na dru-

gim przytwierdźmy kawałek papieru A dla uwidocznienia ruchu sprężyny. Jeżeli sprężynę ściśniemy, budzi się w niej pewna siła, zwana siłą sprężystości (por. § 3); pod jej działaniem sprężyna usiłuje wrócić do pierwotnej długości. Jeżeli sprężynę ściśniętą wyzwolimy, sprężyna nie pozostanie ściśniętą, lecz zacznie się wydłużać; gdy wróci już do pierwotnej długości, wydłuży się jeszcze nieco przez bezwładność. Znak A będzie się poruszał na lewo i na prawo, będzie się *wahał* czyli *drgał*, podobnie jak kula wahadła. Wahanie się znaku A będzie więc wynikiem spóldziałania *sprężystości* sprężyny oraz *bezwładności* sprężyny i znaku. Poznaliśmy poprzednio ruch wahadłowy, wynikający ze spóldziałania *ciężkości* i *bezwładności*; obecnie poznajemy ruch wahadłowy, który wytwarzają: sprężystość i bezwładność.



Rys. 29.

§ 40. O pracy.

Gdy murarze budują dom, wówczas jedni wnoszą cegły, kamienie, wapno i t. d. na wysokość piętra, które jest w robocie; inni zapomocą lin wciągają na tę wysokość belki. Taka czynność jest przykładem *wykonywania pracy*. Do zbudowania domu potrzeba cegieł, kamieni, wapna, piasku, drzewa i t. d., ale nadto potrzeba też *pracy*, potrzeba znacznej pracy. Jeden człowiek, bez niczyjej pomocy, musiałby pracować przez lata, zanimby zbudował dom. Żeby zbudować dom, potrzeba wykonać pewną pracę; trzeba np. wnieść tyle a tyle cegieł na pierwsze piętro, tyle a tyle na drugie i t. d.; *w żaden sposób tego dokończyć nie można bez pracy*. Żeby zbudować dom trzypiętrowy, trzeba znaczniejszej pracy, niż żeby zbudować dwupiętrowy. Widzimy zatem, że *praca* bywa większa i mniejsza; że pracę można *mierzyć*. Wniesienie 20 cegieł na pierwsze piętro wymaga pracy dwa razy takiej, jak wniesienie 10-ciu na to samo piętro. Wniesienie 10 cegieł z dołu na pierwsze piętro, lub wniesienie ich z pierwszego piętra na drugie, wymaga pracy tej samej, jeżeli piętra są jednakowo wysokie. A zatem wniesienie cegieł z dołu na drugie piętro wymaga wówczas dwa razy takiej pracy, jak wniesienie ich na pierwsze. Powiadamy: *podniesienie pewnego ciała o pewną wysokość wymaga pracy tem większej, im znaczniejszy jest ciężar tego ciała i im większa wysokość, o jaką je podnosimy*.

§ 41. Miara pracy.

Przypuścimy, że dwóch robotników (np. *A* i *B*) wnosi cegły na wysokość piętra; *A* i *B* mają każdy np. po 80 cegieł do wniesienia. Mają więc jednakową pracę do wykonania; ale *A* jest w stanie dźwignąć odrazu 16 cegieł ważących np. 16 kg, gdy *B* może dźwignąć odrazu tylko 8 cegieł ważących 8 kg. Wówczas *A*, żeby swoją pracę wykonać, wejdzie 5 razy na piętro, gdy tymczasem *B*, ażeby wykonać swoją, będzie musiał wejść 10 razy. Przypuścimy, że piętro ma 4 metry wysokości; w takim razie *A*, licząc wprost do góry, odbędzie ogółem drogę 20 metrów, *B* zaś drogę 40 metrów. *A*, więc podniesienie 16 kg o 20 metrów do góry wymaga tej samej pracy, jak podniesienie 8 kg o 40 m.

Zupełnie podobnie, podniesienie 32 kg o 10 m, albo 64 kg o 5 m, albo 4 kg o 80 m, albo 2 kg o 160 m wymaga pracy tej samej. Widzimy zatem, że: *miarą pracy, wykonywanej przy podnoszeniu ciała, jest iloczyn ciężaru ciała przez wysokość przebytą do góry.*

Za jednostkę siły wybraliśmy w § 8-ym ciężar 1 kilograma; za jednostkę wysokości (czyli długości) wybraliśmy w § 2-im metr. *Jednostką pracy jest zatem praca, którą trzeba wykonać, ażeby podnieść 1 kilogram pionowo o 1 metr do góry;* tę jednostkę nazywamy kilogramometrem (kgm). Każdą inną pracę mierzymy przez porównanie z kilogramometrem, czyli innymi słowy: wyrażamy ją w kilogramometrach. Widzimy na przykład w przytoczonym przed chwilą przypadku robotników *A* i *B*, że każdy z nich miał do wykonania 320 kgm.

§ 42. O energii.

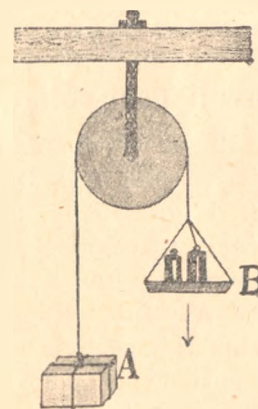
Robotnik, który bierze 10 cegieł za każdym razem, gdy wchodzi na piętro, mógłby zapewne udźwignąć 12, gdyby się nieco wysilił, a nawet może 15 i więcej. Biorąc po 10 cegieł, mógł pójść z niemi do góry np. trzydzieści razy z rzędu; teraz, obarczony 15 cegłami, zmęczy się wcześniej. *A* zatem człowiek może wyrzucić chwilowo siłę większą lub mniejszą, ale *pracę* może wykonać tylko ograniczoną. W każdym z nas jest jakby pewien *zasób pracy*, z którego możemy czerpać, jakby pewien *zapas pracy*, który możemy wydawać; gdy wszystek wydamy, nie jesteśmy zdolni do dalszego wykony-

wania pracy, aż nowy zasób w nas się nagromadzi. Taki zasób pracy, gotowej do wydania, nazywamy *energją*. Gdy ktoś pracuje, wydaje swoją energję, wydaje ją na wykonywanie pracy; jeśli nie pracuje, wtedy nie wydaje energii, ale nie ma też z niej żadnego pożytku. *Energja* jest niejako bogactwem, którego wydatkiem jest praca.

Ponieważ *energja* jest zasobem albo zapasem pracy, więc mierzy się tą samą jednostką jak praca t. j. kilogramometrem.

§ 43. Inne przykłady pracy.

Pracę wykonywamy nietylko wówczas, gdy podnosimy ciała ciężkie przeciwko ciągnącej je na dół sile ciężkości. Ażeby wyciągnąć taśmę kauczukową (umocowaną na drugim końcu) lub skrócić stalową sprężynę (która usiłuje się rozkręcić), musimy wydać energję, musimy wykonać pracę. Im większy jest opór sprężysty taśmy lub sprężyny, tem większą siłą mięśnie nasze muszą pracować i tem większą pracę mają wówczas do wykonania. Im większe wydłużenie taśmy lub im większe skrócenie sprężyny, tem praca również jest większa.



Rys. 30.

Kiedy podnosimy ciała ciężkie lub skręcamy (albo wyciągamy albo zginaemy) ciała sprężyste, pracę wykonywa siła naszych mięśni. Ale każda inna siła może wykonywać pracę. Siła ciężkości, na przykład, może pracować. Przypuścimy, że ciało cięższe *B* (rys. 30), opadając, podnosi do góry ciało mniej ciężkie *A*; wówczas siła ciężkości, działająca na *B*, wykonywa pracę, konieczną do podniesienia ciała *A*. Podobnie siła sprężystości może wykonywać pracę. Gdy np. zgięte drzewko wyprostowuje się lub skręcona sprężyna rozkręca się, drzewko lub sprężyna może podnieść jakieś ciało do góry.

§ 44. Energja sprężyny skręconej lub podniesionego kamienia.

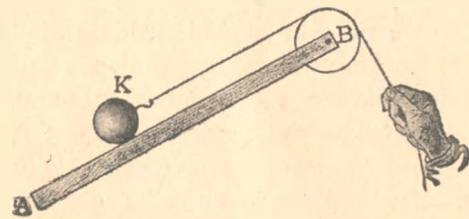
Sprężyna skręcona jest każdej chwili gotowa do wykonania pracy; lecz, żeby ją wykonać, musi się rozkręcać. Gdy

całkowicie się rozkręci, nie może już dalej dostarczać pracy. Zegarek nakręcony idzie przez pewien przeciąg czasu, później zatrzymuje się; sprężyna, która go poruszała, jest rozkręcona. A zatem skręcona sprężyna posiada niejako pewien *zasób pracy* gotowej do wydania; gdy go wyda, przestaje być zdolna do wykonania pracy. Ten zasób pracy nazywamy *energją* skręconej sprężyny, podobnie jak energją człowieka nazywalimy zasób pracy, do której człowiek jest zdolny. Powiadamy, że *skręcona sprężyna ma pewną energję*; gdy pracuje, wydatkuje z tej energii; gdy ją wyda całą, jest wyczerpana, dalszej pracy dać nie może.

Podobnie kamień lub inne jakiegokolwiek ciało ciężkie jest gotowe do wykonania pracy, jeżeli może zejść niżej, niż się w danej chwili znajduje; albowiem, żeby wykonywać pracę, kamień musi się obniżać. Np., jeżeli ciało *B* (rys. 30) obniży się aż do podłogi, nie będzie mogło dalej dostarczać pracy dla podnoszenia ciała *A*. Kamień *podniesiony* posiada więc pewien zasób pracy, gotowej do wydania, który też nazywamy *energją* kamienia. Kamień, który już nie może zejść niżej, wydał energję, którą posiadał, podobnie jak wydała ją sprężyna rozkręcona.

§ 45. Praca, wykonywana na równi pochyłej.

Równia pochyła jest nam znana z § 12-go. Wyobraźmy sobie, że ciągniemy ciało *K* po równi pochyłej (rys. 31).

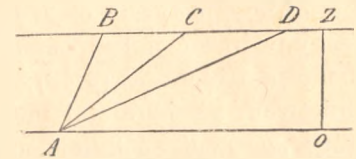


Rys. 31.

Z § 12-go wiemy, że możemy to uskutecznić siłą mniejszą niż ciężar ciała *K*. Im bardziej równia *AB* pochyla się ku poziomemu położeniu, tem *mniejszego* wysiłku wymaga ciągnięcie. Lecz im *AB* pochyla się bardziej ku poziomemu położeniu, tem *dłuższa* jest droga, którą odbyć musi po niej ciało *K*, ażeby podnieść się o daną wysokość, np. o 1 metr do góry. Ponieważ praca zależy zarazem i od siły pracującej i od długości drogi, na której ta siła pracuje, więc łatwo zrozumieć, że praca, po-

trzebna do podniesienia ciała *K* wzdłuż równi *AB*, nie zależy wcale od nachylenia równi.

Ażeby to jeszcze lepiej zrozumieć, przypuśćmy, że *AO* na rys. 32-im wyobraża poziom podłogi w pokoju, *BCDZ* zaś poziom sufitu. Im znaczniejsze jest pochylenie drogi ku poziomowi (por. np. *AB*, *AC*, *AD*), tem mniejsza jest siła potrzebna do wciągania, ale tem dłuższa jest droga, którą ciało przebyć musi, żeby z podłogi podnieść się do sufitu. Na wszystkich drogach pionowe (ostateczne) podniesienie jest to samo, mianowicie *OZ* (rys. 32). Owóż praca potrzebna do podniesienia ciała zależy tylko (§ 41) od tego ostatecznego, pionowego podniesienia; zatem jest jednakowa na wszystkich tych drogach *AB*, *AC*, *AD*. Praca wykonywana na równi pochyłej nie zależy więc od nachylenia tej równi.



Rys. 32.

Zadania.

1. Trzymamy w ręku ciało ciężkie nieruchomo; czy wykonywamy wówczas pracę?
2. Człowiek jest zdolny do wywarcia siły, równej ciężarowi 20 kg, na drodze 100 metrów; ile pracy może wówczas wykonać?
3. Siła równa ciężarowi 20 gramów działała w kierunku drogi, której długość jest 15 cm. Ile pracy wykonała?
4. Na równi pochyłej, pochylonej do poziomu pod kątem 30 stopni, znajduje się ciało ważące 30 kg. Jeżeli posunęliśmy to ciało o 5 metrów wzdłuż równi, ile wykonaliśmy pracy? (Por. zadanie 4 w § 12-ym).
5. Człowiek, który waży 60 kg, wszedł na schody; żeby tego dokonać, mięśnie jego wykonały pracę 600 kJm. Ile metrów wynosi wysokość, o którą się podniósł?
6. Odchyliliśmy wahadło (§ 38) z położenia *OA* (rys. 27) do położenia *OC* (tenże rys.). Co trzeba wiedzieć o tem wahadle, ażeby obliczyć pracę wykonaną?

§ 46. Nie można stworzyć pracy z niczego.

Widzieliśmy w § 12-ym oraz w § 45-ym, że przy pomocy równi pochyłej możemy podnosić ciało siłą mniejszą niż ciężar tego ciała. Równia pochyła pozwala nam zatem wyzyskać siłę stosunkowo małą, z której nie mielibyśmy, bez tego przyrządu, żadnego pożytku. Stosunkowo *małą siłą* możemy wykonać na równi pochyłej pracę, do której, bezpośrednio pod-

nosząc, musielibyśmy użyć siły większej. Ale równia pochyła nie daje nam *żadnej oszczędności w pracy*, którą musimy wykonać, jeżeli chcemy podnieść dane ciało o daną wysokość; przekonaliśmy się o tem w artykule poprzedzającym.

Możemy podnosić ciała do góry rozmaitemi sposobami. Możemy podnosić je bezpośrednio w rękę, albo ciągnąć zapomocą sznurka i boczka (§ 43); możemy podnieść ciało za pośrednictwem wyciągniętej mocnej sprężyny albo posuwać je do góry po równi pochyłej; możemy posłużyć się różnymi innymi przyrządami, o których będziemy jeszcze później mówili. Jednakże, jakimkolwiek sposobem podnosimy, *samo podniesienie pewnego ciała o pewną wysokość wymaga zawsze tej samej pracy.*

Sam przez się żaden przyrząd nie wykonywa pracy; musimy mu dostarczyć pracy, która ma być wykonana. Naprzykład, na równi pochyłej, ręka ludzka albo wyciągnięta sprężyna albo niezbyt ciężkie ciało, opuszczając się, dostarcza pracy, potrzebnej do podniesienia ciała bardzo ciężkiego. Widzieliśmy, że *równia pochyła nie da nam, w żadnym razie, więcej pracy aniżeli jej dostarczamy.* To samo można powiedzieć o każdym przyrządzie, o każdym mechanicznym urządzeniu. *Żaden przyrząd nie da więcej pracy aniżeli mu jej dostarczamy.* Żaden przyrząd nie stworzy nawet najmniejszej ilości pracy z niczego. Widzieliśmy to przed chwilą na przykładzie równi pochyłej; zrozumiemy jeszcze lepiej tę prawdę na innych przykładach.

§ 47. Dźwignia.

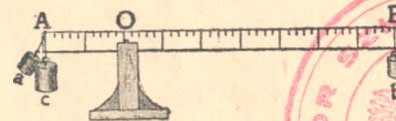
Weźmy drążek drewniany lub metalowy AB ; na końcach zawieśmy dwa jednakowe ciężarki a, b ; w środku drążka O umieścimy oś i tą osią położmy go na podstawce (rys. 33). Drążek jest w równowadze, nie przechyla się ani w jedną ani w drugą stronę. Nazywamy taki przyrząd *dźwignią*; części jego od osi O do miejsca A lub B przyłożenia ciężaru nazywamy *ramionami*. Dźwignia, przedstawiona na rys. 33-im, jest zatem *równoramienna*. Po-



Rys. 33.

wiadamy: *dźwignia równoramienna jest w równowadze, jeżeli ciężary jednakowe działają na ramiona jednakowe czyli równe.*

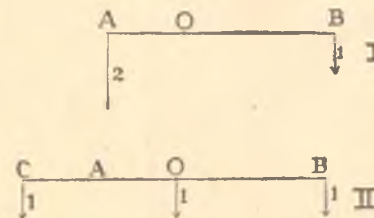
Zawieśmy teraz na dźwigni, wyobrażonej na rys. 33-im, ciężarki niejednakowe; w miejscu A zawieśmy np. $3\frac{1}{2}$ kilograma, 1 kilogram w miejscu B . Równowagi nie będzie, drążek przechyli się natychmiast w stronę większego ciężaru. Spróbujmy zmienić długość ramion, t. j. umieścić oś inaczej niż przód. Wiemy z codziennego doświadczenia, że trzeba umieścić oś O bliżej większego ciężaru, ażeby osiągnąć równowagę (rys. 34). Przekonywamy się łatwo (przy pomocy podziałki, umieszczonej na dźwigni), że w razie równowagi ramie OA musi być $3\frac{1}{2}$ razy



Rys. 34.

krótsze niż OB , jeżeli na A działa ciężar $3\frac{1}{2}$ razy większy niż na B . Warunek równowagi dźwigni nierównoramiennej możemy więc wypowiedzieć w sposób następujący: *do równowagi potrzeba, ażeby ramiona były w stosunku odwrotnym do sił na nie działających; ile razy siła jest większa, tyle razy ramie musi być krótsze.* Albo jeszcze inaczej: *iloczyn siły przez ramie musi być jednakowy z obu stron osi.*

Nietrudno zrozumieć, dlaczego warunek równowagi dźwigni musi być taki, jak przed chwilą powiedzieliśmy. Przypuśćmy, że na punkt A dźwigni AB działa siła 2 kg, na B siła 1 kg i że dźwignia AB jest w równowadze pod działaniem tych sił; długość OA musi być przeto równa połowie OB (rys. 35, I). Wyobraźmy sobie na chwilę, że dźwignia jest dłuższa, że sięga do C (rys. 35, II) i że $AC=OA$. Zamiast siły 2 kg, działającej na A , możemy wyobrazić sobie dwie siły, po 1 kg każda, przyłożone do O i do C (§ 9); te dwie siły są równoważne poprzedniej sile 2 kg, przyłożonej do A . Ponieważ siła, przyłożona do O , działa na



Rys. 35.

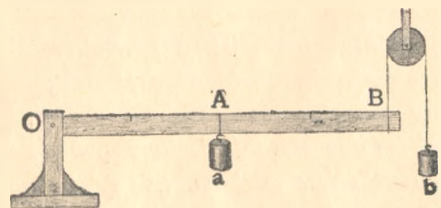
podstawkę i równoważy się z jej oporem, więc pozostają tylko dwie siły równe, po 1 kg każda, przyłożone w C i w B , zatem działające na ramiona równe: $OC=OB$. Dźwignia II będzie w równowadze; zatem także i dźwignia I.

Mnóstwo przedmiotów codziennego użytku, mnóstwo narzędzi i przyrządów, używanych w rękodzielach, przemyśle i rolnictwie, stanowi przykłady lub zastosowania dźwigni. Drąg,

służący do podważania ciężarów, jest dźwignią; ramię czyli rękojeść studni, różne rodzaje nożyc, obcęgi, zwykła nawet łopata stanowią przykłady dźwigni. Belka każdej wagi jest dźwignią (zob. § 49), jak również znany powszechnie przyrząd, zwany *skorowagą* albo *przesmianem*. Zwykle wiejskie studnie (t. zw. żórawie) są zastosowaniem dźwigni; zastawy czyli bariery rogatki bywają często dźwigniami.

§ 48. Inny rodzaj dźwigni.

Rysunek 36 wyobraża dźwignię innego rodzaju; oś jej O znajduje się nie w środku, lecz z jednej strony (np. z lewej strony) punktów A, B przyłożenia ciężarów. Ale i w tej dźwigni mamy ramiona OA, OB . Jeżeli ramię OA (jak



Rys. 36.

na rysunku) jest połową ramienia OB , potrzeba wówczas do równowagi, ażeby ciężar a był 2 razy większy niż ciężar b . Przekonywamy się o tem w sposób, widoczny z rysunku. A zatem i w tym razie, podobnie jak w poprzednim: ile razy większa jest siła, tyle razy

krótsze musi być ramię, na które siła działa. Innemi słowy, tutaj znowu: *dla równowagi ramiona muszą być w stosunku odwrotnym do sił; albo jeszcze: iloczyn siły przez ramię musi być dla obu ramion jednakowy.*

Przykłady opisanej tu dźwigni znajdujemy w wielu znanych przyrządach, np.: taczki, krajalnice (papieru, chleba i t. p.).

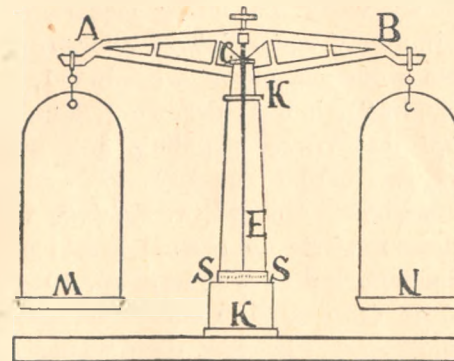
§ 49. Waga.

Do najważniejszych zastosowań dźwigni należy *waga*. Jest to przyrząd, który służy do porównywania ciężaru różnych ciał czyli, jak zwykle mówimy, do *ważenia ciał*. Wiemy z § 7-go, że można ważyć ciała na sprężynie lub wadze sprężynowej. Ale ważenie na wadze jest bez porównania dokładniejsze.

Waga składa się z równoramiennej dźwigni czyli belki AB (rys. 37), w której środku mieści się na dół zwrócony trójkątny słupek czyli pryzmat C ; tym pryzmatem belka spoczywa na podstawce K , tak iż ostrze pryzmatu stanowi oś, około której belka się waha. Belka dźwiga z dwóch stron szalki M, N ; w środku opatrzona jest we wskazówkę E ; kołysanie się belki

poznajemy po ruchu tej wskazówki przed podziałką SS . Waga taka działa zupełnie jak dźwignia równoramienna, którą poznaliśmy w § 47-ym.

Dopóki szalki są puste, belka znajduje się w równowadze, gdyż szalki są jednakowo ciężkie. Skoro poruszymy łagodnie jedną szalkę, belka zaczyna się kołysać ale nie przewraca się. Kiedy na jednej szalce, np. na prawej, leży ciało cięższe niż na drugiej, szalka prawa



Rys. 37.

przeważa, wskazówka idzie na lewo. Ujmując albo dokładając ciężaru, doprowadzamy wagę do tego, że wskazówka stoi nieruchomo w środku skali lub też wychyla się w obie strony jednakowo daleko. Na szalkach leżą wówczas ciała, których ciężary są *równe*. Chcąc zatem zważyć jakieś ciało, kładziemy je na jednej szalce wagi, na drugą zaś szalkę kładziemy gramy, dekagramy albo kilogramy dopóty, aż wskazówka wskaże, że nastąpiła równowaga.

§ 50. Ciężar właściwy. Gęstość.

Zróbmy sześciiany, z których każdy ma po centymetrze sześciennym objętości. Zróbmy jeden sześciian z ołowiu, drugi z żelaza, trzeci ze szkła, czwarty z lodu, piąty z drzewa (np. jodłowego), szósty z korka. Czujemy w rękę, że sześciian ołowiany jest najcięższy, a korkowy najlżejszy. Ale zapomocą wagi możemy przekonać się dokładniej, że:

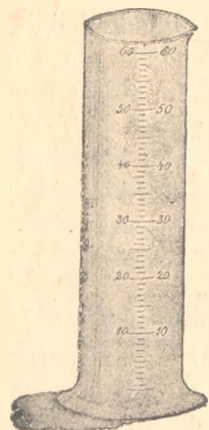
szescian	waży około	szescian	waży około
ołowiany	11 gramów	— z lodu	$\frac{9}{10}$ grama
żelazny	$7\frac{1}{2}$ " "	— z drzewa	$\frac{1}{2}$ " "
szklany	$2\frac{1}{2}$ " "	— z korka	$\frac{1}{4}$ " "

Gdyby można było zrobić z wody taką samą bryłkę, równą centymetrowi sześciennemu, ważyłaby ona jeden gram. Widzimy więc, że pewna objętość ołowiu lub żelaza waży *więcej* niż ta sama objętość wody; że pewna objętość drzewa lub

korka waży *mniej* niż ta sama objętość wody. Mówi się z tego względu, że *ciężar właściwy* ołowiu lub żelaza jest większy, a ciężar właściwy drzewa lub korka mniejszy, niż ciężar właściwy wody. Za miarę ciężaru właściwego danego ciała przyjmujemy *ciężar jednego centymetra sześciennego* tego ciała. Zatem woda ma ciężar właściwy 1, ołów ma c. wł. 11, żelazo $7\frac{1}{2}$, szkło $2\frac{1}{2}$, lód $\frac{9}{10}$, drzewo $\frac{1}{2}$, korek $\frac{1}{4}$.

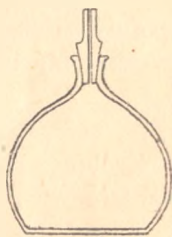
Rtęć jest *cieczą*, podobnie jak woda, ale jej ciężar właściwy jest bardzo znaczny. Zrównoważmy na szalkach wagi dwa szklane kubki t. zw. *dzielone*, na których nacięta skala oznacza zawarte do pewnej kreski objętości (rys. 38). Jeżeli do jednego kubka wlejemy np. 10 cm³ rtęci, trzeba będzie wlać do drugiego 135 cm³ wody, żeby przywrócić równowagę. Zatem ciężar właściwy rtęci wynosi około 13·5.

Ciężar właściwy alkoholu (wysoko) wynosi 0·8; ciężar właściwy oliwy wynosi 0·9. Ciężar właściwy cieczy mierzymy najlepiej zapomocą bańki szklanej, którą ważymy najprzód pustą (rys. 39), później pełną wody (aż do kreski w wydrążonym koreczku), wreszcie pełną alkoholu albo oliwy. Odejmując za każdym razem ciężar bańki pustej, znajdujemy ciężar wody, alkoholu, oliwy, które wypełniały tę samą objętość; stąd obliczamy odrazu ciężar właściwy alkoholu lub oliwy.



Rys. 38.

Wiemy z § 33-go, że liczby wyrażające ciężary ciała wyrażają również ich masy. Jeżeli zatem centymetr sześcienny ołowiu, żelaza, szkła waży 11, $7\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ grama, to także masa jednego sześciennego centymetra ołowiu, żelaza, szkła wynosi 11, $7\frac{1}{2}$,



Rys. 39.

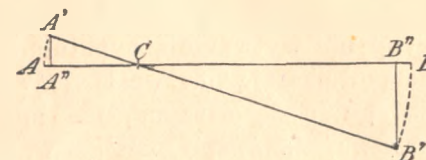
$2\frac{1}{2}$ grama. Masę jednego centymetra sześciennego pewnego ciała nazywamy jego *gęstością*.

Znając gęstość ciała, możemy znaleźć jego masę, mnożąc gęstość przez objętość ciała. Znajdziemy również ciężar tego ciała, mnożąc jego ciężar właściwy przez objętość.

§ 51. Dźwignia nie daje oszczędności w pracy.

Widzieliśmy w § 46-ym, że równia pochyła nie daje oszczędności w pracy, którą musimy wykonać, gdy chcemy

podnieść pewne ciało o pewną wysokość. To samo stosuje się do dźwigni. Na dźwigni, jak wiemy, można zrównoważyć duży ciężar małym ciężarem. Niechaj będzie *ACB* (rys. 40) dźwignią, *C* osią obrotu i niechaj $BC=3AC$. W takim razie ciężar, wiszący w *A*, można zrównoważyć w *B* ciężarem trzy



Rys. 40.

razy mniejszym; dodając jeszcze w *B* choćby najmniejszy ciężarek, można *A* *przeważać* t. j. podnieść ciężar *A* do góry. *Małą więc siłą można zapomocą dźwigni pokonać znaczną siłę*. Ale, jeśli ciężar *A* jest trzy razy większy od *B*, musimy go zawiesić trzy razy bliżej osi obrotu. Zatem poruszenie się dźwigni podniosłoby *A* o wysokość trzy razy mniejszą niż wysokość, o którą obniżyłoby *B*. Tak np. podniesienie się *A'A''* jest trzecią częścią obniżenia się *B'B''*. Skoro zaś praca, zużywana przy podnoszeniu (lub dostarczana nam przy obniżaniu się ciała) zależy nie tylko od ciężaru ciała ale i od wysokości przebytej, przeto widzimy, że dźwignia na podnoszenie *A* wydaje tyle pracy, ile jej dostarcza obniżanie się *B*. *Dźwignia nie daje żadnej oszczędności w pracy*.

Lecz, w takim razie, w jakim celu posługujemy się dźwignią? Jaki pożytek osiągamy przez nią? Żeby na to odpowiedzieć, przypomnijmy sobie (§ 41), że praca zależy zarazem od siły pracującej i od długości drogi, na której ta siła pracuje. Ta sama praca może więc być wykonana raz przez małą, drugi raz przez dużą siłę. Robotnik uniesie bez trudności 10 kg na wysokość 12 metrów; ale nie zdoła podnieść odrazu 120 kg o wysokość 1 metra. Przypuśćmy, że mamy unieść 120 kg odrazu o wysokość 1 m; mamy np. poruszyć ciężką skrzynię i przenieść ją w inne miejsce. Czy podnosimy 10 kg o wysokość 12 m, czy 120 kg o wysokość 1 m, *ilość pracy* potrzebnej jest w obu razach ta sama, ale *rodzaj pracy* jest odmienny. Robotnik może nam dostarczyć pracy takiego rodzaju:

mała siła, długa droga (1)

a tymczasem nam potrzebna jest praca innego rodzaju:

duża siła, krótka droga (2)

Otóż dźwignia może zamienić nieprzydatną postać (1) pracy,

którą rozporządzamy, na przydatną postać (2), której potrzebujemy.

Taki jest użytek dźwigni; taki jest użytek wszelkich przyrządów albo urządzeń mechanicznych czyli *maszyn*. Maszyny nie wytwarzają bynajmniej pracy, której dostarczają; nie powiększają one wcale *ilości* pracy, jaką rozporządzamy; posługując się maszyną, nie możemy *nic* zyskać na pracy. *Maszyny zamieniają niedogodne, niepożądane rodzaje pracy na bardziej dogodne i pożyteczne.*

Zadania.

1. Robotnik podważa ciężar 50 kilogramów drągiem metrowym, opierając go w odległości 20 cm od ciężaru. Jaką siłę musi wyrzucić?
2. Jedno ramię wagi ma 14·8 cm, drugie zaś 15·0 cm długości. Czy taka waga jest rzetelna? Czy możemy zrównoważyć na niej 1 kilogram mniejszym albo większym (niż 1 kg) ciężarem i w jaki sposób? Obliczyć te ciężary.
3. Na dźwigni *OAB* (rys. 36) zrównoważyliśmy ciało *a* siłą równą ciężarowi $2\frac{1}{2}$ kg, przyłożoną w *B*; ile waży ciało *a*?
4. Jakiego rodzaju dźwignią jest dziadek do orzechów?
5. Ciężar właściwy alkoholu wynosi 0·8. Ile waży litr alkoholu? Jaką objętość zajmuje kilogram alkoholu?
6. Litr nafty waży 760 gramów. Ile wynosi ciężar właściwy nafty?
7. Gęstość terpentyny wynosi 0·9. Jaką objętość zajmuje 100 gramów terpentyny?

§ 52. Praca nie ginie.

Żeby skrócić sprężynę, trzeba wykonać pracę; ale sprężyna, skoro jest skręcona, ma energję; sama może wówczas wykonać pracę. A zatem praca, którą wydaliśmy na skrócenie, nie zginęła, nie jest stracona; sprężyna skręcona może każdej chwili ją zwrócić. Podobnie, żeby podnieść kamień, trzeba wykonać pracę, ale praca ta nie zginęła; kamień podniesiony ma energję, może zwrócić pracę, którą wydaliśmy na podniesienie.

Przypuśćmy, że podnieśliśmy kamień o pewną wysokość i że następnie puściliśmy go swobodnie; kamień spada na dół ku ziemi. Na co została zużyta praca, którą wydaliśmy dla podniesienia kamienia? Została ona zużyta na przyspieszenie ruchu kamienia ku ziemi. Zdjąwszy *nieco* ciężarków z szalki *B* na bloku (rys. 30), sprawimy, że ciężar *A* (który był przez nie zrównoważony) pocznie opadać powoli; jeśli nagle

wszystko zdejmie z szalki *B*, ciało *A* odrazu pobiegnie ku dołowi. Tu zatem praca, której dostarcza opuszczanie się ciała *A*, zużywała się najprzód na pokonywanie ciężaru *B*; kiedy tego oporu zabrakło, obróciła się na wzmożenie ruchu spadającego ciała *A*. Stąd widzimy, że *nadanie ciału pewnej prędkości jest także pracą, wymaga także wykonania pracy*. Żeby rzucić kamień w górę, trzeba wykonać pracę tak samo, jak żeby go w górę *wciągnąć* lub *podnieść*; gdy go rzucamy, wykonywamy pracę odrazu; gdy go wciągamy lub podnosimy, wykonywamy ją powoli, stopniowo.

Widzimy dalej, że kamień, gdy został rzucony, nabył przez to pewnej *energji*. Kamień rzucony może naprzykład coś przewrócić, złamać lub potłuc; kula wystrzelona może przebić ścianę; tymczasem kamień lub kula, które leżą na ziemi, nie mogą uczynić nic podobnego. Młotek nie weźmie gwoźdźca do deski samym tylko swoim ciężarem; trzeba *uderzyć* młotkiem, żeby pokonać opór deski. Mówimy nieraz o *zamachu* lub *rozmachu* ciała, które porusza się; chcemy przez to powiedzieć, że ono ma wówczas energję. *Ciało, które porusza się, posiada energję dzięki temu ruchowi*. A zatem praca, jaką musimy wykonać, ażeby ten ruch ciała nadać, *nie ginie*, nie jest stracona; ciało poruszające się może ją zwrócić, bo posiada energję ruchu.

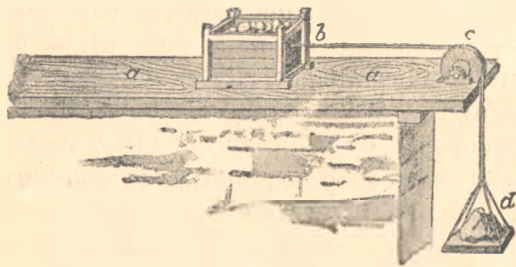
§ 53. Tarcie pochłania pracę.

Kto spróbuje rzeczywiście wykonać doświadczenia, które opisaliśmy w rozdziale niniejszym, zauważy natychmiast, że one udają się *»mniej więcej«*; że nie wypadają dokładnie w ten sposób, jak tu przedstawione zostały. Wózki na stole, wagony na szynach, równie pochyłe, bloki, dźwignie, wagi, wahadła działają niemal dokładnie, lecz jednak niecałkiem dokładnie w taki sposób, jak to przypuszczaliśmy w rozumowaniach powyższych. Czy zatem prawa dynamiki niecałkiem są ścisłe? czy są tylko przybliżenie prawdziwe? Bynajmniej tak nie jest. Pamiętajmy o tem, że w każdym przyrządzie i w każdej maszynie działa jakieś *tarcie* (§ 20). Tarcie w maszynie możemy zmniejszyć, ale nie możemy go całkowicie uniknąć. Im powierzchnie zetknięcia ciał ze sobą są słabiej przyciśnięte do siebie, im te powierzchnie są gładsze lub

lepiej wysmarowane, tem dokładniej sprawdzają się nasze opisy i nasze twierdzenia. *Uczyliśmy się tutaj takich praw ruchu, które obowiązywałyby ściśle, gdyby nie było tarcia.*

Tarcie sprawia najczęściej, że ruch ciał na ziemi jest bardzo zawiły. Na niebie niema tarcia; słońce, ziemia, księżyc, planety krążą w niemal pustem przestworzu. Dlatego ciała niebieskie poruszają się ściśle według zasad i praw prostej dynamiki.

Dlaczego tarcie przeszkadza każdemu ruchowi i przeciwstawia mu opór, niekiedy znaczny? Ponieważ *pochłania pracę*. Na rys. 41-ym widzimy, jak ciężar *d*, opadając, ciągnie skrzynkę *b* po stole *aa*; tutaj siła ciężkości wykonywa pracę, którą pochłania tarcie skrzynki *b* o powierzchnię stołu *aa*.



Rys. 41.

Podobnie dzieje się w ściennym zegarze; działając na ciężarek *C* (rys. 28), siła ciężkości wykonywa pracę, jaką pochłania tarcie (o łożyska) osi kół i kółeczek zegara; w kieszonkowym zaś zegarku sprężystość

skręconej przez nas sprężyny dostarcza pracy, potrzebnej z powodu tarcia, które działa w mechanizmie zegarka.

Tarcie pochłania pracę; dlatego równia pochyła, dźwignia, blok i inne przyrządy oddają nam zawsze trochę mniej pracy niż jej dostarczamy. Pewna strata pracy (zazwyczaj jednak niewielka) jest nieuchronna, ponieważ niema maszyny, w której nie działałoby tarcie.

§ 54. Praca nie ginie, ale może się przeobrażać.

Przekonaliśmy się w artykułach poprzednich, że *praca nie ginie*. Praca wydana na skręcenie sprężyny, na podniesienie kamienia, na rzucenie kuli, nie ginie, nie jest stracona; albowiem sprężyna skręcona ma energję, kamień podniesiony ma energję, kula biegnąca ma energję, t. j. może zwrócić nam pracę wydaną.

Gdy przesuwamy skrzynię po stole czy po podłodze, wówczas na przewyciężenie tarcia musimy wydać pewną ilość pracy; czy skrzynia przesunięta ma energję? czy może nam zwrócić pracę wydaną? Co dzieje się z pracą, którą pochłania jakiegokolwiek tarcie? Czy podobna przypuścić, ażeby ta praca

obracała się wniwecz i bezpowrotnie ginęła? Praca nie ginie; więc praca, którą wydajemy na przewyciężenie jakiegobądź tarcia, musi się w coś *przeobrażać* czyli na coś *zamieniać*. Istotnie; *zamienia się ona na ciepło*. Przypomnijmy sobie, że każda oś w powozie, wagonie kolejowym czy jakiegokolwiek maszynie *grzeje się* przez tarcie o panewkę; ażeby tego uniknąć, staramy się o zmniejszenie tarcia, smarując trące się powierzchnie. Przyciskajmy kawałek żelaza do obwodu koła, które obraca się prędko, a rozgrzejemy żelazo tak znacznie, że niepodobna będzie utrzymać go w dłoni. Dzicy nie innym sposobem, jak tarcie, rozniecają ogień, a i my posługujemy się tym sposobem, ażeby zapalić zapalnik. Gdy przesuwamy więc skrzynię po stole lub po podłodze, trochę ciepła niewątpliwie musi powstawać.

Widzimy zatem, że *przez tarcie praca zamienia się na ciepło*. Gdy kowal uderza ciężkim młotem sztabę żelazną, praca jego mięśni zamienia się z początku na energję ruchu, następnie ta energja podczas uderzenia zamienia się na ciepło. Widzimy w nocy, że iskry wyskakują na bruku koniom z pod podków; to dowodzi, że uderzenie żelaza o kamień jest zdolne nietylko odłupać drobny odłamek kamienia, lecz nadto rozgrzać go do białości. Potrząsając mocno butelką, w której znajduje się chłodna woda, możemy sprawić, że woda stanie się cieplejsza. *Wszelka praca, wszelka energja zamienia się łatwo na ciepło.*



ROZDZIAŁ DRUGI.

O ciałach stałych, ciekłych i gazowych.

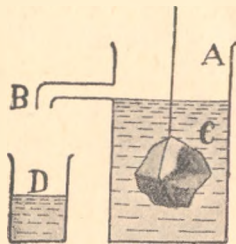
§ 55. Objętość a postać.

Każde ciało ma pewną *postać*. Cegła ma postać prostopadłościanu, świeca i ołówek — postać walca, lejek ma postać stożka. *Postać* jest to własność zupełnie inna niż *objętość* (§ 1). Dwa sześciiany lub dwa stożki na rys. 42-im są ciałami jednakowej postaci, lecz niejednakowej objętości. Przeciwnie, dwa walce na rys. 43-im mają jednakową objętość, postać zaś niejednakową. Dwa ciała *różnej* i niepodobnej postaci mogą mieć objętość *jednakową*. Weźmy naczynie *A*, zaopatrzone w wypływ boczny *B*, rys. 44;



Rys. 42.

napełnijmy je wodą a kiedy wypływ przez *B* ustanie, wprowadźmy łagodnie do wody ciało *C* i zbierzmy w *D* wodę, którą *C* wyparło. Ciało *C* ma tyle centymetrów sześciennych objętości, ile gramów waży woda zebrana (§ 50). Jakakolwiek jest postać ciała *C*, objętość jego będzie taka sama, jak objętość wody w *D*. Jeśli kamień, ręka, roślina wypierają jednakową ilość wody, mają objętość jednakową, równą objętości wody wypartej.



Rys. 44.



Rys. 43.

§ 56. Ciała stałe i ciekłe.

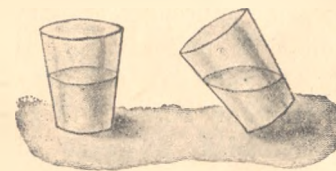
Kawałek drzewa leży na stole; ma on pewną postać, jest naprzykład długim i cienkim prostopadłościanem. Jeśli go położymy na boku, postawimy pionowo lub wstawimy do szklanki, *nie zmieni postaci*, pozostanie takim samym prostopadłościanem jak przedtem. Podobnie zachowuje się kawałek żelaza, kawałek szkła, kawałek kauczuku. Każde z tych ciał ma własną postać i zachowuje ją, w zwykłych warunkach, bez zmiany. Nazywamy dlatego kawałek drzewa ciałem *stałym*; kawałek żelaza, szkła, kauczuku jest podobnie ciałem *stałym*.

Zupełnie inaczej zachowuje się *woda*. Woda nie ma wcale własnej postaci; nie można powiedzieć: «kawałek wody». Nalana do szklanki, woda przybiera postać jej wnętrza; przelana do karafki, przybiera postać wnętrza karafki (rys. 45). *Woda zmienia postać z wszelką łatwością*.



Rys. 45.

Woda zmienia postać z łatwością i stawia bardzo słaby opór działaniu, zmierzającemu łagodnie i powoli do zmiany jej postaci. Jeżeli jednak usiłujemy bardzo raptownie wywołać ruch w większej masie wody, doznajemy od niej znacznego bezwładnego oporu (§ 21), takiego samego, jakiego doznajemy od każdego ciała, któremu chcemy udzielić dużego przyspieszenia (§ 26). Wiosłarz odpycha siebie (a wraz ze sobą odpycha czółno) od warstw wody, które usiłuje wiosłem poruszyć. Jeżeli uderzy zbyt nagle, może wiosło złamać.



Rys. 46.

Przypatrzmy się postaci wody w jakimkolwiek naczyniu. Wszędzie, gdzie styka się ze ścianą naczynia, woda przylega do ściany i przyjmuje jej postać; lecz od góry, na *powierzchni swobodnej*, gdzie styka się z powietrzem, woda układa się *płasko i poziomo*. Jeśli przechylimy naczynie, woda zmieni postać, ale w taki sposób (rys. 46), że powierzchnia jej pozostanie płaska i pozioma. Woda jest przykładem *ciała ciekłego* czyli *cieczy*.

Prócz wody jest jeszcze wiele innych cieczy. Cieczą jest naprzykład miód; i miód także wypełnia całkowicie dolną część szklanki a na powierzchni układa się płasko i poziomo. Zatem, dopóki jest w spoczynku,

miód zachowuje się podobnie jak woda; gdy jest w ruchu, zachowuje się trochę inaczej. Przechylając szklankę z miodem, widzimy, że zmienia on postać *powolniej* niż woda, bardziej opieszale, jak gdyby przeciętał jakąś przeszkodę, jakies tarcie. Można dojrzeć wówczas, przez krótką chwilę, powierzchnię cieczy w położeniu pochylem, czego w wodzie dostrzec niepodobna. Podobnie jak miód zachowuje się olej, syrop, gliceryna, smoła. Przybierają one *ostatecznie* kształt naczynia i rozlewają się poziomo i płasko; dlatego nazywamy je *cieczami*. Ale czynią to opieszale, zużywają na to stosunkowo wiele czasu; dlatego nazywamy je cieczami *lepkiemi*. Inaczej mówimy, że są to ciecze mało *ruchliwe*, gdy przeciwnie woda, alkohol, eter są to ciecze bardzo *ruchliwe*.

§ 57. Ściśliwość cieczy.

Woda zmienia zatem *postać* z wszelką łatwością; *objętość* zmienia, przeciwnie, z największą trudnością. Gdy wkładamy palec do wody, ustępuje ona łatwo, lecz podnosi się zaraz dokoła, tak iż zachowuje bez zmiany swoją dawną objętość. Spróbujmy przeszkodzić wodzie w dążności do zachowywania



Rys. 47.

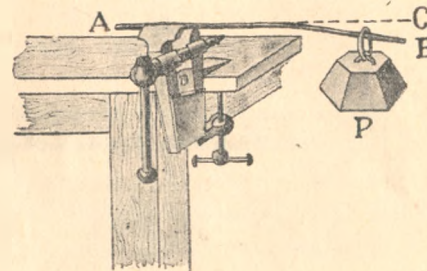
objętości bez zmiany. Weźmy (rys. 47) walec z tłokiem szczelnie przystającym i próbujmy bezpośrednim naciskiem dłoni wcisnąć tłok ku dołowi. Nie zdołamy popchnąć tłoka ani o milimetr ku dołowi, jeśli woda nie przeciśnie się pomiędzy tłokiem a ścianą naczynia. Usiłujemy tu zmienić już nie postać, lecz objętość wody, mianowicie usiłujemy objętość tę zmniejszyć czyli wodę *ścisnąć*; to zaś wymagałoby siły, której człowiek wyrzucić nie może bezpośrednim naciskiem dłoni.

Woda jest więc bardzo trudno ściśliwa czyli *bardzo mało ściśliwa*. Uczeń przekonał się dokładnie, o ile woda jest ściśliwa. Przypuśćmy, że walec (rys. 47) ma 10 cm² w przekroju i zawiera wody do wysokości 10 cm; należałoby wówczas położyć na tłok 2000 kg, ażeby posunąć go o 1 mm ku dołowi. Z powodu tarcia pomiędzy tłokiem a ściankami walca (i z innych powodów) doświadczenie to nie może być wykonane w tak prosty sposób; przytoczyliśmy je tylko dla unaocznienia małej ściśliwości wody.

§ 58. Sprężystość ciał stałych.

Pręt drewniany posiada własną postać (§ 55); ale pod działaniem *siły* może ją zmienić. Jednym końcem umocowany w śrubstaku czyli *imadle* (rys. 48) a obciążony na drugim, pręt wygina się pod działaniem siły ciężkości. Ponieważ jednak

w pewnym położeniu *AB* pręt jest w równowadze t. j. nie wygina się dalej, musiała więc zjawić się w nim siła, która równoważy ciężar ciała *P*, *siła sprężystości* pręta, znana nam już z § 3-go.



Rys. 48.

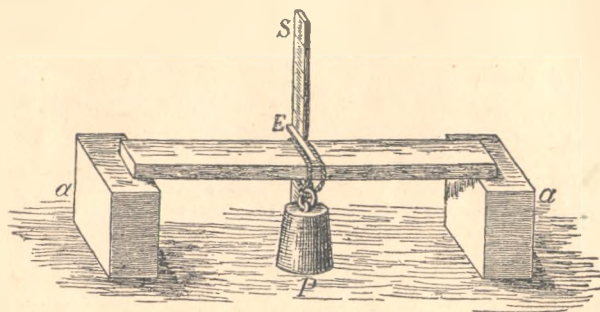
W pręcie niewygiętym *AC* nie spostrzegaliśmy tej siły; pojawia się ona dopiero w pręcie zginanym i staje się coraz większa, im bardziej pręt zginamy. Jeśli uwolnimy pręt od działania obcej siły, siła sprężystości przywraca go do zwykłej postaci (gdy wygięcie nie było zbyt znaczne); skoro jednak pręt powraca do tej postaci, siła sprężystości coraz bardziej słabnie i w końcu znika zupełnie.

Doświadczamy podobnie sprężystości pręta stalowego albo pałeczki szklanej; wyginane na końcu albo zginane w środku, okazują one także sprężystość. Taśma kauczukowa wyciągana, piłka ścisnana w dłoni, sprężyna stalowa skręcana również okazują sprężystość. Co wogóle czynimy, gdy ciała wyginamy, zginamy, wyciągamy, ściskamy, skręcamy? Zmieniamy *postać* tych ciał. Zatem powiadamy: *sprężystość ciał stałych występuje na jaw wówczas, gdy zmieniamy postać tych ciał, choćbyśmy nie zmieniali przytem ich objętości. Ciała stałe mają sprężystość postaci.*

§ 59. Różne ciała są rozmaicie sprężyste.

Weźmy cztery *sztabki* czyli pręciki prostopadłościenne kształtu jednakowego; niechaj pierwszy będzie stalowy, drugi mosiężny, trzeci szklany, czwarty drewniany. W środku każdego pręcika przytwierdzamy wskazówkę *E* (rys. 49), do której zbliżamy skalę *S*; kładziemy pręciki końcami na podstawkach *a*, *a* i obciążamy w środku, zawieszając ciężkie ciało *P*. Zobaczymy, że pręciki sprzeciwiają się wyginaniu bardzo rozmaicie. Przypuśćmy, że pręcik drewniany wygiął się o 4 podziałki na skali pod działaniem ciężaru 1 kg; ażeby tak samo wygiąć pozostałe pręciki, musimy zawiesić przeszło 5 kg na

szklanym, przeszło 8 kg na mosiężnym i prawie 18 kg na



Rys. 49.

stalowym. A zatem siła sprężystości, która objawia się w pręcikach wobec jednakowego wygięcia, jest bardzo rozmaita. Powiadamy: stal jest bardzo sprężysta, drewno jest znacznie mniej sprężyste od stali; sprężystość szkła jest mniejsza niż sprężystość stali, większa niż sprężystość drewna.

§ 60. Granica sprężystości.

Znajomość praw sprężystości jest nieodzowna w inżynierji, w budownictwie, w rozmaitych gałęziach przemysłu i rękodzieł. Gdy układamy podłogę, sufit, wiązanie dachowe, gdy przyrządzamy ławkę lub półeczkę do szafy, gdy budujemy most lub rzucamy kładkę przez strumień, gdy na haku, wbitym w ścianę, zawieszamy ciężkie przedmioty, powinniśmy starać się o to, ażeby belki, pręty, deski, haki, które obciążamy, doznawały możliwie najmniejszego wygięcia. Istnieje ku temu ważna przyczyna, mianowicie następująca.

Jeżeli obciążymy pręcik stalowy w sposób, opisany w artykule poprzednim a następnie zdejmemy obciążenie, pręcik *odegnie się* t. j. powróci do pierwotnej postaci; nie będzie widocznego śladu, że był wygięty. Pręcik ołowiany zachowuje się inaczej. Jeśli go mocno wygnieemy, nie okazuje dążności do przybrania pierwotnej postaci, zachowuje swą nową (wygiętą) postać *trwale*; nawet po uwolnieniu od działania wyginającej siły nie powraca do pierwotnej postaci. Ale różnica pomiędzy zachowaniem się stali a ołowiu zależy od wartości siły wyginającej. Przypuśćmy, że wygięliśmy pręcik ołowiany bardzo słabo, zapomocą bardzo drobnutkiemu obciążenia; wówczas powraca on, po uwolnieniu, do pierwotnej postaci, objawia zatem sprężystość tak samo jak stalowy. Przypuśćmy, że wygięliśmy pręcik stalowy działaniem nadzwyczajnie znacznego, olbrzymiego obciążenia; wówczas i stalowy wygiąłby się *trwale*, utraciłby sprężystość, podobnie jak ołowiany. Mówimy więc, że *każde ciało jest sprężyste tylko do pewnej granicy*; ta granica jest daleka dla stali a niedaleka dla ołowiu. Każde ciało, często albo długotrwałe gięte, wyginane, wyciągane, skręcane, powoli traci sprężystość, czego przykłady spotykamy nieraz w życiu codziennem.

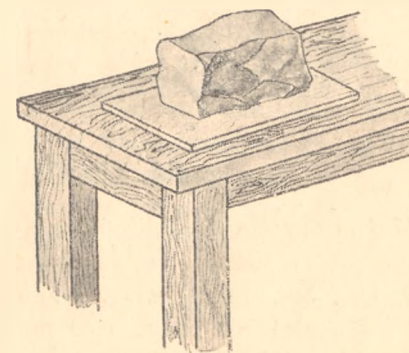
§ 61. Sprężystość ciał ciekłych.

Przypuśćmy, że położyliśmy 2000 kg na tłok przyrządu z rys. 47-go, § 57; wskutek tego tłok obniżył się o 1 mm, woda ścisnęła się o jedną setną część objętości pierwotnej. Tłok nie poruszy się dalej ani o najmniejszą część milimetra; woda stawia teraz opór, który równoważy ciężar 2000 kg. Powiadamy zatem: w wodzie ściśniętej pojawiła się siła, która sprzeciwia się dalszemu ścisnaniu; pod działaniem tej siły z jednej strony a ciężaru z drugiej tłok znajduje się w równowadze. Gdybyśmy nagle zdjęli ciężar, tłok poszedłby do góry, odepchnięty przez wodę, która wróciłaby do dawnej objętości. A zatem działa tutaj w wodzie siła, podobna do sprężystości w drzewie, w szkłe, kauczuku lub stali. Lecz, gdy w ciałach stałych objawia się ona przy zmianach *postaci*, w wodzie objawia się przy zmianach *objętości*. Możemy więc powiedzieć: *woda ma sprężystość objętości*.

Podobnie jak woda, zachowują się inne ciecze. Sprężystość objętości jest ogólną cechą ciał ciekłych. Jak wiemy, ciała ciekłe nie stawiają trwałego oporu zmianie postaci; prędzej czy później każda ciecz (§ 56) poddaje się działaniu siły, dążącej do zmiany jej postaci. A zatem *cieczce mają sprężystość objętości, lecz nie mają trwałej sprężystości postaci*.

§ 62. Ciśnienie.

Deseczka, leżąca na stole i dźwigająca ciało ciężkie na sobie (np. kamień, jak na rys. 50-ym), jest *przyciśnięta* do stołu, wywiera *ciśnienie* na powierzchnię stołu. *Ciśnieniem nazywamy więc siłę, działającą na powierzchnię ciała*.



Rys. 50.

W przykładzie powyższym ciśnienie sprawia siła ciężkości; takie ciśnienie działa z góry na dół pionowo, ponieważ siła ciężkości działa w tym kie-

runku. Lecz inne siły mogą również sprawiać ciśnienie, np.



Rys. 51.

siła naszych mięśni, siła sprężystości; te siły mogą sprawiać ciśnienie w innych kierunkach. Przyciskając deseczkę do ściany ręką, czy bezpośrednio, czy np. za pośrednictwem pręta (rys. 51), wywieramy na ścianę ciśnienie w kierunku poziomym.

§ 63. Ciśnienie całkowite i ciśnienie jednostkowe.

Położmy ten sam kamień (rys. 50) raz na deseczkę, mającą 100 cm^2 pola, drugi raz na deseczkę, mającą 200 cm^2 pola. Ta sama siła rozpościera się w pierwszym razie na 100, w drugim razie na 200 cm^2 . Zatem na 1 cm^2 wypadnie w pierwszym razie dwa razy więcej siły niż w drugim. Widzimy zatem, że trzeba odróżniać siłę całkowitą czyli ciśnienie całkowite na pewną powierzchnię od ciśnienia na jednostkę pola czyli od ciśnienia jednostkowego. Ciśnienie całkowite jest na obu deseczkach jednakowe, mianowicie równe ciężarowi kamienia. Ciśnienie jednostkowe jest dwa razy większe na mniejszej deseczce niż na większej. Ten sam ciężar na deseczkach, mających 50 cm^2 lub 25 cm^2 pola, sprawiłby ciśnienie jednostkowe cztery lub ośm razy większe aniżeli na deseczce o polu 200 cm^2 .

Bardzo cienka tafelka kraje swym brzegiem czyli wchodzi stosunkowo łatwo w ciała zbite. Możemy to wytłumaczyć według poprzedzających objaśnień. Brzeg tafelki jest powierzchnią o bardzo małym polu, więc siła naszych mięśni wytwarza na nim łatwo znaczne ciśnienie.

§ 64. Ciśnienie cieczy.

Można wywrzeć ciśnienie za pośrednictwem pręta; podobnie można je wywrzeć za pośrednictwem wody. Weźmy rurkę AB (rys. 52), pełną wody i zamkniętą tłokami, które przystają szczelnie do rurki, lecz mogą się w niej łatwo poruszać. Opieramy tłok A o deseczkę z rys. 51-go i wywieramy siłę na drugi tłok B ; wówczas przyciskamy deseczkę do ściany

za pośrednictwem wody. Zatem woda może przenosić ciśnienie. Tutaj ciśnienie wody nie ma nic wspólnego z jej ciężarem; ciśnienie działa poziomo, jeśli rurka leży poziomo, gdy tymczasem siła ciężkości działa na dół pionowo.

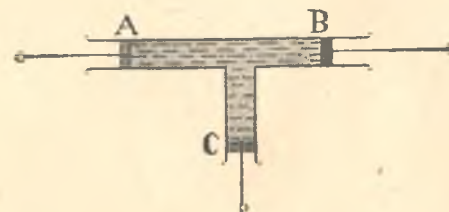


Rys. 52.

Jakim sposobem woda przenosi ciśnienie? Zważmy, iż unieruchomiliśmy tłok A , oparliśmy go przez deseczkę o ścianę; usiłując tedy wepchnąć tłok B , próbujemy tem samym ścisnąć wodę, zmniejszyć jej objętość, jak w § 57-ym. Nic dziwnego, że woda opiera się temu; woda ma sprężystość objętości (§ 61). Sprężystość wody opiera się naszemu działaniu na B , a zarazem za pośrednictwem A sprawia ciśnienie na deseczkę i ścianę.

§ 65. Ciecze roznoszą ciśnienie.

Weźmy drugą rurkę, jaką rys. 53 przedstawia w położeniu poziomem, tak właśnie, jak gdyby rurka leżała na papierze.



Rys. 53.

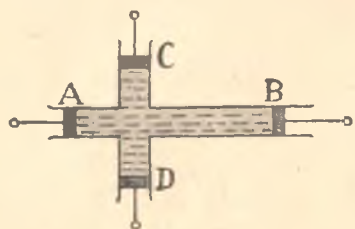
Opatrzona jest ona w boczne kolanko, w którym mamy trzeci tłok C , co do rozległości równy dwóm pierwszym. Umocujmy tłok A , tłokowi C pozwólmy poruszać się swobodnie i wciskajmy B ; co się stanie?

Woda będzie ustępowała przed B i będzie pchała przed sobą tłok C ; albowiem w ten sposób będzie ona zmieniała tylko postać a nie objętość, temu zaś woda nie sprzeciwia się (§ 56). Gdybyśmy umocowali jeszcze tłok C , woda cisnęłaby na ten tłok tak samo, jak ciśnie na A . Zatem i w bok także woda przenosi ciśnienie. Na ściany rurki woda oczywiście ciśnie tak samo jak na tłoki, mianowicie rozpycha rurkę o tyle, o ile na to pozwala sprężystość szkła czy innego materiału, z którego rurka jest zrobiona.

Powiadamy więc: woda nie tylko przenosi ale i roznosi ciśnienie we wszystkie strony. To samo czynią wszystkie ciecze.

§ 66. Ciecz może wykonywać pracę.

Weźmy jeszcze jedną rurkę, opatrzoną w dwa poziome kolana i w cztery tłoki *A*, *B*, *C*, *D* jednakowo rozległe; rys. 54 przedstawia rurkę widzianą z góry. Co powiedzieliśmy o tłoku *C*, stosuje się także do czwartego tłoka *D*. Gdy wywieramy ciśnienie na *B* (rys. 54), takie samo ciśnienie wywierane jest na *A*, na *C* i na *D*.



Rys. 54.

Z jednego ciśnienia powstają więc tutaj trzy ciśnienia. Tego możemy dokonać zapomocą wody i tłoków, podobnie jak zapomocą dźwigni możemy podnieść do góry trzy kilogramy siłą ciężaru jednego kilograma (§ 47). Ale czego *nie możemy* dokonać zapomocą dźwigni, to *stworzyć* choćby najmniejszą ilość pracy z niczego (§ 51); tego zapomocą wody i tłoków także dokonać *nie możemy*.

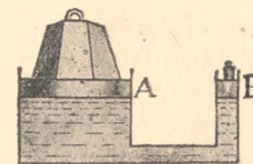
Istotnie: od czego zależy praca, którą wykonywamy, pchając tłok, lub którą tłok wykonywa, pchając coś przed sobą? Jak wszelka praca, zależy ona zarazem od siły, która pcha (t. j. od całkowitego ciśnienia na tłok) i od długości drogi, którą tłok przebywa. Weźmy trzy rurki: rurkę z dwoma tłokami *AB* (rys. 52), z trzema *ABC* (rys. 53) oraz z czterema *ABCD* (rys. 54). Przypuśćmy, że w każdej rurce wepchnęliśmy tłok *B* o 1 cm, dając swobodę ruchu wszystkim pozostałym. W rurce *AB* (rys. 52), sam tylko tłok *A* będzie cisnął i wysunie się na zewnątrz o centymetr; w rurce *ABC* (rys. 53) każdy z dwóch tłoków *A*, *C* będzie cisnął i każdy wysunie się o pół centymetra; w rurce *ABCD* (rys. 54) każdy z trzech tłoków *A*, *C*, *D* będzie wywierał ciśnienie, lecz każdy wysunie się tylko o trzecią część centymetra. Zatem, im więcej tłoków, tem więcej ciśnień, ale tem krótsze drogi, które tłoki przebywają; pomnażając liczbę tłoków, *nie zyskujemy więc bynajmniej na pracy, rozdrabniamy ją tylko*.

§ 67. Zasada prasy hydraulicznej.

W rurce *ABC* (rys. 53) tłoki *A* i *C* doznają każdy takiego ciśnienia, jakie wywieramy na *B*. Tak jest bez względu na

to, czy *A* i *C* znajdują się daleko od siebie czy też blisko siebie. Zatem *tak samo będzie i wtedy, kiedy połączymy ze sobą te tłoki* i utworzymy z nich jeden tłok, dwa razy większy. Powiadamy: na tłok, dwa razy większy niż *B*, działa *ciśnienie całkowite* dwa razy większe niż na *B*. Podobnie na tłok o polu trzy razy większem działa ciśnienie całkowite trzy razy większe. Innymi słowy: *ciśnienie na jednostkę pola* w naszej rurce jest wszędzie *jednakowe*.

Na tej zasadzie budowane bywają *prasy hydrauliczne*, których zadaniem jest zamiana niezbyt znacznych całkowitych ciśnień, jakie człowiek może wywrzeć, na ciśnienia całkowite bardzo znaczne. Wyobraźmy sobie dwa walce połączone ze sobą i w nich dwa tłoki, jak na rys. 55-ym. Przypuśćmy, że tłok *A* ma pole 25 razy większe niż tłok *B*; w takim razie, położywszy 25 kg na tłoku *A*, dość będzie położyć 1 kg na *B*, ażeby osiągnąć równowagę. Tu zatem ciężarem mało co większym nad 1 kg możemy *podnieść do góry* 25 kg, podobnie jak na dźwigni (§ 47). Ale i tu *nie zyskamy na pracy*, gdyż trzeba będzie wcisnąć tłok *B* o 25 cm na dół, ażeby podnieść *A* o 1 cm do góry; objętość wody, zawartej pomiędzy tłokami *A* i *B*, nie może bowiem się zmieścić przy posuwaniu się tłoków.



Rys. 55.

Widzimy, że prasa hydrauliczna ma taki sam cel jak inne maszyny, opisane w pierwszym rozdziale, mianowicie zmianę pracy, którą rozporządzamy, na innego rodzaju pracę, która nam jest dogodniejsza; ale *nie* ma ona na celu osiągnięcia przytem jakiegoś *zysku pracy*; tego celu mieć nie może, albowiem to jest wogóle niemożliwe (zob. § 46).

Zadania.

1. Ciśnienie całkowite 5 kg działa na powierzchnię $\frac{1}{4}$ cm². Ile wynosi ciśnienie jednostkowe?
2. Ile pracy wykonamy, działając ciśnieniem jednostkowym 2 kg na powierzchnię 30 cm² wzdłuż drogi 10 cm?
3. Pola tłoków w prasie hydraulicznej wynoszą 3 cm² i 75 cm². Na mniejszy tłok działamy siłą 2 kg; jakie ciśnienie całkowite zostanie wywarte przez tłok rozleglejszy?

4. Pole mniejszego tłoka prasy hydraulicznej wynosi 1 cm^2 ; działamy siłą 2 kg na ten tłok. Ile powinno wynosić pole większego tłoka, ażeby ciśnienie całkowite, przez tłok ten wywarte, wynosiło 30 kg ?

§ 68. Ciśnienie w cieczy, wynikające z jej ciężaru.

Gdybyśmy ustawili stos cegieł, leżących jedna na drugiej, wówczas każda cegła dźwigałaby na sobie wszystkie nad nią leżące, zatem byłaby przyciśnięta ciężarem tem większym, im położona jest niżej, im dalej od wierzchu. W naczyniu z wodą dzieje się podobnie. Każda warstwa wody w naczyniu dźwiga na sobie warstwy nad nią leżące, więc jest przyciśnięta ciężarem tem większym, im niżej w cieczy jest położona, im dalej od powierzchni. Ciśnienie tego ciężaru, jak wszelkiego ciężaru, jest skierowane z góry na dół pionowo; ale warstwa, która doznaje tego ciśnienia, nie tylko przynosi je dalej ku dołowi, lecz i roznosi we wszystkie strony, rozprawadza i wywiera je we wszystkich kierunkach; albowiem ciecze czynią tak zawsze (§ 65).

Powiadamy zatem, co następuje: w każdej cieczy panuje ciśnienie, chociażbyśmy jej wcale nie uciskali z zewnątrz; to ciśnienie wynika z ciężaru cieczy; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem ono jest większe. Jakkolwiek wynika z ciężaru cieczy, owo ciśnienie działa nie tylko z góry na dół pionowo, lecz także z dołu do góry, jak również w prawo, w lewo, naprzód i wstecz i wogóle we wszystkich kierunkach. Jeżelibyśmy działali na ciecz jeszcze jakimś innym, zewnętrznym czyli obcym ciśnieniem, ciśnienie to zostanie także rozprawadzone we wszystkich kierunkach i doda się do tego, które wynika z ciężaru.

§ 69. Jak wzrasta ciśnienie w głębi cieczy, gdy oddalamy się od powierzchni.

Ażeby lepiej zrozumieć, w jaki sposób objawia się w cieczach ciśnienie, wyobraźmy sobie naczynie pełne wody w spoczynku czyli w równowadze; rys. 56 przedstawia je tak, jak gdyby było przecięte płaszczyzną pionową. Uważajmy w wodzie kwadracik a , o rozległości 1 cm^2 , leżący poziomo; przypuśćmy, że ten kwadracik jest zanurzony o 4 cm pod swobodną powierzchnią wody. Aż do tej powierzchni stanęłyby na nim cztery sześciiany, pełne wody, z których każdy miałby 1 cm^3 objętości i ważyłby 1 gram . Wyobraźmy sobie cie-

niutką warstewkę wody w miejscu tego kwadracika a ; na tę warstewkę działa od góry ku dołowi ciśnienie, równe ciężarowi 4 gramów . Na warstewkę o rozległości 2 cm^2 działałoby ciśnienie, równe ciężarowi 8 gramów i t. d. A zatem jednostkowe ciśnienie (§ 63) w miejscu a , działające od góry ku dołowi, wynosi 4 gr na 1 cm^2 .

Dokoła kwadracika a wyobraźmy sobie teraz takie same kwadraciki b, c, \dots , po 1 cm^2 rozległości mające i leżące w tym samym jak a poziomie. Woda w miejscach b, c, \dots ulega znowu jednostkowemu ciśnieniu 4 gramów na 1 cm^2 , skierowanemu na dół. To ciśnienie przenosi się niżej, do wody położonej pod b , pod c i t. d.; tam zostaje wykręcone i rozprawadzone we wszystkich kierunkach. Na warstewkę wody w miejscu a działa zatem od dołu ku górze również jednostkowe ciśnienie 4 gr na 1 cm^2 ; ono równoważy się z poprzednim, równie wielkim jednostkowym ciśnieniem, skierowanym ku dołowi. Warstewka wody w miejscu a pozostaje tedy w równowadze.

To samo powiemy o wodzie, znajdującej się w któremkolwiek innym miejscu naczynia. Małeńka warstewka, leżąca poziomo o 8 cm od swobodnej powierzchni wody, doznaje jednostkowego ciśnienia 8 gramów na 1 cm^2 z jednej strony i równocześnie jednostkowego ciśnienia 8 gramów z drugiej strony. To samo możemy powtórzyć, jeżeli owa małeńka warstewka wody ma pionowe albo ukośne położenie; jednostkowe ciśnienia, działające na nią z dwóch stron, są przeciwnie skierowane i równe sobie, jeżeli ciecz jest w równowadze.

Z powyższego rozumowania wynika, że, gdyby w naczyniu była rtęć zamiast wody, ciśnienia w głębi byłyby większe. Ponieważ ciężar właściwy rtęci wynosi 13.5 (§ 50), przeto w poziomie 1 cm pod powierzchnią mielibyśmy jednostkowe ciśnienie 13.5 grama na 1 cm^2 , w poziomie 2 cm pod powierzchnią mielibyśmy jednostkowe ciśnienie 27 gramów na 1 cm^2 i t. d.

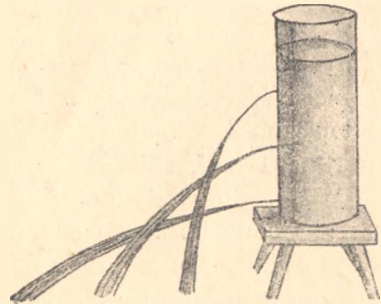
§ 70. Sprawdzenie doświadczalne.

W artykułach poprzednich ustanowiliśmy prawa ciśnienia w cieczach drogą rozumowania. Sprawdźmy je teraz doświad-



Rys. 56.

czalnie. Możemy to uczynić przy pomocy doświadczenia, którego urządzenie jest widoczne z rys. 57-go. To doświadczenie uczy, po pierwsze, że woda ciśnie nietylko na dół, ale także



Rys. 57.

i w bok; powtóre, że ciśnie tem znacznie, im dalej od powierzchni. Istotnie, strumień z dolnego otworu dobiega dalej niż strumień z górnego; stąd wnosimy, że wypchnęła go siła znaczniejsza, podobnie jak w § 35-ym kula wystrzelona dobiegała tem dalej (zob. rys. 25), im większa siła zmuszała ją do ruchu.

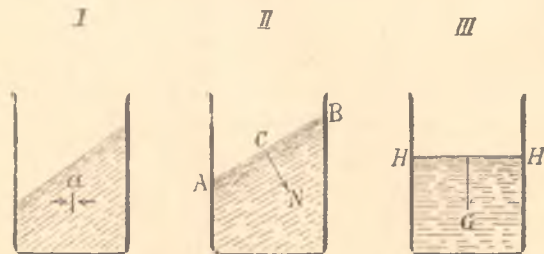


Rys. 58.

Weźmy rurkę (rys. 58), w której za dno służy płytka *ab*, trzymana zapomocą nitki. Wstawiamy rurkę wraz z płytką do wody; możemy wypuścić nitkę z ręki, pomimo to płytka nie odpada. Płytkę jest widocznie przyciskana ku górze działaniem ciśnienia, panującego w cieczy, które jest wywierane na płytkę od dołu ku górze.

§ 71. O powierzchni cieczy.

Jak wiemy, woda w szklance ma swobodną powierzchnię *poziomą*, kiedy jest w spoczynku. Istotnie, wyobraźmy sobie wodę w położeniu takim, jakie przedstawia rys. 59, I. Łatwo



Rys. 59.

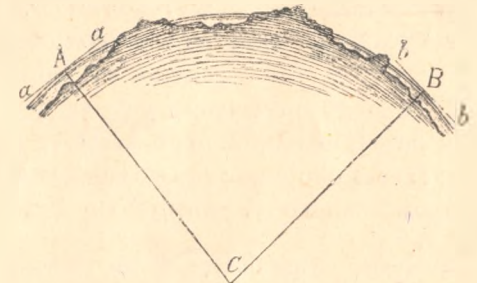
zrozumieć, że woda nie może *trwać* w takim położeniu. Wyobraźmy sobie stojący pionowo w wodzie kwadracik *a*; na rys. 59, I widzimy go z boku. Woda po prawej stronie

kwadracika *a* znajduje się *dalej* od powierzchni niż woda po lewej,

zatem z prawej strony kwadracika *a* woda znajduje się pod ciśnieniem *większem* niż z lewej jego strony (por. §§ 68 i 69). Woda nie może *pozostać* w tem położeniu, zupełnie podobnie jak wahadło na rys. 27-ym, § 38, nie może pozostać w położeniu *OC*. Woda popłynie ze strony prawej na lewą, jak wahadło poruszy się od *C* do *A*. Gdyby ciężkość kulki wahadła w położeniu *OC* działała w kierunku *CN* (rys. 27), mielibyśmy równowagę w tem położeniu. Podobnie, gdyby ciężkość działała w kierunku *CN* (rys. 59, II), mielibyśmy równowagę wody w położeniu *AB*. Ale tak nie jest; *ciężkość działa zawsze na dół pionowo*. Widzimy więc, że woda może być w równowadze jedynie w położeniu *HH* (rys. 59, III), w którym jej swobodna powierzchnia ułożyła się *prostopadle* do kierunku *G* działania siły ciężkości.

§ 72. O powierzchni mórz i oceanów.

W szklance powierzchnia wody jest płaska i pozioma; lecz jaki ma kształt powierzchnia mórz i oceanów na ziemi? Wiemy, że ziemia ma kształt kuli; że wody mórz i oceanów pokrywają znaczną część jej powierzchni (jak to wyobraża rys. 60, na którym głębokość



Rys. 60.

mórz i oceanów oraz wyniosłość lądów jest oczywiście znacznie przesadzona w stosunku do rozmiarów rysunku). A zatem powierzchnia wód w morzach i oceanach jest *wypukła*, mianowicie *kulista*. Łatwo to zrozumieć na mocy artykułu poprzedzającego. Wiemy, że siła ciężkości w każdym miejscu powierzchni ziemi ma kierunek promienia ziemskiego w tem miejscu; w miejscu *A* (rys. 60) działa wzdłuż *AC*, w miejscu *B* wzdłuż *BC*, jeżeli *C* jest środkiem kuli ziemskiej. Poziomem wody w miejscu *A*, według artykułu poprzedzającego, musi być poziom *aa* prostopadły do *AC*; w miejscu *B* poziom *bb* prostopadły do *BC* i t. d. Owóż łuk obwodu koła, np. *AB*, jest właśnie zbiorowiskiem podob-

nych niezmiernie krótkich linii jak aa , bb , prostopadłych do promieni CA , CB i t. d. Powierzchnia mórz i oceanów jest więc wypukła i kulista dlatego, że układa się wszędzie prostopadle do kierunku działania siły ciężkości.

§ 73. Naczynia połączone.

Do naczynia z wodą (rys. 61) wprowadzamy ściankę, nie dotykając nią dna. Powierzchnia wody nie zmienia się przez to. Czy ścianka znajduje się w środku, czy bliżej którejkolwiek ze ścian, ciecz po obu stronach stoi na jednakowym poziomie.



Rys. 61.

Gdy zanurzyliśmy w ten sposób ściankę do wody w naczyniu, rozdzieliliśmy je na dwa mniejsze naczynia, połączone ze sobą. Uważajmy dwa

naczynia, łączące się ze sobą przez kanalik czyli przewód albo rurkę (rys. 62); widzimy, że one nie różnią się niczem istotnym od poprzedniego (rys. 61), przedzielonego



Rys. 62.



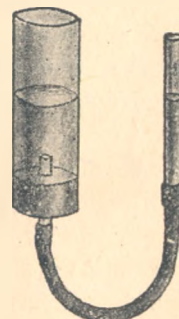
Rys. 63.

ścianką. Powiadamy zatem: *jeżeli ciecz w naczyniach połączonych znajduje się*

w równowadze, swobodne jej powierzchnie leżą w tym samym poziomie. Czy te naczynia są jednakowego

czy różnego przecięcia, czy są podobnego czy zupełnie odmiennego kształtu (rys. 63), jest rzeczą obojętną; prawo równowagi, które wypowiedzieliśmy, stosuje się bez zmiany.

Słuszność wymienionego prawa stwierdzamy często w codziennym doświadczeniu. Naprzykład w dwóch rurkach szklanych (rys. 64), z których jedna jest szersza od drugiej (łączymy je zapomocą korka i rurki kauczukowej, jak pokazuje rysunek), woda stoi jednakowo wysoko.

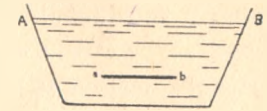


Rys. 64.

§ 74. Dlaczego w naczyniach połączonych ciecz w równowadze stoi jednakowo wysoko.

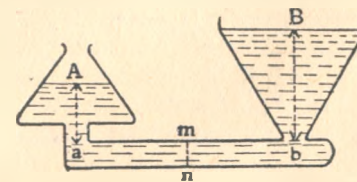
Wiemy z §§ 68-go i 69-go, że jednostkowe ciśnienie, które panuje w danym miejscu cieczy, zależy tylko od odległości

tego miejsca od swobodnej powierzchni. Stąd wynika, że we wszystkich miejscach poziomej płaszczyzny ab (rys. 65) jednostkowe ciśnienie jest jednakowe; istotnie, te miejsca leżą jednakowo daleko od swobodnej powierzchni AB .



Rys. 65.

Rozumiemy teraz, *dłaczego w naczyniach połączonych ciecz w równowadze musi stać jednakowo wysoko.* Gdyby było inaczej, gdyby na-



Rys. 66.

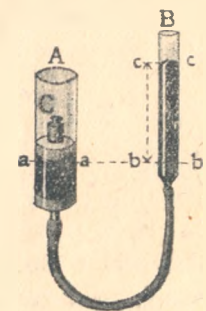
przykład woda w naczyniu B (rys. 66) mogła w równowadze stać wyżej niż w naczyniu A , odległość bB punktu b (pewnej poziomej płaszczyzny ab) od powierzchni B byłaby większa niż odpowiednia odległość aA , zatem jednostkowe ciśnienie w b byłoby większe niż w a , war-

stewka mn doznawałaby ciśnienia *większego* od strony naczynia B niż od strony A , skutkiem czego *nie* mogłaby pozostawać w równowadze, musiałaby *popłynąć* w kierunku od B ku A .

Widzimy zarazem, że *jednostkowe ciśnienie w cieczy nie zależy wcale od kształtu ani od objętości naczynia, w którym ciecz się znajduje.*

§ 75. O mierzeniu ciśnień, panujących w cieczy.

Należmy rtęci do rurek połączonych, znanych nam z § 73-go (rys. 67). Obie dwie powierzchnie rtęci, w razie równowagi, ustanawiają się w tym samym poziomie. Wprowadźmy do szerszej rurki A tłoczek szczelnie przystający i wywierajmy nań ciśnienie, bądź bezpośrednio ręką, bądź też zapomocą ciężarka C . Rtęć opada w rurce A i podnosi się w B , jak pokazuje rysunek. Ruch cieczy wkrótce ustaje, mianowicie wówczas, gdy jednostkowe ciśnienie słupka rtęci bc (o wysokości równej różnicy poziomów w A i w B) zrówna się

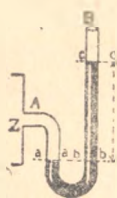


Rys. 67.

z jednostkowym ciśnieniem, wywieraniem na tłoczek. Rzeczywiście, cała ta ilość rtęci, która znajduje się (w obu rurkach w rurce kauczukowej) poniżej poziomu *aabb*, pozostaje sama przez się w równowadze, jak wiemy z §§ 73-go i 74-go. Dodatkowe ciśnienie jednostkowe ciężarka *C* musi równoważyć się zatem z ciśnieniem jednostkowym, wywieraniem przez słupkę *bc*.

Przypuśćmy, że przecięcie rurki *A* (a zarazem przecięcie tłoczka) wynosi 4 cm^2 ; że przecięcie rurki *B* wynosi 1 cm^2 ; że położyliśmy 108 gramów na tłoczku. Zapytujemy: do jakiej wysokości wzniesie się rtęć w rurce *B*? Ciśnienie całkowite, wywierane przez *C* na tłok, wynosi 108 gramów, zatem jednostkowe ciśnienie wynosi $108 : 4$ albo 27 gramów na 1 cm^2 . Ciężar właściwy rtęci jest 13·5 (§ 50). Ponieważ przecięcie rurki *B* wynosi 1 cm^2 , więc ciężar słupki *bc* o wysokości 2 cm wynosiłby 27 gramów, sprawiałby zatem ciśnienie jednosnikowe 27 gramów na 1 cm^2 . Powiadamy: w razie równowagi słupki *bc* musi mieć 2 cm wysokości. Czy rurka *B* stoi pionowo czy jest pochylona, czy ma kształt dokładnego walca prostego czy też posiada zwężenia lub rozszerzenia, jest przytem rzeczą obojętną; różnica wysokości poziomów w *A* i w *B* czyli (pionowo liczona) wysokość *bc* wyniesie zawsze 2 cm.

§ 76. Manometr.



Rys. 68.

Wyobraźmy sobie rurkę szklaną, zgiętą w kształcie litery *U* (rys. 68). Ramię *B* rurki jest otwarte, ramię *A* łączy się z jakimkolwiek zbiornikiem *Z* dowolnego gazu (§ 83). Jeżeli poziom rtęci *aa* stoi niżej niż poziom *cc*, powiadamy: gaz zawarty w *Z* (oraz w *A*) wywiera ciśnienie większe niż powietrze w *B*. Taki przyrząd, służący do wykrywania i mierzenia różnic ciśnienia, nazywa się *manometrem*. Im większa jest wysokość *bc* (czyli pionowo liczona różnica wysokości poziomów *aa* i *cc*), tem większa jest różnica ciśnień (jednostkowych) w *Z* i w *A* z jednej strony, w *B* z drugiej strony.

§ 77. Sprawdzenie doświadczalne.

Możemy sprawdzić i objaśnić rozumowania artykułów poprzedzających zapomocą prostych doświadczeń.

Do rurek połączonych (rys. 64) nalejmy rtęci: stanie w nich jednakowo wysoko. Nalejmy 10 gr wody nad rtęć w rurce węższej; jeśli rurka szersza ma 5 razy większą średnicę, więc 25 razy większe poprzeczne przecięcie, będziemy musieli nalać do niej, nad rtęć, 250 gr wody, ażeby przywrócić równą wysokość rtęciowych poziomów. W ten sposób zbudowaliśmy

przyrząd podobny, jak na rys. 55-ym; innemi słowy, zbudowaliśmy małą prasę hydrauliczną. Rtęć gra tu rolę cieczy, woda nad rtęcią działa tutaj tak, jak tam ciała ciężkie położone na tłokach.

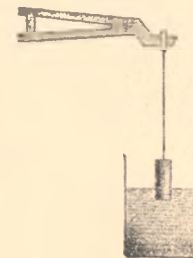
Weźmy rurkę szklaną, zgiętą w dwa nierówne ramiona (rys. 69); nalejmy do niej rtęci i wprowadźmy rurkę do wody, nie zanurzając otworu dłuższego ramienia. Zobaczymy, że rtęć podnosi się w lewym, dłuższym ramieniu; mianowicie, gdy poziom prawy jest zanurzony o 13·5 cm pod powierzchnię wody, różnica wysokości poziomów rtęci jest równa 1 cm. Jeśli zanurzymy poziom prawy o 27 cm pod powierzchnię, różnica wysokości poziomów podwoi się i wyniesie 2 cm. Jeżeli zanurzymy rurkę o 40·5 cm pod powierzchnię, różnica wysokości poziomów rtęci wyniesie 3 cm. Wyjaśniamy sobie łatwo wynik tego doświadczenia na zasadzie artykułów poprzednich.



Rys. 69.

§ 78. Ciecz usułuje wyprzec ciało zanurzone.

Zawieśmy na wadze walec (rys. 70) i zrównoważmy go ciężarkami po drugiej stronie. Zanurzając walec do wody, zobaczymy, że ciężarki przeważają, jak gdyby walec stracił na ciężarze. Jakim sposobem tak dzieje się? Przypomnijmy sobie (§ 55), że, kiedy walec wkracza do wody, woda podnosi się dokoła w naczyniu. A zatem walec, obniżając się w wodzie, musi podnieść pewną ilość wody do góry; dlatego ciężar walca musi przewyciężyć ciężar wody podnoszonej. Zupełnie podobnie, gdy na dźwigni albo na wadze większy ciężar przeważa inny, mniejszy, wówczas sam przez to traci tyle, ile ma do zwalczenia. Jeśli 3 kilogramy, obniżając się, muszą podnieść 1 kilogram po drugiej stronie dźwigni lub wagi, wówczas działają tak, jak gdyby ważyły dwa kilogramy. Tak samo walec, ważący 75 gramów, jeśli, obniżając się, musi podnieść 10 gramów wody do góry, działa na wagę tak, jak gdyby ważył 65 gramów.



Rys. 70.

Zapytujemy teraz: gdy walec zanurza się, ile wody musi podnieść do góry dokoła? Tyle centymetrów sześciennych, ile ich ze swej własnej objętości zanurza do wody. Więc mamy takie prawidło: *ciało, zanurzone do wody, traci pozornie na ciężarze; mianowicie traci tyle gramów, ile centymetrów sześciennych jego objętości zanurzyło się w wodzie.* Prawidło to nazywa się *zasadą Archimedesesa*. Możemy je łatwo sprawdzić. Zważmy ciało *C* najprzód w sposób zwykły w powietrzu, potem zanurzymy je do naczynia (rys. 44), jak opisano w § 55-ym; powtórnie zważmy je, zanurzone w wodzie. Przekonamy się, że ciało zanurzone zachowuje się tak, jak gdyby ważyło mniej, mianowicie o tyle mniej, ile waży woda, wypchnięta przez nie do naczynia *D* (rys. 44).

§ 79. Skąd powstaje w cieczach parcie do góry.

Powiadamy, że każda ciecz usiłuje wyprzeć do góry zanurzone w niej ciało. Skąd bierze się ta siła? Możemy na to odpowiedzieć na zasadzie §§ 68-go i 69-go. Wyobraźmy sobie mały sześcián szklany, zanurzony w wodzie (rys. 71, na którym naczynie i sześcián widzimy z boku).



Przypuśćmy, że sześcián ma po 1 centymetrze szerokości, długości i wysokości. Przypuśćmy, że ścianka górna *b* leży pod powierzchnią wody w odległości 4 cm; w takim razie ścianka dolna *c* leży pod nią w odległości 5 cm. Zatem, według § 69-go, ciśnienie wody na górną ściankę *b* równa się ciężarowi 4 gramów; ciśnienie wody na dolną ściankę *c* równa się ciężarowi 5 gramów. Pierwsze ciśnienie działa

Rys. 71. z góry na dół, drugie z dołu do góry. Te ciśnienia *nie równoważą się*, skoro drugie, działające od dołu, jest *większe*; na sześcián działa ostatecznie z dołu do góry siła, równa ciężarowi 1 grama. (Na ścianki boczne *a, a* działają równe ciśnienia, wprost przeciwnie sobie, które znoszą się dokładnie). Taka zatem jest przyczyna parcia do góry, którego doznaje sześcián; wskutek tego, zajmując objętość 1 cm³, traci pozornie 1 gram na ciężarze. Gdyby miał objętość 15 cm³, traciłby pozornie 15 gramów na ciężarze.

§ 80. O ciałach pływających.

Wyobraźmy sobie (rys. 72) kawałek drzewa, przypuśćmy o objętości 10 cm³. Jeśli zanurzymy go całkowicie w wodzie, woda wypiera go do góry siłą ciężaru 10 gramów. Tymczasem kawałek drzewa o objętości 10 cm³ waży tylko 5 gramów (§ 50); siła ciężkości ciągnie go na dół siłą 5 gramów. Zatem kawałek drzewa nie może tonąć w wodzie ani bujać w niej swobodnie; musi iść do góry. Gdy dojdzie



Rys. 72.

do powierzchni, kawałek drzewa zaczyna wynurzać się z wody; im bardziej wynurzy się, tem mniejszego parcia do góry doznaje od cieczy. Rzecz oczywista, że przestanie wynurzać się wtedy, kiedy parcie cieczy stanie się równe jego ciężarowi. Powiadamy: *ciężar cieczy, którą wypiera ciało pływające, jest równy całemu ciężarowi tego ciała.* Możemy to sprawdzić za pomocą przyrządu, przedstawionego na rys. 44-ym, § 55. Napełniwszy naczynie *A* wodą aż do ustania wypływu, kładziemy na wodę kawałek drzewa lub korka. Ciało to wypchnie do *D* tyle gramów wody, ile samo (w powietrzu) waży.

Na zasadzie artykułów poprzednich i niniejszego łatwo wytłumaczyć, dlaczego pod wodą poruszamy ręce i nogi tak swobodnie, jak gdyby były pozbawione ciężaru; dlaczego dźwigamy pod wodą ciężary, których nie możemy wnieść ponad wodę; dlaczego duża pusta beczka może wydobyć z dna rzeki ciężki kamień; dlaczego kawałek mosiądzu lub szkła tonie w wodzie a kubek mosiężny lub butelka szklana nie tonie; dlaczego trudno jest utrzymać się na nogach w rzece o wartkim prądzie, jeśli woda sięga do szyi; dlaczego łódź pływa po wodzie a żelazo po rtęci (zob. § 50).

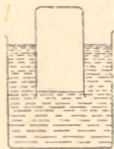
Zadania.

1. Ile wynosi ciśnienie jednostkowe na dnie stawu, którego głębokość wynosi 3 m?
2. Ciężar właściwy terpentyny wynosi 0.9. Jak wysoki jest słup tej cieczy, wywierający takie samo ciśnienie, jak słup wody, który ma 100 cm wysokości?
3. Ile traci na ciężarze ciało o objętości 45 cm³, zanurzone a) w wodzie, b) w terpentynie, c) w rtęci?
4. Ciężarek ołowiany waży w powietrzu 150 gr, w wodzie 137 gr. Ile wynosi ciężar właściwy ołowiu?
5. Dlaczego łatwiej jest pływać po morzu aniżeli po rzece?
6. Kawałek drzewa, wprowadzony do naczynia z rys. 44-go, § 55, wypchnął 18 gramów wody. Ile gramów waży ten kawałek (w powietrzu)?
7. Ciężar właściwy żelaza wynosi 7.5. Ile waży zanurzona w wodzie bryła żelazna, która w powietrzu waży 3 kg?

§ 81. O powietrzu.

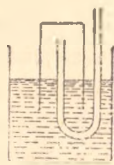
Często zapominamy o powietrzu, w którym jesteśmy zanurzeni. Nie widzimy powietrza, nie posiada ono zapachu, zazwyczaj nie przeszkadza naszym ruchom; dlatego zwracamy na nie mało uwagi. Powiadamy naprzykład, że szklanka, w której nic nie dostrzegamy, jest *próżna* czyli *pusta*. Tym-

czasem rzeczywiście *nie* jest ona pusta; zawiera ona powietrze, które, gdy jest ściskane, stawia opór. Zanurzając szklankę dnem do góry do wody (rys. 73), zobaczymy, że woda nie wchodzi do szklanki; poziom jej w szklance jest niższy niż dokoła. Tak nie mogłoby być według § 74-go, gdyby na wodę w szklance nie działało jakieś ciśnienie, nie pozwalające wyrównać się obu poziomom. Powiadamy zatem: powietrze stawia opór, gdy jest ściskane; *powietrze ma sprężystość objętości*.



Rys. 73.

Powietrze stawia tu opór dlatego, że nie może ująć, że wdzieranie się wody do szklanki musiałoby zmniejszyć *objętość*, jaką powietrze zajmuje. Lecz *postaci* własnej (zob. § 55) powietrze *nie* posiada, podobnie jak nie posiada jej woda. Zmienione w swej postaci, nie okazuje ono dążności do przybrania jej napowrót, jak to czyni stal albo kauczuk. *Powietrze nie ma więc sprężystości postaci*. Pomyślmy, jak dalece bylibyśmy skrepowani w codziennych naszych czynnościach, gdyby powietrze miało sprężystość postaci. Pozwólmy ująć powietrze, zawartemu w szklance (rys. 73); wprowadźmy np. szklankę odrazu razem z rurką do wody, jak to widzimy na rys. 74-ym; zobaczymy, że woda podnosi się w szklance do poziomu tego samego, na jakim stoi dokoła.



Rys. 74.

Jeżeli jednak usiłujemy wywołać ruch nagły i szybki w powietrzu, które przedtem było w spoczynku, doznajemy od powietrza znacznego *bezwładnego oporu*, zupełnie podobnie jak możemy go doznać od wody (§ 56). Z tego powodu *ptak* albo też *samolot* (aeroplan), gdy uderza skrzydłem raptownie, doznaje oporu, który pozwala mu przez chwilę przeciwdziałać sile ciężkości i unosić się w powietrzu. Nabój dynamitowy, położony na powierzchni skały, może ją strzaskać, gdy wybucha; strzaskanie skały jest widocznie łatwiejsze niż gwałtowne odepchnięcie ku górze przylegającej masy powietrza.

§ 82. Powietrze jest łatwiej ściśliwe niż woda.

Powietrze ma zatem sprężystość objętości; zobaczymy, jak znaczną. Wiemy, że woda jest bardzo mało ściśliwa (§ 57). Powróćmy do przyrządu (rys. 47), który posłużył w § 57-ym do unaoznaczenia małej ściśliwości wody. Gdyby w tym samym przyrządzie zamiast wody było powietrze, nie potrzebaby było wówczas 2000 kg, dość byłoby położyć $\frac{1}{10}$ kg czyli 100 gramów, ażeby wcisnąć tłok o 1 mm ku dołowi. Do-

świadczenia tego nie można wykonać w tak prosty sposób; przytaczamy je tylko dlatego, żeby wyjaśnić różnicę w ściśliwości powietrza i ściśliwości wody. *Powietrze jest znacznie łatwiej ściśliwe niż woda*.

§ 83. O ciałach gazowych i ich własnościach.

Znamy rozmaite ciała, których niektóre własności są całkiem odmienne od własności powietrza, które jednakże są podobne do powietrza co do sprężystości i ściśliwości; nazywamy je *ciałami gazowymi* albo krócej *gazami*. Znamy naprzykład wodór, który może palić się; znamy gaz ciężki i duszący, bezwodnik węglowy; znamy zielonawo-żółtawy chlor, gryzący amonjak, siarkowodór, odznaczający się nieznośnym zapachem, gaz oświetlający, tak bardzo pożyteczny w gospodarstwie domowym, chociaż trujący. W nauce chemji uczymy się badać te ciała i rozpoznawać ich odrębne własności.

Mimo tak znacznych różnic, gazy mają wiele podobnych i wspólnych własności. Widzieliśmy przed chwilą, że powietrze, tak samo jak woda, nie ma wcale własnej postaci i zmienia ją z wszelką łatwością. To samo możemy powiedzieć o innych gazach. *Gazy nie mają sprężystości postaci; dlatego też gazy, podobnie jak ciecze (§§ 65, 66, 67), przenoszą ciśnienie z zewnątrz wywierane i roznoszą je we wszystkie strony*.

Jeżeli ciało gazowe doznaje pewnego ciśnienia od ograniczających je ścian (np. od tłoka w przyrządzie (rys. 47) przed chwilą wspomnianym), w takim razie, według zasady działania i przeciwdziałania (§ 4), musi ono odpowiadać własnemu, od wewnątrz skierowanemu ciśnieniem, równie wielkiemu jak wywierane od zewnątrz. *Gazy wywierają ciśnienie we wszystkich kierunkach*.

Gdybyśmy położyli 2000 kg na tłok w walcu, zawierającym powietrze (§§ 57 i 82, rys. 47), ścisnęłoby się ono do małej części swej pierwotnej objętości; ale wywierałoby wówczas na tłok tak ogromne ciśnienie, że ciężar 2000 kg byłby przez nie zrównoważony. Tłok nie mógłby posunąć się niżej ani o najmniejszą część milimetra.

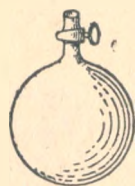
Widzieliśmy, że powietrze wypełnia całą objętość szklanki (rys. 73), od dna aż do powierzchni wody. Każdy gaz zachowuje się podobnie; jeżeli znajduje się w pewnym naczyniu, dochodzi do wszystkich części, do wszystkich zakątków tego naczynia. Dostrzegamy tutaj niejaką różnicę pomiędzy własnościami zwykłej wody (i innych cieczy podobnych) a własnościami gazów. Woda *może* zajmować *część* naczynia, w któ-

rem się mieści; możemy nalać trochę wody do szklanki, tak żeby ciecz wypełniała połowę albo trzecią część pojemności szklanki. Spostrzegamy wówczas w szklance *powierzchnię swobodną wody* t. j. powierzchnię, która oddziela ciecz od znajdującego się nad nią ciała gazowego. W naczyniu, zawierającym zwykle powietrze, nie dostrzegamy nic podobnego; *nie* widać w nim powierzchnia swobodna, która odcinałaby gaz od reszty zawartości naczynia. Różnicę pomiędzy zachowaniem się cieczy i gazów, która się tutaj objawia, rozumiemy lepiej w późniejszym (czwartym) rozdziale tej książki.

§ 84. Ciężar powietrza.

Czy powietrze jest ciężkie? Gdyby powietrze nie miało wcale ciężaru, dym z komina ani para z kotła nie mogłyby podnosić się w niem do góry. Rzeczywiście; czemu korek w wodzie idzie do góry? Ponieważ 1 cm³ korka jest lżejszy niż 1 cm³ wody (§ 80). Widocznie dym i para w jednakowej objętości są lżejsze od powietrza, skoro w niem idą do góry.

Gdyby powietrze nie miało ciężaru, dym i para nie mogłyby być lżejsze od powietrza.



Rys. 75.

Możemy sprawdzić to rozumowanie w sposób bardzo prosty. Posługujemy się w tym celu balonem szklanym czyli banią, której szyjka jest zaopatrzona w szczelny kurek (rys. 75). Ważymy najprzód balon, wypełniony zwyczajnem powietrzem. Następnie, przyłożywszy usta do otworu szyjki, wyciągamy ssaniem o ile można jaknajwięcej powietrza. Zamykamy kurek (ażebymy zewnętrzne powietrze nie napływało do balonu napowrót) i ważymy balon powtórnie. Ciężar jest mniejszy niż w pierwszym ważeniu; powietrze, które wyssałismy, musiało mieć pewien ciężar.

§ 85. Ciśnienie otaczającego nas powietrza (atmosferyczne).

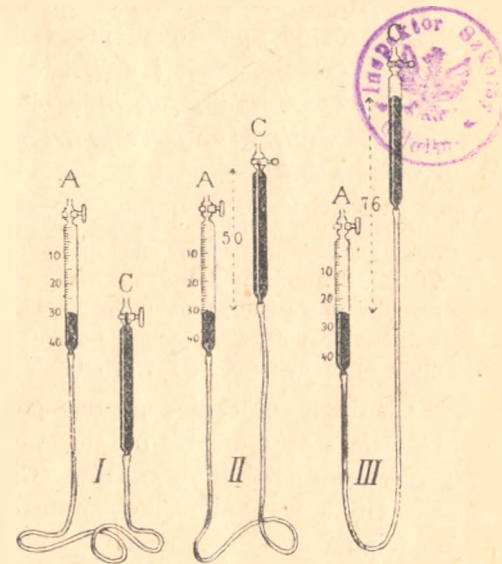
Kula ziemską jest przykryta powłoką powietrza. Wejdźmy na wysoką wieżę, wstąpmy na szczyt góry, wzniesmy się balonem; znajdziemy tam wszędzie powietrze. A zatem żyjemy w głębi ogromnego oceanu powietrza, podobnie jak rośliny dna morskiego żyją w głębi ogromnego oceanu wody.

Wiemy jednak z § 84-go, że ten ocean powietrza, że ta *atmosfera* (jak go nazywamy) *ma ciężar*. Wyobraźmy sobie dolną czyli najniższą warstwę atmosfery, tę, w której poruszamy się, którą oddychamy. Ta warstwa dźwiga na sobie wszystkie warstwy nad nią leżące; a zatem jest przygnieciona ciężarem tych warstw. Ten ciężar jest zewnętrzną siłą, na której działanie warstwa najniższa odpowiada równie wielkiem przeciwdziałaniem; *powietrze w tej warstwie wywiera ciśnienie, odpowiadające ciężarowi wszystkich warstw wyżej leżących*. Jak w każdym gazie, ciśnienie to wyrównywa się we wszystkich kierunkach i jest wywierane we wszystkie strony. To ciśnienie otaczającego nas powietrza nazywamy zwykle *ciśnieniem atmosferycznem*.

W jaki sposób moglibyśmy okazać naocznie, że ciśnienie atmosferyczne rzeczywiście istnieje? Wiemy, że ono powstaje z ciężaru powietrza, podobnie jak ciśnienie w pobliżu dna wysokiego naczynia pełnego wody powstaje z ciężaru tej wody. Spróbujmy zatem postąpić podobnie jak w § 77-ym; spróbujmy posłużyć się podobnym manometrem rtęciowym, jak w przypadku cieczy (rys. 69). Nie możemy wprawdzie wyprowadzić jednego ramienia manometru poza obręb atmosfery; ale *możemy*, zamknąwszy to ramię, *sprawić, ażeby nie było w niem wcale powietrza*. Budujemy w tym celu przyrząd, opisany w artykule następnym.

§ 86. Barometr.

Dwie rurki: A, C są zaopatrzone w szczelne kureczki, jak pokazuje rys. 76; łączą się one ze sobą za pośrednictwem wytrzymałej kauczukowej rury. Nalewamy rtęci do rurek, otwieramy obadwa kureki, następnie obniżamy rurkę C tak, że rtęć przechodzi w niej poza kurek i niele-



Rys. 76.

dwie przelewa się górą (rys. 76, I). W tem położeniu *zamykamy* kurek *C* i podnosimy rurkę *C* do góry. Podnosząc tę rurkę powoli do góry, widzimy, że poziom rtęci w niej *nie* opada; możemy podnieść kurek *C* o 20, o 50, nawet o 70 centymetrów powyżej poziomu rtęci w *A*, a rtęć w *C* nie opadnie (rys. 76, II). Podnieśmy rurkę *C* jeszcze wyżej; np. tak, żeby kurek *C* był wzniesiony o *metr* ponad poziom rtęci w *A*. Wówczas dostrzegamy nowe zjawisko. Rtcę w *C* odrywa się od kurka, ale nie opada całkowicie; *zatrzymuje się na wysokości 76 cm ponad poziomem w A* (rys. 76, III). Jeśli podnieśliśmy rurkę *C* jeszcze wyżej, poziom rtęci nie podniesie się w niej, ani się nie zniży, lecz *zostanie wzniesiony o 76 cm ponad poziom w A*. Powiadamy, że w rurce *C*, pomiędzy rtęcią a kurkiem, mamy teraz próżnię. Istotnie, powietrze tam dostać się nie mogło ani przez kurek (jeśli jest szczelny), ani przez rtęć, ani przez szkło. Zresztą, opuszczając teraz rurkę *C* nadół, dostrzegamy, że rtęć mocno uderza o szkło, wydając odgłos suchy; znak, że tam niema powietrza, które (jak poduszka) łagodziłoby uderzenie rtęci.

Czemu w położeniu III (rys. 76) poziom rtęci w *C* trzyma się o 76 cm wyżej od poziomu w *A*? Co podtrzymuje słup rtęci 76 cm wysoki? Skoro pomiędzy rtęcią a kurkiem w *C* jest próżnia, przeto niema tam żadnego ciśnienia na rtęć, więc ciśnienie powietrza w *A* jest powodem różnicy poziomów. *Zwykle atmosferyczne powietrze* (jakie nas otacza) *wywiera jednostkowe ciśnienie, które może podtrzymywać słup rtęci o wysokości 76 centymetrów*.

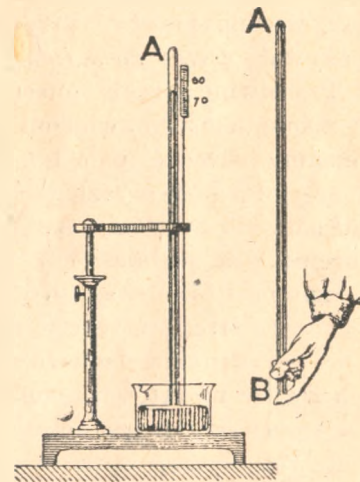
Rozumiemy teraz, dlaczego rtęć nie odrywała się od kurka *C*, dopóki on był wzniesiony nad poziom w *A* o 20, 50 lub 70 cm (rys. 76, II). Rozumiemy także, dlaczego, skoro już rtęć oderwała się i próżnia utworzyła się, dalsze podnoszenie rurki *C* nie miało wpływu na wzniesienie górnego poziomu nad dolnym. Albowiem próżnia, czy zajmuje małą objętość, czy dużą, nie wywiera żadnego ciśnienia.

Ciśnienie otaczającego nas powietrza nie jest jednakże dokładnie stałe; nie równa się ono zawsze ciśnieniu słupa rtęci o wysokości 76 centymetrów. Ciśnienie powietrza ulega nieustannym wahaniom, zależnym od stanu pogody. Gdy burza nadejga, ciśnienie powietrza nieraz zmniejsza się dosyć raptownie. Przy pięknej pogodzie, przeciwnie, zwłaszcza zimą, gdy panują długotrwałe mrozy, ciśnienie powietrza bywa

zwykle wysokie i mało zmienne. Zarówno z naukowych jak z praktycznych względów jest rzeczą ważną umieć zmierzyć ciśnienie, panujące w danej chwili w powietrzu pewnej miejscowości. Do tego celu może posłużyć przyrząd, który opisaliśmy w artykule niniejszym. Ażeby zmierzyć ciśnienie powietrza, wystarczy zmierzyć pionową różnicę wysokości poziomów rtęci w rurkach *A* i *C* (rys. 76, III). W tem znaczeniu nazywamy ów przyrząd *barometrem*.

§ 87. Doświadczenie Torricelliego.

Doświadczenie poprzednie można inaczej wykonać. Rurkę *A* (rys. 77), u jednego końca zamkniętą, u drugiego otwartą, o długości przenoszącej 76 cm, wypełniamy rtęcią. Następnie zamykamy ją palcem, przewracamy i wprowadzamy pod rtęć do płaskiego naczynia; odejmujemy palec, gdy otwór rurki zanurzył się pod rtęcią w tem naczyniu. Rtcę spada w rurce *A* i zatrzymuje się o 76 cm nad poziomem w płaskim naczyniu. Możemy przekonać się o tem zapomocą krótkiej podziałki, do której przytwierdziliśmy prosty drut stalowy, mający około 65 cm długości. Obraz drutu odbija się w rtęci, łatwo więc zobaczyć, kiedy dotyka jej zwierciadła. Widzimy, że przyrząd ten jest tylko odmianą urządzenia, przedstawionego na rys. 76, III.



Rys. 77.

Ciśnienie powietrza na rtęć w płaskim naczyniu podtrzymuje słup rtęci, podniesiony w rurce *A*, ponieważ nad rtęcią w *A* jest próżnia; zupełnie podobnie ciśnienie powietrza na lewy poziom w dawniejszym przyrządzie (rys. 76, III) podtrzymywało prawy poziom, wzniesiony wyżej o 76 cm. W obu razach *ciśnienie atmosferyczne powietrza równoważy ciężar podniesionego słupa rtęci*.

Torricelli, uczeń Galileusza, wykonał po raz pierwszy (w roku 1643) opisane tu doświadczenie i udowodnił tym sposobem, że istnieje rzeczywiście ciśnienie atmosferyczne.

747

§ 88. Jak wielkie jest ciśnienie atmosferyczne.

W przyrządzie, wyobrażonym na rys. 77-ym, weźmy rurkę szerszą, np. rurkę *B* o przecięciu dwa razy większem niż przecięcie poprzedniej rurki *A*. Czy słup podniesiony w nowej rurce *B* będzie miał również wysokość 76 cm? Gdyby tak było, słup w rurce *B* zawierałby dwa razy tyle rtęci, ważyłby zatem dwa razy więcej niż słup w *A*; więc mogłoby się może przez chwilę wydawać, że w *B* słup powinien być niższy; *ale tak nie jest*. Ciężar słupa w *B* będzie wprawdzie dwa razy większy niż ciężar słupa w *A*; ale zato będzie się rozpościarał na *pole* dwa razy większe. Ciśnienie zatem na jednostkę pola (§ 63) czyli *jednostkowe* będzie w obu razach *jednakowe*. Możemy więc powiedzieć, że *miarą ciśnienia powietrza jest słup rtęci o wysokości 76 cm*; nie potrzebujemy dodawać, jak wielkie ma być przecięcie tego słupa. Takie ciśnienie nazywa się *ciśnieniem jednej atmosfery*.

Przeciwnie, jeżeli chcemy porównać ciśnienie powietrza z ciśnieniem, sprawianem np. przez kilogram na podstawę, musimy określić pole tej podstawy; kilogram bowiem ciśnie inaczej na pole o rozległości 10 cm² niż na pole o rozległości 20 cm². Przypuśćmy, że rurka *A* (rys. 77) ma 1 cm² przecięcia; słup podniesionej w niej rtęci zawiera więc 76 cm³, a zatem (§ 50) waży $76 \times 13.5 = 1026$ gramów. Zatem słup rtęci w rurce *A* wywiera ciśnienie przeszło kilograma na każdy centymetr kwadratowy przecięcia, na którym łączy się z rtęcią szerokiego naczynia; takie jest ciśnienie powietrza. Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy. Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 78). Na stół o rozległości naprzykład jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą, równą ciężarowi 10260 kilogramów.



Rys. 78. Powietrze atmosferyczne wywiera ciśnienie przeszło kilograma na centymetr kwadratowy. Jest to potężne ciśnienie, bo centymetr kwadratowy to niewielka rozległość (rys. 78). Na stół o rozległości naprzykład jednego metra kwadratowego powietrze ciśnie siłą, równą ciężarowi 10260 kilogramów.

Zadania.

1. Ile wynosi ciśnienie powietrza (w gramach na cm²), gdy wysokość barometru wynosi 70 cm rtęci?
2. Ile wynosi wówczas ciśnienie całkowite, wywarne przez powietrze na pole 0.8 m²?
3. Jak wysoki byłby słup barometryczny, gdyby gęstość rtęci wynosiła 6.75 gr na cm³?
4. O ile obniżyłby się poziom rtęci w barometrze o przekroju 1 cm², gdyby można było na jej powierzchni położyć tloczek ważący 40.5 gr?
5. Jak wysokim słupem wody możnaby zrównoważyć ciśnienie powietrza?

§ 89. Jak działa ciśnienie powietrza.

Ciśnienie powietrza działa na powierzchnię wszystkich ciał w niem zanurzonych; podobnie jak ciśnienie w cieczach, działa ono jednakowo na wszystkie strony: ciśnie zarówno od góry, jak od dołu oraz z boków. Z tego powodu nie spostrzegamy pospolicie skutków tego ciśnienia, jakkolwiek ciśnienie całkowite na powierzchnię naszego ciała jest bardzo znaczne.

We wnętrzu naczyń, które mają choćby najmniejszy otworek, łączący je z zewnętrznem powietrzem, podobnież w budynkach, połączonych z niem kominami, szczelinami w drzwiach, oknach itp., ciśnienie jest to samo jak w zewnętrznem powietrzu.

Tak samo będzie, jeżeli naczynie, najprzód otwarte, zamkniemy korkiem, albo zapomocą kurka. Powietrze w takim naczyniu nie jest wprawdzie bezpośrednio ściskane przez warstwy nad niem leżące, ale działaniem swem poprzedniemi warstwy te wgniotły do naczynia powietrze już ściśnięte aż do ciśnienia atmosferycznego, czego zamknięcie albo przestawienie kurka w niczem zmienić nie może. Ściany takiego naczynia, wypełnionego powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym, są nieco ściśnięte ciśnieniem, które działa *jednakowo* po jednej i drugiej stronie; ale nie istnieje w naczyniu nacisk jednostronny, któryby zdołał zgnieść je w sposób podobny, jak można to uczynić, cisnąc jednostronnie, np. ręką.

Inaczej mają się rzeczy, jeżeli do pewnej objętości wcisniemy powietrza więcej, aniżeli go się zbiera pod ciśnieniem atmosferycznym, albo wtedy, jeżeli to powietrze rozrzedzimy, tak, iż będzie go mniej, niż było pod ciśnieniem atmosferycznym. Takie zgęszczenie albo rozrzedzenie możemy sprawić w ten sposób, że pewną masę powietrza wciskamy w objętość mniejszą, albo też, jeżeli ją rozprowadzamy po objętości większej aniżeli ta, którą ona zajmowała pod ciśnieniem atmosferycznym.

§ 90. Jak zachowuje się powietrze, gdy je zgęszczamy albo rozrzedzamy.

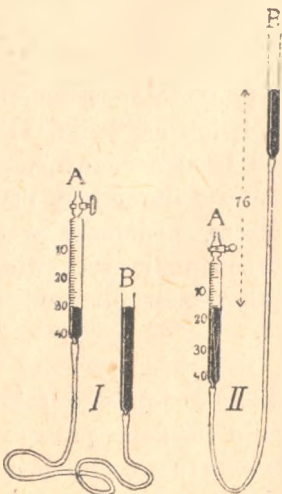
Powracamy do doświadczeń, któremi zajmowaliśmy się w § 86-ym. Rysunek 79 wyobraża przyrząd, którym posługujemy się obecnie. Rurka *A* ma podziałkę, wskazującą, ile zawiera się w niej centymetrów sześciennych, poczynając od

kurka. Otwieramy kurek w *A* i doprowadzamy rtęć do pewnej kreski. Oba poziomy (w *A* i w *B*) stoją jednakowo wysoko (rys. 79, I), ponieważ na obadwa działa to samo atmosferyczne ciśnienie. Przekręcamy teraz kurek *A*; tym sposobem zamknęliśmy w rurce *A* pewną ilość powietrza pod ciśnieniem atmosferycznym. Podnosimy rurkę *B*; dostrzegamy wówczas dwa skutki: 1° objętość powietrza zamkniętego w *A* zmniejszyła się; to znaczy, że gęstość tego powietrza (§ 50) wzrosła; 2° pionowo mierzona odległość poziomów w *A* i w *B* powiększyła się; stąd wnosimy, że ciśnienie powietrza zawartego w *A* stało się większe (rys. 79, II). *Jeżeli zatem zmniejszamy objętość pewnej ilości powietrza (czyli,*

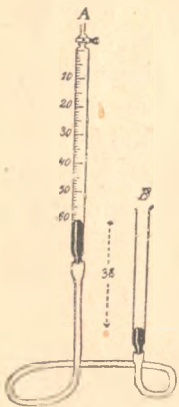
innymi słowy, jeżeli zwiększamy jego gęstość), wówczas ciśnienie powietrza wzrasta.

*Zmniejszaliśmy] dotychczas objętość powietrza, zamkniętego w rurce *A*; w tym samym przyrządzie możemy tę objętość powiększać. Opuścimy nadół rurkę *B* (rys. 80), zamiast ją podnosić do góry. Objętość powietrza w *A* powiększa się; poziom w rurce *A* stoi przytem wyżej niż w rurce *B*. *A* zatem powietrze zawarte w *A* wywiera teraz ciśnienie *mniejsze* niż atmosferyczne. Powiadamy zatem: *jeżeli powiększamy objętość pewnej ilości powietrza (czyli zmniejszamy jego gęstość), wówczas ciśnienie powietrza maleje.**

Na rtęć w rurce *B* działa ciśnienie 1 atmosfery. Jeżeli zatem poziomy w *A* i w *B* stoją jednakowo wysoko, wiemy wówczas, że powietrze w *A* wywiera ciśnienie, równe ciśnieniu słupa rtęci o wysokości 76 cm; albo, jak krótko mówimy, ciśnienie 76 cm. Jeżeliby poziom w *B* stał (przypuścimy) o 38 cm *wyżej* niż w *A*, wprowadzilibyśmy stąd wniosek, że powietrze w *A* wywiera ciśnienie 76 + 38 czyli 114 cm, lub inaczej 1·5 atmosfery. W ten sposób obliczamy ciśnienie powietrza zamkniętego w *A* z różnicy wysokości



Rys. 79.



Rys. 80.

obu poziomów. Ustawiamy teraz rtęć pokolei w pobliżu rozmaitych kresek rurki *A*; odmierzamy za każdym razem pionową odległość obu poziomów, obliczając stąd ciśnienie powietrza w rurce *A*. Otrzymamy naprzykład:

Objętość powietrza w <i>A</i>	Odległość pomiędzy poziomami <i>A</i> i <i>B</i>	Ciśnienie powietrza zamkniętego w <i>A</i>
30 cm ³	Zero	76 cm czyli 1 atm.
20 cm ³	38 cm	114 cm czyli 1·5 atm.
15 cm ³	76 cm	152 cm czyli 2 atm.
10 cm ³	152 cm	228 cm czyli 3 atm.

Gdy objętość powietrza zmniejsza się do połowy (np. z 30 do 15, z 20 do 10 cm³), ciśnienie powiększa się w dwójnasób. Tak zachowuje się powietrze. *Ile razy zmniejszamy objętość pewnej ilości powietrza (ile razy zatem zwiększamy jego gęstość), tyle razy powiększa się ciśnienie powietrza.*

Jeżeli poziom w *B* stoi *niżej* niż w *A* (rys. 80), wówczas, ażeby obliczyć ciśnienie powietrza zamkniętego w *A*, *odejmujemy* pionową odległość poziomów od 76 cm. Wykonawszy takie doświadczenie, otrzymujemy naprzykład:

Objętość powietrza w <i>A</i>	Odległość pomiędzy poziomami <i>A</i> i <i>B</i>	Ciśnienie powietrza zamkniętego w <i>A</i>
40 cm ³	19 cm	57 cm czyli 0·75 atm.
60 cm ³	38 cm	38 cm czyli 0·50 atm.

Porównajmy te ciśnienia z poprzednimi:

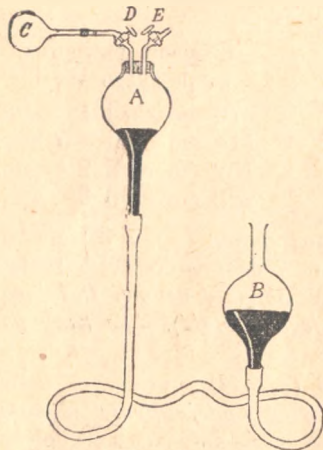
Objętość powietrza	Ciśnienie	Objętość powietrza	Ciśnienie
20 cm ³ . . .	1·50 atm.	30 cm ³ . . .	1·00 atm.
40 cm ³ . . .	0·75 atm.	60 cm ³ . . .	0·50 atm.

Ile razy zwiększamy objętość pewnej ilości powietrza (ile razy zatem zmniejszamy jego gęstość), tyle razy zmniejsza się ciśnienie powietrza. Łatwo zrozumieć, że obadwa prawidła, ohczne i wypowiedziane przed chwilą, nie różnią się wcale między sobą i wyrażają tę samą zasadę, zwaną *prawem ściślności gazów* albo *prawem Boyle'a* (czyt. Bojla).

§ 91. Pompa pneumatyczna rtęciowa.

Ostatnie doświadczenie (rys. 80) naprowadza na pomysł zbudowania tak zwanej pompy pneumatycznej, która służy do wyciągania powietrza. Wyobraźmy sobie balon szklany *A* (rys. 81), do którego wchodzi dwie rurki. Jedna prowadzi do naczynia *C*, z którego chcemy wyciągnąć powietrze; ta może być zamknięta kurkiem *D*. Druga prowadzi wprost nazewnątrz i może być zamknięta kurkiem *E*. Możemy zniżyć

i podnosić rtęć w balonie *A*, zniżając lub podnosząc balon *B*, który łączy się z *A* przez wytrzymałą rurkę kauczukową.



Rys. 81.

Najprzód podnosimy rtęć w balonie *A* aż do kurków *D* i *E*. Następnie zamykamy *E*, łączymy *D* z naczyniem *C* i opuszczamy rtęć w *A*. Rtęć, opadając, pozostawiałaby w balonie próżnię, gdyby nie powietrze w *C*, które napływa do *A*. Jednak ta ilość powietrza, która pod ciśnieniem jednej atmosfery zajmowała objętość naczynia *C*, rozchodzi się teraz po obu naczyniach *C* i *A*; mamy więc teraz w *C* ciśnienie zmniejszone.

Jeżeli objętość balonu *A* jest przypuścimy 3 razy większa niż objętość naczynia *C*, w takim razie, według § 90-go, ciśnienie w *C* zmniejszyło się z jednej atmosfery do 0,25 atmosfery.

Zamykamy teraz kurek *D*, podnosimy w *A* rtęć do góry i otwieramy kurek *E*. Tym sposobem wypędzamy nazewnątrz powietrze, które napłynęło było z *C* do *A*. Podniósłszy rtęć jak można najwyżej, znów zamykamy *E*, otwieramy *D* i opuszczamy rtęć, jednym słowem powtarzamy, co czyniliśmy przed chwilą. Powietrze z *C* rozejdzie się znów po przyrządzie, ciśnienie w *C* zmniejszy się znowu. Tak samo postępować będziemy dalej. Po kilku poruszeniach rtęci otrzymamy w *C* bardzo małe ciśnienie, t. j. usuniemy stamtąd powietrze prawie zupełnie.

Do doświadczeń z pompą rtęciową, jak również do opisanych w kilku poprzednich artykułach, należy używać rtęci czystej. Rtęć, znajdującą się w handlu, bywa zazwyczaj dość czysta, trzeba ją tylko *przefiltrować* a często i wysuszyć. Z rtęcią należy obchodzić się ostrożnie, zwłaszcza zaś unikać ogrzewania jej w otwartych naczyniach.

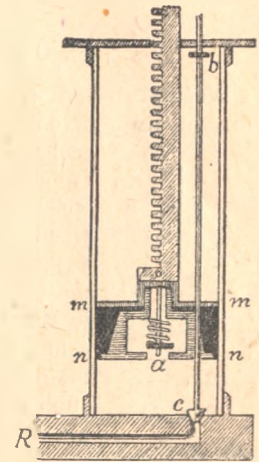
§ 92. Pompy pneumatyczne innej budowy.

Można powiedzieć, że pompa rtęciowa, wyżej opisana, ma tłok zrobiony z rtęci. Budują też często pompy pneumatyczne o tłokach drewnianych lub metalowych, obciążonych skórą. Zamiast kurków (jak *D* i *E* na rys. 81) robią wówczas *zastawki* (*wentyle*) czyli kłapy, które

samo pompowane powietrze odmyka i zamyka. Na rys. 82-im widzimy istotną część maszyny podobnej. Przez tłok przechodzi środkiem kanał, od dołu zamykany zastawką *a*, od góry łączący się z zewnętrznym powietrzem. Z boku tkwi w tłoku pręt *bc*, poruszający się razem z tłokiem do góry i na dół, o ile pozwalają na to: zatyczka *c* i haczyk *b*. Gdy tłok *mmnn* posuwa się do góry, pręt *bc* podnosi się, kanał *R* jest więc *zotwarty*, natomiast *a* zamyka się zaraz pod naciskiem zewnętrznego powietrza, gdy ruch tłoka rozrzedza pod nim powietrze: zatem ostatecznie powietrze jest pompowane przez *R*, np. z pod dzwonu (rys. 83). Przeciwnie, gdy tłok *mmnn* posuwa się nadół, pręt *bc* opuszcza się i zamyka *R*; powietrze, które napłynęło było do walca, ściskane, nabiera większego ciśnienia, nareszcie otwiera klapę *a* i wychodzi nazewnątrz.



Rys. 83.



Rys. 82

W doświadczeniach z pompą przydatny bywa *talerz* (rys. 83), przez który prowadzi rura do pompy; na talerzu umieszcza się przedmioty, które mają znaleźć się w próżni, przykrywając je przyszlifowanym dzwonem szklanym. Dla szczelności brzeg tego dzwonu smarujemy łojem albo wazeliną albo mieszaniną parafiny z wazeliną. Podobnym smarem smarujemy również szlifowane części kurków szklanych.

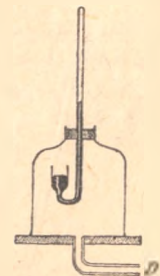
§ 93. Doświadczenia, okazujące ciśnienie powietrza.

Przy pomocy pompy pneumatycznej sprawdzamy, co powiedzieliśmy o ciśnieniu powietrza. Wstawmy pod dzwon z rys. 83-go butelkę, za-



Rys. 84.

opatrzoną w korek, przez który przechodzi rurka wyciągnięta (rys. 84); w butelce tej znajduje się woda. Gdy pompa zaczyna działać, woda tryska z rurki. Albo też wprowadźmy barometr pod dzwon pompy, jak wskazuje rys. 85. Słup w barometrze będzie spadał coraz niżej, im dłużej pompa będzie działała. Zamknijmy wylot rury w talerzu (rys. 83) palcem lub dłonią; w miarę pompowania czujemy, że coś wtlacza nam skórę do rurki. Postawmy na talerzu szeroką rurę szklaną, której otwór górny obwiązaliśmy pę-



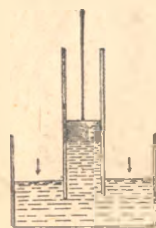
Rys. 85.

cherzem lub błoną kauczukową; wskutek działania pompy błona staje się wklęsłą ku dołowi i nareszcie pęka. Wszystkie te skutki sprawia

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

§ 94. O pompach, studniach, sikawkach i t. p.

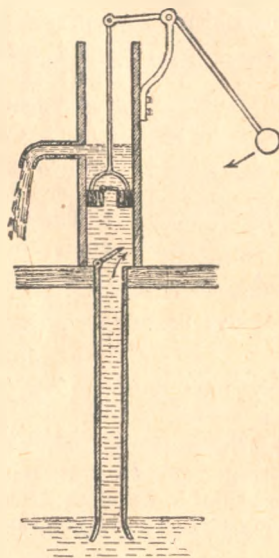
Weźmy rurkę, w której porusza się tłok (rys. 86); zanurzamy ją dolnym otworem do wody i podnosimy tłok. Tym sposobem tworzy się



Rys. 86.

pod tłokiem próżnia, którą natychmiast wypełnia woda, bo wciska ją tam ciśnienie zewnętrznego powietrza. To doświadczenie objaśnia, czemu możemy pić napoje, ciągnąc je rurką lub słomką. Na tej samej zasadzie polega działanie pomp wodnych w zwykłych studniach. Rysunek 87, który przedstawia przecięcie takiej studni, pozwala zrozumieć bez dalszych objaśnień ruch tłoka, grę klap, płynięcie wody, jakie powtarzają się w niej za każdym poruszeniem rękojeści. Budowa *sikawek* polega w zasadzie na urządzeniu podobnem.

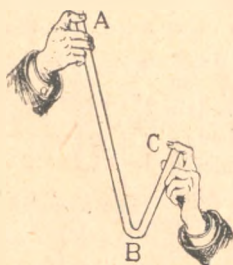
Gdybyśmy zanurzyli rurkę z tłokiem (rys. 86) do rtęci, wiemy, że wciągnęlibyśmy ją na wysokość 76 cm, ale nie wyżej (porówn. §§ 86, 87 i 88). Woda jest 13·5 razy mniej ciężka od rtęci, więc można podnieść w ten sposób wodę o wysokość 13·5 × 76 cm czyli o wysokość przeszło 10 metrów; ale nie wyżej. Zwyczajna pompa nie może podnieść wody o większą wysokość.



87.

§ 95. Lewar.

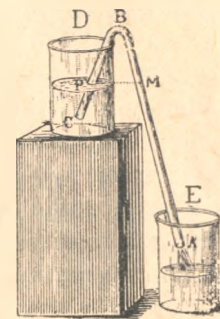
Weźmy rurkę szklaną zgiętą, jaką widzimy na rys. 88. Napełniamy ją wodą, zamykamy otwory *A* i *C* palcami i, odwróciwszy rurkę zgięciem *B* do góry, wstawiamy ją do naczyń *D* i *E*, jak pokazuje rys. 89. Odejmujemy palec od otworu *C*, zanurzonego w wodzie w naczyniu *D*; ale drugi palec trzymamy na otworze *A*, znajdującym się w powietrzu. Wówczas ciecz w rurce *CBA* znajduje się w równowadze. Wyobraźmy sobie miejsce *P*, wewnątrz rurki *CB*, leżące w poziomie, na którym stoi ciecz w naczyniu *D*. Wyobraźmy sobie drugie miejsce *M*, leżące znów w tym samym poziomie, ale w kolanie *BA*. Powiadamy,



Rys. 88.

że ciśnienie w cieczy w miejscach *P* i *M* jest jednakowe. Rzeczywiście: *P* i *M* leżą w tym samym poziomie, zatem ciśnienie w nich musi być

jednakowe, tak samo, jak jest jednakowe na kwadracik *a* w § 69-ym (rys. 56) i na kwadraciki sąsiednie. Wprawdzie te kwadraciki, sąsiadujące ze sobą, leżały tuż obok siebie w jednym naczyniu, tu zaś *P* i *M* łączą się tylko przez rurę *PBM*; ale to nie stanowi różnicy, skoro ciecz ma własność roznoszenia na wszystkie strony działającego w nich ciśnienia (§ 65). Wiemy teraz, że w *P* działa ciśnienie atmosferyczne, skoro ciecz w naczyniu *D* dokoła znajduje się na otwartem powietrzu. A zatem powiadamy: w miejscu *M* działa także ciśnienie atmosferyczne. W miejscu *A*, wewnątrz rury, działa to samo ciśnienie, nadto jeszcze przewyżka ciśnienia, odpowiadająca różnicy wysokości poziomów *M* i *A*. Obie te siły razem wzięte równoważymy oporem palca.



Rys. 89.

Odejmiemy teraz palec od otworu *A*; wówczas na powierzchnię cieczy w *A* działa ciśnienie otaczającego powietrza, czyli atmosferyczne. Rozumiemy łatwo, że kolumna *MA* nie może teraz pozostać w równowadze. Od góry działają na nią dwie siły: ciśnienie atmosferyczne i wspomniana przewyżka ciśnienia; od dołu działa tylko ciśnienie atmosferyczne. Woda musi popłynąć nadół.

Przyrząd tu opisany nazywa się *lewarem*; służy do przelewania jakiegobądź cieczy z naczyń wyżej położonych do położonych niżej, bez poruszania ich z miejsca.

§ 96. Jak można zważyć powietrze.

Wiemy z § 84-go, że powietrze ma ciężar. Przy pomocy pompy pneumatycznej, dokładnej wagi oraz bani szklanej zaopatrzonej w kurek (rys. 75) możemy zważyć pewną objętość powietrza. Zapomocą pompy wyciągamy powietrze z bani; następnie, zamknąwszy kurek, zawieszamy banię na wadze i równoważymy ją śrutem lub rtęcią. Nareszcie otwieramy kurek i dokładamy tyle ciężarków, ile potrzeba do przywrócenia równowagi. Dołożymy w tym celu 1·2 grama, jeśli bania aż do kurka ma litr objętości. Zatem *litr otaczającego nas powietrza atmosferycznego* (pozostającego pod ciśnieniem jednej atmosfery) *waży 1·2 grama*.

Powietrze ma zatem ciężar stosunkowo dość znaczny. Duży pokój może mieć po 5 m długości i szerokości a wysokości 4 m; w takim razie zawarte w nim powietrze waży 120 kg.

Litr wody waży kilogram, zatem zwykle powietrze jest około 833 razy mniej ciężkie niż woda, t. j. ma ciężar właściwy $\frac{1}{833}$.

§ 97. Powietrze usiłuje wyprzeć ciało w niem zanurzone.

Wiemy z § 78-go, że ciało zanurzone w wodzie traci pozornie na ciężarze; mianowicie traci tyle, ile waży woda wyparta przez ciało. Zapytujemy: czy ciało zanurzone w powietrzu doznaje w niem podobnej straty pozornej? Czy do powietrza stosuje się zasada Archimedesesa? Ażeby odpowiedzieć na te pytania, weźmy do pomocy małą ważkę (rys. 90), na której zrównoważymy lekką (pustą w środku) kulę ciężarkami lub śrutem. Zrównoważyliśmy kulę w powietrzu. Jeżeli zatem ciało zanurzone w powietrzu doznaje parcia do góry, równego ciężarowi wypchniętego powietrza, kula, która ma objętość większą niż ciężarki, doznaje większego parcia niż one. A zatem kula w rzeczy samej musi być *cięższa* niż ciężarki; zrównoważy się z niemi w powietrzu jedynie dzięki pomocy parcia, którego doznaje od powietrza. Rzeczywiście: wstawmy ważkę pod dzwon pompy pneumatycznej i wyciągnijmy powietrze; zobaczymy, że strona ważki, po której wisi kula, przechyla się ku dołowi.



Rys. 90.

Przypuśćmy, że kula w przyrządzie rys. 90-go ma 1000 cm³ czyli 1 litr objętości; że jest zrobiona z bardzo cienkiej blachy, tak, że waży kilkanaście gramów. W takim razie ciężarki (które zazwyczaj bywają mosiężne) zajmują tylko kilka cm³ i możemy wypuścić z uwagi parcie, którego doznają w powietrzu. Zrównoważywszy kulę w powietrzu, widzimy, jak wyżej powiedziano, że w próżni kula przeważa. Teraz, zrównoważywszy kulę w powietrzu, dodajmy jeszcze 1·2 grama po stronie ciężarków; wówczas w powietrzu ciężarki będą przeważały, ale w *próżni* będzie właśnie *równowaga*. To dowodzi, że ciężar kuli w powietrzu zmniejsza się wskutek parcia o 1·2 grama. Zatem litr powietrza musi ważyć 1·2 grama, jak powiedzieliśmy w artykule poprzednim (§ 96).

§ 98. O balonach.

Zamknijmy koreczkiem próżną szklaną flaszeczkę i włóżmy ją następnie do wody; flaszeczka nie tonie lecz wypływa ku górze. Szkło (z którego wyrobione są ścianki flaszeczki) jest cięższe od wody; dlatego flaszeczka tonie, gdy jest pełna

wody. Dopóki jednak flaszeczka jest pusta (czyli zawiera tylko powietrze), parcie do góry (§ 78) jest tak znaczne, że przewycięża ciężar szkła i powietrza.

Zupełnie podobna jest zasada kauczukowych baloników dziecinnych oraz wielkich *balonów*, w których ludzie wznoszą się i odbywają podróże w powietrzu. Baloniki i balony bywają wypełnione gazem oświetlającym, który w jednakowej objętości jest *lżejszy* od powietrza. Według § 97-go, baloniki i balony doznają od powietrza parcia do góry, które równa się ciężarowi wypchniętego przez nie powietrza. Ponieważ gaz, wypełniający balon, waży *mniej* niż ta sama objętość powietrza, więc jest rzeczą zrozumiałą, że owo parcie do góry może przenosić ciężar gazu oraz powłoki balonu.

Możemy sprawdzić to rozumowanie następującem doświadczeniem: balonik kauczukowy, wypełniony gazem, gdy umieścimy go pod dzwonem pompy pneumatycznej, wlatuje oczywiście do góry, dopóki w dzwonie znajduje się zwykle powietrze; lecz opada na talerz, skoro pompa, począwszy działać, rozredza powietrze.

§ 99. Im wyżej w atmosferze, tem ciśnienie powietrza jest mniejsze.

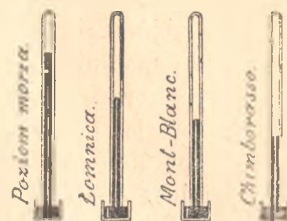
Wiemy (§ 68), że w słupie wody panuje ciśnienie, które wynika z ciężaru wody; dlatego też, im głębiej w cieczy, tem owo ciśnienie jest większe. Innemi słowy, idąc w słupie do góry, trafiamy na coraz mniejsze ciśnienie.

W oceanie powietrza, który otacza naszą planetę, musi być zupełnie podobnie. Wiemy z § 85-go, że ciśnienie w każdej warstwie atmosfery wynika z ciężaru warstw wyżej leżących. A zatem *w miarę oddalania się od powierzchni ziemi ciśnienie powietrza musi być coraz mniejsze*; my zaś, mieszkając na dnie atmosfery, doznajemy *największego* ciśnienia powietrza.

Że tak jest, okazuje się w każdej podróży balonem. Przy wzlocie balonu, na powierzchni ziemi, barometr pokazywał (przypuśćmy) 76 cm; w takim razie będzie pokazywał:

- w wysokości 1000 m nad ziemią około 67 cm
- w wysokości 2000 m nad ziemią około 59 cm
- w wysokości 5000 m nad ziemią około 41 cm.

Na wycieczkach w góry możemy sprawdzić przy pomocy barometru, że ciśnienie powietrza jest coraz mniejsze, w miarę jak wnosimy się wyżej i wyżej. Ażeby to unaocznić, pokazano na rys. 91-ym wysokość, jaką miałby barometr u poziomu morza, na szczycie tatrzańskim Łomnicy, na górze Mont-Blanc i na górze Chimborasso.



Rys. 91.

Stąd łatwo zrozumieć, że na wycieczce górskiej możemy sądzić o naszym wzniesieniu z wysokości, którą wskazuje barometr.

§ 100. Im wyżej w atmosferze, tem powietrze jest rzadsze.

Jeżeli ciśnienie powietrza w atmosferze jest coraz mniejsze, im dalej od powierzchni ziemi, zatem, na zasadzie § 90-go, musimy wyprowadzić stąd wniosek następujący: *im dalej od powierzchni ziemi, tem gęstość powietrza jest mniejsza, tem powietrze jest rzadsze.* Istotnie: w górach i w balonie znajdujemy coraz rzadsze powietrze, im wyżej się wnosimy. Dlaczego nie dostrzegamy w wodzie podobnego przyrostu gęstości ku dołowi, np. w dużym zbiorniku? Bo woda jest nadzwyczaj mało ściśliwa (§ 57). Ciężar nawet wysokiego słupa wody jest jeszcze zbyt słaby, ażeby mógł ścisnąć wodę w sposób dostrzegalny. Przeciwnie, powietrze jest znacznie bardziej ściśliwe niż woda (§ 82).

A zatem słup wody jest nieledwie podobny do stosu cegieł, leżących na sobie; słup powietrza jest raczej podobny do stosu materaców sprężynowych, leżących na sobie; im który niżej leży, tem mocniej jest ściśnięty.

Zadania.

1. Dlaczego, wydymając pneumatyk rowerowy zapomocą pompki, odczuwamy na początku wysiłek mniejszy, aniżeli na końcu?
2. Ile będzie wynosiło ciśnienie powietrza, które początkowo znajdowało się pod ciśnieniem atmosferycznym, a następnie zostało wtłoczone do naczynia o objętości równej $\frac{1}{3}$ objętości pierwotnej?
3. Co dzieje się z balonem, jeżeli podróżny wyrzuci worek z balastem? Co dzieje się, gdy część gazu, przeniknąwszy przez powłokę balonu, uszła nazewnątrz?

4. Odważyliśmy kilogram żelaza i kilogram drewna w powietrzu; czy ciężary obu tych ciał są istotnie równe?

5. Jaki jest prawdziwy ciężar zamkniętego naczynia, ważącemu w powietrzu 1 kg, jeżeli objętość naczynia wynosi 3 litry?

6. Pod jakim ciśnieniem wypływa woda z lewara, w którym różnica poziomu ujścia dolnej rury i poziomu wody w naczyniu górnem wynosi 1 metr?

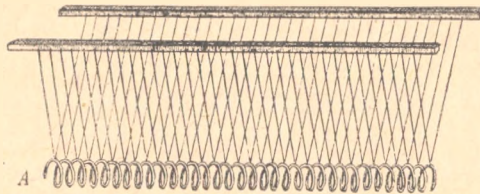
ROZDZIAŁ TRZECI.

O falach. O głosie.

§ 101. Ruch może przebiegać przez ciała.

Kiedy powóz posuwa się po drodze lub kiedy kamień, spadając, biegnie ku ziemi, widzimy, że wszystkie części powozu albo kamienia uczestniczą w ruchu. Takimi zjawiskami ruchu zajmowaliśmy się w pierwszym rozdziale tej książki.

Wydarzają się niekiedy inne zjawiska ruchu, zupełnie odmiennego rodzaju. Ażeby poznać ich przykład, posługujemy się bardzo długą sprężyną, jaką wyobraża rys. 92.



Rys. 92.

Możemy sporządzić taką sprężynę, nawijając starannie drut dokoła rury o stosownej średnicy.

Do doświadczeń, które opiszemy, potrzeba sprężyny o długości około 2

metrów. Dobrze jest wziąć drut miedziany o średnicy 2 mm, rurce, a więc i każdemu skrętowi, dać około 7 cm średnicy i okręcić rurę około 70 razy na długości 2 metrów.

Zawieszamy sprężynę, jak pokazuje rys. 92. Uderzamy teraz koniec *A* młotkiem i przyglądamy się bacznie zachowaniu się sprężyny. W końcu, który uderzyliśmy, kilka pierwszych skrętów ściska się raptownie; inne, dalsze skręty nie zmieniają w pierwszej chwili swojej postaci. Po chwili widzimy, że ścisnięcie objęło skręty dalsze, sąsiednie; po nowej chwili — jeszcze dalsze skręty sprężyny. Tym sposobem

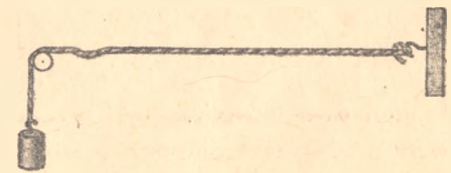
udzielając się dalej, ścisnięcie przebiega sprężynę, aż do drugiego jej krańca. Powiadamy w tym razie, że *fala ścisnięcia* przebiegła przez sprężynę.

Widzieliśmy, że rozchodzenie się fali w sprężynie wymaga czasu; innemi słowy mówimy, że fala w sprężynie biegnie z pewną prędkością (por. § 16).

Powtórzmy jeszcze raz doświadczenie, przyglądając się któremukolwiek jednemu skrętowi sprężyny. Uważany skręt pozostaje w spoczynku, dopóki fala do niego nie doszła; gdy doszła, ściska się raptownie, poczem powraca do dawniejszej postaci, przekazując ścisnięcie następującym skrętom sprężyny. Skoro powrócił do dawniejszej postaci, skręt nie rozszerza się, nie wydłuża się dalej; widocznie oddał energję ścisnięcia, zużył ją na ścisnięcie skrętów następnych, do których fala później dochodzi.

Doświadczenia poniekąd podobne możemy wykonywać na sznurze, albo na kauczukowej rurce, o znacznej (kilkumetrowej) długości. Umo

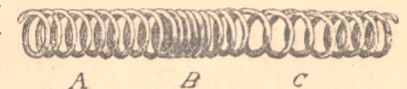
cowywamy sznur w położeniu poziomem albo pionowem i wyprężamy go lekko, np. działaniem stosownego obciążenia (rys. 93). Uderzamy sznur poprzecznie, naprzykład linją drewnianą, bardzo nagle i mocno. W miejscu, które uderzyliśmy, dostrzegamy w pierwszej chwili lekkie wygięcie, które udziela się



Rys. 93.

niebawem miejscom sąsiednim i biegnie tym sposobem przez sznur aż do drugiego jego końca. Powiadamy w tym razie, że *fala wygięcia* biegnie w sznurze lub w rurce.

Uderzywszy młotkiem koniec *A* sprężyny, dostrzegamy, że jedno *ścisnięcie* (bez rozciągnięcia) przebiega sprężynę. Gdybyśmy byli pociągnęli koniec *A* nagle ku sobie, byłibyśmy rozciągnęli w pierwszej chwili kilka pierwszych skrętów i *rozciągnięcie* (bez ścisnięcia) byłoby

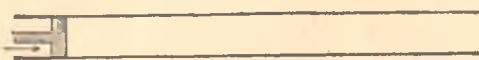


Rys. 94.

przebiegło sprężynę. Pociągnijmy prędko scyzorykiem po skrętach sprężyny; ścisniemy kilka skrętów, ale jednocześnie rozciągniemy kilka następnych, tak, iż ścisnięcie *B* i rozciągnięcie *C*, jedno za drugim, przebiegają sprężynę (rys. 94).

§ 102. Fala w powietrzu.

Rys. 95 wyobraża rurkę z obu końców otwartą, zatem wypełnioną zwykłym powietrzem. Jak nam wiadomo z rozdziału

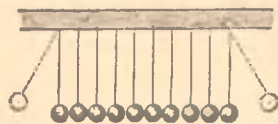


Rys. 95.

drugiego, powietrze jest ciałem sprężystym; w ściśniętem powietrzu budzi się pewna sprężystość, podobnie jak w skrętach sprężyny ściśniętych (§§ 81, 82, 90). Przypuśćmy zatem, że ściskamy (czyli zgęszczamy) raptownie warstwę powietrza, znajdującą się u lewego wylotu rurki; możemy to uczynić, wsuwając nagle tłoczek do rurki albo też, jeszcze skuteczniej, uderzając o siebie dwie niewielkie deseczki w pobliżu owego wylotu. Ściśnięcie, które wytworzyliśmy, udzieli się sąsiednim warstwom powietrza; udzieli się im również ruch, rozpęd, który pierwszej warstwie nadaliśmy. Tym sposobem *fala zgęszczenia* przebiega przez powietrze. Ażeby uwidocznić tę falę i jej nadejście do prawego końca rury, umieszczamy w pobliżu świecę zapaloną. Wybiegająca z rury fala łatwo zdmuchnie płomień owej świecy.

§ 103. Fala w szeregu kul sprężystych.

Wyobraźmy sobie szereg kul równych sprężystych (wytoczonych naprzykład z kości słoniowej albo też wydętych ze szkła). Umieszczamy te kule koło siebie, w szeregu, na gładkiej i poziomej podstawie; albo też zawieszamy kule, jak wahadła, co wyobraża rys. 96.

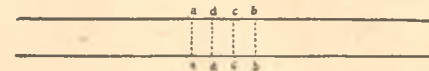


Rys. 96.

Odchylamy pierwszą kulę i puszcamy ją swobodnie. Opadając, kula uderza drugą, ściska ją na chwilę czyli spłaszczają; nadto oddaje jej swoją prędkość. Druga kula czyni to samo względem trzeciej; i tak dalej. Po chwili odskakuje kula ostatnia. Fala ściśnięcia przebiegła tutaj przez szereg kul sprężystych; im one są bardziej sprężyste, tem prędzej udziela się fala i biegnie od końca do końca szeregu.

§ 104. W jaki sposób fala postępuje naprzód.

Wyobraźmy sobie w doświadczeniu poprzedzającego § 102-go warstwą *ddcc* powietrza. W chwili, w której fala nawiedza *ddcc*, ta warstwa porusza się, a zarazem się ściska. W owej chwili musi zatem działać pewna *siła* na warstwę. Tą siłą jest oczywiście *różnica ciśnień*, wywieranych przez sąsiednie warstewki: przez *aadd* z jednej strony, przez *cbbb* z drugiej; albowiem *ddcc* nie ma wogóle zetknięcia z innymi warstewkami powietrza (rys. 97).



Rys. 97.

Wiemy jednakże z rozdziału pierwszego (§§ 25, 27), że przyśpieszenie, które okazuje jakiegobądź ciało pod działaniem pewnej siły, jest tem większe, im ta siła jest większa; oraz tem mniejsze, im masa ciała jest większa. Zastosujmy to prawo do obecnego przypadku. Powiemy, że przyśpieszenie warstewki *ddcc* jest tem większe, im różnica ciśnień (na *dd* i na *cc*) jest większa; ale zarazem tem mniejsze, im masa warstwy *ddcc* jest większa. Stąd łatwo zrozumieć, że fala tem prędzej przebiega przez ciało ciekłe albo gazowe, im większe w tem ciele panuje ciśnienie, natomiast tem powolniej, im gęstość cieczy lub gazu jest większa.

Podobnie dzieje się, gdy fala przebiega przez stal, przez mosiądz, przez drewno, szkło albo kauczuk. Prędkość rozchodzenia się fali w ciele stałym sprężystym (zob. § 101) jest zawsze tem większa, im większe jest sprężyste oddziaływanie ciała na odbywające się w niem zmiany postaci lub objętości; a zarazem tem mniejsza, im gęstość ciała jest większa.

Opisaliśmy przejście jednego ściśnięcia przez sprężynę, przez kolumnę powietrza albo przez rząd kul sprężystych (§§ 101, 102, 103). Powróćmy jeszcze raz do długiej sprężyny, wyobrażonej na rys. 92-im. Uderzywszy jej koniec *A* młotkiem i wytworzywszy tym sposobem pierwsze ściśnięcie (które przebiega sprężynę), uderzamy ten koniec po raz drugi, w chwili, kiedy pierwsze ściśnięcie objęło np. skręt 9-ty, 10-ty i 11-ty. Dwa ściśnięcia biegną teraz przez sprężynę; drugie dąży za pierwszym w odstępnie stałym, wynoszącym około 10 skrętów. Uderzamy koniec *A* po raz trzeci, w chwili, kiedy pierwsze ściśnięcie objęło skręt 19-ty, 20-ty i 21-szy; po raz czwarty, gdy objęło 29-ty, 30-ty, 31-szy; i tak dalej. Widzimy wówczas, że ściśnięcia postępują za sobą w odstępach stałych, które nazywamy *długością fali*; widzimy również, że między kolej-

§ 105. Fale prawidłowe; długość fali.

7*

nemi dwoma naszymi uderzeniami przypadają odstępów czasu stałe, które nazywamy *okresem* tej fali. Ogół zjawiska nazywamy wówczas rozchodzeniem się *prawidłowej* albo *okresowej fali* ściśnięć w sprężynie.

Pociągając ku sobie skrajne skręty sprężyny w stałych odstępach czasu, możemy w niej wytworzyć, zupełnie podobnie, prawidłową albo okresową falę rozciągnięć, o pewnej długości fali i o pewnym okresie.

Możemy na koniec jeszcze w następujący sposób pobudzać sprężynę: uciskamy ją u końca *A*; po upływie sekundy wyciągamy ją u tego samego końca; po upływie drugiej sekundy ściśkamy ją znowu; po upływie trzeciej znowu ją wyciągamy. Tak samo postępujemy dalej. Szereg ściśnięć i rozciągnięć, jednych za drugimi, biegnie wówczas przez sprężynę. Powiadamy, że rozchodzi się w niej *prawidłowa* albo *okresowa fala* ściśnięć i rozciągnięć. *Okres* tej fali wynosi dwie sekundy, jej *długość* równa się drodze, którą fala przebywa w przebiegu dwóch sekund.

§ 106. Fale podłużne oraz poprzeczne.

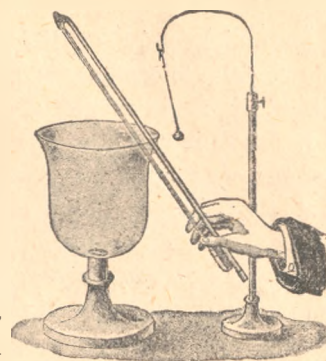
Uderzając nagle koniec *A* długiej sprężyny (rys. 92), wytworzyliśmy w niej falę ściśnięć. W pierwszej chwili zjawiska każdy skręt sprężyny poruszał się w kierunku uderzenia, więc w tym samym kierunku, w którym fala biegnie w sprężynie. Jeżeli pociągnęliśmy ku sobie skrajne skręty sprężyny, wytworzyliśmy falę rozciągnięć; w pierwszej chwili zjawiska każdy skręt porusza się wówczas w kierunku pociągnięcia, zatem wprost przeciwnie do kierunku, w którym fala przebiega sprężynę. Takie fale nazywamy *podłużnymi*. Ruch cząstek ciała jest w nich zgodny z kierunkiem posuwania się fali albo też jest mu wprost przeciwny.

Przypomnijmy sobie falę wygięć na sznurze (§ 101): Ta fala jest widocznie *poprzeczna*. Uderzenie nasze w tym razie było skierowane prostopadle do długości sznura; tak samo skierowane są przesunięcia cząstek, wywołujące wygięcie. Ruch cząstek ciała w fali poprzecznej jest prostopadły do kierunku, w którym posuwa się fala.

§ 107. Powstawanie głosu.

Uderzmy brzeg dzwonu lub pociągnijmy po nim smyczkiem, słyszymy *głos*. Skąd *głos* powstaje? Możemy łatwo

dowieść, że dzwon *drga* (§ 39), dopóki *głos* się rozlega. Czujemy *drżenie* dzwonu, dotykając go ostrożnie palcem lub ustami; jeśli dotkniemy za mocno, stłumimy *drżenie* i zaraz też umilknie *głos*, który słyszymy. Zbliżajmy lekkie wahadełko (rys. 98) do dzwonu, wydającego *głos*; będzie ono odskakiwało, potrącane raz wraz przez *drżący* dzwon. Struna *dźwięcząca* podrzuca lekkie skrawki papieru czyli „koniki“, które zawieszaliśmy na niej; wygląda też jakby grubsza, dopóki wydaje *głos*. Widzimy więc istotnie, że *każde* ciało *drga*, gdy wydaje *głos*.



Rys. 98.

§ 108. Głos rozchodzi się w powietrzu.

Jeśli *drżący* dzwon znajduje przed sobą palec, uderza palec; jeśli spotyka wahadełko, uderza wahadełko; a że zazwyczaj znajduje przed sobą powietrze, więc uderza powietrze, t. j. ściśka czyli *zgęszcza* pierwszą, przylegającą warstwę powietrza. To ściśnięcie czyli *zgęszczenie* udziela się dalej tak samo, jak w sprężynie (rys. 92), jak w rurce *aabb* (rys. 97) i tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *zgęszczenie*. Ale tymczasem dzwon, odbywając drugą część *drżania* (zob. § 39), poczyną się cofać i pociągać za sobą czyli *rozrzedzać* pierwszą, przylegającą warstwę powietrza; tym sposobem w powietrzu rozchodzi się pierwsze *rozrzedzenie*, które biegnie tuż za pierwszym *zgęszczeniem*, podobnie jak biegło za nim w sprężynie, w której rozchodziła się fala. Ukończywszy pierwsze *wahnięcie*, dzwon rozpoczyna drugie, przez co znów poczyną *zgęszczać* warstwę przylegającego powietrza, t. j. wysyła drugie *zgęszczenie*; podobnie wysyła następnie drugie *rozrzedzenie*, następnie trzecie *zgęszczenie*, trzecie *rozrzedzenie* i t. d. Od dzwonu pobiegnie więc w każdym kierunku fala podłużna w powietrzu, złożona ze *zgęszczeń* i *rozrzedzeń*, kolejno za sobą idących; a że taka fala pobiegnie w *każdym* kierunku, utworzy się więc fala *kulista*, w której postępujące *zgęszczenia* i *rozrzedzenia* mają kształt powierzchni kulistych;

podobnie na powierzchni wody wstrząśnienia rozbiegają się w postaci kręgów czyli kół.

Gdy fala, biegnąca w powietrzu, dojdzie naszych uszu (lub dokładniej: naszego organu słuchu), wówczas słyszymy *głos*. Istotnie też nie słyszymy wcale głosu dzwonka, zawieszzonego wewnątrz bani szklanej, jeśli z tej bani wyciągniemy powietrze. Zatem powiadamy: gdy słyszymy głos, wtedy poza obrębem naszej osoby odbywa się tylko *ruch* pewnego rodzaju, mianowicie *falowanie powietrza*. Głos, który słyszymy, jest naszym *wrażeniem*, wywołanem przez to falowanie, podobnie jak ból, którego doznajemy, gdy ktoś uderzył nas laską, jest naszym *wrażeniem*, wywołanem przez ruch laski i jej uderzenie.

§ 109. Energja falującego powietrza.

Powietrze, w którym rozchodzi się głos, odbywa pewien ruch, a więc musi mieć dzięki temu pewną *energję*. Istotnie: gdy strzelają z armat lub gdy rozlega się huczna muzyka, szyby w oknach drżą czyli *dzwonią*. Skutkiem bardzo potężnych wybuchów powstaje huk tak straszny, że pod naciskiem falującego powietrza szyby pękają, ściany się załamują, a ucho ludzkie, jeśli znajdzie się na drodze, łatwo może ulec uszkodzeniu. Falowanie powietrza może więc wykonywać pracę; powietrze, w którym rozchodzi się głos, ma tem samem pewną energję. Powiadamy, że głos jest *ślabym* albo *cichym*, jeśli falowanie roznoszącego go powietrza ma energję nieznaczną; jeśli przeciwnie energja falowania jest znaczna, mówimy, że głos jest *mocnym*, *głośnym*, *donośnym*. Od energii falowania zależy więc własność głosu, zwana *natężeniem*.

§ 110. Prędkość rozchodzenia się głosu.

W zwykłym powietrzu fale rozchodzą się z prędkością 340 m na sekundę. Jeżeli więc powietrze pocznie falować w jakimkolwiek miejscu, wówczas faluje ono o 340 m dalej od tego miejsca po upływie jednej sekundy. A zatem i głos w zwykłym powietrzu rozchodzi się z prędkością 340 m na sekundę.

Niechaj jedna osoba *A* stanie w miejscu widocznym, np. na małym wzniesieniu; druga osoba *B* niechaj oddali się od niej o 340 metrów. Przypuśćmy, że *A* uderza młotem w dzwon lub też rąbie drzewo, podnosząc za każdym razem młot czy

siekierę wysoko do góry; *B* zobaczy wówczas ruch ręki o całą sekundę wcześniej, zanim *usłyszy* głos, powstający z uderzenia. Albo też przypuśćmy, że osoba *A* w porze nocej strzela z pistoletu; błysk wystrzału dobiega osoby *B* wcześniej niż huk. W obu razach opóźnianie się wrażenia słuchowego w porównaniu do wzrokowego pochodzi przedewszystkiem stąd, iż światło biegnie nadzwyczajnie szybko (jak o tem powiemy w szóstym rozdziale), głos zaś biegnie znacznie powolniej, z prędkością tylko 340 m na sekundę. Zapomocą doświadczeń takich jak te, o których w tej chwili mówiliśmy, uczeni wymierzili dokładnie prędkość rozchodzenia się głosu w zwykłym powietrzu.

Gdy piorun uderza, spostrzegamy błyskawicę prawie natychmiast po uderzeniu, grzmot zaś zazwyczaj słyszymy dopiero o parę sekund później. Nietrudno zrozumieć, że tak istotnie być musi; albowiem, jeśli uderzenie nastąpiło np. w odległości od nas 1 km, głos zużywa blisko 3 sekundy na przebieżenie w powietrzu tej odległości.

§ 111. Jeszcze o rozchodzeniu się głosu w powietrzu.

Z poprzedzającego artykułu wnosimy ponownie, że rozchodzenie się głosu polega na rozchodzeniu się pewnego *wstrząśnienia* w powietrzu, a nie na rozchodzeniu się samego powietrza. Gdy strzelimy z armaty, *głos* czyli wstrząśnienie powietrza znajduje się po upływie sekundy w odległości 340 m od miejsca wystrzału; tymczasem dym, wyrzucony z armaty, znajduje się po upływie sekundy w odległości zaledwie kilku metrów od wylotu działa. Wyobraźmy sobie gęsty tłum ludzi; posłaniec zdoła tylko z trudnością i powoli poruszać się naprzód w tym tłumie; tymczasem list, podawany z rąk do rąk, albo wiadomość, podawana z ust do ust, biegnie w nim z wielką prędkością. Podobnie pewna ilość powietrza lub dymu przeciska się stosunkowo powoli przez otaczające powietrze; ale wstrząśnienie powietrza, podawane z warstw do warstw, rozbiega się w niem z ogromną prędkością.

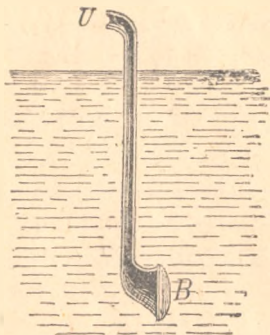
§ 112. Rozchodzenie się głosu w ciałach stałych.

Fala podłużna może biec przez każde ciało sprężyste, a zatem i głos może rozchodzić się w każdym ciele sprężystem.

Położmy zegarek na końcu długiego stołu; nie słyszymy chodu zegarka przez powietrze lecz, przyłożywszy ucho do drugiego końca stołu, słyszymy chód ten wyraźnie. Połączmy dwa lekkie pudełka drewniane zapomocą sznurka. Niechaj ktoś z jednym pudełkiem odejdzie na odległość kilku lub kilkunastu metrów, aż się sznurek wypręży i niechaj mówi do pudełka, nie podnosząc głosu; nie usłyszymy mowy przez powietrze, ale usłyszymy ją, przyłożywszy ucho do drugiego pudełka. Stukanie o słup telegraficzny słychać wyraźnie w słupie sąsiednim; górnicy mogą porozumiewać się ze sobą pukaniem przez ogromne pokłady węgla lub innych minerałów.

§ 113. Rozchodzenie się głosu w cieczech.

Głos może również rozchodzić się w cieczech, ponieważ ciecze są sprężyste (§ 61). Zanurzysz duży dzwon metalowy do rzeki lub stawu, uderzajmy go pod wodą zapomocą stosownego młotka. Można wówczas słyszeć głos dzwonu, nawet na stosunkowo znacznej odległości, posługując się rurą lejkowatą, jaką wyobraża rys. 99. Energja fal głosowych, rozchodzących się w wodzie, udziela się powietrzu, zawartemu w rurze *UB*, przez pośrednictwo błony sprężystej *B*, którą otwór *B* jest mocno obwiązany; do drugiego otworu *U* przykładamy ucho.



Rys. 99.

Wyobraźmy sobie, że wykonano to doświadczenie w sposób następujący: młotek, uderzający o dzwon, jest tak urządzony, że w chwili każdego uderzenia wysyła jakikolwiek sygnał świetlny, np. zapala nieco prochu i sprawia tym sposobem krótki i nagły

błysk za każdym uderzeniem. *Słuchając* (zapomocą rury *UB*) bicia dzwonu przez wodę, możemy wówczas jednocześnie *widzieć* sygnały, dawane przez młotek w chwilach kolejnych uderzeń. Przypuśćmy, że odległość pomiędzy dzwonem a rurą *UB* w linii prostej wynosi 340 m. Przekonalibyśmy się wówczas, że głos dzwonu dochodzi nas po upływie mniej niż ćwierci sekundy. A zatem głos biegnie w wodzie przeszło 4 razy prędzej niż w powietrzu. W ciałach stałych głos rozchodzi się z jeszcze większą prędkością.

§ 114. O odbijaniu się fal.

Umocujmy jeden koniec długiej sprężyny (rys. 92) zupełnie nieruchomo, przytwierdźmy go np. do ściany i próbujmy z drugiego końca wzbudzić w sprężynie falę. Fala powstaje, przebiega sprężynę, lecz, gdy dojdzie do ściany, zawraca i biegnie po sprężynie napowrót. Jak piłka, rzucona o ścianę, odskakuje i biegnie napowrót, tak fala w sprężynie cofa się od ściany; powiadamy, że fala *odbija się* od ściany. Podobnie mogą odbijać się fale w powietrzu; ściany budynków, skały w dolinie, brzegi gęstego lasu odbijają fale w powietrzu i dlatego *odsyłają* głos. Powierzchnia wody odbija również głos; na jeziorze lub stawie słychać mowę lub śpiew dalej niż na lądzie.

Ciała miękkie i porowate, jak tkaniny, kobierce i t. p., *tlumią* głos, ponieważ odbierają energję falowania powietrzu, które obficie w sobie zawierają; same zaś nie są dość sprężyste, żeby wysyłać nowe fale.

§ 115. Odgłos.

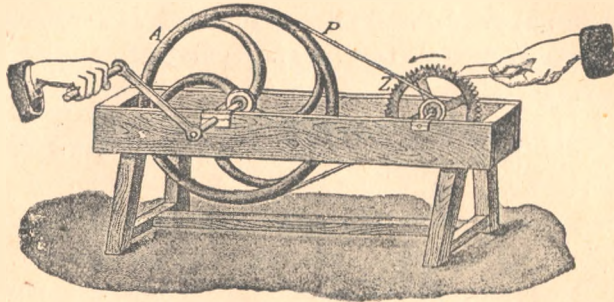
Głos przebiega w powietrzu 340 m w ciągu sekundy. Przypuśćmy, że stoimy pod ścianą, odbijającą głos doskonale, w odległości (dajmy na to) 3 m od niej. Jeśli mówimy np. *a*, głos, który wydaliśmy, pobiegnie ku ścianie, odbije się i powróci do nas w ciągu $\frac{1}{57}$ -ej części sekundy; albowiem tyle czasu potrzeba fali do przebycia 6 m w powietrzu. Ale samo wymówienie głoski *a* trwa dłużej niż $\frac{1}{57}$ -mą część sekundy; wymówienie *a* trwa od $\frac{1}{5}$ do $\frac{1}{10}$ części sekundy mniej więcej. A zatem odbijanie się głosu od ściany bliskiej może wzmacniać lub nieco przedłużać brzmienie, lecz nie wytwarza *echa* lub *odgłosu* czyli głosu wyraźnego, odosobnionego, powstającego przez odbicie. Echo powstaje, kiedy głos odbity powraca do miejsca wydania nietylko po rzeczywistym skończeniu się pierwszego głosu, ale i po przebrzmieniu go w uchu.

§ 116. Głos urywany, głos ciągły.

Jeśli uderzymy laską o podłogę, powstaje głos krótki, urwany, który nazywamy stuknięciem. Przypuśćmy, że stukamy laską raz po raz, np. trzy razy w ciągu każdej sekundy; słyszymy wówczas wyraźnie każde uderzenie z osobna. Próbujmy teraz stukać coraz częściej; wówczas jest trudniej pochwycić każde uderzenie z osobna. Poręcze na moście lub na schodach składają się często z gęstego szeregu prętów żela-

znych; biegnijmy wzdłuż takiej poręczy i prowadźmy po niej koniec laski. Uderzenia następują tak szybko po sobie, że nie odróżniamy już każdego z osobna, lecz słyszymy *głos ciągły*.

Doświadczenie to wykonamy lepiej przy pomocy koła zębatego *Z* (rys. 100); można obracać je bardzo prędko, poruszając



Rys. 100.

koło *A*, które przenosi ruch na koło *Z* przy pomocy pasa *P*. Przyłożymy metalową blaszkę lub kartę tektury do zębów koła *Z*; każdy ząb, przechodząc, będzie ją uderzał. Obracając powoli, słyszymy każde uderzenie z osobna; obracając prędkiej, słyszymy głos ciągły, w którym rozpoznać przerw nie jesteśmy w stanie. Przypuśćmy, że na kole *Z* znajduje się 60 zębów. Jeśli obracamy tak powoli, że koło to wykonywa jeden obrót w przeciągu dwóch sekund, wówczas karta otrzymuje 30 uderzeń w ciągu jednej sekundy. Przekonamy się, że to jest mniej więcej granica, gdzie pojedyncze uderzenia łączą się w głos ciągły: obracając powolniej, słyszymy urwane głosy kolejnych uderzeń; obracając prędkiej, słyszymy głos ciągły bez przerwy, czyli jednolity.

§ 117. Dźwięk; głosy bezładne.

Jeśli zęby na kole *Z* (rys. 100) są równe i jeśli obracamy koło jednostajnie, wówczas kolejne uderzenia nie łączą się w bezładny hałas i brzękanie, lecz tworzą *dźwięk* czyli głos równy, stały; taki głos wydają też instrumenta muzyczne, taki wydajemy, śpiewając lub wymawiając samogłoski. A zatem dźwięki powstają z wstrząśnięć równych i regularnych, t. j. powtarzających się w równych odstępach czasu. Przeciwnie, wszelkie inne głosy (brzęk, trzask, stukanie, pukanie)

powstają z uderzeń krótkich, niejednakowych i nieregularnych. Gdy takie głosy rozchodzą się w powietrzu, wówczas biegnie w niem zatem bezładna gromada ściśnieć i rozrzedzeń. Przeciwnie, dźwiękom odpowiadają fale *prawkidłowe* czyli okresowe (§ 105), w których ściśniećia i rozrzedzenia podążają za sobą w odstępach stałych.

§ 118. Wysokość dźwięku.

Niechaj koło *Z* (rys. 100) ma 60 równych zębów. Obracajmy je tak, ażeby jeden obrót trwał mniej więcej sekundę. Usłyszymy wówczas dźwięk *niski*, jaki wydają zazwyczaj organy lub bas w orkiestrze. Obracajmy przeciwnie koło *Z* bardzo prędko, ażeby dokonywało np. 50, 60 lub 70 obrotów na sekundę; usłyszymy wówczas dźwięk ostry, *wysoki*. Skrzypce wydają dźwięki wysokie na najcieńszej strunie, dźwięki zaś niskie na grubej. Fortepian po lewym końcu klawiatury wydaje dźwięki niskie, a po prawym wysokie. Dorosły mężczyzna mówi głosem niskim, a dziecko wysokim.

Gdy jeden obrót koła *Z* trwał sekundę, głos powstawał z 60 uderzeń na sekundę; gdy zaś na sekundę przypadało 50, 60 lub 70 obrotów, głos powstawał z 3000, 3600 lub 4200 uderzeń na sekundę. Powiadamy zatem: kilkadziesiąt wstrząśnięć na sekundę daje dźwięk niski, kilka tysięcy wstrząśnięć na sekundę daje dźwięk wysoki.

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



ROZDZIAŁ CZWARTY.

O zjawiskach cieplnych.

§ 119. Nasze wrażenia cieplne.

Gdy wkładamy rękę w śnieg, czujemy *zimno*; gdy przesywamy ją nad płomieniem, odczuwamy *gorąco*. Wyrażając się językiem naukowym, mówimy, iż doznajemy w tych razach *wrażeń cieplnych*.

Wrażeń cieplnych doznajemy w niezliczonych okolicznościach codziennego życia. Biorąc do ust pokarmy albo napoje, rozbierając się lub otulając się futrem, zanurzając się w kąpieli, wychodząc z mieszkania w dzień zimowy, dotykając opalonego pieca lub zbliżając ku niemu rękę, stąpając boso po wilgotnej ziemi lub kamiennej posadzce, w mnóstwie innych potocznych wydarzeń, czujemy, że nasz *zmysł cieplny* przesyła nam pewne wiadomości szczególnego i odrębnego rodzaju: *wrażenia cieplne*, które każdy z nas dobrze zna i pamięta, ale może opisać słowami tylko niedoskonale.

§ 120. Zjawiska cieplne.

Czy śnieg, płomień, wilgotna ziemia, mroźne powietrze działają tylko na zmysł cieplny człowieka? Niewątpliwie muszą one działać i na inne ciała w pewien określony sposób. Gdy włożymy żelazny drut do płomienia, dostrzeżemy niebawem, że stał się on również gorący; po chwili, jeśli trzymamy go w ogniu, staje się czerwony i świeci w ciemności. A zatem drut w płomieniu ulega pewnym zmianom, nabiera nowych własności. Woda w naczyniu, wstawiona do płomienia,

staje się ciepła, później gorąca; wreszcie zaczyna gotować się czyli kipieć albo *wrzeć*. Przeciwnie, gdy woda staje się bardzo zimna, wówczas, jak wiemy, *zamarza* czyli przeobraża się w *lód*. Wosk albo masło (i różne inne ciała) stają się na mrozie kruche i twarde, miękną zaś, rozlewają i topią się łatwo, jeżeli je poczynamy ogrzewać. A zatem widocznie śnieg, lód, mroźne powietrze, woda wrąca, płomień świecy, rozpalony kawał żelaza działają nietylko na nasz zmysł cieplny, lecz również i na inne ciała i sprawiają w nich zmiany rozmaite.

Takie i tym podobne zmiany i zdarzenia nazywamy ogólnie *zjawiskami cieplnymi*. Pragniemy podać o nich niektóre wiadomości w obecnym rozdziale tej książki.

§ 121. W fizyce musimy mierzyć zimno i gorąco.

W życiu codziennem zadawalniamy się zwykle prostemi wrażeniami; ale nauka nie może na nich poprzestać. W fizyce pragniemy poznać rozmaite zmiany i zjawiska, które dzieją się w świecie, pragniemy *zrozumieć ukryty ład i porządek*, jaki w nich panuje. W tym celu musimy badać zjawiska jak można najdokładniej, najściślej i każde spostrzeżenie wyrażać *liczbami*. W mechanice widzieliśmy, że możemy *mierzyć* siły, masy, ciężary, prędkości, a zatem wyrażać ich wartość liczbami. Podobnie w nauce o ciepłe; musimy w niej dążyć do ustanowienia jakiegoś *sposobu mierzenia zimna oraz gorąca*; musimy zgodzić się na zasadę, która pozwoliłaby *wyrażać je liczbami*.

Temperaturą ciała nazywamy liczbę, która w pewien umówiony sposób wyraża jego zimno albo gorąco. *Termometrem* nazywamy przyrząd, który pozwala mierzyć temperatury ciał. Zobaczymy w artykułach następnych, jak bywają urządzone termometry i w jaki sposób, przy ich pomocy, możemy mierzyć temperatury.

§ 122. Czy ręka może służyć za termometr?

Ręka ludzka jest wprawdzie wrażliwa na ciepło i zimno, ale nie może, z rozmaitych powodów, służyć za dokładny termometr. Przypuśćmy, że chcemy zbadać dokładnie temperaturę wody w naczyniu. Wrażenia ręki, którą zanurzyliśmy w wodzie, potrafimy opisać kilku lub kilkunastu różnemi słowami, mówiąc naprzykład, że woda jest *»lodowata«*, *»zimna«*,

chłodna albo też letnia, ciepła, gorąca. Ale jest rzeczą jasną, że od zamrożenia aż do zagotowania się woda może mieć niezliczone mnóstwo, nie tylko kilka lub kilkanaście, różnych temperatur. Zresztą rozmaite osoby odczuwają ciepłe pobudki w sposób bardzo odmienny. Wiemy, jak często ludzie nie zgadzają się z sobą, kiedy idzie o sposób ubrania się na przechadzkę, o napalenie w piecu, o zamknięcie czy otwarcie okna, jednym słowem o którykolwiek z drobnych kłopotów, które nam ciepło i zimno codziennie sprawiają. Takie różnice nie mogą nas dziwić, albowiem ciepła wrażliwość każdego człowieka, stosownie do okoliczności, bywa rozmaita. Możemy przekonać się o tem w następujący sposób. Przypuśćmy, że mamy wodę w trzech naczyniach *A*, *B*, *C*; w *A* bardzo zimną, w *C* gorącą, w *B* zaś mamy wodę cieplejszą niż w *A*, ale chłodniejszą niż w *C*. Potrzymawszy rękę w *A*, przyzwyczajamy ją do temperatury wody *A*; wówczas woda *B* wydaje się wyraźnie *ciepła*. Ale ta sama woda wyda nam się *chłodna*, jeżeli umieścimy rękę najprzód w wodzie *C* a później dopiero przeniesiemy ją do wody *B*.

Stąd wnosimy, że zmysł ciepły ręki nie zawiadamia nas wcale o tem, czy przedmioty są ciepłe i zimne. Może wskazuje on raczej, czy przedmioty są *cieplejsze* czy *zimniejsze* od ręki? Opisane proste doświadczenie nasuwa takie przypuszczenie. Zobaczmy jednakże (w jednym z artykułów następnych), że i w tym względzie zmysł ciepły udziela nam mylnych i zawodnych wskazówek.

§ 123. W jaki sposób działają ciała gorące lub zimne.

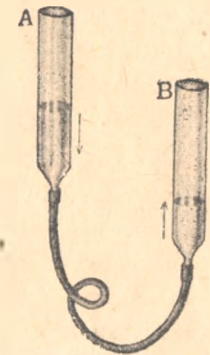
Wiemy, że ciała gorące ogrzewają inne, chłodniejsze. Poznajmy dokładniej, w jaki sposób one to czynią. Nalejmy chłodnej wody do szklanki i włóżmy do niej gorący kawałek żelaza; po chwili woda jest letnia lub ciepła, lecz i żelazo jest także letnie lub ciepłe; a zatem woda ogrzała się, żelazo zaś ostygło. Piec napalony podobnie ostygła powoli w pokoju; jednocześnie powietrze w pokoju ogrzewa się. *Ciała gorące, ogrzewając inne ciała, z niemi sąsiadujące, same stygną.*

Dlaczego nie spostrzegamy, aby płomień ostygł, gdy grzeje? Ponieważ w płomieniu palą się coraz nowe ilości ciała płonącego (dlatego świeca i nafta w lampie się wypala), przez co w płomieniu tworzy się coraz nowe gorąco.

Podobnie też *ciała zimne, oziębiając, ogrzewają się same*. Jeżeli wlejemy wosk roztopiony do wody lodowatej, zobaczymy, że woda oziębia go bardzo znacznie (tak, iż wosk krzepnie natychmiast), ale sama staje się przytem mniej zimna.

Możemy opowiedzieć w następujący sposób zachowanie się gorącego żelaza wobec chłodnej wody: po włożeniu żelaza do wody temperatura żelaza *spadała*, temperatura wody *podnosiła się*, aż w końcu temperatury tych ciał stały się jednokowe czyli *wyrównały się*. Powiadamy ogólnie: *temperatury ciał, które przez czas dostatecznie długi były ze sobą w zetknięciu, wyrównują się t. j. stają się jednakowe.*

Przypuśćmy, że zapomocą długiej i bardzo cienkiej rurki połączyliśmy ze sobą dwa naczynia: pierwsze, *A*, jest wzniesione wyżej, drugie, *B*, niżej (rys. 101). Wiemy z § 74-go, że poziom wody w *A* będzie się obniżał, poziom wody w *B* będzie się podnosił, dopóki nie nastąpi wyrównanie ich wysokości. Mamy tu zatem zjawisko naogół podobne do wyrównywania się temperatur dwóch ciał, które pierwotnie miały temperatury odmienne. Wysokości poziomów wody wyrównują się tutaj podobnie, jak temperatury w cieplnym zjawisku.



Rys. 101.

§ 124. Dlaczego metale w dotknięciu wydają się zimne.

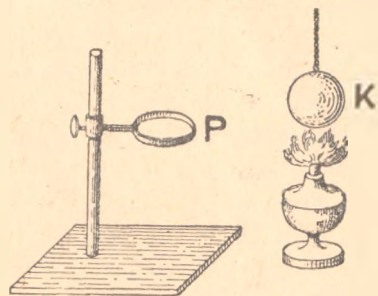
Przypuśćmy, że na stole znajdują się następujące ciała: kawałek żelaza, miseczka pełna rtęci, klocek drewniany, materja wełniana, nieco puchu. Dotykając tych ciał pokolei ręką, czujemy, że żelazo i rtęć wydają się bardzo zimne, drzewo nieco chłodne, wełna zaś i puch stosunkowo ciepłe. Czy te ciała mają rzeczywiście temperatury niejednakowe? W takim razie powinny dojść po jakimś czasie do temperatur jednakowych, jak wszelkie ciała, sąsiadujące ze sobą. Pozostawmy je więc przez czas dłuższy w sąsiedztwie lub nawet w zetknięciu wzajemnem. Po upływie tego czasu powtórzmy próbę ręką: żelazo i rtęć wydają się znowu zimne, drzewo —

nieco chłodne, wełna i puch wydają się stosunkowo ciepłe. Włóżmy żelazo, rtęć, drzewo, wełnę oraz puch do piecyka; gdy te ciała ogrzeją się, znów badajmy je ręką. Teraz, wprost przeciwnie, żelazo i rtęć wydają się bardzo gorące, drzewo sprawia wrażenie umiarkowanego ciepła, wełna i puch wydają się najmniej ogrzane. Cóż się tu dzieje?

Nie jest trudno to zrozumieć. W pierwszym razie, gdy leżały na stole, wszystkie ciała (żelazo, rtęć, drzewo, wełna i puch) miały wprawdzie temperaturę jednakową, lecz *niższą* niż temperatura ręki; miały one temperaturę powietrza, które je otaczało; temperatura powietrza w pokoju jest zawsze niższa niż temperatura ręki. W drugim razie miały one temperaturę także jednakową, lecz *wyższą* niż temperatura ręki. A zatem w pierwszym razie ręka oziębiała się, dotykając tych ciał; w drugim razie, dotykając ich, ogrzewała się. Widocznie ręka *łatwiej, prędzej* przejmuje temperaturę żelaza i rtęci niż temperaturę wełny i puchu; gdy są zimniejsze, żelazo i rtęć prędzej ją chłodzą niż wełna i puch; gdy są cieplejsze, przeciwnie, żelazo i rtęć prędzej ją ogrzewają. My zaś, dotykając pewnego ciała ręką, nie czujemy tego, czy ono samo w sobie jest mniej czy bardziej ciepłe lub zimne; czujemy raczej, czy ono rękę ogrzewa lub oziębia *prędzej* czy też *wolniej*.

Widzimy teraz jasno, że nie możemy polegać na naszym zmyśle cieplnym, gdy pragniemy mierzyć temperatury przedmiotów. Musimy uciec się w tym celu do innego sposobu.

§ 125. Objętość ciał powiększa się skutkiem ogrzewania.



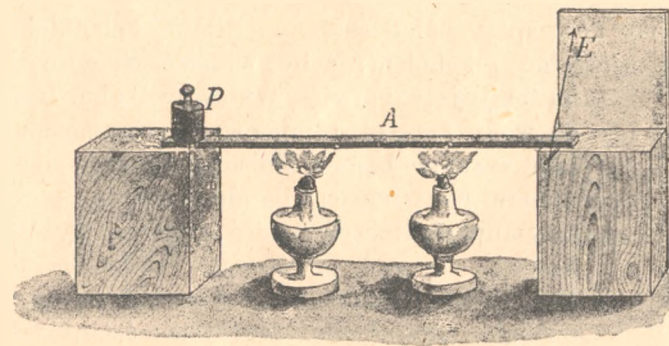
Rys. 102.

Na deseczce drewnianej położymy mosiężną lub miedzianą sztabkę i wbijmy u jej końców dwa gwoźdźce tak, żeby zaledwie można było przesunąć sztabkę pomiędzy temi gwoźdźcami. Ogrzejmy teraz sztabkę w płomieniu lampy a zobaczymy, że stała się ona dłuższa, gdyż nie przechodzi między temi

samemi gwoźdźcami. Podobnie możemy się przekonać, że nie tylko długość, lecz również szerokość i grubość sztabki zwiększa się wskutek ogrzewania. Weźmy pierścień *P* (rys. 102), nieco większy od kuli metalowej *K*; rozgrzewszy kulę, nie możemy z żadnej strony przeciągnąć przez nią pierścienia. A zatem *ciała rozszerzają się wskutek ogrzewania we wszystkich kierunkach; wskutek ogrzewania objętość ciał się powiększa.*

§ 126. Objętość ciał zależy od ich temperatury.

Zbudujmy przyrząd, przedstawiony na rys. 103-im. Płaską sztabkę żelazną lub miedzianą *A* przyciskamy na jednym końcu ciężkim ciałem *P*; pod drugi jej koniec podkładamy igłę, leżącą wpoprzek sztabki i przyklepamy lekką wskazówkę *E* do uszka tej igły. Sztabka *A* ogrzewana rozszerza się, więc porusza igłę i odchyła wskazówkę *E*. Przypuśćmy, że przed zapaleniem płomieni wskazówka stała pionowo; po zapaleniu zaczyna się odchyłać, lecz po zgaszeniu zawraca i przybiera



Rys. 103.

napowrót położenie pionowe. Widzimy więc, że ciała, które rozszerzyły się wskutek ogrzania, kurczą się napowrót, gdy stygną. Skoro temperatura podnosi się, objętość zwiększa się, ale zmniejsza się napowrót, gdy temperatura się zniża; gdy temperatura wraca do wysokości pierwotnej, objętość ciała staje się taka, jaka była pierwotnie. *Objętość każdego ciała zależy więc od jego temperatury.*

§ 127. Przykłady i zastosowania.

Na walec żelazny lekko stożkowaty (rys. 104) gruba obręcz żelazna *A* nie wchodzi, dopóki jest zimna; rozgrzejmy ją do czerwoności a zobaczymy, że wchodzi. Wbijmy ją na walec, dopóki jest gorąca; stygnąc i kurcząc się, obręcz ścisła walec tak mocno, że niebawem pęka. Z podobnych powodów druty telegraficzne zwisają podczas lata a prostują się w zimie. Szyny kolejowe, położone zimą, wykrzywiałyby się podczas lata, gdyby nie zostawiano przerwy (zwykle około $\frac{1}{2}$ cm) pomiędzy każdymi dwiema sąsiednimi szynami, ażeby temu zapobiec. Mostów żelaznych nigdy nie przymocowywa się w zupełności do podtrzymujących je podmurowań; daje im się swobodę rozszerzania i kurczenia się, stosownie do zmian temperatury.



Rys. 104.

Metale skutkiem ogrzewania rozszerzają się znacznie niż inne ciała stałe. Dlatego też w piecach, w paleniskach i t. d. ruszty, drzwiczki i wszystkie wogóle części metalowe powinny mieć swobodę rozszerzania się; jeżeli jej nie mają, gną się i wykrzywiają albo też doprowadzają do pęknięcia części murowane.

§ 128. Rozszerzanie się cieczy.

Weźmy dość spory balon szklany o długiej i cienkiej szyjce i wypełnijmy go alkoholem; żeby widzieć ciecz wyraźnie, możemy ją zabarwić. Wstawmy balon (rys. 105) do wody gorącej, pilnie zważając na poziom alkoholu w szyjce balonu. Zobaczymy, że poziom alkoholu w pierwszej chwili nieco opada, potem zatrzymuje się i poczyna iść w górę. Czyż alkohol kurczył się pod pierwszym działaniem ciepła? Bynajmniej. Zanim alkohol zaczął się ogrzewać, musiały ogrzać się przedtem ścianki balonu szklanego, które były przedewszystkiem wystawione na działanie ciepła. Ogrzewając się, balon rozszerzał się, więc stawał się większym, pojemniejszym; dlatego alkohol musiał opadać. Później, gdy już sam alkohol zaczął się ogrzewać, rozszerzył się i powetował z nadwyżką rozszerzenie się balonu. A zatem widzimy, że alkohol rozszerza się, gdy temperatura podnosi się; podobnie zachowuje się wiele innych cieczy.



Rys. 105.

Gdy alkohol w szyjce balonu idzie do góry, przyrost objętości, jaki spostrzegamy, równa się rzeczywistemu rozszerzeniu się alkoholu, zmniej-

szonemu o rozszerzenie się szklanego balonu. Trzeba więc dodać rozszerzenie się balonu do spostrzeżonego przyrostu objętości, ażeby znaleźć rzeczywiste rozszerzenie się cieczy.

§ 129. Zasada rtęciowego termometru.

Powszechnie znany termometr rtęciowy jest urządzony podobnie jak przyrząd, którym posługiwaliśmy się w doświadczeniu § 128-go, rys. 105. Rurka szklana, o bardzo wąskim kanaliku wewnętrznym, jest wydęta u dołu (rys. 106) w bańkę cienkościenną, t. zw. *naczyńko*. Napełniamy rtęcią naczynie oraz część rurki. Przez zagotowanie rtęci nad płomieniem usuwamy z rurki powietrze, po czem zatapiamy szkło u górnego końca przy pomocy dmuchawki.

Wstawimy naczynie do gorącej wody, widzimy, że poziom rtęci podnosi się szybko, aż wreszcie zatrzymuje się na pewnej wysokości. Wiemy z § 126-go, że objętość rtęci zależy od jej temperatury; według § 123-go temperatura rtęci i temperatura wody muszą być równe sobie, skoro te ciała (za pośrednictwem ścianki naczynka) znajdują się ze sobą w cieplnym zetknięciu. Wyprowadzamy stąd wniosek, że: *każdej temperaturze wody odpowiada pewna wysokość słupka rtęci w rurce termometru*. Im temperatura wody jest wyższa, tem wyżej podnosi się słupek; im jest niższa, tem słupek niżej opada. Sprawdzamy to łatwo, ogrzewając wodę lub pozwalając jej stygnąć.



Rys. 106.

Możemy teraz umieścić skalę (np. centymetrową) na rurce termometru; mierząc długość słupka rtęci w rurce od jakiegoś umówionego miejsca (początku), będziemy pośrednio mierzili temperaturę wody. Liczby, uzyskane w ten sposób, mają określone znaczenie dla osoby, w której posiadaniu znajduje się dany termometr; ale nie miałyby oczywiście żadnego znaczenia (ani wartości) dla osoby, mieszkającej w odległym mieście. Liczby te zależałyby od urządzenia termometru: od objętości naczynka, od wewnętrznego przecięcia rurki i t. p. Musimy więc ustanowić *powszechną skalę temperatur*, t. j. skalę wszędzie i zawsze jednakową, niezależną od szczegółów budowy termometru, *skalę, którą każdy (według pewnych zasad) mógłby odtworzyć*.

Ustanowiono taką skalę, zasadzając się na pewnych dalszych wiadomościach o zjawiskach cieplnych: na wiadomościach, zdobytych drogą niezliczonych i starannych dostrzeżeń.

§ 130. Zero temperatur.

Przypuśćmy, że mamy w naczyniu pewną ilość śniegu albo też lodu, potłuczonego na drobne kawałki. W ciepłym pokoju śnieg i lód są wilgotne; po pewnym czasie widzimy, że *topią się* i zamieniają się w wodę. Mamy zatem w naczyniu właściwie *mieszaninę śniegu albo lodu z wodą*. Wprowadzamy do tej mieszaniny termometr rtęciowy, opisany w artykule poprzednim. Poziom rtęci termometru zatrzymuje się wówczas na pewnej wysokości, którą przyjęto nazywać *zerem temperatur*. Spróbujmy dodać albo ująć śniegu lub lodu; spróbujmy dolać trochę wody. Wszystko to nie wpływa na stan termometru; dopóki w mieszaninie jest śnieg (albo lód) i jest woda, termometr niezmiennie pokazuje zero. Spróbujmy wstawić mieszaninę do gorącej wody; dopóki śnieg lub lód jest obecny, termometr nie podnosi się i pokazuje zero; poczyną podnosić się dopiero wówczas, gdy śnieg albo lód stopił się całkowicie. Spróbujmy wstawić śnieg lub lód z wodą do kąpieli oziębiającej (którą sporządzamy łatwo, mieszając śnieg obficie z solą kuchenną). Termometr, umieszczony w śniegu lub lodzie, nie opada, pokazuje wciąż zero; poczyną zaś opadać dopiero wówczas, gdy niema wcale wody w mieszaninie, gdy ona całkowicie zamarzała.

Z tych doświadczeń wyprowadzamy następujące wnioski. Możemy ogrzać wodę, ale mieszaniny lodu z wodą ogrzać nie możemy; próbując ją ogrzać, stopimy ją tylko. W otwartym naczyniu, na wolnym powietrzu, nie możemy jej stopić inaczej niż w temperaturze *zero*. Podobnie, możemy oziębic lód, ale mieszaniny lodu z wodą oziębic nie możemy; próbując ją oziębic, zamrozimy ją tylko. W otwartym naczyniu, na powietrzu, nie możemy zamrozić jej inaczej niż w temperaturze *zero*.

Zero jest więc jedyną temperaturą, którą może mieć zarówno woda jak lód. Tę właśnie temperaturę *zero* przyjęto w fizyce za *pierwszy* (dolny) *punkt stały skali termometrycznej*.

§ 131. Drugi punkt stały skali termometrycznej.

Nalewamy czystej wody do szklanego naczynia; umieszczamy naczynie nad płomieniem, jak pokazuje rys. 107. Woda ogrzewa się szybko; z jej powierzchni, jak wiemy, uchodzi *para wodna*. Po jakimś czasie woda poczyną się kotłować i kłębić; mniejsze i większe bańki pary tworzą się nie tylko na powierzchni, ale i wewnątrz wody, uciekając ku górze i często pękając po drodze. Powiadamy (por. § 151), że woda gotuje się, kipi albo *wre*; że przemienia się wówczas w nową postać, w *parę wodną*.

Umieścimy termometr w parze, jak pokazuje rysunek. Para, jak wiemy, jest bardzo gorąca; słupek termometru podnosi się wysoko. Niebawem zatrzymuje się jednak w pewnej wysokości, która nie jest zależna od szczegółów wykonania doświadczenia. Gdybyśmy naprzykład wzięli raz więcej, raz mniej wody, termometr nie wskazywałby w parze ani wyższej ani niższej temperatury; nie podniósłby się również ani by się obniżył, gdybyśmy (podczas wrzenia wody) *wzmocnili* płomień albo go osłabili. Dopóki jest woda w naczyniu, dopóki nie wygotowała się cała, termometr wskazuje pewną stałą temperaturę. Nazwijmy tę temperaturę *temperaturą sto* i wybierzmy ją za *drugi* (górnny) *punkt stały skali termometrycznej*.



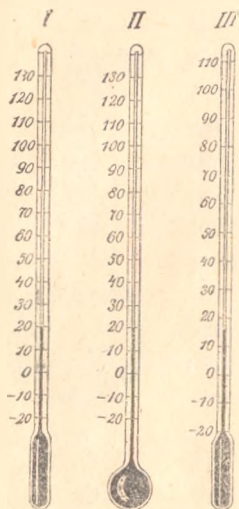
Rys. 107.

Dla ścisłości musimy tu jeszcze uczynić pewne zastrzeżenie. Temperaturę pary wodnej, uchodzącej z nad gotującej się wody, nazywamy *tylko wówczas* temperaturą *sto* (i wybieramy za drugi punkt stały skali termometrycznej), gdy ciśnienie otaczającego powietrza wynosi dokładnie *jedną atmosferę* (§ 88) czyli równa się ciśnieniu słupa barometrycznego o wysokości 76 cm (§ 88). Zrozumiemy niebawem, z jednego z artykułów następnych (§ 151), dlaczego ten warunek jest niezbędny; dowiemy się także, w jaki sposób możemy *poprawić* drugi punkt skali, jeżeli podczas gotowania się wody zapisaliśmy ciśnienie, panujące w powietrzu (czyli wysokość ówczesnego słupa barometrycznego).

§ 132. Skala stustopniowa termometru rtęciowego.

Mamy już dwa punkty stałe na termometrze: punkt *zero* (§ 130) i punkt *sto* (§ 131). Są to punkty niezmiennie i wspólnie

czyli powszechna, jak tego życzyliśmy sobie (§ 129); skala, na nich oparta, jest również powszechna.



Rys. 108.

Pomiędzy poziomem 0 a poziomem 100 mamy pewną objętość w rurce termometru. Dzielimy tę objętość na sto części. Gdzie kończy się pierwsza, druga,.. część, piszemy znaki 1, 2,.. czyli znaki *stopni*. Mówimy, że rtęć termometru ma temperaturę np. 23-ch stopni (23°), jeżeli poziom jej stoi w rurce na przedziałce 23. Jeżeli termometr był zanurzony przez czas dostatecznie długi w wodzie, w piasku, w powietrzu, powiadamy (§ 123), że temperatura tych ciał wynosi 23°.

Należy o tem pamiętać, że stopnie skali termometru mają odpowiadać równym *przyrostom objętości* rtęci. Stopnie skali powinny zatem mieć *objętości jednakowe*, nie zaś długości jednakowe. Jeżeli jednak wewnętrzny kanalik rurki jest prawidłowym walcem (o sta-

łym przecięciu), wówczas jednakowe objętości kanalika odpowiadają jednakowym długościom. W tym razie wystarcza podzielenie długości rurki pomiędzy punktami 0° a 100° na 100 równych odstępów.

Skala stustopniowa nazywa się zwykle skalą Celsjusza; będziemy się nią posługiwali w tej książce. Pisze się nieraz 0°C, 30°C i t. d., ażeby czytelnikowi przypomnieć, że temperatura jest mierzona według skali Celsjusza.

Niekiedy używane bywają termometry, których skala (zwana skalą Réaumur) zbudowana jest inaczej; punkt wrzenia wody jest wzięty w nich za stopień 80. A zatem stopień skali Réaumur wynosi tyleż, ile $\frac{5}{4}$ stopnia skali Celsjusza (por. rys. 108).

§ 133. Temperatury wyższe od 100° lub niższe od 0°.

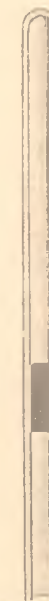
W parze wodnej, uchodzącej z nad gotującej się wody, termometr pokazuje 100°. Istnieją jednak ciała, których temperatura jest wyższa; na przykład rozgrzane do czerwoności żelazo ma jeszcze znacznie wyższą temperaturę. Podzielmy rurkę termometru ponad poziomem »100« na takie same części

równej objętości, jakie mieliśmy pomiędzy zerem a stu; będą to stopnie wyższe od 100°, więc 101°, 102° i t. d.

Postąpmy podobnie pod poziomem »zero«. Termometr pokazuje 0° w topiącym się lodzie, ale są ciała, mające jeszcze niższe temperatury; mieszanina śniegu z solą kuchenną okazuje niższą temperaturę, podobnie powietrze podczas mrozów zimowych. Podzielmy więc rurkę termometru i pod zerem na takie same części równej objętości, jakie mieliśmy między zerem a stu; będą to nowe stopnie, które oznaczamy przez liczby *ujemne*: -1°, -2°, -3° i t. d. Zero naszej skali nie jest najniższą możliwą temperaturą, lecz jest pewną stałą, dowolnie obraną temperaturą; niższe od niej temperatury nazywamy *ujemnymi*, podobnie jak w arytmetyce liczby mniejsze od zera nazywamy *ujemnymi*.

§ 134. Rozszerzanie się gazów.

Gazy pod działaniem ciepła rozszerzają się bardziej niż ciecze. Weźmy rurkę szklaną, z jednej strony zamkniętą (rys. 109); wprowadźmy do niej kroplę rtęci, zanurzmy rurkę do topiącego się lodu i ustawmy kroplę tak, ażeby była odległa o 10 cm od zamkniętego końca rurki. (Możemy bez trudności posuwać kroplę naprzód i wstecz, jeśli przy pomocy cieniutkiej rureczki lub drucika pozwolimy powietrzu rurki wchodzić i wychodzić). Przenieśmy teraz rurkę do gotującej się wody. Powietrze, zawarte w rurce, rozszerza się, kropla posuwa się w rurce i zatrzymuje się w odległości 13·7 cm od zamkniętego końca. Powtórzmy to samo doświadczenie w taki sposób, ażeby kropla w topiącym się lodzie była odległa o 20 cm od końca rurki; wówczas w gotującej się wodzie zatrzyma się ona w odległości 27·4 cm od końca. Pamiętajmy, że na kroplę od strony zewnętrznej działa ciągle atmosferyczne ciśnienie; gdy kropla zatrzymuje się w określonym miejscu, dowodzi to zatem, że powietrze wewnętrzne wywiera także atmosferyczne ciśnienie. Powiadamy: gdy ogrzewamy gaz i pozwalamy mu rozszerzać się swobodnie, tak, iż ciśnienie jego nie ulega zmianie, wów-

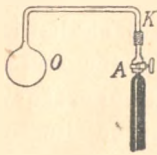


Rys. 109.

czas objętość gazu powiększa się, mianowicie: z każdego sześciennego centymetra gazu w temperaturze 0° otrzymujemy 1.37 cm^3 w temperaturze 100° .

§ 135. Ciśnienie gazów, ogrzewanych w objętości stałej, zwiększa się.

Przypuśćmy teraz, że w temperaturze stu stopni chcemy ścisnąć każdy 1.37 cm^3 napowrót do objętości 1 cm^3 . W tym celu musimy wyrzucić na gaz ciśnienie, większe 1.37 razy od obecnego, t. j. ciśnienie 1.37 atmosfery (§ 90); nawzajem też powietrze, po sprowadzeniu do pierwotnej swej objętości, będzie wywierało także ciśnienie 1.37 atmosfery na otoczenie. *Jeśli pewna ilość powietrza w temperaturze 0° wywierała ciśnienie 1 atmosfery w pewnej objętości, wówczas w tej samej objętości i w temperaturze 100° wywiera ciśnienie 1.37 atmosfery.*

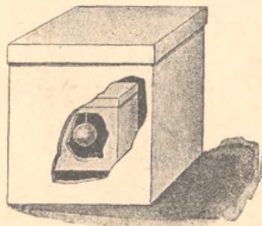


Rys. 110.

Możemy sprawdzić ten wniosek zapomocą balonu szklanego O (rys. 110), którego koniec K łączymy z lewym ramieniem przyrządu, przedstawionego na rys. 76-ym, § 86. Wstawmy balon O raz do topiącego się lodu, drugi raz do gotującej się wody i podnośmy przytem prawe ramie przyrządu do góry tak, ażeby w obu razach poziom rtęci w lewym ramieniu stał tuż pod kurkiem. Gdy tak postąpimy, przekonamy się, że ciśnienie powietrza w temperaturze gotującej się wody jest 1.37 razy większe, niż w temperaturze topiącego się lodu. Jeśli np. w temperaturze 0° obadwa poziomy stały jednakowo wysoko, wówczas w temperaturze 100° prawy poziom będzie stał wyżej od lewego o 28 centymetrów. Otóż tak powinno być według podanego przed chwilą prawa; albowiem, odejmując 1 od 1.37 , otrzymujemy 0.37 ; mnożąc zaś 0.37 przez 76, otrzymujemy około 28.

§ 136. Ani ciężar ani masa ciała nie zależy od temperatury.

Urzędźmy dwa pudełka tak, ażeby jedno mogło pomieścić się wewnątrz drugiego, jak okazuje rys. 111. Wypełnijmy odstępy pomiędzy ściankami pudełek trocinami, watą lub azbestem; w środku wewnętrznego pudełka zawieśmy kulę metalową. Cały ten przyrząd postawmy na wadze i zrównoważmy go dokładnie. Wyjawszy teraz kulę i rozgrzawszy ją mocno w płomieniu, zawieśmy ją w wewnętrznym pudełku; kula będzie tam stygła nadzwyczaj powoli, tak, iż przez długi czas



Rys. 111.

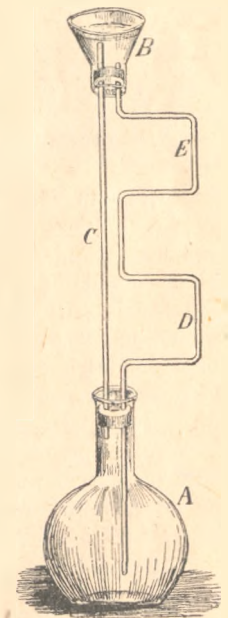
pozostanie gorąca. Stawiając przyrząd na wadze, przekonujemy się, że kula nie straciła ani nie zyskała na ciężarze. Jakkolwiek dokładnie wykonywalibyśmy to doświadczenie, nie zauważylibyśmy zmiany w ciężarze ciała, wywołanej przez ogrzanie lub przez oziębienie. *Ciężar ciała nie zależy od ich temperatury.*

Masa ciała nie zależy również od ich temperatury: ciała gorące spadają na ziemię równie prędko jak zimne (por. § 33); uderzenie młotem rozgrzanym nie sprawia skutku ani większego ani mniejszego niż uderzenie młotem o temperaturze zwykłej.

§ 137. Gęstość ciał zależy od ich temperatury.

Weźmy wodę o temperaturze 0° i ogrzejmy ją do 100° . Masa tej wody nie zmieni się, lecz objętość jej powiększy się (§ 128). Ta sama masa wody w temperaturze 100° zajmuje objętość większą niż w 0° ; ta sama liczba gramów zajmuje więcej centymetrów sześciennych. A zatem w temperaturze 100° zawiera się w jednym centymetrze sześciennym masa mniejsza niż w 0° ; innymi słowy: *gęstość wody (§ 50) w 100° jest mniejsza niż w 0° . To samo stosuje się do wszystkich ciał, które rozszerzają się, gdy ich temperatura się podnosi; ich gęstość jest mniejsza w wyższej niż w niższej temperaturze.*

Woda gorąca jest tedy mniej gęsta niż zimna, podobnie jak korek jest mniej gęsty niż woda. Nic dziwnego zatem (§ 80), że woda gorąca pływa po zimnej, jak to spostrzegamy, przygotowując ciepłą kąpiel w wannie. Zbudujmy przyrząd, wyobrażony na rys. 112. Balon szklany A oraz rurki: prosta C i powyginana DE są całkowicie wypełnione wodą; do lejki B nalewamy wody jakkolwiek bądź zabarwionej. Ogrzewając A od spodu, sprawimy, iż woda gorąca wstępuje z A prosto do góry drogą C i, wypychając wodę zabarwioną z B , zmusza ją do płynięcia ku dołowi przez rurkę ED . Na podobnej zasadzie polega ogrzewanie budynków zapomocą wody gorącej; zbiornik A znajduje się np. w piwnicy, B na poddaszu budynku, E zaś i D wyobrażają piętra mieszkalne.



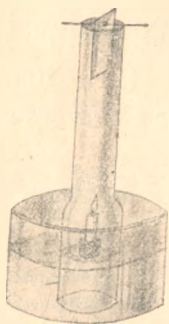
Rys. 112.

§ 138. Gazy gorące unoszą się do góry.

Powietrze gorące jest mniej gęste niż zimne, podobnie jak woda gorąca jest mniej gęsta niż woda zimna (§ 137); dlatego też powietrze ogrzane wypływa w pokoju do góry, zimne zaś pozostaje u dołu (§§ 80 i 137), podobnie jak korek lub drewno wypływa w wodzie do góry. Możemy przekonać się o tem istotnie, że w pokoju, w którym palą się lampy lub piec silnie grzeje, powietrze gorące zbiera się pod sufitem.

Wszelki płomień, jak wiadomo z chemji, wymaga ciągłego dopływu powietrza, albowiem zużywa nie tylko materiał palny (drzewo, węgiel, naftę, gaz oświetlający, stearynę), lecz też i *tlen* (gaz, zawarty w powietrzu). Z drugiej strony, płomień wytwarza ciała gazowe, które powstają przez łączenie się materiału palnego z tlenem; te ciała gazowe,

t. zw. produkty spalania, będąc gorące, wraz z powietrzem, ogrzewanem przez płomień, tworzą prąd, unoszący się do góry; prąd ten nazywamy *dymem*, jeśli znajdują się w nim drobne cząstki stałe, np. niespalonego węgla. Zbliźmy płomień lampy lub świecy do obłoku dymu (np. tytoniowego), wiszącego w powietrzu pokoju; będziemy mogli zauważyć prąd poziomy zimny, płynący *ku* płomieniowi od wszystkich boków, jednocześnie zaś prąd pionowy gorący, płynący *od* płomienia ponad jego wierzchołkiem.



Rys. 113.

Umieścimy świecę na korku, pływającym po wodzie (rys. 113); zapalny świecę i wstawmy cylinder szklany na płomień, jak pokazuje rysunek. Płomień prze prąd gazów gorących ku górze, ale nie ma skąd ciągnąć dopływu świeżego powietrza; dlatego też po chwili słabnie i gaśnie. Lecz jeśli powtórzymy doświadczenie, wstawivszy pionowo w cylinder kawałek tektury, płomień nie zgaśnie, albowiem jedną stroną cylindra będzie ciągnął świeże powietrze, drugą zaś będzie parł gazy gorące ku górze. Istotnie: dym tytoniowy, wpuszczony po pierwszej stronie cylindra, odbędzie w nim taką drogę, najprzód nadół, a potem do góry.

Rozumiemy teraz, dlaczego »ciągną« kominy i przewody kominowe, idące (wewnątrz ścian) od pieców i ognisk aż ponad dachy budynków.

Wentylacja czyli sztuczne przewietrzanie budynków (konieczne dla zdrowia ich mieszkańców) polega najczęściej na zużytkowaniu własności ogrzanego powietrza, objaśnionych w artykule niniejszym.

§ 139. Określenie grama.

Powiedzieliśmy w § 28-ym, że gramem nazywa się masa, zawarta w jednym centymetrze sześciennym wody. Widzimy teraz, że trzeba dodać w określeniu grama, jaka ma być *temperatura* tej wody, albowiem centymetr sześcienny wody gorącej ma mniejszą masę niż centymetr sześcienny zimnej. Umówiono się, że *gramem* ma być masa, zawarta w centymetrze sześciennym wody o *temperaturze* 4°; ta sama temperatura obowiązuje oczywiście w określeniu kilograma i t. d. Gram

wody o temperaturze 100° zajmuje 1.04 cm³; odwrotnie, jeden centymetr sześcienny takiej wody zawiera masę 0.96 grama; innemi słowy, woda wrząca ma gęstość 0.96. W temperaturach pokojowych gęstość wody jest mało co mniejsza od jedności, np. w temperaturze 16° wynosi 0.999; gram takiej wody zajmuje więc objętość, większą od sześciennego centymetra o jedną tysięczną, t. j. o jeden sześcienny milimetr.

Zadania.

1. Jak można sprawdzić, czy termometr, który kupiliśmy gotowy u optyka, wskazuje prawdziwie zero i sto?
2. Ile stopni Réaumura wynoszą temperatury: 25°, 50°, 60° i 75° Celsjusza? Ile stopni Celsjusza wynoszą temperatury 20° i 70° Réaumura?
3. Balony, służące do wznoszenia się w powietrzu, można wypełniać gorącym powietrzem. Dlaczego?
4. Czy wysoki komin ciągnie lepiej czy gorzej aniżeli niski? Kiedy komin ciągnie lepiej: zimą czy latem?
5. Wiadomo, że lód pływa po wodzie (np. kra po rzece), nie tonąc w niej. Czego to dowodzi?
6. Woda wypełnia całkowicie po brzegi pewne naczynie. Co stanie się, jeżeli pod naczyniem umieścimy płomień?

§ 140. O mieszaniu wody zimnej z gorącą.

Widzieliśmy w § 123-im, że ciała gorące, ogrzewając inne, chłodniejsze, same stygną. Przypuśćmy, że ciało *A* było pierwotnie gorące, ciało zaś *B* było zimne. Wprowadzamy je w zetknięcie albo mieszamy ze sobą, jeżeli są cieczami lub gazami. Temperatura ciała *A* obniża się, temperatura ciała *B* podnosi się; zjawisko to trwa dopóty, dopóki nie nastąpi wyrównanie się temperatur.

Ciało *B* ogrzało się tutaj kosztem ciała *A*; ciało *A* ostygło ku zyskowi ciała *B*. Czy możemy powiedzieć, że ciało *A* tyle straciło, ile zyskało ciało *B*? Mimowoli nasuwa się taki sposób myślenia. Ale *na czem* mianowicie zyskało ciało *B*, na czem straciło ciało *A*? Czy na temperaturze? Czy strata ciała *A* i zysk ciała *B*, wyrażone w stopniach, są równe sobie? Ażeby otrzymać odpowiedź na to pytanie, odwołajmy się do doświadczenia.

Przypuśćmy, że mamy kilogram wody *A*, ogrzanej do 100°, oraz kilogram wody *B* o temperaturze pokojowej, powiedzmy 16°. Mieszamy je ze sobą szybko ale dokładnie, poczem badamy temperaturę mieszaniny. Wynosi ona 58°. Temperatura wody

A obniżyła się tedy o 42 stopnie; temperatura wody *B* podniosła się również o 42 stopnie. W tym razie strata ciała *A* i zysk ciała *B*, wyrażone w stopniach, są istotnie równe sobie.

Spróbujmy zmienić warunki doświadczenia. Weźmy kilogram wody *A* ogrzanej do 100° oraz 3 kilogramy wody *B* mającej 16°. Po zmieszaniu woda ma 37°. Jakie zmiany temperatury zaszły w tem doświadczeniu? Temperatura wody *A* opadła o 63 stopnie, temperatura wody *B* podniosła się o 21 stopni. Strata temperatury ciała *A* nie jest równa w tym razie zyskowi temperatury ciała *B*; jest od niego 3 razy większa, gdy tymczasem masa wody *A* była 3 razy mniejsza. *Zmiany temperatur zmieszanych ilości wody są w odwrotnym stosunku ich mas.*

Przypuśćmy, że zmieszaliśmy 2 kg wody *C*, mającej 80° z 3 kg wody *D*, mającej 20°; otrzymujemy 5 kg wody, mającej 44°. Zmiany temperatury są: w wodzie *C* 36 stopni, w wodzie *D* 24 stopnie; stosunek 36:24 jest odwrotnością stosunku 2:3. Jakkolwiek wybralibyśmy masy wody i ich początkowe temperatury w doświadczeniach podobnych, wynik byłby zawsze ten sam: zmiany temperatur zmieszanych ilości wody pozostają do siebie w odwrotnym stosunku ich mas. Inaczej mówiąc: *iloczynny mas przez zmiany ich temperatur są równe sobie.*

§ 141. Ilość ciepła.

Skąd takie prawidło? Nie potrzeba wielkiego wysiłku, ażeby pojąć jego właściwe znaczenie. W trzech kilogramach wody *B* (§ 140), która pierwotnie miała temperaturę 16°, możemy wyobrazić sobie trzy części, z których każda ma zosobną masę 1 kg i początkową temperaturę 16°. Każda z tych części ogrzała się o 21 stopni; mnożymy zatem 21 przez 3. Otrzymana liczba 63 wyobraża zysk cieplny wody *B*. Woda *A* miała masę 1 kg; temperatura jej opadła o 63 stopnie; mnożymy 63 przez 1, otrzymany iloczyn 63 wyraża stratę cieplną wody *A*. *Tak obliczone, zysk i strata są równe sobie.* Zupełnie podobnie tworzymy iloczyny $24 \times 3 = 72$ oraz $36 \times 2 = 72$, ażeby wyrazić zysk cieplny wody *D* oraz stratę cieplną wody *C*, o których była mowa w § 140-ym. Jeżeli obliczamy zysk cieplny albo stratę cieplną wody jako *iloczynny masy wody*

przez zmianę jej temperatury, wówczas powiadamy: zysk cieplny wody, która ogrzewała się, jest równy cieplnej stracie wody, która oziębiała się.

Ilością ciepła, którą woda zyskała lub straciła w pewnym zjawisku, nazywamy zatem iloczyn, o którym tutaj mówiliśmy, mianowicie: iloczyn masy wody przez zmianę jej temperatury. Widzimy, że pojęcie ilości ciepła jest wprawdzie blisko związane z pojęciem temperatury, ale jest od niego całkiem różne. Ilość ciepła, pobrana albo stracona przez wodę w pewnym zjawisku, nie mierzy się temperaturą wody, ale zmianą tej temperatury, pomnożoną przez masę wody.

Powróćmy do porównania, które podaliśmy w § 123-im. Naczynie *A* straciło tam tyle wody, ile jej zyskało naczynie *B* (rys. 101). A zatem ciężar wody, wyrażony np. w gramach, ma w tem doświadczeniu podobne znaczenie, jak ilość ciepła w powyższych cieplnych zjawiskach. Poprzeczne przecięcie naczynia w tem doświadczeniu odpowiada widocznie masie ciała w powyższych cieplnych zjawiskach.

Rozumiemy teraz, co znaczy wyrażenie: *ilość ciepła, uzyskana albo stracona przez ciało w pewnym zjawisku*. Ścisłe rzecz biorąc, powinniśmy zawsze tylko mówić o *ilości ciepła zyskanej lub straconej*, nie zaś o samem (pobranem lub oddanem) *cieple*. Jednakże mówi się nieraz, przez skrócenie, że *ciepło napływa* do ciała, które się ogrzewa; że *ciepło odpływa* lub *uchodzi* z ciała, które stygnie i t. d. Wyrażając się w taki sposób, powinniśmy o tem pamiętać, że ciepło bynajmniej nie jest jakowymś płynem, który zawiera się w ciele jak woda w butelce, który zatem mógłby przyplwać albo odpływać, uchodzić z ciała lub być pochłanianym przez ciało. Wprawdzie przed mniej więcej stu laty przeważały wśród uczonych podobne poglądy i przypuszczenia o istocie ciepła; dziś wiemy jednakże, że one niewątpliwie są mylne. Powróćmy do tego przedmiotu w zakończeniu niniejszego rozdziału.

§ 142. Jednostka ilości ciepła.

Wodę chłodną można ogrzać, mieszając ją z gorącą; ale można dopiąć tego samego celu innemi sposobami. Przypuśćmy, że mamy w naczyniu 2 kg wody o temperaturze 10°. Trzymamy naczynie nad płomieniem; po pięciu minutach woda ma np. 60°. Czemże jest płomień? Pewnem ciałem gazowem, bardzo gorącym; między nim a wodą chłodną odbywa się wyrównywanie się temperatur, podobnie jak między wodą gorącą a zimną. Powiadamy zatem, że w przeciągu 5-ciu minut pewna ilość ciepła przeszła z płomienia do wody.

I w tym przypadku mówimy, że *ilość ciepła, którą stracił płomień, równa się ilości ciepła, którą zyskała woda*, mianowicie równa się iloczynowi masy wody (2 kg) przez podniesienie się jej temperatury (50 stopni).

Ażeby ogrzać się o 1 stopień, kilogram wody musi pochłonąć pewną ilość ciepła; *tę ilość ciepła przyjęto za jednostkę ilości ciepła i nazwano kalorią* (kilogramową albo »wielką« kalorią). Powiemy na przykład w przytoczonym przed chwilą przypadku, że woda otrzymała od płomienia 100 kaloryj. Gdyby 3 kg wody ogrzały się o 80 stopni, powiedzielibyśmy, że pochłonęły 240 kaloryj. W przypadkach § 141-go powiemy, że woda *A* straciła 63 kalorie, które uzyskała woda *B*; że *C* straciła 72 kalorie, które uzyskała woda *D*.

Posługujemy się niekiedy w fizyce *kalorią gramową* (czyli »małą«), która wynosi jedną tysięczną część kilogramowej. Ażeby ogrzać się o 1 stopień, gram wody musi pobrać 1 małą kalorie.

§ 143. Ogrzewając się, różne ciała pochłaniają ilości ciepła niejednakowe.

Mówiliśmy dotychczas o ogrzewaniu się lub oziębianiu się wody i o ilościach ciepła, które wówczas woda pochłania albo oddaje. Porównajmy teraz ze sobą ilości ciepła, które są potrzebne do jednakowego ogrzania jednakowych mas: wody i pewnego innego ciała, na przykład terpentyny. Weźmy 100 gr wody, ogrzanej do 100° oraz 100 gr terpentyny o temperaturze 15°. Po zmieszaniu tych cieczy przekonywamy się, że wspólna temperatura ich wynosi 75°. A zatem woda oziębiła się o 25 stopni; terpentyna zaś ogrzała się o 60 stopni. Terpentyna pochłonęła ilość ciepła, którą straciła woda; więc powiadamy: ilość ciepła, która ogrzewa 100 gr terpentyny o 60 stopni, jest w stanie ogrzać 100 gr wody tylko o 25 stopni. Więc kilogram terpentyny wymaga *mniejszej* ilości ciepła, niż kilogram wody, do ogrzania się jednakowego, mianowicie mniejszej w stosunku 25:60 albo w stosunku 0·42 do 1·00. Kilogram wody pochłania 1 kalorie, ogrzewając się o 1 stopień; zatem kilogram terpentyny pochłania 0·42 kaloryj, ogrzewając się o 1 stopień.

W podobny sposób można przekonać się, że kilogram alkoholu pochłania 0·60 kaloryj, ogrzewając się o stopień; kilogram żelaza — nieco więcej niż 0·10, kilogram miedzi nieco mniej niż 0·10 kaloryj; kilogram rtęci około 3 kal., t. j. nieco więcej niż 0·03 kal. W jednakowych warunkach potrzeba więc około 30 razy większej ilości ciepła, ażeby ogrzać wodę, niż ażeby ogrzać rtęć.

§ 144. Punkt topliwości.

Wiadomo z § 130-go, że *zero* jest jedyną temperaturą, którą może mieć (w otwartym naczyniu) zarówno woda jak lód. Nalejmy nieco wody do szklanki; przypuśćmy, że temperatura wody wynosi 15°. Możemy łatwo obniżyć temperaturę wody; wstawiając ją do mieszaniny śniegu i soli (§ 130) i ciągle mieszając, możemy doprowadzić temperaturę do 10°, do 5° i nareszcie do 0°. Ale np. do —10° *nie możemy* doprowadzić temperatury wody, albowiem w temperaturze 0° woda *zamarza*. Postąpmy odwrotnie. Weźmy nieco lodu; lód jest zimny, ma np. temperaturę —12°. Możemy lód ogrzać, doprowadzić go do —8°, do —5°, do —1°; ale nie możemy doprowadzić go do +10°, albowiem w temperaturze 0° lód *topi się*. Powiadamy: lód może mieć temperaturę niższą od zera lub samo zero, lecz nie może mieć temperatury wyższej. Woda może mieć temperaturę wyższą od zera lub samo zero, lecz nie może mieć temperatury niższej. Jedyną temperaturą, którą może mieć i lód i woda, jest temperatura 0°. Dlatego w temperaturze 0° może istnieć *mieszanina lodu z wodą*, t. j. lód i woda mogą stykać się z sobą w 0° i lód nie będzie się topił, ani woda nie będzie marzła. Jeżeli mamy *lód* (lub *śnieg*) *wilgotny* (t. j. poczynający się topić), możemy być pewni, że temperatura w tej mieszaninie lodu (lub śniegu) z wodą wynosi 0°. Powiadamy inaczej, że 0° jest *temperaturą* lub *punktem topliwości* lodu.

§ 145. Czemu jedne ciała są ciekłe a inne są stałe.

Jak temperatura 0° jest punktem topliwości lodu, podobnie temperatura 31° jest punktem topliwości masła, temp. 63° punktem topliwości wosku, temp. 115° punktem topliwości siarki; każde chemiczne ciało ma własny *punkt topliwości*. Na przykład *siarka* jest ciałem stałym poniżej 115° a ciałem cie-

kłem powyżej 115°. Dlaczego nazywamy zwykle siarkę ciałem stałym? Ponieważ widzimy ją zazwyczaj w temperaturach, które leżą znacznie niżej od jej punktu topliwości. Gdybyśmy żyli w atmosferze, mającej np. 130°, widywalibyśmy siarkę w temperaturach, wyższych o 15 stopni od jej punktu topliwości i uważalibyśmy ją za ciecz. Żyjemy zazwyczaj w temperaturach, wyższych mniej więcej o 15 stopni od punktu topliwości wody i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do uważania wody za ciecz. Ale zwykła woda jest stopionym lodem, podobnie jak siarka w 130° jest stopioną siarką. Podobnie *rtęć* nazywamy cieczą dlatego, że punkt topliwości rtęci leży nisko (w -39°); lecz na wyprawach podbiegunowych ludzie znosili nieraz temperatury takie jak -39° i niższe a wówczas rtęć wydawała im się ciałem stałym, które można kuć, krajać na kawałki i t. d. Jeszcze niżej leży punkt topliwości *alkoholu* (wysoko). Przeciwnie, punkt topliwości *metali* leży bardzo wysoko; punkt topliwości cyny wynosi 231°, ołowiu 325°, miedzi około 1100°, stali około 1300°; punkt topliwości żelaza wynosi około 1500°.

Czemu więc jedne ciała są ciekłe a inne są stałe? Ponieważ temperatury, w których żyjemy, są wyższe od punktów topliwości pierwszych a niższe od punktów topliwości drugich.

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

§ 146. Ciepło topliwości.

Weźmy dwa jednakowe naczynia: w jednym pomieścimy kilogram lodu o temperaturze 0°, w drugim kilogram wody o temperaturze 0°. Postawmy te naczynia obok siebie w pokoju; zobaczymy, że woda przybierze temperaturę pokojową już wówczas, gdy dopiero nieznaczna część lodu będzie stopiona. Ciepło, napływające z powietrza, w naczyniu z wodą idzie od razu na podnoszenie temperatury; w naczyniu z lodem zużywa się przedtem na topienie lodu.

Weźmy kilogram lodu, mającego 0° i oblejmy go kilogramem wody gorącej, mającej 80°. Gdybyśmy, zamiast lodu, wzięli wodę o temperaturze 0°, otrzymalibyśmy 2 kilogramy wody o temperaturze 40° (§ 140); tymczasem obecnie otrzymujemy 2 kilogramy wody ciekłej, mającej 0°. Woda gorąca straciła więc 80 kaloryj, które lód pobrał, ażeby stopić się. *Trzeba wprowadzić 80 kaloryj do kilograma lodu o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram wody o tejże temperaturze.* I odwrotnie: trzeba odebrać 80 kaloryj kilogramowi wody o temperaturze 0°, ażeby zamienić go na kilogram lodu o tejże temperaturze. Mówimy, że *ciepło topliwości wody* wynosi 80 kaloryj na kilogram.

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

Zadania.

1. Ile małych kaloryj pochłonie 250 gr wody, ogrzewając się od 15° do 20° C?
2. Ile ciepła wydzieli 50 gr rtęci przy oziębieniu od 100° do 50° C?
3. Kawałek żelaza, ważący 25 gr, ogrzano w piecyku do 300° C i wrzucono do 100 gr wody o temperaturze 15° C. Do ilu stopni podniosła się temperatura wody?
4. Ile kilogramów wilgotnego lodu trzeba wrzucić do 8 kilogramów wody, mającej temperaturę 10°, żeby ją oziębic do zera?
5. Jeżeli po mrozach następuje podniesienie się temperatury, nie wszystkie śnieg topi się od razu. Dlaczego?
6. Udzielamy 460 kaloryj (kilogramowych) mieszaninie, składającej się z 2 kg lodu i 3 kg wody w 0°. Co nastąpi?

§ 147. Para wodna.

Puśćmy kroplę wody na tafelkę szklaną; po jakim czasie kropli niema; *wyschła*, jak powiadamy. Podobnie wysycha zmoczona bielizna lub ziemia, gdy oddawna nie było deszczu. Z butelki otwartej woda również wysycha, ale z zakorkowanej butelki nie wysycha; jeśli zamknięcie jest szczelne, wody wcale nie ubywa. Stąd widzimy, że woda, wysychając, nie ginie, lecz *ulatnia się* czyli *paruje* t. j. zamienia się na ciało gazowe, na *parę wodną* i jako para rozchodzi się w powietrzu. Weźmy wodę gorącą; taka woda zamienia się na parę obficie, niż zimna; dlatego przedmioty wilgotne w ciepłe łatwiej wysychają. Nalawszy do szklanki wody gorącej do połowy, mamy w górnej połowie pełno pary wodnej. Przykryjmy szklankę zimnym talerzem; para wodna w zetknięciu z talerzem *skrapla się* i pokrywa go gęstą rosą. A więc powiadamy: woda może mieć postać trójaką: ciała stałego, ciekłego i gazowego; w tej ostatniej postaci nazywamy ją *parą wodną*.

Ogrzewajmy nieco wody w szklanem naczyniu o dość wąskiej szyjce, aż pocznie *wrzesć*. Tworząca się para skrapla się z początku na chłodnych ścianach naczynia; później, gdy już samo naczynie jest gorące, para strumieniem wybiega w powietrze. Zauważmy, że para skłębia się w nieprzezroczysty obłoczek dopiero w pewnej odległości od otworu naczynia; wewnątrz naczynia, wypełnione parą, jest zupełnie przezroczyste. A zatem *para wodna jest przezroczysta i niewidzialna* jak powietrze; co w języku potocznym nazywamy parą, nie jest ciałem gazowym czyli parą właściwą, lecz parą *skroploną* na małe kropelki, które unoszą się w powietrzu.

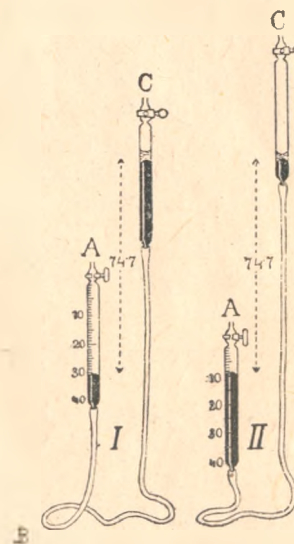
§ 148. Ciśnienie pary.

Jak powietrze i jak każde wogóle ciało gazowe, para wodna wywiera ciśnienie; zobaczymy, jak znaczne ciśnienie wywiera. Gdy woda ulatnia się w powietrzu, powstająca para miesza się z powietrzem; żeby badać ciśnienie samej tylko pary, pozwólmy wodzie ulatniać się w próżni. W tym celu posługujemy się przyrządem, który znamy z § 86-go rozdziału drugiego (zob. tamże rys. 76-ty). Wprowadźmy nieco wody ponad rtęć w *C* przed zamknięciem kurka; następnie podnieśmy rurkę *C*, jak na rys. 76-ym, III. Różnica w wysoko-

ściach poziomów rtęciowych będzie teraz mniejsza wskutek obecności pary wodnej ponad rtęcią w rurce *C*. Przypuśćmy, że mamy 15° w pokoju; różnica w wysokościach jest teraz 74·7 cm, gdy poprzednio wynosiła 76 cm. Położenie poziomów rtęci jest więc takie, jakie widzimy na rys. 114, I. Na powierzchnię rtęci w otwartym ramieniu *A* działa ciśnienie atmosferyczne; to ciśnienie (76 cm) równoważy się z sumą ciśnień: 1° słupa rtęci o wysokości, równej różnicy wysokości poziomów w obu ramionach 2° ciśnienia pary wodnej, znajdującej się w *C*. Ponieważ różnica wysokości poziomów w ramionach *C* i *A* wynosi 74·7 cm, zatem ciśnienie pary wodnej w *C* musi być 76—74·7 czyli = 1·3 cm.

Wykonywamy teraz nowe doświadczenie. Podnosimy rurkę *C* znacznie do góry; jakkolwiek różnica wysokości poziomów rtęci nie zmienia się wcale i wynosi, jak dawniej, 74·7 cm, jednakże objętość pary w *C* zwiększa się znacznie (rys. 114, II). Spostrzegamy zarazem, że obecnie, w położeniu II, wody ciekłej nad rtęcią (w rurce *C*) jest *mniej* niż jej było w położeniu I. Co zatem stało się w tem doświadczeniu? W rurce *C* znajdowała się pewna ilość pary wodnej; gdy powiększyliśmy objętość tej pary, ciśnienie jej (jak w każdym ciele gazowym, § 90) zmniejszyło się. Wówczas zatem woda ciekła nad rtęcią (w rurce *C*) znalazła się pod ciśnieniem mniejszem niż 1·3 cm. Ponieważ tej wody ciekłej ostatecznie ubyło, więc widocznie, skutkiem zwiększenia objętości nad rtęcią, woda ciekła poczęła się ulatniać i wytworzyła nową ilość pary wodnej, która zmieszała się z dawną. Ciśnienie pary powiększało się przez to; gdy doszło napowrót do 1·3 cm, woda przestała dalej parować. Dlatego w położeniu II ilość wody ciekłej okazała się nieco mniejsza niż w położeniu I, ciśnienie zaś pary pozostało to samo.

Przypuśćmy, że wykonaliśmy to doświadczenie w temperaturze 20°; wyniki byłyby zupełnie podobne, tylko różnica



Rys. 114.

wysokości poziomów rtęci (w *A* i w *C*) byłyby stale 74·3 cm. W temperaturze 10° wynosiłaby stale 75·1 cm.

Powiadamy zatem: w każdej temperaturze woda ciekła wytwarza parę o pewnym (określonym) ciśnieniu; to ciśnienie nazywa się ciśnieniem nasycenia. W temperaturze 10° ciśnienie nasycenia wody wynosi 0·9 cm (słupa rtęciowego); w 15° wynosi 1·3 cm, w 20° wynosi 1·7 cm.

Jeżeli ciśnienie pary nad wodą jest *mniejsze* niż ciśnienie nasycenia (odpowiadające panującej dokoła temperaturze), wówczas woda ulatnia się czyli *paruje*; jeżeli jest *większe*, para *skrapla się*. Jeżeli ciecz i para są ze sobą w zetknięciu i ani ciecz nie ulatnia się ani para nie skrapla się, wówczas para musi mieć właśnie ciśnienie nasycenia.

§ 149. Para nienasycona.

Powracamy jeszcze raz do przyrządu, opisanego w artykule poprzednim (rys. 114). Podnosimy rurkę *C* wyżej i wyżej. Dostrzegamy, że wody ciekłej jest coraz mniej, pary wodnej coraz więcej. Ale dopóki nad rtęcią w *C* znajduje się choćby mała ilość wody ciekłej, para ma wciąż (w temperaturze 15°) ciśnienie 1·3 cm. Powiadamy, że *taka para jest nasycona*.

Podnosząc *C* coraz bardziej do góry, dostrzegamy nareszcie, że woda ciekła znikła zupełnie. Jeżeli będziemy podnosili rurkę *C* jeszcze wyżej do góry, pary już nie może przybywać. Istotnie, dostrzegamy, że ciśnienie pary zmniejsza się, gdy wówczas *C* podnosimy do góry. Ciśnienie pary maleje, ponieważ objętość jej rośnie. Mówimy, że taka para (która zachowuje się jak zwykle ciało gazowe) jest *nienasycona*.

§ 150. Ciśnienie nasycenia rośnie z podnoszeniem się temperatury.

Widzieliśmy już w § 148-ym, że w temperaturach pokojowych (od 10° do 20°) ciśnienie nasycenia wody wzrasta, gdy temperatura się podnosi. Przejdźmy teraz do wyższych temperatur. Otoczmy (rys. 115) rurkę *C* poprzedniego przyrządu szeroką rurą szklaną i nalejmy do niej wody gorącej; zwa-

żajmy zawsze na to, ażeby nad rtęcią w rurce *C* znajdowała się woda ciekła. Mierząc różnice wysokości poziomów rtęciowych w obu ramionach przyrządu (rys. 114), znajdziemy w znany już sposób (§ 148) ciśnienie nasycenia wody w różnych temperaturach. Znajdziemy:

3·1 cm w 30°	35·5 cm w 80°
9·2 cm w 50°	52·6 cm w 90°
23·4 cm w 70°	76·0 cm w 100°.

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



Rys. 115.

§ 151. Punkt wrzenia.

Kiedy ogrzewamy wodę w otwartym naczyniu, temperatura wody nie może podnieść się ponad 100°. Istotnie: woda znajduje się wówczas pod ciśnieniem 76 cm; tworząca się para rozchodzi się w powietrzu; więc ciśnienie nie może podnieść się ponad 76 cm, zatem i temperatura wody ponad 100°. To też w temperaturze 100° woda zamienia się całkowicie w parę w otwartym naczyniu; mówimy, że *woda wrze w temperaturze 100° pod ciśnieniem atmosferycznym*. Temperatura 100° nazywa się dlatego *temperaturą* lub *punktem wrzenia* wody.

Rozumiemy również, dlaczego musieliśmy zastrzec w § 131-ym, że temperatura pary wodnej, uchodzącej z nadgotujacej się wody, wynosi 100° tylko wówczas, gdy ciśnienie otaczającego powietrza wynosi jedną atmosferę (76 cm). Znając ciśnienia nasycenia pary wodnej w pobliżu 100°, możemy poprawić drugi punkt skali termometrycznej ze względu na ciśnienie panujące w powietrzu. Jeżeli np. podczas doświadczenia barometr pokazywał 752 mm, wiemy wówczas, że temperatura pary wynosiła 99·7°.

§ 152. Wrzenie pod ciśnieniem innym niż atmosferyczne.

Gotujmy wodę w zamkniętym naczyniu (rys. 116); para nie rozchodzi się w powietrzu, ciśnienie jej podnosi się ponad 76 cm, jak pokazuje położenie rtęci w rurce *M*; wówczas temperatura podnosi się ponad 100°, jak pokazuje termometr

T. Pod ciśnieniem *większym* niż atmosferyczne woda wrze w temperaturze *wyższej* niż 100° . Zastosowanie tej zasady znajdujemy w *kotłach parowych*, służących do wytwarzania pary dla maszyn parowych (§ 163). Do niektórych maszyn potrzeba pary o znacznym ciśnieniu, na przykład o ciśnieniu kilkunastu atmosfer; woda, gotująca się w kotle, ma wówczas temperaturę, dochodzącą do 200° lub nawet jeszcze wyższą.



Rys. 116.

Umieścimy, przeciwnie, naczynie z wodą pod dzwonem pompy pneumatycznej i wyciągamy wciąż powietrze i tworząca się para, np. tak, żeby ciśnienie pod dzwonem wynosiło stale 35.5 cm; wówczas temperatura wody nie może podnieść się ponad 80° (§ 150); więc wrzenie pod dzwonem będzie się odbywało w temperaturze 80° . Pod ciśnieniem *niższym* niż atmosferyczne woda wrze zatem w temperaturze *niższej* niż 100° . Wiemy, że na szczytach gór ciśnienie powietrza jest mniejsze niż zwykłe atmosferyczne ciśnienie (§ 99); to też na szczycie Łomnicy woda wrze w temperaturze 91° , na szczycie Mont-Blanc w temperaturze 84.4° zamiast w 100° , jak u poziomym morza.

§ 153. Skraplanie się pary.

Powróćmy jeszcze raz do doświadczeń, które opisaliśmy w §§ 148-ym i 149-ym. Przypuśćmy, że do rurki C (rys. 114) wprowadzono bardzo małą ilość wody, tak iż ona całkowicie wyparowała i wytworzyła parę nienasyconą. Obniżamy teraz rurkę C lub podnosimy A do góry. Ciśnienie pary w C wzrasta; gdy dojdzie do 1.3 cm, para będzie nasycona. Dalsze zmniejszanie objętości sprawi, że para będzie się skraplała; utworzą się kropelczki wody ciekłej, bądź na rtęci, bądź na ściankach rurki. Jeżeli dalej zmniejszamy objętość, wody ciekłej coraz więcej przybywa. *Parę nienasyconą można zatem skroplić, czyli zamienić na ciecz, zmniejszając jej objętość w temperaturze niezmiennej.* Ale temperatura ta *nie* powinna być *zbyt* wysoka; w przeciwnym razie ciecz nie pojawi się.

Możemy jeszcze inaczej postąpić. Mamy parę wodną nienasyconą, przypuśćmy w temperaturze 15° . Skoro para jest nienasycona, ciśnienie jej musi być mniejsze niż 1.3 cm (§ 148); przypuśćmy, że wynosi na przykład 0.9 cm. Oziębiamy teraz rurkę C (na przykład oblewając ją zimną wodą); ciśnienie pary przez to będzie się zmniejszało w tej rurce. Jednocześnie

podnosimy rurkę A; przez to ciśnienie pary w C będzie się zwiększało. Możemy więc tak dobrać oziębianie i podnoszenie rurki A, żeby ciśnienie pary w C pozostawało równe 0.9 cm, gdy temperatura jej obniża się. Ale ponieważ ciśnienie nasycenia jest coraz mniejsze w temperaturach coraz niższych (§ 150), zatem, postępując w ten sposób, dojdziemy wkrótce do takiej temperatury, w której ciśnienie 0.9 cm jest właśnie ciśnieniem nasycenia. W tej temperaturze para w rurce C będzie już nasycona. Dalsze oziębianie wywoła skraplanie się pary. *Można zatem skroplić parę nienasyconą, nie zmieniając ciśnienia; w tym celu należy parę oziębiać.*

§ 154. Para wodna w powietrzu.

Nalejmy zimnej wody do butelki, potem zamknijmy szczelnie butelkę i postawmy ją w pokoju, gdzie mamy np. 15° a ciśnienie barometryczne wynosi 76 cm. Co znajduje się w butelce ponad wodą? Mieszanina dwóch ciał gazowych: powietrza i pary wodnej. Ile jest jednego a ile drugiego? W próżni woda wytworzyłaby parę o ciśnieniu 1.3 cm (§ 148); w obecności powietrza wytworzy ostatecznie parę o takim samym ciśnieniu jak w próżni; obecność powietrza nie ma wpływu na ciśnienie nasycenia. Gdybyśmy więc mogli zmierzyć w butelce ciśnienie pary wodnej samej przez się i ciśnienie powietrza samego przez się, przekonalibyśmy się, że pierwsze wynosi 1.3 cm a drugie 76 cm; razem 77.3 cm.

W otwartym powietrzu znajduje się zawsze para wodna, albowiem woda mórz, rzek, jezior, woda znajdująca się w ziemi i w roślinach i wszelka wogóle woda, prócz szczelnie zamkniętej, wytwarza wciąż parę. Powietrze w pokoju ma w sobie również parę wodną, a nawet często zawiera jej jeszcze więcej, gdyż wytwarzają ją ludzie, oddychając, wytwarza ją każdy płomień i t. d.

§ 155. Rosa. Opady atmosferyczne.

Przypuśćmy, że w pewnym pokoju jest tyle pary wodnej, iż sama przez się wywierałaby ciśnienie np. 0.9 cm; temperatura powietrza niech wynosi 15° . Ciśnienie nasycenia wody w 15° równa się 1.3 cm (§ 148), zatem para w tym pokoju, sprawiająca tylko 0.9 cm ciśnienia, nie będzie się skraplała; woda ciekła w pokoju będzie parowała. Przypuśćmy, że wnieśliśmy do tego pokoju jakieś zimne ciało, np. ka-

rafkę pełną śniegu. Powietrze, stykające się z powierzchnią karafki, będzie się oziębiało; temperatura jego zejdzie stopniowo do 14° , do 13° i t. d.; nareszcie, gdy dojdzie do 10° , para wodna, która jest w tem powietrzu, znajdzie się pod swem ciśnieniem nasycenia, gdyż dla 10° ciśnienie 0.9 cm jest właśnie ciśnieniem nasycenia wody (§ 148). W tej temperaturze 10° para wodna, znajdująca się w pobliżu karafki, skropli się (por. § 153) i osiadzie na karafce w postaci *rosy*.

Z powodu, który tu wytłumaczyliśmy, w porze zimowej szyby w oknach pokrywają się rosą (lub nawet lodem) od strony wewnętrznej, od strony pokoju; ażeby temu zapobiec, w sklepach palą małe płomyczki w pobliżu szyb w wystawach sklepowych. Jeśli drzwi z ogrzanego pokoju (a jeszcze bardziej z kuchni lub pralni) prowadzą wprost na dwór, widzimy wówczas zimą podczas mrozu, że kłęby pary buchają za każdym otwarciem drzwi; para wodna w pokoju ma ciśnienie mniejsze niż ciśnienie nasycenia, jest więc ciałem gazowem i jest niewidzialna (§ 147); ale w temperaturze zewnętrznego powietrza skrapla się i tworzy chmurę, złożoną z ciekłych kroperek. Para, którą wzywamy z płuc, z tegoż samego powodu nie skrapla się podczas lata lub w ogrzonym pokoju, skrapla się zaś na mrozie.

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

§ 156. Punkty wrzenia różnych ciał. Dlaczego powietrze jest gazem?

Punkt wrzenia wody pod ciśnieniem atmosferycznem wynosi 100° ; punkt wrzenia alkoholu wynosi 78° ; punkt wrzenia eteru (t. zw. siarczanego) wynosi 35° . Ciała te nazywamy cieczami, gdyż widzujemy je zazwyczaj w temperaturach, niższych od ich punktów wrzenia. Gdybyśmy żyli w temperaturze np. 40° (w krajach gorących zdarzają się takie upały), eter siarczany byłby dla nas ciałem gazowem. Podobnie mają się rzeczy co do powietrza, tylko punkt wrzenia powietrza leży nadzwyczaj nisko, mianowicie o 190 stopni pod zerem czyli w temperaturze -190° ; w tej temperaturze powietrze skrapla się. W temperaturach, w których żyjemy, powietrze znajduje się mniej więcej o 200 stopni ponad swym punktem wrzenia, dlatego jest dla nas ciałem gazowem.

Metale, przeciwnie, mają bardzo wysokie punkty wrzenia. Rtęć topi się w -39° , wre zaś w 357° ; cynk, który topi się w 419° , wre około 920° . Inne metale wrą jeszcze wyżej i w ogniu

naszych pieców nie dochodzą do wrzenia; ale na słońcu znajdują się takie same metale jak na ziemi; są one tam wszystkie ciałami gazowemi wskutek niezmiernie wysokich temperatur, jakie na słońcu panują.

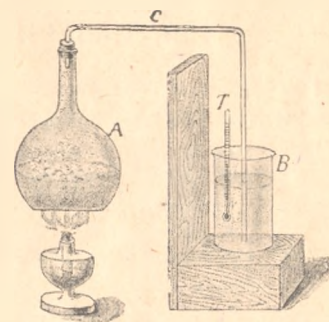
Powietrze zostało skroplone po raz pierwszy w Krakowie, w roku 1883-im, przez Zyg. Wróblewskiego i Karola Olszewskiego, profesorów Uniwersytetu Jagiellońskiego.

§ 157. Ciepło parowania.

Do naczynia *B* (rys. 117) wprowadźmy kilogram wody, mającej temperaturę 0° ; naczynie to ochrońmy złemi przewodnikami od dopływu ciepła z zewnątrz, zwłaszcza od płomienia. Przez rurkę *C* wpuszczamy do naczynia *B* parę wodną, która wytwarza się w *A*. Bańki pary z początku uikną w wodzie lodowatej, później, gdy woda

w *B* staje się coraz cieplejsza, przechodzą coraz łatwiej; nareszcie, gdy temperatura w *B* dojdzie do 100° , bańki te przestają się skraplać. Zważmy wodę w naczyniu *B*, gdy temperatura dojdzie do 100° ; przekonamy się, że przybyło jej 186.5 gramów. A zatem 186.5 gramów pary wodnej przyniosło ze sobą i oddało wodzie zimnej w *B* ilość ciepła, potrzebną do ogrzania 1 kilograma wody od 0° do 100° , czyli 100 kaloryj; więc 1 gram pary oddał $\frac{100 \cdot 100}{186.5}$ czyli 0.536 kaloryj; kilogram pary oddałby 536 kaloryj. Widzimy więc, że kilogram pary wodnej, skraplając się, oddaje swemu otoczeniu 536 kaloryj.

Przeciwnie: ażeby kilogram wody ciekłej, mającej 100° , zamienić na kilogram pary, mającej również 100° , potrzeba wodzie ciekłej udzielić 536 (kilogramowych) kaloryj. Ta ilość ciepła nazywa się *ciepłem parowania* wody.



Rys. 117.

§ 158. O sztucznem oziębianiu.

Widzimy, że ciepło parowania wody jest znaczne; to też, pomimo, iż woda paruje powoli w zwykłej temperaturze, czu-

jemy chłód, gdy kropla wody ulatnia się na dłoni. Ażeby mieć wodę chłodną podczas upałów, dość owinać karafkę wody w wilgotną serwetę i wystawić ją na wiatr lub dmuchać na nią mieszkciem. Alkohol a jeszcze bardziej eter siarczany ulatniają się prędzej niż woda w zwykłej temperaturze; bliżej im w tych temperaturach do punktu wrzenia, wytwarzają więc parę o większem ciśnieniu. Dlatego alkohol i eter, ulatniając się, chłodzą bardzo znacznie, choć ich ciepło parowania jest mniejsze niż wody: kropla eteru na dłoni sprawia wrażenie dotkliwego zimna. Zwilżywszy kapsułkę miedzianą od spodu wodą, nalawszy w nią eteru i kierując na eter silny prąd powietrza, możemy zamrozić wodę, która przylgnęła do kapsułki. Doświadczenie to objaśnia zasadę sztucznego wyrabiania lodu, któredziś w większych miastach często się praktykuje.

§ 159. Dobre i złe przewodniki ciepła.

Wiemy z § 123-go, że temperatury ciał zmieszanych albo sąsiadujących ze sobą ostatecznie wyrównują się zawsze. Ale przekonałiśmy się w § 124-ym, że do tego wyrównania dochodzi rychlej, kiedy ciepło płynie przez żelazo lub rtęć, niż kiedy płynie przez wełnę lub puch. Ażeby wyrażać się krótko, powiadamy: żelazo, rtęć są to *dobre przewodniki ciepła*; puch, wełna są to *złe przewodniki*. Metale, np. miedź, żelazo, srebro i t. d., są najlepszymi przewodnikami; kamienie, marmur, cegła, porcelana, szkło są gorszemi, a jeszcze gorszemi przewodnikami ciepła są takie ciała, jak drzewo, papier, róg, korek, kauczuk, piasek. Wiemy o tem zresztą z codziennego doświadczenia: trzymając w ręku palącą się zapalną, nie czujemy w drewnianym ciepła; tymczasem, gdy włożymy drut metalowy jednym końcem do płomienia, ciepło rozechodzi się prędko po drucie, który parzy niebawem na przeciwnym swym końcu.

Pomiędzy metalami istnieją znaczne różnice w zdolności rozprzewadzania ciepła. Wstawmy w płomień dwa druty, jeden żelazny, drugi miedziany, lecz wymiarów jednakowych; zapalną, posuwana po drucie miedzianym, zapali się dalej od płomienia, niż posuwana po drucie żelaznym; miedź jest lepszym przewodnikiem ciepła niż żelazo.

Bardzo złymi przewodnikami ciepła są gazy, np. powietrze. Gdyby powietrze nie było złym przewodnikiem, byłoby nam

trudno znieść styczność z niem w porze zimowej. Ponieważ powietrze jest złym przewodnikiem, przeto ciała porowate albo włókniste, które zawierają w sobie zawsze dużo powietrza, muszą być również złymi przewodnikami ciepła. Istotnie: wełna, wata, puch, sukno, azbest, wióry, trociny, siano, słoma, popiół należą do najgorszych przewodników ciepła. Z tej samej przyczyny okna podwójne chronią od zimna o wiele skuteczniej niż pojedyncze.

Korzystamy ze złego przewodnictwa cieplnego ciał porowatych lub włóknistych codziennie. W zimie ochraniają się od mrozu futrami; okręcamy sukrem kłamki, poręcze i inne metalowe przedmioty, które są wystawione na zimno i których musimy dotykać. Lód, owinięty w szmaty, otoczony wiórami, topi się powoli, nawet w ciepłym pokoju; budowa rozpowszechnionych obecnie lodowni pokojowych zasadza się na złym przewodnictwie powietrza. Połóżmy nieco azbestu luźno na dłoni; możemy umieścić na azbecie (niezbyt ciężką) kulę żelazną, rozgrzaną do czerwoności i przez pewien czas trzymać ją bezkarnie.

Zadania.

1. Dlaczego termometr owinięty mokrą watą wskazuje temperaturę niższą aniżeli suchy?
2. Do rury Torricelliego (§ 87) wprowadzono małą ilość pewnej cieczy. Słup rtęci obniżył się do wysokości 30 cm. Ciśnienie atmosferyczne wynosiło 70 cm. Ile wynosi ciśnienie powstałej pary?
3. Ile lodu można stopić zapomocą ilości ciepła, która wydzieliła się przez skroplenie 75-ciu gramów pary wodnej?
4. Dlaczego mokra bielizna wysycha na dworze w dniu wietrznym prędzej niż w spokojnym powietrzu?
5. Filiżanka gorącej kawy lub herbaty stygnie prędzej, jeżeli zawiera łyżeczkę. Dlaczego?
6. Owiniemy papierem kawałek żelaza i wstawmy go do płomienia. Dlaczego papier nie spali się odrazu?
7. Zdarza się często, iż naczynia szklane, które ogrzewamy płomieniem, pękają; ażeby temu zapobiec, ogrzewa się je zwykle w pracowniach przez gęstą siatkę, wyrobioną z drutu żelaznego, którą umieszcza się pomiędzy naczyniem a płomieniem. Dlaczego siatka zapobiega pękaniu?

§ 160. Zamiana pracy na ciepło.

Przypomnijmy sobie treść §§ 52-go, 53-go i 54-go. Przekonałiśmy się w tych artykułach, że *praca nie ginie, ale może się przeobrażać*. Widzieliśmy, że *z pracy może wytwarzać się ciepło*, na przykład przez tarcie lub uderzenie. Powiedzieliśmy, że wszelka praca zamienia się łatwo na ciepło.

Wyobraźmy sobie, że kilogram rtęci spada z wysokości 1 metra na ziemię. Praca, którą wykonała siła ciężkości, ścigając 1 kilogram o 1 metr ku dołowi, wynosi zawsze 1 kilogramometr (§ 41), bez względu na to, czy spadał kilogram wody, terpentyny, miedzi czy rtęci. Przypuśćmy, że zamieniliśmy na ciepło tę pracę, wykonaną przez siłę ciężkości; w następnym artykule (§ 161) pokażemy, że można to łatwo uczynić. Otrzymamy za każdym razem *tę samą* ilość ciepła, bez względu na to, czy spadał kilogram wody, kilogram terpentyny, miedzi czy rtęci. Powiadamy: ilość ciepła wytworzona z pracy nie zależy od rodzaju ciała, w którym ona została wytworzona, lecz tylko od ilości pracy, zamienionej na ciepło. *Z pewnej ilości pracy otrzymuje się zawsze jednakową, określoną ilość ciepła.*

Ciepło wytworzone pojawi się w ciele, które spadło i wywoła w niem pewne podniesienie temperatury. To podniesienie będzie rozmaite w kilogramie wody, w kilogramie terpentyny, miedzi i rtęci; wiemy z § 143-go, że ta sama ilość ciepła zmienia w rozmaitej mierze temperatury tych ciał. Jeżeli w wodzie podniesienie temperatury wynosiło 1 stopień, tedy w terpentynie wyniesie 2·4 stopnia, w miedzi około 10 stopni, w rtęci około 30 stopni.

§ 161. Ile ciepła otrzymujemy z określonej ilości pracy?

Ważymy rurę szklaną, mającą przeszło metr długości, zamkniętą na jednym końcu (*A*, rys. 118); wlewamy do niej 500 gramów rtęci i zamykamy drugi koniec *B*. Przypuśćmy, że odległość poziomu rtęci od dolnej powierzchni korka *B* wynosi metr. Przypuśćmy, że na początku doświadczenia rtęć ma temperaturę pokojową, np. 15°.



Rys. 118.

Ujawszy rurę w ręce, odwracamy ją tak, żeby koniec *A* znalazł się u góry, koniec *B* u dołu. Powtórzmy ten sam ruch 17 razy; poczem wylejmy rtęć szybko do szklanki i zmierzmy jej temperaturę. Przekonywamy się, że temperatura ta wynosi prawie 16·2°; jest ona wyższa prawie o 1·2 stopnia niż na początku doświadczenia. Ażeby otrzymać dokładny wynik liczbowy, powtórzmy doświadczenie kilkanaście razy. Mierzac nadzwyczaj dokładnie, przekonalibyśmy się, że podniesienie temperatury wynosi 1195 stopnia. Wiemy, że kilogram rtęci, ogrzewając się o stopień, pochłania $\frac{1}{30}$ kilogramowej kalorii (§ 143). A zatem 500 gramów rtęci, ogrzewszy się o 1·195 stopnia, musiało pochłonąć 0·01992 kilogramowej kalorii. Otrzymaliśmy zatem w rtęci 0·01992 kalorii; kosztem jakiej pracy?

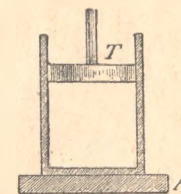
Gdy 500 gramów spada o 1 metr ku dołowi, siła ciężkości wykonywa pracę 0·5 kilogramometra. Odwróciliśmy rurę 17 razy w każdym doświadczeniu, zatem praca zużyta wynosiła 8·5 kilogramometra. Praca ta została zużyta wyłącznie na ogrzanie rtęci, albowiem rtęć w końcu każdego doświadczenia nie miała energii ruchu ani innego, prócz cieplnego, zasobu energii, wytworzonego z pracy ciężkości.

Powiadamy zatem: 0·01992 kilogramowej kalorii wytwarza się kosztem 8·5 kilogramometrów pracy. Więc 1 kaloria powstałaby kosztem 427 kilogramometrów. *Trzeba zużyć 427 kilogramometrów pracy, ażeby otrzymać 1 (kilogramową) kalorię ciepła.* Ta liczba, bardzo ważna w fizyce, nazywa się *dynamicznym równoważnikiem ciepła.*

§ 162. Zamiana ciepła na pracę.

Rozgrzejmy jakiegobądź ciało tarcie lub szeregiem uderzeń. Wydaliśmy na to pewną pracę; lecz praca ta nie jest stracona. Ciało gorące nawzajem może teraz wykonać pracę, do której zimne nie byłoby zdolne.

Wyobraźmy sobie, że płyta *A* została rozgrzana tarcie lub szeregiem uderzeń i że postawiono na niej walec metalowy w którym gładko porusza się szczelny tłok *T* (rys. 119); w walcu znajduje się, przypuśćmy, powietrze. Wysoka temperatura płyty udzieli się powietrzu przez dno walca; powietrze zacznie się rozszerzać, będzie podnosiło tłok przeciwko zewnętrznemu ciśnieniu atmosfery, będzie więc wykonywało pracę. Gdyby nieco wody znajdowało się wewnątrz walca, wówczas woda parowałaby pod działaniem przenikającego ciepła, ciśnienie pod tłokiem wzrastałoby i moglibyśmy znowu uzyskać pewną ilość pracy.

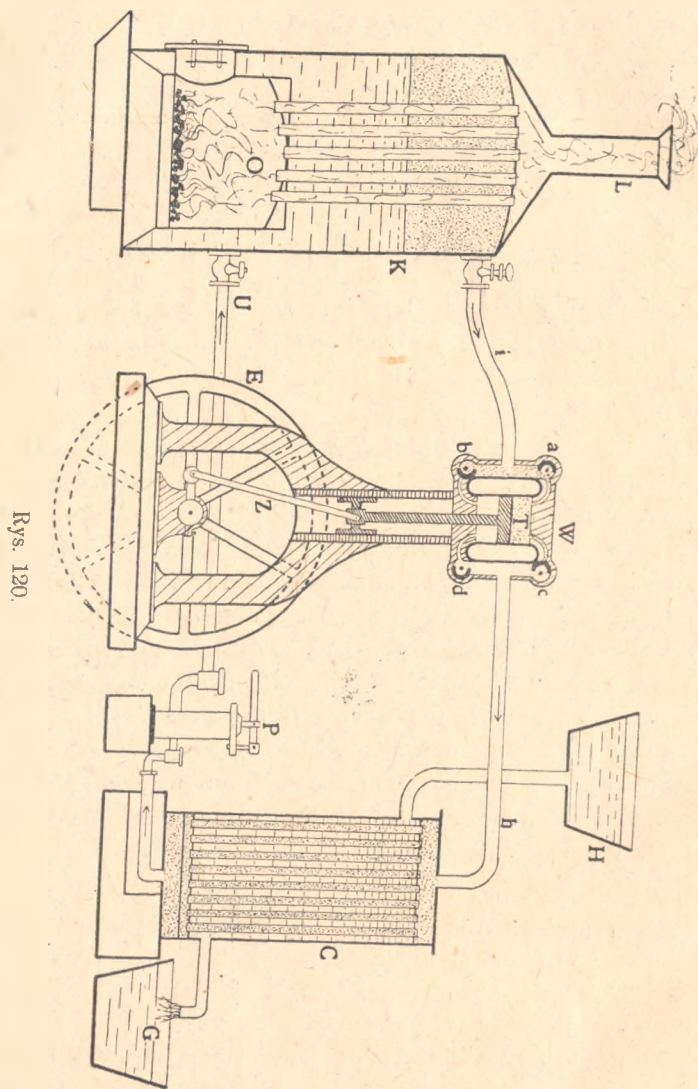


Rys. 119.

Widzimy, że praca, wydana na rozgrzanie jakiegobądź ciała, nie jest stracona; *ciało gorące ma energję* i może wykonać pewną pracę, byleby mogło odstąpić swego ciepła ciału zimniejszemu od siebie, np. powietrzu, które się przez to rozszerzy, lub wodzie, która będzie przez to parowała. Jak sprężyna musi się rozkręcać, żeby wydać swoją energję; jak kamień podniesiony musi się obniżyć, żeby wydać swoją energję; jak pocisk biegnący musi się zatrzymać, żeby wydać swoją energję, podobnie ciało gorące musi oddawać ciepło, żeby wydać swoją energję i tem samym wykonać pracę.

§ 163. O maszynach parowych.

Maszyna parowa jest właśnie przyrządem, który służy do zamiany ciepła na pracę. Maszyny parowe bywają rozmaitej



Rys. 120

budowy, jednakże składają się zwykle z następujących części istotnych: kocioł wraz z ogniskiem (K, O na rys. 120); walec parowy czyli cylinder (W), w którym porusza się tłok (T);

chłodnica czyli kondensator (C) oraz pompa (P). Rysunek 120, na którym widzimy wszystkie te części składowe, wyobraża, z pewnemi uproszczeniami, rzeczywiste urządzenie maszyny parowej. W kotle K znajduje się woda. Pod działaniem ciepła ogniska woda ta wytwarza parę, która rurą i udaje się do walca W. Do tego walca ma ona, jak widzimy z rysunku, dostęp *dwojaki*: bądź przez wentyl czyli rodzaj kurka a, przy czem dostaje się *nad* tłok T, bądź też przez wentyl b, przy czem dostaje się *pod* tłok T. W pierwszym razie para pcha tłok ku dołowi, w drugim wypycha go ku górze. Urządzenie tych wentyli a, b jest takie, że, gdy jeden jest otwarty, drugi jest zamknięty. Dla *wypływu* pary z walca istnieją podobnie dwie drogi, jedna przez wentyl c z nad tłoka, druga przez wentyl d z pod tłoka. Te znowu są tak zbudowane, że d otwiera i zamyka się wraz z a, c zaś otwiera i zamyka się wraz z b. Otwieranie i zamykanie się wentyli a i d oraz b i c (w sposób, nie pokazany na rysunku) łączy się z ruchem tłoka T i rękojeści Z, która idzie za tłokiem. Para, napływająca z kotła, bądź zastaje a i d otwarte, b i c zamknięte, wypycha więc tłok T ku dołowi (takie właśnie położenie rzeczy widzimy na rysunku); bądź też zastaje a i d zamknięte, b i c otwarte a wówczas wypycha tłok T ku górze. W obu razach dawna para *zużyta* (w pierwszym razie z pod tłoka, w drugim razie z nad tłoka) zostaje wydalona przez rurę h do chłodnicy C, gdzie, oziębianą przez przepływającą (z H do G) zimną wodę, skrapla czyli „kondensuje“ się i w postaci wody ciekłej, działaniem pompy pomocniczej P, bywa przepychana (przez rurę U) do kotła K. Ruch tłoka T za pośrednictwem rękojeści Z przenosi się na oś, na której osadzone jest koło rozpędowe E.

§ 164. Ciepło jest pewnego rodzaju energją.

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

Ciepło nie jest ciałem (zob. § 141), albowiem nie posiada masy. Wiemy, że ciało gorące nie ma większej masy, niż kiedy jest zimne (§ 136). Z jednego kilograma lodu powstaje 1 kg wody, nie więcej; podobnie z jednego kilograma wody ciekłej powstaje 1 kg pary wodnej, nie więcej.

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

Zadania.

1. Woda, rozpryskująca się u stóp wodospadu, jest cieplejsza niż ta, która płynie w górnych jego częściach. Dlaczego?
2. 100 gr rtęci ogrzano ciepłem, powstającym przez tarcie, przyczem zużywa się 854 kilogramometrów pracy. O ile stopni rtęć ogrzeje się?
3. Powietrze, uchodzące szybko ze zbiornika, w którym było zgęszczone, znacznie się oziębia. Dlaczego?
4. W tak zwanem krzesiwku pneumatycznym wzniecamy ogień przez szybkie wpechnięcie tłoka do rur zamkniętej, wypełnionej powietrzem. Skąd powstaje ciepło?
5. Przez spalenie 1 kilograma węgla wywiązuje się 8000 kaloryj ciepła. Ilu jednostkom pracy ta ilość ciepła jest równoważna?
6. Przypuśćmy, że zamieniliśmy całkowicie na pracę ilość ciepła, którą wydziela 1 kg pary wodnej, skraplając się w 100°. Jak wysoko możnaby podnieść 1000 kg przeciwko sile ciężkości, posługując się tą pracą?
7. Koń zaprzężony może łatwo wykonać pracę 40 kgm w przeciągu sekundy. Gdyby praca, wykonywana przez konia, zamieniła się całkowicie na ciepło, jaką ilość lodu w 0° mógłby koń stopić w przeciągu 3-ch minut?

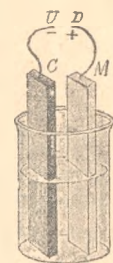


ROZDZIAŁ PIĄTY.

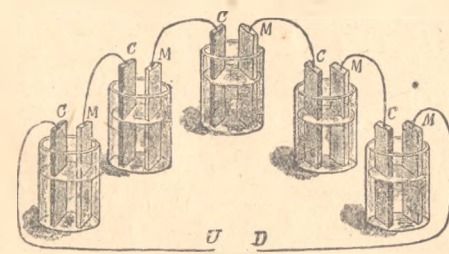
O elektryczności.

§ 165. Ogniwo elektryczne.

Weźmy dwie blaszki: cynkową *C* i miedzianą *M*, do których przylutowano po kawałku drutu; wstawmy je do wody zakwaszonej, jak okazuje rys. 121. Nazywamy taki przyrząd *ogniwem elektrycznym*; koniec *D* drutu, idącego od miedzi, nazywamy *biegunem dodatnim (+) ogniwa*; koniec *U* drutu, idącego od cynku, nazywamy *biegunem ujemnym (-)*.



Rys. 121.



Rys. 122.

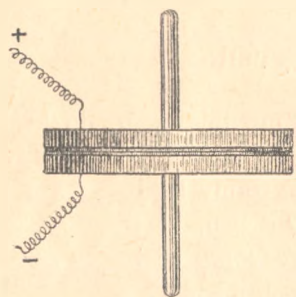
Zobaczymy niebawem, że ogniwo elektryczne może być źródłem całkiem nowych objawów i działań, których nie poznaliśmy w żadnym z poprzednich rozdziałów.

Zjawiska te nazywają się *elektrycznemi*. Ażeby zapoznać się z temi zjawiskami, musimy nauczyć się sposobu, który pozwoliłby wzmocnić działalność ogniwa. Zbudujmy kilka lub kilkanaście ogniw i połączmy je ze sobą tak (rys. 122), ażeby biegun dodatni pierwszego ogniwa łączył się z ujemnym drugiego, dodatni drugiego z ujemnym trzeciego, dodatni trzeciego z ujemnym czwartego i t. d.; taki zbiór ogniw nazywamy *elektryczną baterją*. Na krańcach ba-

terji pozostają swobodne dwa bieguny D , U ; zachowują się one jak bieguny jednego ogniwa, tylko mocniejszego niż pojedyncze ogniwo. Powiadamy, że bateria elektryczna jest niejako *jednym ogniwem o wielkiej mocy czyli o wysokim napięciu*. Im więcej ogniw połączymy w opisany sposób ze sobą, tem wyższe będzie napięcie baterji.

§ 166. Kondensator. Elektroskop.

Potrzeba nam teraz przyrządu, który może przechowywać i nagromadzać elektryczne działania ogniwa albo baterji. Zadanie to spełnia *kondensator*, wyobrażony na rys. 123-im. Kondensator składa się z dwóch płyt metalowych (rys. 123), zaopatrzonych



Rys. 123.

w szklane rękojeści; płyty te leżą na sobie, oddzielone cienką warstwą lakierną, wosku albo poprostu papieru.

Łączymy metalicznie, np. za pomocą drutów metalowych, jedną płytę kondensatora (powiedzmy górną) z dodatnim biegunem baterji, drugą zaś (dolną) z biegunem ujemnym. Odłączamy następnie druty od płyt, nie dotykając bezpośrednio ręką ani pierwszych ani drugich; możemy dopomóc sobie w tej czynności pręcikami szklanymi lub pałeczkami kauczukowymi. Trzymając rękojeści, rozsuwamy płyty kondensatora i badamy ich stan, ich własności.

Uskuteczniamy to badanie za pomocą *elektroskopu*, który widzimy przedstawiony na rys. 124-ym. W szyjce bańki szklanej PQ znajduje się korek, przez który przechodzi pręt metalowy CD ; na tym pręcie wiszą dwa cieniutkie listki pozłótki AC , BC .



Rys. 124.

Przed zetknięciem z płytą kondensatora listki AC , BC wiszą obok siebie pionowo, zupełnie spokojnie. Skoro tylko dotkniemy kulki D górną płytą kondensatora, listki rozchylają się (jak na rysunku) i pozostają przez dłuższy czas odchyłone od siebie, nawet i wówczas, gdy płytka została oddalona. Jeśli byśmy dotknęli kulki D dolną płytą kondensatora, spostrzeżlibyśmy zupełnie podobne zachowanie się listków. Ono świadczy o tem, że listki odpychają się, że wywierają na siebie nawzajem siły odpychające, których nie wywierały przed dotknięciem płyty. Takie siły nazywamy *elektrycznymi*; powiadamy, że listki, jeżeli wywierają siły elektryczne, znajdują się w *stanie elektrycznym* czyli są *naelektryzowane*. Mówimy również o płytach kondensatora, że są *naelektryzowane*, ponieważ one przez pośrednictwo pręta CD udzieliły listkom nowych własności, wprawiły je w stan, którego listki przedtem nie okazywały. A ponieważ płyty kondensatora zostały *naelektryzowane* przez metaliczne zetknięcie z biegunami baterji, przeto powiadamy ostatecznie, że i same bieguny baterji znajdują się w *stanie elektrycznym* czyli są *naelektryzowane*.

§ 167. Przewodniki i izolatory.

Widzieliśmy, że *naelektryzowanie* biegunów baterji udziela się płytom kondensatora za pośrednictwem metalowych drucików; *naelektryzowanie* płyt udzielało się listkom podobnie, za pośrednictwem metalowego pręta CD elektroskopu. Z tego powodu mówimy, że metale *przewodzą* stan elektryczny; lub że są *elektrycznymi przewodnikami*.

Dotknijmy kulki D *naelektryzowanego* elektroskopu dłonią, albo połączmy kulkę tę metalicznie z prętem żelaznym, tkwiącym w ziemi; zauważymy, że rozchylenie listków znika natychmiast. Ciało ludzkie oraz ziemia (wilgotna) są zatem *przewodnikami elektrycznymi*; odprowadziły one stan elektryczny do kuli ziemskiej, w której on gubi się i ginie.

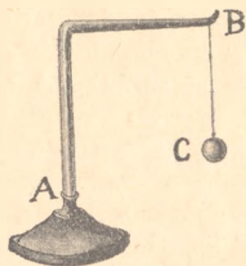
Dotknięcie kulki D prętem szklanym, pałeczką laku, kauczuku albo ebonitu nie sprawia takich skutków; rozchylenie listków trwa po dotknięciu. Dlatego mówimy, że szkło, lak, kauczuk, ebonit (i podobnie kalafonja, bursztyn, jedwab, porcelana, papier) są *złemi przewodnikami elektrycznymi* czyli *izolatorami*.

Powietrze jest oczywiście izolatorem; gdyby nim nie było, nie bylibyśmy przecież mogli dokonać poprzednich doświadczeń w opisany sposób.

§ 168. Przyciąganie i odpychanie się elektryczne.

Ażeby wyrażać się krócej, mówimy, że płyta kondensatora, którą połączyliśmy z dodatnim biegunem baterji, elektryzuje się *dodatnio*; o drugiej płycie, połączonej z biegunem ujemnym, mówimy, że elektryzuje się *ujemnie*. Są to tylko umówione nazwy, którym nie przypisujemy w tej chwili głębszego znaczenia.

Z odchylenia się listków elektroskopu naelektryzowanego bądź dodatnio, bądź ujemnie (§ 166) wnosimy, że: *ciała naelektryzowane jednakowo odpychają się*. Zobaczmy, jak zachowują się ciała naelektryzowane niejednakowo czyli *przeciwnie*.



Rys. 125.

Rysunek 125 wyobraża metalową kulkę *C*, zawieszoną na izolującej (np. szklanej) podstawie *AB*. Dotknąwszy kulki *C* dolną płytą naelektryzowanego kondensatora, elektryzujemy ją ujemnie (§ 166); płytka górna, naelektryzowana dodatnio, przyciąga wówczas kulkę *C* ku sobie. Tak samo zachowuje się kulka, naelektryzowana dodatnio, względem wszelkiego ciała

naelektryzowanego ujemnie. Wnosimy zatem, że *ciała naelektryzowane przeciwnie przyciągają się*.

Prosty przyrząd wyobrażony na rysunku 125-ym (czyli t. zw. *wahadélko elektryczne*) daje więc możność sprawdzania, jakiego znaku (albo rodzaju) jest naelektryzowanie jakiegobądź ciała.

§ 169. Elektryczność; dwa jej rodzaje.

Wykonywamy teraz doświadczenie następujące. Elektryzujemy przedewszystkiem płyty kondensatora, tak samo, jak to dawniej czyniliśmy (§ 166), mianowicie łącząc je metalicznie z biegunami baterji. Odłączamy następnie płyty od biegunów i wprowadzamy je ze sobą w bezpośrednie lub pośrednie metaliczne zetknięcie. Po takim zetknięciu płyty tracą natychmiast zdolność elektryzowania listków elektro-

skopu, odpychania albo przyciągania naelektryzowanego wahadélka i t. p.; innymi słowy, po zetknięciu ze sobą płyty są nienaelektryzowane, są *rozbrojone*, jak mówimy niekiedy, czyli obojętne.

Ażeby dobrze zrozumieć wynik tego doświadczenia, przypuścimy, że w ciele naelektryzowanym istnieje *coś*, co nam nie jest znane, *coś*, co sprawia stan elektryczny i wytwarza w ciele nowe i szczególne własności. To niewiadome *coś* niechaj nazywa się *elektrycznością*; dodatnią elektrycznością w ciele dodatnio naelektryzowanym, ujemną — w ujemnie naelektryzowanym. Przyjęcie takich nazw i wyrazów nie posuwa nas oczywiście ani na krok naprzód w zrozumieniu zjawisk elektrycznych; ale może skrócić i uprościć sposób mówienia o nich. Wynik opisanego przed chwilą doświadczenia możemy teraz tak wypowiedzieć: dodatnia i ujemna elektryczność okazują dążność do zbliżania się ku sobie; skoro tylko mogą to uczynić, łączą się ze sobą a wówczas znoszą się czyli *zobojętniają się wzajemnie*.

Widzieliśmy z poprzednich doświadczeń, że *ciała* naelektryzowane przeciwnie (czyli *różnoimiennie*) przyciągają się nawzajem; to znaczy, że okazują dążność do wzajemnego zbliżania się ku sobie. Obecnie widzimy, że *nietylko ciała różnoimiennie naelektryzowane, ale i same różnoimiennie elektryczności* przyciągają się również i dążą ku sobie, chociaż same ciała, w których istnieją te elektryczności (np. płyty w naszym doświadczeniu), nie poruszają się przytem wcale.

A zatem elektryczność może *poruszać się* w ciele (może *przez* ciało, a może *po* ciele), jeżeli to ciało jest metalem lub wogóle przewodnikiem. W izolatorze elektryczność może *istnieć*, ale jest unieruchomiona, jest skrupowana. Możemy naelektryzować jedno miejsce pałeczki szklanej lub kauczukowej; tuż obok tego miejsca może nie być żadnego elektrycznego ładunku. Ale nie możemy tego sprawić w pręcie mosiężnym albo żelaznym. Cały pręt metalowy przybiera odrazu *jeden* (jednakowy wszędzie) stan elektryczny.

Widzieliśmy, że ciała naelektryzowane różnoimiennie przyciągają się i że same elektryczności różnoimiennie przyciągają się również. Wiemy dalej z § 168-go, że ciała naelektryzowane jednoimiennie odpychają się. Nasuwa się zatem przypuszczenie, że elektryczności jednoimiennie odpychają się

również. O słuszności tego domniemania przekonywamy się w następującym doświadczeniu. Przypuśćmy, że płyta *CD* kondensatora (rys. 126) jest dodatnio naelektryzowana. Zbli-



Rys. 126.

żamy do niej nienaelektryzowany walec metalowy *AB*, umieszczony na szklanej nóżce, zatem izolowany. Badamy teraz stan tego walca *AB* przy pomocy wahadła, które uprzednio naładowaliśmy dodatnio. Przekonywamy się, że koniec *A* walca przyciąga kulkę wahadła elektrycznego, koniec *B* ją odpycha. Zatem rozłana na *CD* elektryczność dodatnia musiała widocznie przyciągnąć ku sobie elektryczność ujemną walca *AB* aż do końca *A*, dodatnią zaś odepchnęła możliwie najdalej t. j. aż do *B*.

Jeżeli oddalimy płytę *CD*, ładunek ujemny w końcu *A* i dodatni w *B* są uwolnione; mogą podążyć ku sobie a zatem złączyć się ze sobą i zubożnąć. Walec *AB* istotnie okazuje się wówczas natychmiast nienaelektryzowanym czyli obojętnym.

Wyobraźmy sobie kulę mosiężną, w której znajdują się tylko dodatnie elektryczne ładunki. One odpychają się między sobą wzajemnie i starają się, jak tylko mogą, oddalić się od siebie. Widoczną jest rzeczą, że odpłyną na powierzchnię kuli i że się na tej powierzchni ułożą; tam pozostaną, albowiem powietrze, będąc izolatorem, nie przepuści ich dalej. Przewodniki zatem, w stanie równowagi elektryczności, posiadają ładunki tylko na powierzchni.

§ 170. Czem jest elektryczność.

Kto po raz pierwszy poznaje elektryczne zjawiska, zadaje sobie mimowoli pytanie: czem jest elektryczność, która sprawia tak dziwne objawy i skutki. Ale na to pytanie nie możemy dać odpowiedzi.

Żeby dobrze zrozumieć, dlaczego tak jest i być musi, przypomnijmy sobie z codziennego doświadczenia naszego, w jaki sposób poznawaliśmy i wciąż poznajemy różne ciała, pospoliczsze i rzadsze. W jaki sposób każdy z nas po kolei dowiadyje się, czem jest lód albo sól kuchenna, czem jest ołów, rtęć, platyna? Dowiadujemy się, co te wyrazy znaczą, popro-

stu gdy zapoznaliśmy się z własnościami owych ciał. Kto poczuł, jak lód jest zimny, jak ołów jest ciężki, kto rozpuszczał sól w wodzie lub próbował jej smaku, kto przelewał rtęć z naczynia do naczynia lub posługiwał się platynowym tygielkiem, już nie zapytuje: *czem* są owe ciała. Poznał ich właściwości; ogół poznanych własności wytwarza w jego umyśle obraz ciała, który jest najlepszą (i właściwie jedyną możliwą) odpowiedzią na poprzednie pytania.

Podobnie dzieje się w fizyce, gdy badamy elektryczność. Im wszechstronniej poznajemy zjawiska elektryczne, im dokładniej wiemy, jakie są własności elektryczności, tem rzadziej i tem mniej natarczywie nasuwa nam się na myśl pytanie: *czem* jest elektryczność? Ogół wiadomości naszych o elektryczności daje nam bezpośrednią odpowiedź na owo dręczące pytanie.

Stąd widzimy, że poznanie elektryczności nie jest niczem innym niż jej zrozumienie.

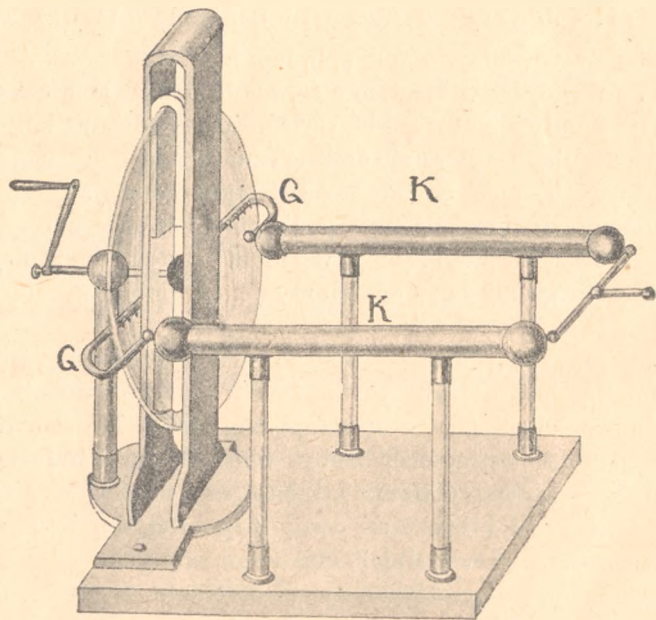
§ 171. Elektryczności nie umiemy tworzyć.

Widzieliśmy w artykułach poprzednich, iż wszystko tak się odbywa, jak gdyby w każdym ciele obojętnym (nienaelektryzowanym) istniały obiedwie elektryczności: dodatnia i ujemna. Suma dodatniej i ujemnej elektryczności daje w ciele stan obojętny czyli elektrycznie żaden, podobnie jak w algebrze suma liczb, przypuśćmy $+17$ i -17 , daje zero. Elektryzując ciało, nie stwarzamy w niem zatem dodatniej ani ujemnej elektryczności; oddzielamy je od siebie, rozłączamy je tylko.

Nie umiemy dotychczas stworzyć elektryczności z niczego, tak samo jak nie potrafimy stworzyć z niczego miedzi, węgla albo wodoru, chociażby w najmniejszej ilości. Mówiąc to, nie chcemy jednak powiedzieć, ażeby elektryczność była takim samem zwyczajnem ciałem, jakim jest miedź, węgiel lub wodór. Istnieje elektryczność dwójakiego rodzaju i to ją stanowczo odróżnia od wszelkich ciał nam znanych. Nie istnieje węgiel dodatni i węgiel ujemny, nie istnieje wodór dodatni i wodór ujemny, które, dodane do siebie, dawałyby nicosć. Tymczasem istnieje elektryczność dodatnia i elektryczność ujemna; te zaś, wzięte wspólnie, znoszą i niszczą się zobopólnie, czyli zubożniają się wzajemnie.

§ 172. O różnych sposobach elektryzowania ciał.

Można elektryzować ciała mnóstwem sposobów. Dwa krążki metalowe, jeden cynkowy, drugi miedziany, przyłożone do siebie, po rozłączeniu okazują się naelektryzowane; przytem muszą być trzymane zapomocą rękojeści izolujących, np. szklanych, inaczej ładunki spłyną do ziemi przez ręce nasze i ciało. Suchy kawałek szkła, laku lub bursztynu, przyciśnięty do jedwabiu, flaneli lub futra, okazuje się naelektryzowany; jednocześnie jedwab, flanela, futro elektryzują się również. Po szkłe, po laku i wszystkich innych wymienionych ciałach, jako po złych przewodnikach, ładunki nie rozchodzą się (jak po metalach rozchodziły się zaraz), lecz tkwią w miejscach, w których powstały (§ 169). Krótkie lecz silne potarcie suchego szkła lub laku flanelą lub kawałkiem futra wytwarza znaczniejsze naelektryzowanie niż proste przyłożenie; pocierając jedno ciało o drugie, sprawiamy bowiem, iż wiele ich miejsc zostaje przyłożonych po kolei do siebie.



Rys. 127.

Na tej zasadzie polega urządzenie t. zw. *maszyn elektrycznych*, w których (rys. 127) tafla szklana, pocierana przez (połączone meta-

licznie z ziemią) skórzane poduszki, pomiędzy któremi się kręci, dostarcza »grzebieniom« *GG* i przez nie »konduktorom« *KK* coraz nowych ładunków elektrycznych. W jaki sposób odbywa się to dostarczanie ładunków, można łatwo zrozumieć na mocy § 169-go.

Włosy suche, czesane grzebieniem kauczukowym lub szyldkretowym, elektryzują się wyraźnie. Uderzenie dwóch kawałków metalu o siebie elektryzuje je. Kawałek korka, przyciśnięty do kawałka bursztynu, okazuje się naelektryzowany; podobnie i bursztyn. Rozerwawszy na dwie części kartę grubego papieru (lub papieru podklejonego płótnem), możemy przekonać się, że obie części są naelektryzowane. Kawałek siarki, stopiony w szklanej parownicze, elektryzuje się podczas stygnięcia i t. d. Elektryzowanie się ciał jest więc wogóle częstem i pospolitem zjawiskiem.

Elektryzowanie się bursztynu za potarciem było znane w starożytności; od wyrazu też greckiego »elektron« (który znaczy bursztyn) pochodzi nazwa *elektryczności*. Jednakże dopiero od końca XVIII-go stulecia rozpoczął się szybki rozwój nauki o elektryczności, nauki, która dzisiaj stanowi jedną z najpiękniejszych i najbogatszych dziedzin fizyki i jest źródłem mnóstwa ważnych zastosowań w życiu narodów ucywilizowanych.

Zadania.

1. Dlaczego płyty kondensatora (rys. 123) oddzielałiśmy od siebie warstwą lakieru, wosku albo papieru? Czy kondensator mógłby działać bez tej warstwy? Dlaczego płyty kondensatora są zaopatrzone w szklane rękojeści?

2. Czy można naelektryzować płytę cynkową, trzymając ją bezpośrednio w ręku? Czy łatwiej będzie naelektryzować płytę, gdy ujmijemy ją przez pośrednictwo wełnianej lub jedwabnej chusteczki? Czy doświadczenie uda się, gdy chustka będzie wilgotna?

3. Do płyty *CD* kondensatora zbliżamy kulę mosiężną w sposób podobny, jak walec *AB* w doświadczeniu, opisanem w § 169 (rys. 126). Opisać rozłożenie elektryczności na kuli. Co stanie się, gdy zetkniemy płytę *CD* z kulą?

4. Dlaczego poduszki maszyny elektrycznej (rys. 127) powinny być połączone metalicznie z ziemią? Dlaczego konduktory maszyny są osadzone na szklanych nóżkach? Przypuśćmy, że druty, łączące poduszki z ziemią, zetknęły się z grzebioniami lub z konduktorami maszyny; czy to wpłynie na działanie maszyny?

§ 173. Prąd elektryczny.

Wiemy z artykułów poprzedzających, że w niektórych ciałach, np. w metalach, elektryczność może poruszać się czyli *płynąć*, jak niekiedy obrazowo mówimy (§§ 169, 172). Ruch

elektryczności w jakim bądź przewodniku nazywamy *prądem elektrycznym*.

Wyobraźmy sobie ciało metaliczne *A* izolowane (rys. 128); przypuśćmy, że naelektryzowaliśmy je dodatnio. Zbliżamy



Rys. 128.

do *A* długi pręt lub drut metalowy *BC*, z początku nienaelektryzowany. Według § 169-go, elektryczność dodatnia ciała *A* rozłączy dwie elektryczności, które zawierały się w *BC*, przyciągnie ujemną do końca *B*, dodatnią zaś odepchnie do drugiego końca *C*. Przypuśćmy, że końcem *B* dotknęliśmy ciała *A*, koniec *C* zaś połączyliśmy z ziemią. Ładunek dodatni ciała *A* i ujemny w *B* łączą się i zobojętniają, dodatni zaś ładunek końca *C* odpłynie do ziemi. Wszystko dzieje się tak, jak gdyby dodatni ładunek ciała *A* przepłynął przez *BC* do ziemi, w czasie zresztą niesłychanie krótkim. Całość tych zjawisk nazywamy *prądem elektrycznym* w przewodniku *BC*.

Musimy o tem pamiętać, że w opisanych warunkach prąd ten jest niejako jednorazowy: istnienie ładunku na kuli *A* i połączenie z ziemią wytwarza ów prąd, który powstaje i natychmiast zamiera. Gdybyśmy nieustannie wytwarzali coraz nowe ładunki na przewodniku *A* w miarę, jak one się zobojętniają i giną, opisane przed chwilą zjawisko powtarzałoby się bez końca. Mielibyśmy wówczas nieprzerwane płynięcie elektryczności przez przewodnik *BC* czyli *trwały* prąd elektryczny. Możemy go istotnie łatwo otrzymać (obracając taflę szklaną maszyny elektrycznej) w konduktorach maszyny i przewodnikach, które są z niemi złączone; przebieg zjawiska jest zrozumiały z objaśnień, podanych w artykule niniejszym.

§ 174. Rozbrojenie elektryczne.

Dopóki koniec *B* drutu *BC* w doświadczeniu § 173-go nie dotknie powierzchni przewodnika *A*, dopóty niema pomiędzy *B* i *A* metalicznego, przewodzącego połączenia. Siła wzajemnego przyciągania pomiędzy ładunkiem dodatnim na *A* i ujemnym na *B* może dojść jednakże do takiego nążeńia, że izolujący opór powietrza zostanie niejako *przełamany*, że

ładunki łączą się i zobojętniają wybuchowo, w postaci *iskry*. Iskra jest objawem nader krótkotrwałego prądu elektrycznego, który, skutkiem ogromnego napięcia, zdołał przerwać izolację powietrza. Taki prąd nazywamy zwykle *elektrycznym rozbrojeniem*. Możemy go łatwo wytwarzać i dostrzegać w elektrycznych doświadczeniach, jeżeli tylko *napięcie* elektryczności, jej dążenie do przejścia przez powietrze i do połączenia się, jest dostateczne.

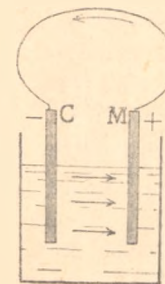
Po drodze swojej rozbrojenie elektryczne rozgrzewa bardzo mocno powietrze; ale czyni to tylko w tem miejscu, przez które przebiega. *Piorun* nie jest niczem innym, jak potężnym elektrycznym rozbrojeniem pomiędzy chmurami lub pomiędzy chmurą a ziemią. *Błyskawica* jest olbrzymią iskrawą, wytworzoną przez to rozbrojenie. Ażeby uchronić budynki od uderzenia piorunu, stawiają na nich *piorunochrony* czyli wysokie zaostrome metalowe pręty, połączone metalicznie z ziemią; rozbrojenie trafia wówczas nie w budynek, lecz w piorunochron i spływa po nim do ziemi, bez szkody dla budynku.

Gdy iskra elektryczna przeskakuje, co właściwie świeci? Świeci w niej powietrze, rozgrzane niezmiernie mocno i nagle działaniem elektryczności, a także cząstki ciał, pomiędzy którymi iskra przeskakuje, od tych ciał oderwane. Rozgrzanie powietrza, niezmiernie mocne i nagłe, sprawia w niem gwałtowne i krótkie rozszerzenie; stąd (zob. rozdz. III) ów suchy trzask, który słyszymy, gdy iskra przeskakuje.

§ 175. Prąd elektryczny w ogniwie i w obwodzie ogniwa.

Jak wiadomo, bieguny ogniwa są przeciwnie naelektryzowane (§ 168). Połączmy zatem te bieguny zapomocą drutu metalowego lub innego jakiegobądź przewodnika, zważając jednak, ażeby blaszki *M* miedzi i *C* cynku (rys. 129) nie dotykały się nigdzie. Otrzymamy wówczas prąd elektryczny w drucie lub przewodniku, czyli w t. zw. *obwodzie* ogniwa. Na biegunach ogniwo wytwarza coraz nowe elektryczne ładunki; otrzymujemy w obwodzie, przez pewien czas, prąd trwały.

W obwodzie ogniwa elektryczność dodatnia płynie od dodatniego do ujemnego bieguna, zatem od miedzi do cynku. Ale ponieważ prąd w obwodzie jest trwały, więc z cieczy ogniwa musi do miedzi nieustannie dopływać nowa elektryczność dodatnia, która zatem w cieczy ogniwa płynie

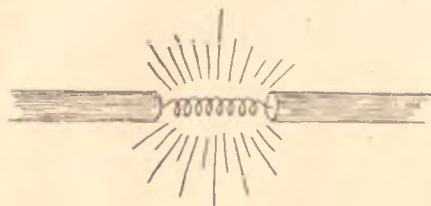


Rys. 129.

od cynku do miedzi (rys. 129). Tym sposobem prąd elektryczny płynie niejako dokoła: przez ogniwo i przez cały obwód.

§ 176. Ciepło w obwodzie ogniwa.

Skoro tylko obwód ogniwa jest zamknięty i płynie w nim prąd elektryczny, dostrzegamy nowe zjawisko: cienki drut, zwłaszcza żelazny lub platynowy, włączony w obwód, ogrzewa się wyraźnie.



Rys. 130.

Powtórzmy to spostrzeżenie w sposób następujący. Wprowadźmy cienki drucik żelazny lub platynowy w obwód baterji (rys. 130); pozostała reszta

obwodu niechaj składa się z grubych miedzianych drutów lub prętów. W prętach lub grubych drutach nie zauważymy ogrzania; cienki drucik, przeciwnie, rozżarza się do czerwoności lub do białości i może nawet się stopić. Prąd elektryczny przenosi energję w sposób niedostrzegalny przez grube części obwodu do cienkiego drucika, dowolnie daleko od baterji i tam dopiero zamienia ją na ciepło.

§ 177. Działania chemiczne w ogniwie.

W sposób, opisany w dwóch artykułach poprzednich, zamknijmy obwód ogniwa elektrycznego. Zauważymy niebawem, że w samym ogniwie odbywają się wówczas pewne działania chemiczne. Zauważymy, że cynk zużywa się, że go zaczyna powoli ubywać; równocześnie na miedzi dostrzeżemy nieco pęcherzyków gazu, który, zbadany, okazałby się wodorem. Ażeby zrozumieć, co tutaj się dzieje, włóżmy kawałek cynku (rys. 131) do wody, zaprawionej kwasem siarkowym. Między wodą zakwaszoną a cynkiem zaczyna się zaraz chemiczne działanie. Woda syczy,



Rys. 131.

kotłuje się i niebawem ogrzewa się. Małeńkie pęcherzyki gazowe wydobywają się na powierzchnię wody; blachy cyn-

kowej zaczyna ubywać; woda zakwaszona ją niszczy, przegrza, podobnie jak czysta woda czyni to z cukrem. Mawia się też nieraz, że cynk >rozpuszcza się< w wodzie zakwaszonej; lecz, co tutaj się dzieje, jest tylko z pozoru podobne do rozpuszczania się cukru, albowiem metalicznego cynku nie można otrzymać napowrót przez odparowanie wody, jak to można z cukrem uczynić. Cynk nie rozpuszcza się właściwie w wodzie zakwaszonej, lecz *rozkłada* kwas w niej zawarty, tworzy pewien związek (sól, zwaną siarczanem cynkowym) i wydziela wodór gazowy, jak wiadomo z chemji. W tem doświadczeniu wodór wydziela się zatem na cynku; w ogniwie, przez które płynie prąd elektryczny, wodór (jak powiedzieliśmy) wydziela się na miedzi. Zrozumiemy nieco później, czemu prąd elektryczny przenosi wodór przez ciecz ogniwa z cynku na miedź, w sposób niewidzialny.

§ 178. Działania chemiczne w obwodzie.

Połączmy bieguny baterji z dwiema blaszkami (rys. 132) albo płytkami, wyrobionemi z *platyny*, metalu, na który zwykle kwasy nie działają. Weźmy nieco *siarczanu cynkowego*, tej samej soli, jaka tworzy się w ogniwie (§ 177) i zanurzymy płytki platynowe, połączone z biegunami baterji, jak okazuje rys. 132, do roztworu tej soli w wodzie. Cynk czysty osadza się wówczas na płytce, która jest połączona z ostatnim cynkiem baterji czyli z ujemnym biegunem baterji. Jednocześnie woda staje się kwaśna; tworzy się kwas siarkowy, którego w roztworze coraz więcej przybywa. Mamy więc teraz *rozkład* siarczanu cynkowego czyli zjawisko przeciwne temu, które dokonywało się w ogniwie (§ 177). Tu przybywa cynku i przybywa kwasu, w ogniwie zaś i cynku i kwasu ubywało. Gdy wykonywamy opisane doświadczenie, w ogniwach baterji siarczan cynkowy tworzy się, jednocześnie zaś w obwodzie baterji, w roztworze (rys. 132), siarczan cynkowy rozkłada się; więc w obwodzie odbywa się przeciwne chemiczne działanie niż w ogniwie.



Rys. 132.

W opisanem tu doświadczeniu kwas siarkowy, tworzący się skutkiem rozkładu siarczanu cynkowego, pocnie niebawem również ulegać roz-

kładowi; dlatego na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, oprócz cynku pocznie niebawem wydzielać się wodór. Ażeby dogodnie wykazać wydzielanie się metalicznego cynku, można dodać do roztworu (rys. 132) nadmiaru ciała, zwanego szczawianem amonowym.

§ 179. Elektroliza.

Prąd elektryczny, przechodząc przez rtęć, nie rozkłada jej; rtęć, jak wiadomo, jest *pierwiastkiem chemicznym* czyli nie rozkładającym się ciałem. Poprowadźmy teraz prąd przez jakies ciało złożone, całkiem odmienne od tych, które wchodzi w skład ogniwa. Nalejmy do szklanki (rys. 132) wodnego roztworu siarczanu miedziowego (t. zw. koperwasu miedziowego) i połączmy blaszki z biegunami baterji. Na blaszce, połączonej z biegunem ujemnym, osadza się *miedź*, w roztworze zaś przybywa kwasu siarkowego. A zatem prąd, który powstaje w ogniwie przy tworzeniu się w niem siarczanu cynkowego, może rozkładać nietylko znowu siarczan cynkowy, lecz również inne ciała złożone. Podobnie, prąd elektryczny, przechodząc przez roztwór wodny kwasu siarkowego lub solnego, przez roztwór wodny soli kuchennej (chlorku sodowego) lub lapisu (azotanu srebrowego) lub jodku potasowego, wywołuje w tych ciałach zjawiska rozkładu chemicznego. Natomiast przez naftę, przez oliwę lub przez terpen tyne prąd *nie* przechodzi i oczywiście *nie* rozkłada tych ciał.

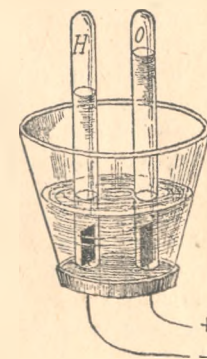
Rozkład, sprawiany przez prąd elektryczny, nazywa się *elektrolizą*; ciała, które prąd rozkłada, nazywają się *elektrolitami*.

Gdy elektrolizujemy kwas siarkowy lub solny, wodór wydziela się na biegunie ujemnym, pozostałe zaś części składowe kwasu (chlor, związki tlenu z siarką) wydzielają się na biegunie dodatnim. Gdy elektrolizujemy jakąkolwiek sól, na biegunie ujemnym wydziela się *metal*, zawarty w soli; na biegunie dodatnim wydzielają się pozostałe części składowe soli. Gdy np. elektrolizujemy lapis, na biegunie ujemnym osadza się srebro; rozumiemy przeto, jak można srebrzyć (a także złocić, niklować, platynować) zapomocą prądu elektrycznego.

Gdy elektrolizujemy jodek potasowy, *potas* gromadzi się na ujemnym biegunie (gdzie natychmiast działa chemicznie na wodę), na dodatnim zaś wydziela się swobodny *jod*. Jeśli dodamy do roztworu nieco zaprawy krochmalnej, najmniejsze ilości pojawiającego się jodu zdradzać się będą niebieskiem zabarwieniem, tak iż zapomocą elektrolizy jodku potasowego można wykrywać obecność nawet bardzo słabych prądów.

§ 180. Elektroliza wody.

Woda czysta jest złym elektrycznym przewodnikiem; nalewamy czystej wody do szklanki przedstawionej na rys. 132 i próbując przepuszczać prąd, nie dostrzegamy elektrolizy wody. Lecz dodajmy kilka kropeł kwasu (siarkowego lub solnego) a natychmiast dwa strumienie pęcherzyków gazowych pobiegą ku powierzchni, wrywając się napozór z blaszek platynowych. Ażeby zebrać te pęcherzyki, nakryjmy blaszki zamkniętymi rurkami szklanymi, wypełnionymi również wodą zakwaszoną i przewróconymi nad cieczą, jak pokazuje rys. 133; przyrząd tu przedstawiony nazywa się *woltametrem*. Na jego biegunie dodatnim wydziela się *tlen* (O, z łac. *Oxygenium*), na ujemnym *wodór* (H, z łac. *Hydrogenium*); wodoru jest na objętość dwa razy więcej niż tlenu.

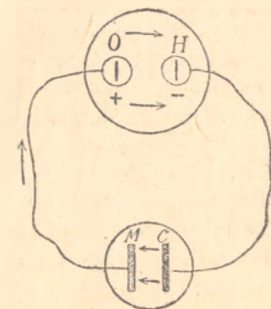


Rys. 133.

Do tego doświadczenia potrzeba mocnego prądu; najlepiej użyć kilku ogniw opisanych niżej, w § 185-ym.

§ 181. Uwaga dodatkowa o ogniwie elektrycznym.

Rozumiemy teraz, dlaczego w ogniwie wydziela się wodór, skoro tylko obwód jest zamknięty (§ 177). Albowiem prąd przechodzi wówczas przez wodę zakwaszoną samego ogniwa i wodę tę elektrolizuje. Dlaczego zaś wodór wydziela się na miedzi? Wyobraźmy sobie (rys. 134) ogniwo *MC* (dla uproszczenia narysowano tylko jedno) oraz woltametr *OH*, w którym elektrolizuje się woda; wszystko to niejako przecięte poziomą płaszczyzną. Wiemy, że prąd płynie dokoła przez ogniwo i przez cały obwód. Idźmy od miedzi *M* do bieguna *O* w woltametrze *OH* i tak samo dalej, jak wskazują strzałki; widzimy, że wodór w woltametrze zbiera się tam, gdzie *wychodzimy* z cieczy, t. j. w miejscu *H*. W ogniwie idziemy od *C* do *M*, wodór przeto w ogniwie zbiera się znowu tam, gdzie wychodzimy z cieczy, t. j. na miedzi *M*.



Rys. 134.

§ 182. Żeby rozłożyć wodę, trzeba wykonać pracę.

Wiadomo z chemji, że wodór łączy się chętnie z tlenem, że pali się w tlenie; powstaje wówczas woda. Zatem rozkład wody i palenie się wodoru w tlenie są to zjawiska wręcz przeciwne sobie. W pierwszym woda rozkłada się na wodór i tlen, w drugim wodór i tlen łączą się, dając wodę. W obu razach ani zyskujemy ani tracimy na *masie*. Z dziewięciu gramów wody otrzymujemy zawsze jeden gram wodoru i ośm gramów tlenu; z jednego grama wodoru i z ośmiu gramów tlenu otrzymujemy dziewięć gramów wody. Masa wody jest w obu razach równa łącznej masie obu składników.

Zwróćmy teraz uwagę na *energję* wody i na *energję* składników. Wiemy, że wodór, łącząc się z tlenem, wydziela znaczną ilość ciepła; płomień wodoru w tlenie jest źródłem znacznego gorąca. Każdy gram wodoru, łącząc się z ośmiu gramami tlenu, wydziela 34·6 kal. Wyobraźmy sobie zatem 1 gram wodoru, zmieszany z 8 gramami tlenu, ale *nie* połączony z niemi; następnie przypuśćmy, że utworzyło się z nich 9 gr wody. Przez połączenie się wydzieliła się 34·6 kal., które musimy odebrać, jeżeli chcemy otrzymać wodę w tej samej temperaturze, w jakiej mieliśmy wodór i tlen. A zatem dziewięć gramów wody zawiera w tej samej temperaturze *mniej* energii niż mieszanina 1 grama wodoru i 8 gramów tlenu, mianowicie mniej o 34·6 kal.; inaczej mówiąc, wodór i tlen zawierają *więcej* energii niż woda, mianowicie więcej o 34·6 kal. na każdych 9 gr wody. *Żeby więc rozłożyć wodę, trzeba dostarczyć pracy, trzeba wyłożyć energję*; mianowicie trzeba wydać conajmniej 34·6 kal. na rozkład każdych 9 gr wody.

§ 183. Energja prądu elektrycznego.

Tę właśnie pracę, koniecznie potrzebną do rozłożenia wody, wykonywa w woltametrze prąd elektryczny. Prąd przynosi ze sobą energję, wpływając do woltametru. Lecz skąd bierze się energja prądu? Energja prądu, jak wiemy, jest tylko nową postacią energii ciał, które działają na siebie wzajemnie w ogniwie. Kwas siarkowy i cynk mają energję chemiczną, podobnie jak wodór i tlen mają energję chemiczną. Część tej energii chemicznej kwasu siarkowego i cynku zamienia się w ogniwie na elektryczną energję prądu; elektryczna energja prądu zamienia się w woltametrze napowrót na chemiczną. Woltametr „nabity“ (t. j. taki, przez który przepuściliśmy prąd elektryczny) zawiera świeży zapas energii chemicznej.

§ 184. O polaryzacji.

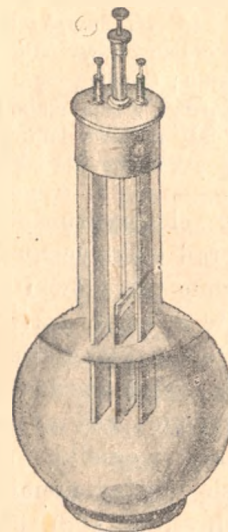
Woltametr nabity zawiera zapas energii chemicznej, podobnie jak gotowe do działania ogniwo; dlatego z takiego nabitego woltametru można otrzymać prąd elektryczny. Odłączmy końce (+) i (—) drutów woltametru (rys. 133) od biegunów baterji i połączmy je ze sobą. Przekonamy się, że *w obwodzie woltametru* (przez krótki czas) *płynię teraz prąd*. Woltametr zachowuje się jak ogniwo; blaszka *H*, na której

wydzielał się wodór, jest ujemnym biegunem tego ogniwa, druga zaś blaszka *O* jest jego biegunem dodatnim. Na podobnej zasadzie polega budowa *akumulatorów* czyli przyrządów, służących do gromadzenia i przechowywania energii elektrycznej.

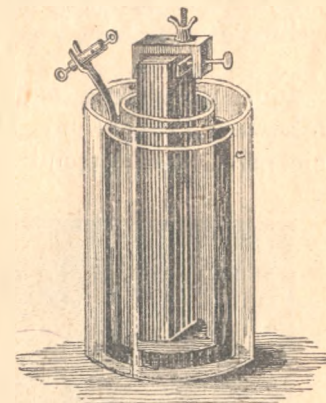
Wiemy, że prąd płynie nietylko przez druty i woltametr, lecz również i przez samo ogniwo; że w samym ogniwie sprawnie również elektrolizę. Dlatego w ogniwie, obok prądu głównego, poczyna wytwarzać się niebawem, wskutek wydzielenia się wodoru na miedzi, prąd drugi, dodatkowy, wprost przeciwny głównemu. Naprzykład blaszka miedziana w ogniwie jest biegunem dodatnim dla prądu głównego, lecz dla dodatkowego jest ujemnym. Z tego powodu prąd główny ogniwa niebawem słabnie i znika prawie zupełnie; mówi się, że ogniwo jest *spolaryzowane*.

§ 185. Ogniwa, dające prąd trwały.

Ażebymy ogniwo dawało prąd trwały, potrzeba zatem niszczyć swobodny wodór, zbierający się na miedzi; dodając do cieczy soli, zwanej dwuchromianem potasowym, sprawiamy, iż wodór ten utlenia się i zamienia się tym sposobem na wodę. Najlepiej jest dodawać 100 gr dwuchromianu potasowego na litr wody, zawierającej 50 gr kwasu siarkowego; taka ciecz przeszkadza skutecznie polaryzacji ogniwa, dopóki dwuchromian potasowy nie został zużyty. Lecz ponieważ nagryza ona miedź, przeto, zamiast płytki miedzianej, używa się zazwyczaj



Rys. 135.



Rys. 136.

płytki, zrobionej z platyny lub z węgla (najlepiej z węgla sztucznego lub gazowego). Na rys. 135-ym widzimy takie ogniwo; pomiędzy dwiema płytkami węglowymi znajduje się płytka cynkowa, którą należy wyciągać z cieczy, gdy ogniwo nie jest czynne. Istnieją jeszcze rozmaite inne rodzaje ogniw; dają one prąd trwały, dopóki ciała, zapobiegające polaryzacji, nie są zużyte. Ogniwo *Bunsena* (rys. 136) zawiera wodę

zakwaszoną, cynk *c* i węgiel (w samym środku ogniwa); dla zapobiegania polaryzacji otaczamy węgiel mocnym kwasem azotowym, który znowu, ażeby nie mieszał się (lub mieszał się powoli) z wodą zakwaszoną, znajduje się w naczyniu porowatym z gliny niewypalanej.

Za pomocą baterji, złożonej z ogniw takich, jak przedstawione na rys. 135, z ogniw Bunsena i t. p., można wykonać znacznie łatwiej doświadczenia powyżej opisane, niż zapomocą pierwotnych ogniw, rys. 121 i 122, które bardzo prędko ulegają polaryzacji.

§ 186. Światło elektryczne.

Poprowadźmy prąd z baterji przez pasemko metalowe, zamknięte w bańce szklanej (rys. 137). Pasemko rozgrzewa się (§ 176) i jasno świeci; ponieważ w powietrzu spaliłoby się niebawem (t. j. połączyłoby się z tlenem powietrza), przeto zamknięto je w bańce, z której wyciągnięto powietrze.



Rys. 137.

Takie lampki, zwane *żarówkami*, służą dziś w wielu miastach do oświetlania. Pasemka w tych lampkach bywają wyrobione z metali, wytrzymujących wysokie temperatury: z tantalu, osmu, wolframu; dawniej wyrabiano je z węgla. Lampki elektryczne żarowe grzeją słabo i nie wydzielają produktów spalania, jak naftowe lampy lub gazowe; z tego względu są mniej szkodliwe dla zdrowia.

Inne urządzenie mają potężne lampy elektryczne zwane *łukowymi*. Przypuśćmy, że bardzo silny prąd elektryczny płynie przez dwa pręciki węglowe, zaostrome jak ołówki i zetknięte ze sobą ostrzami.



Rys. 138.

W miejscu zetknięcia powstaje zaraz bardzo znaczne ciepło; gdy zaś rozsunimy węgielki, pojawia się między nimi łuk świetlny (rys. 138); końce węgli, szczególnie zaś koniec dodatni, zaczynają wydawać oślepiające światło. Przedłużając to doświadczenie, spostrzegamy po jakimś czasie, że węgielki, który jest biegunem dodatnim, stracił kształt zaostromy lub nawet wydrażył się. Węgielki ujemny traci mniej, niekiedy nawet zyskuje. Od dodatniego bieguna

odrywają się więc cząstki węgla, które spalają się w drodze albo rozpraszają w różne strony. Budowa lamp elektrycznych łukowych polega na takiej zasadzie. Na niej również polega urządzenie *pieców* elektrycznych, które wytwarzają najwyższe temperatury, otrzymane dotychczas przez uczonych (od 3000° do 4000°).

§ 187. Opór drutu.

Przypuśćmy, że przez drut metalowy płynie prąd elektryczny. Drut stawia *pewien opór* prądowi; wiemy istotnie, że drut ogrzewa się wówczas (§ 176); zatem dzieje się tak, jak gdyby prąd spotykał w drucie *tarcie*, które przezwycięża, przez co powstałoby ciepło.

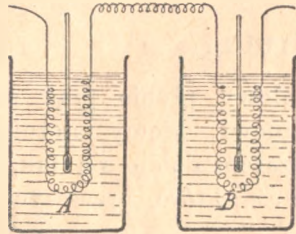


Rys. 139.

Wyobraźmy sobie, że przez rurę *PQ* (rys. 139) płynie woda, pchając przed sobą tłok *T*. Tarcie tłoka o ścianki, oraz tarcie wewnątrz samej wody, wytwarzałyby pewien opór płynięciu wody; część energii ruchu zamieniałaby się, skutkiem tarcia, na ciepło. Wprawdzie prąd elektryczny nie jest bynajmniej płynięciem jakiegobądź płynu po drucie; ale, jak ruch wody w rurze *PQ* byłby *źródłem energii*, podobnie prąd elektryczny w drucie jest *źródłem energii*. Istotnie: wiemy, że *prąd elektryczny ma energję*; dzięki tej energii prąd może rozkładać związki chemiczne, nabijać woltometry i akumulatory, żarzyć lampki, topić cienkie platynowe druciki. Kiedy prąd przechodzi przez drut metalowy, energia prądu zawsze wytwarza ciepło; podobnie, podczas ruchu wody w rurze *PQ*, część energii płynięcia zamienia się zawsze na ciepło. Posunięcie tłoka *T* o jeden centymetr wymaga przezwyciężenia pewnego tarcia, zatem wytwarza pewną ilość ciepła; jakkolwiek drogę woda odbyła już w rurze poprzednio, przed dojściem do miejsca *T*, posunięcie się jeszcze o jeden centymetr wytworzy nową ilość ciepła. Podobnie, jakkolwiek długo już trwa prąd elektryczny w drucie, ilekolwiek elektryczności już przepłynęło, przepłynięcie nowych ilości elektryczności wytworzy nową ilość ciepła.

§ 188. Przewodnictwo elektryczne.

Mówimy, że rozmaite druty stawiają rozmaity *opór* temu samemu prądowi, zależnie od tego, ile ciepła wytwarza się w nich z energii tego prądu. W obwodzie ogniwa (lub baterji) pomieścimy dwa druty albo dwa zwoje drutu: *A* i *B*



Rys. 140.

(rys. 140), jeden za drugim, tak, żeby ten sam prąd przepływał przez obadwa. Zanurzysz zwoje do alkoholu i mierząc temperaturę alkoholu, możemy sądzić o ilościach ciepła (por. § 143), które ten sam prąd wytwarza w dwóch drutach.

Jeżeli obadwa druty *A* i *B* (rys. 140) są wyrobione z tego samego metalu i są jednakowo grube (czyli mają jednakowe poprzeczne przecięcia); w takim razie ilości ciepła wytworzone mają się do siebie jak długości drutów. Naprzykład w drucie dwa razy dłuższym powstaje wówczas dwa razy większa ilość ciepła. Jeśli długości i przecięcia są jednakowe, ale metal drutów *A* i *B* nie jest jednakowy, wywiązujące ilości ciepła są wogóle niejednakowe; w drucie srebrnym lub miedzianym wywiązuje się mniej ciepła niż w platynowym, stalowym lub ołowianym. Mówimy: srebro i miedź odznaczają się stosunkowo *małym oporem* dla prądu czyli mają *duże elektryczne przewodnictwo*; platyna, stal i ołów stawiają prądowi opór stosunkowo znaczny, t. j. okazują małe elektryczne przewodnictwo.

Przypuścimy, że druty *A* i *B* są wyrobione z tego samego metalu i mają długość jednakową; że jednak drut *A* jest znacznie cieńszy niż *B*, t. j. posiada o wiele mniejsze poprzeczne przecięcie. Wówczas drut *A* stawia znacznie większy opór prądowi elektrycznemu aniżeli drut *B*; w drucie *A* pojawia się znacznie więcej ciepła aniżeli w *B*.

Zadania.

1. Dlaczego w doświadczeniu, opisanem w § 176-ym (rys. 130), drucik, który ma rozżarzyć się lub stopić, musi być cienki, pręty zaś doprowadzające prąd powinny być grube? Dlaczego drucik wybiera się zwykle stalowy, żelazny lub platynowy, doprowadzające zaś pręty wykonane są z miedzi?

2. W jakim celu umieszcza się t. zw. *stopki* w obwodach elektrycznych, znajdujących się w domach mieszkalnych i innych budynkach? Są to cienkie paski łatwo topliwego metalu, przez które prąd płynący w obwodzie musi przechodzić.

3. Wyłutaczyć zasadę urządzenia kuchenek i piecyków elektrycznych. Skąd bierze się energia, która w tych przyrządach zamienia się na ciepło?

4. Mamy wodny roztwór pewnej soli, w której skład wchodzi miedź, cynk albo srebro; jak można zapomocą prądu elektrycznego wydobyć te metale z ich związków? W skład alkoholu, eteru, benzyny, nafty wchodzi węgiel; czy można zapomocą prądu elektrycznego wydobyć węgiel z tych związków? Czy można rozłożyć zwykłe szkło albo kauczuk zapomocą prądu?

5. Elektrolizujemy wodny roztwór soli kuchennej; co otrzymamy na jednym i na drugim biegunie?

6. Jakiej pracy mechanicznej (w kilogramometrach) odpowiada energia, zużyta w woltametrze na rozłożenie 450 gr wody?

7. Czy można elektrolizować przy pomocy maszyny elektrycznej (§ 172)?

§ 189. Elektromagnes.

Cienki drut miedziany okręcmy starannie jedwabiem (lub bawełną, napojoną woskiem stopionym); taki drut nazywa się *izolowanym*. Weźmy sztabę z miękkiego żelaza *NS* (rys. 141) i okręcmy ją drutem izolowanym; następnie przepuścimy prąd przez drut izo-

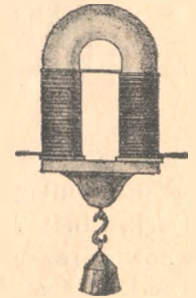
lowany. Prąd nie przechodzi przez jedwab ani przez woskowaną baweł-



Rys. 141.

nę a zatem musi okrążyć sztabę tyle razy *dokoła*, ile jest skrętów; przez samą sztabę prąd wcale płynąć nie będzie. Zobaczymy, że sztaba nabiera wówczas nowych własności, tak zwanych *magnetycznych*; przyciąga np. gwoźdźki lub opilki żelazne. Podnieśmy sztabę do góry: opilki trzymają się jej z obu końców jak gdyby przyklejone; przerwijmy prąd a opadną natychmiast. Podobny przyrząd nazywamy *elektromagnesem*. Powiadamy, że elektromagnes ma własności magnetyczne, dopóki prąd elektryczny krąży koło sztaby; przerywając prąd, odbieramy mu te własności; zamykając prąd, przywracamy je napowrót.

Ażby sztaba żelazna pod wpływem prądu stawała się silnym magnesem, trzeba, żeby ją prąd okrążał znaczną liczbę razy; dlatego, budując elektromagnesy, nakłada się zwoje drutu gęsto jeden przy drugim. Sztaba prosta, jak na rys. 141, przybrawszy

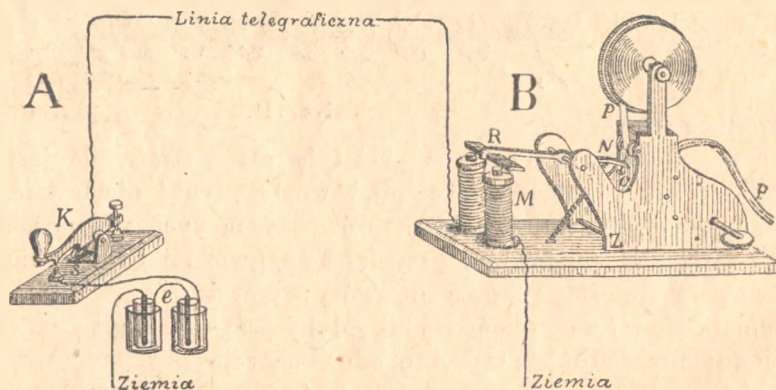


Rys. 142.

własności magnetyczne, przyciąga przeważnie na swych końcach czyli t. zw. *biegunach*; ku środkowi przyciąganie jest słabsze. Ażeby obadwa bieguny mogły wspólnie przyciągać, budują elektromagnesy w kształcie litery *U* lub podkowy (rys. 142).

§ 190. Telegraf elektryczny.

Wyobraźmy sobie dwa miasta *A*, *B*, odległe od siebie o 100 kilometrów. Przypuśćmy, że w pierwszym mieście *A* (rys. 143) znajduje się bateria elektryczna *e* i „klucz” *K*, którym można przerywać prąd w obwodzie baterji lub też zamykać go napowrót. W drugim mieście *B* niechaj znajduje się przyrząd, złożony z elektromagnesu *M* (rys. 143) i z kotwicy *R*, osadzonej na dźwigni *NR*, na której drugim końcu znajduje się ołówek *o*. Jeśli elektromagnes zostanie wzbudzony działaniem prądu, kotwica *R* opuści się, koniec *N* podniesie się, ołówek *o*



Rys. 143.

uderzy o pasek papieru *PP*, który przesuwają się przed nim pod działaniem mechanizmu zegarowego w *Z*. Ziemia, ogniwa baterji, klucz, linja telegraficzna, elektromagnes i znów ziemia stanowią razem całkowity obwód; jedyną przerwą w tym obwodzie jest klucz *K*. Naciskając klucz *K* w mieście *A*, sprawiamy, iż ołówek *o* w mieście *B* przyciska się do papieru *PP* i pisze po nim kreski lub kropki, stosownie do długości czasu, przez który klucz był zamknięty. Z kresek takich i kropek, według ustalonej umowy, odczytuje się litery, wy-

razy i zdania. Na tej zasadzie polega urządzenie *telegrafów elektrycznych*; na podobnej opiera się budowa dzwonek i zegarów elektrycznych.

Czytelnikowi może nasunąć się pytanie: jakim sposobem prąd powraca w ziemi napowrót do baterji ogniwa? dlaczego płynie w ziemi właśnie do ogniwa a nie dokądkolwiek bądź indziej? Trzeba wyobrazić sobie ziemię jako olbrzymi zbiornik, w którym elektryczność jest na jednym poziomie napięcia. Wyobraźmy sobie, że pewna osoba *A* w New-Yorku wylała konewkę wody do Oceanu Atlantyckiego, inna zaś osoba *B*, w jakiś czas później, w Londynie zacerpnęła z morza taką samą konewkę. Nie będziemy troszczyli się o to, czy woda, którą osoba *B* ujęła Oceanowi, jest *tą samą* wodą, której osoba *A* dostarczyła. Nieco podobnie mają się rzeczy w przypadku ruchu elektryczności przez kulę ziemską.

§ 191. O magnesach.

Do doświadczenia, przedstawionego na rys. 141-ym, użyjmy sztaby stalowej; przekonamy się, że sztaba przyciąga opiłki żelazne, podobnie jak sztaba z miękkiego żelaza. Jednakże sztaba stalowa przyciąga nie tylko dopóty, dopóki dookoła niej krąży prąd, lecz również i *później*, gdy prąd już został *przerwany*. Sztaba stalowa pod wpływem prądu staje się *magnesem*, t. j. nabywa własności magnetycznych nie tylko chwilowo (jak miękkie żelazo) lecz *trwale*. Rysunek 144 okazuje taki magnes z przylegającymi doń opiłkami.



Rys. 144.

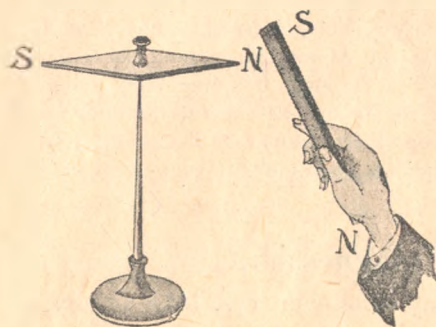
Niektóre rudy żelazne (zawierające związek tlenu z żelazem, t. zw. *magnetyt*) posiadają własności magnetyczne już w naturalnym stanie, bez działania prądu elektrycznego. Takim *magnesem naturalnym* można magnesować stal przez proste pocieranie.

Dzięki istnieniu rud magnetytowych poznano niektóre prostsze zjawiska magnetyczne już w starożytności. Ale związek pomiędzy prądem elektrycznym a magnetyzmem odkryto dopiero na początku XIX-go stulecia.

§ 192. Przyciąganie i odpychanie się magnetyczne.

Weźmy lekką stalową igielkę, namagnesujmy ją prądem w sposób, jaki przedstawia rys. 141 i napiszmy na lewym biegunie igielki literę *N*, na prawym *S*. Namagnesujmy podobnie sztaby stalową, łącząc końce drutu (rys. 141) z temi

samemi biegunami baterji jak przed chwilą i znów napiszmy: na lewym biegunie sztaby *N*, na prawym *S*. Osadźmy teraz igielkę stalową poziomo na ostrzu (rys. 145) tak, iżby mogła kręcić się swobodnie we wszystkie strony. Zbliżając sztabę do igielki, jak na rys. 145, przekonamy się, że biegun *N* sztaby odpycha biegun *N* igielki i przyciąga jej biegun *S*; biegun zaś *S* sztaby przyciąga *N* igielki i odpycha jej biegun *S*. Jednym słowem *jednakowe bieguny (N, N albo S, S) odpychają się a przeciwne (N i S) przyciągają się.*

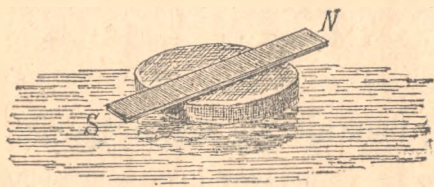


Rys. 145.

Widzieliśmy podobnie w § 168-ym, że ciała naelektryzowane jednakowo odpychają się a naelektryzowane przeciwnie przyciągają się. W tym względzie przeto zachowywanie się ciał magnetycznych i naelektryzowanych jest zupełnie podobne.

§ 193. Magnetyzm ziemski.

Oddalmy zupełnie sztabę w doświadczeniu poprzednim (rys. 145); *igielka magnesowa NS* wykręci się na ostrzu i ustawi się w pewnym określonym kierunku; jeśli odchylimy ją lekko, powróci do tego położenia. *Koniec N igły wskazuje mniej więcej północ* (w naszych okolicach ustanawia się nieco na zachód od północy); *koniec S wskazuje mniej więcej południe*. Takie



Rys. 146.

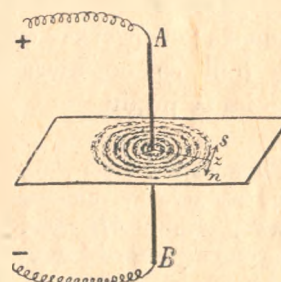
igielki w przyrządach, zwanych *busolami* czyli *kompasami*, służą marynarzom i podróżnikom do odnajdywania kierunków północy i południa. A zatem kula ziemską zachowuje się, jak gdyby była magnese

magnesem i jak gdyby miała dwa bieguny, położone mniej więcej w jej istotnych, geograficznych biegunach.

Położmy magnes *NS* na dużym płaskim korku; korek umieścimy na wodzie (rys. 146). Magnes wykręci się i ustawi się, podobnie jak igła magnesowa, ale nie popłynie cały ani na północ ani na południe. Dlaczego dzieje się tak? Biegun północny ziemi przyciąga koniec *N* magnesu, ale równie mocno odpycha jego koniec *S*; dlatego *ziemia wykręca magnes ale nie pociąga go w żadnym kierunku.*

§ 194. Działanie prądu na magnes.

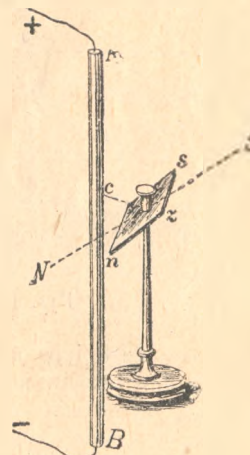
Widzieliśmy w §§ 189 i 191, że prąd elektryczny, płynący po drucie, wytwarza w pobliżu siłę magnetyczną: w stali trwała, w miękkim żelazie tylko przejściowa. Zbadajmy dokładniej tę siłę magnetyczną. Poprowadźmy prąd elektryczny przez pręcik metalowy *AB* (rys. 147), na którym umocowaliśmy poprzecznie kartę tekury. Jeśli posypimy kartę opiłkami żelaznymi, zobaczymy (za lekkim wstrząśnięciem), że opiłki układają się w kształcie kół, których środkiem jest miejsce przecięcia się drutu z kartą (czyli *c* na rysunku). Prąd magnesuje



Rys. 147.

każdy kawałek żelaza i, skoro tylko może, *wykręca go*; kawałek *z* ustawia się w kierunku *ns*, mniej więcej stycznym do koła o promieniu *cz*, czyli w kierunku, prostopadłym do tego promienia *cz*; inne kawałki ustawiają się podobnie.

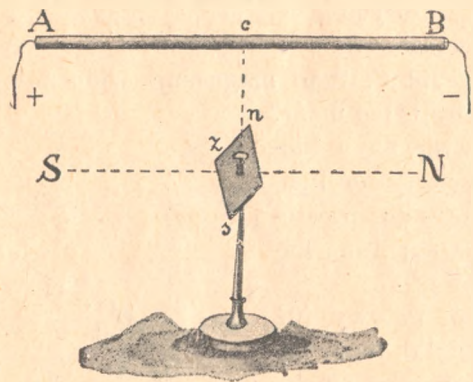
Podobnie działa prąd na gotowy już magnes, który znajduje się w jego pobliżu. Weźmy igielkę magnesową z doświadczenia, wyobrażonego na rys. 145-ym. Ustawia się ona sama przez się, pod wpływem ziemi, w kierunku mniej więcej z północy na południe, jak wiemy z artykułu poprzedzającego. Przypuśćmy, że *NS* na rys. 148-ym wyobraża kierunek, w którym igielka magnesowa ustawia się pod wpływem działania kuli ziemskiej. Zbliżamy przewodnik *AB*,



Rys. 148.

przez który płynie prąd; igielka odchyła się wówczas od kierunku NS i przybiera położenie ns (rys. 148). Gdyby kula ziem- ska nie wywierała żadnego wpływu na igielkę magnesową, igielka ta pod wpływem prądu AB przybrałaby położenie prosto- padłe do linii cz , t. j. do najkrótszej odległości środka z igielki od drutu AB . Ale w istocie na igielkę działają dwie siły: siła, wywierana przez kulę ziemską i siła, wywierana przez prąd; wiemy zatem (§ 11), że igielka zachowa się tak, jak gdyby działała na nią wypadkowa tych dwóch sił składowych. Do- świadczenia nad działaniem prądu na igłę magnesową wyko- nywamy zazwyczaj w taki sposób, iż siła, wywierana przez prąd, jest znacznie silniejsza niż siła, wywierana przez kulę ziemską; wówczas wypadkowa obu tych sił niewiele różni się (ani co do kierunku, ani co do wartości, zob. § 11) od działania prądu.

Wykonajmy kilka dalszych doświadczeń. Drut AB , przez który płynie prąd elektryczny, umieszczamy *poziomo*; igłę magnesową ns ustawiamy *poniżej* drutu AB (rys. 149). Igła przybiera wówczas położenie ns . Przypuszcmy znowu, że NS na rys. 149-ym wyobraża kierunek, w któ- rym ustawiłaby się igła ma- gnesowa pod wyłącznym wpływem kuli ziemskiej, w nieobecności prądu. Je- żeli działanie prądu, pły- nącego przez AB , jest zna- cznie silniejsze aniżeli dzia- łanie kuli ziemskiej, igła ustawia się mniej więcej poprzecznie do kierunku drutu AB (rys. 149).

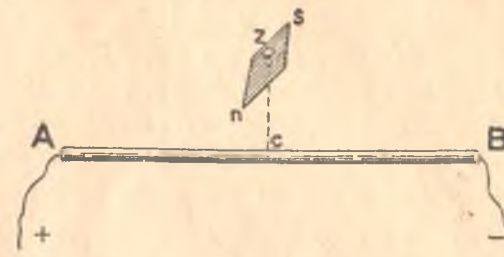


Rys. 149.

Pozostawiamy drut AB w położeniu dotychczasowe- m poziomem i łączymy (jak przed chwilą) koniec A z dodatnim, koniec B z ujemnym biegunem ba- terji; natomiast igłę magnesową ns umieszczamy teraz *powyżej* drutu AB , zatem przeciwnie niż w doświadczeniu poprzednim; rys. 150 wyobraża urządzenie obecnego doświadczenia. Igła magnesowa znowu wykręca się, mniej więcej poprzecznie do kierunku AB ; kierunek igły ns jest teraz mniej więcej przeciwny niż w doświadczeniu poprzednim. Kierunek drutu, od A (+) do B (-), na obu rysunkach (149 i 150), idzie dla czytelnika od lewej ręki ku prawej. Na rys. 149-ym koniec n igielki odwraca się od czytelnika, koniec s zwraca się ku niemu; na

rys. 150-ym, mniej więcej przeciwnie, koniec n zwraca się ku czytelnikowi, koniec s odwraca się od niego.

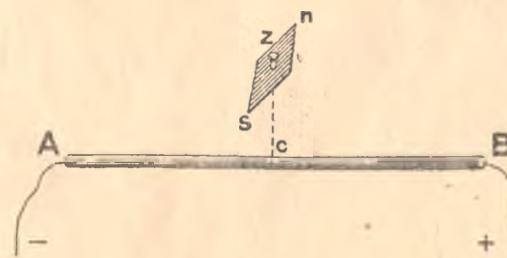
Jak powiedzieliśmy w § 175-ym, w obwodzie ogniwa albo baterji elektryczność dodatnia płynie od dodatniego do ujemnego bieguna. Ten kierunek płynięcia nazwijmy krótko *kierunkiem prądu elektrycznego*. W doświadczeniach, przedstawionych na ryss. 149 i 150, prąd płynie zatem w drucie AB w kierunku od A do B .



Rys. 150.

Spróbujmy teraz zmieniać kierunek prądu w doświadczeniach powyższych, które są wyobrażone na ryss. 148, 149 i 150; nie zmieniajmy przytem ani położenia drutu AB ani położenia igielki magnesowej względem tego drutu. W każdym z wymienionych doświadczeń kierunek igły magnesowej mniej więcej się odwraca, gdy kierunek prądu zmienia się na przeciwny.

Wykonajmy jeszcze jedną próbę. Umieścmy igłę magnesową *powyżej* poziomego drutu AB , jak na rys. 150-ym; ale jednocześnie zmienmy kierunek prądu w drucie na przeciwny, t. j. przepuszcmy przez ten drut prąd elektryczny w kierunku od B do A . Igła magnesowa ustawia się wówczas w położeniu, które przybierała w doświadczeniu rys. 149-go; koniec n igły odwraca się od czytelnika, koniec s zwraca się ku niemu (rys. 151). Dwie jednoczesne zmiany, zmiana kierunku prądu na przeciwny oraz przeniesienie igły z pod prądu ponad prąd, wywierają na igłę wpływy przeciwnie, które znoszą się wzajemnie.



Rys. 151.

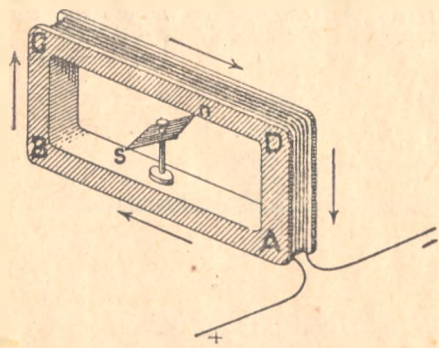
§ 195. Natężenie prądu. Galwanometry i galwanoskopy.

Nie każdy prąd elektryczny działa jednakowo na igłę magnesową. Wyobraźmy sobie pewien drut, który jest zawsze jednakowo położony względem pewnej igły magnesowej. Jeżeli przez ten drut płynie najprzód prąd z jednego ogniwa, na-

stępnie zaś prąd, otrzymany z dziesięciu takich ogniw (łączymy je jak na rys. 122-im, § 165), wówczas wychylenie igły magnesowej będzie *większe* w drugim razie niż w pierwszym. Istotnie, jak wiemy z § 194-go, na igłę działają dwie siły: siła, wywierana przez prąd i siła, wywierana przez kulę ziemską. Im większa jest pierwsza siła, tem bardziej przeważy jej wpływ ponad drugą, tem mniejszy będzie udział tej drugiej w wytworzeniu siły wypadkowej.

Ażeby wyrazić takie własności prądu elektrycznego, powiadamy, że prąd może mieć rozmaite *natężenie*. Natężenie prądu, płynącego od dziesięciu ogniw (gdy łączymy je, jak na rys. 122-im), jest większe, aniżeli natężenie prądu, dostarczanego przez jedno takie samo ogniwo, jeżeli obadwa prądy płyną w obwodach, stawiających ten sam opór (§ 187). Siła, wywierana przez dany prąd elektryczny na igłę magnesową, zależy od natężenia prądu i od położenia igły względem przewodnika, w którym prąd płynie.

Galwanometrem nazywamy przyrząd, służący do mierzenia natężenia prądu; *galwanoskopem* nazywa się przyrząd, który wykrywa i zdradza obecność nawet słabego prądu w danym obwodzie.



Rys. 152.

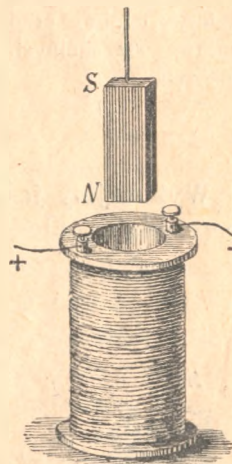
Prosty galwanoskop widzimy na rys. 152-im. Na drewnianej ramce nawinięto wiele zwojów drutu doskonale izolowanego; wewnątrz ramki znajduje się igła magnesowa. Pamiętajmy o tem, że prąd, wpływając do przyrządu w miejscu *A* (rys. 152), biegnie następnie po *AB*, *BC*, *CD*, *DA*, znów po *AB* i t. d.; a zatem w tych częściach zwojów, które idą wzdłuż *AB*, prąd płynie w kierunku wprost przeciwnym niż w częściach, ułożonych wzdłuż *CD*. Przypomniawszy sobie doświadczenia, opisane w § 194-ym, widzimy zatem, że działanie całej części *AB* ramki oraz części *CD* na igłę *sn* jest *zgodne*. Działanie części *BC* ramki jest podobnie zgodne z działaniem części *DA*. Skoro przez zwoje galwanoskopu przejdzie prąd, choćby słaby, igielka wykręci się; albowiem działanie prądu na igielkę powtarza się tutaj wielokrotnie, działania te dodają się i wytwarzają skutek znacznie większy aniżeli działanie jednego zwoju.

§ 196. Zjawisko indukcji.

Powiedzieliśmy, że prąd w pobliżu drutu, przez który płynie, wytwarza siłę magnetyczną; istotnie, wytwarza ją nie tylko wtedy, kiedy w sąsiedztwie znajduje się żelazo lub stal, lecz wytwarza ją zawsze, choćby nawet w powietrzu, które otacza drut; tylko w powietrzu siła magnetyczna nie sprawia skutków tak wyraźnych jak w żelazie, ani tak trwałych jak w stali. Zbudujemy cewkę z drutu izolowanego i przepuścimy prąd przez tę cewkę (rys. 153). Cewka zachowuje się wówczas jak magnes: ma dwa bieguny, któremi odpycha lub przyciąga bieguny zwykłego magnesu. Jeśli odwrócimy kierunek prądu, dawny biegun *N* cewki staje się biegunem *S*, biegun zaś *S* staje się nowym biegunem *N*.

Wykonajmy teraz doświadczenie następujące. Z obwodu cewki usuńmy baterję, natomiast wprowadźmy w ten obwód czuły *galwanoskop*. Następnie, nagłym ruchem, opuścimy magnes *NS* do wewnętrznego wydrążenia cewki (rys. 153). Zobaczymy, że w chwili zbliżania magnesu budzi się w cewce prąd, który wszakże znika, skoro tylko ruch magnesu ustaje. Gdy magnes, znajdując się w cewce, jest w spoczynku, prądu niema; jeśli nagle wyjmemy magnes, spostrzeczemy na galwanoskopie znowu chwilowe pojawienie się prądu, skierowanego przeciwnie niż pierwszy.

Prąd, tworzący się w opisany sposób, nazywamy prądem *indukcyjnym*; zjawisko, które tu poznaliśmy, nazywamy *indukcją*.



Rys. 153.

§ 197. Zasada budowy maszyn dynamo-elektrycznych.

Wyobraźmy sobie, że zbliżyliśmy magnes do cewki (rys. 153), że zaraz później oddaliliśmy go od niej, że go znowu zbliżyliśmy, znowu oddaliliśmy i tak dalej bez końca. Wówczas w cewce będzie nieustannie płynął prąd elektryczny. Taki sam prąd będzie płynął w cewce, jeżeli magnes będzie nieruchomy, cewka zaś będzie się ku niemu zbliżała i od niego oddalała bez przerwy. W obu razach otrzymamy jednakże prąd, który zmienia co chwila kierunek na przeciwny (§ 196); a przytem

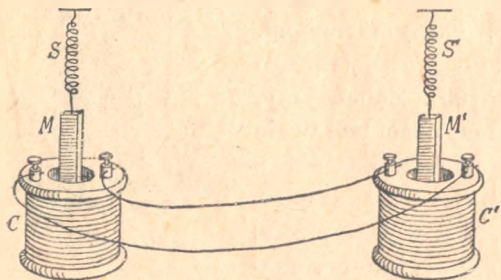
ten prąd nie posiada stałego natężenia, lecz zmienne. Taki prąd nazywamy *przeziennym*. Prąd przezienny różni się zmiennością kierunku oraz natężenia od prądu trwałego, którego kierunek jest stały i natężenie nie zmienia się.

Budowa maszyn dynamo-elektrycznych polega na zasadzie doświadczenia, objaśnionego w artykule poprzednim. Przyrząd, odpowiadający cewce w tem doświadczeniu, porusza się w sąsiedztwie elektromagnesów; w ten sposób tworzą się potężne prądy, które służą do oświetlania, poruszania kolei elektrycznych, do elektrolizy technicznej lub innych celów przemysłu elektrycznego. Do poruszania takich »dynamo-maszyn« potrzeba ogromnych ilości pracy, których dostarczają motory parowe, wodne lub inne.

Niektóre maszyny dynamo-elektryczne dają (podobnie jak ogniwa lub baterje ogniwo) prąd stały, o niezmiennym kierunku. Dzieje się to za sprawą szczególnych urządzeń, wchodzących w skład budowy takich maszyn.

§ 198. Telefon.

Wykonajmy jeszcze raz doświadczenie, opisane w artykule poprzednim, ale w sposób nieco odmienny. Ponad cewką C

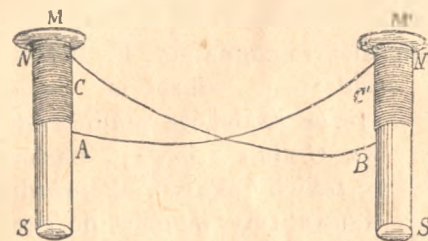


Rys. 154.

(rys. 154) umieścimy magnes M , zawieszony na sprężynie S . Pociągnijmy magnes M mocno ku dołowi i puścimy go następnie. Magnes będzie odbywał szybkie wahanie do góry i na dół. Poruszając się na dół, będzie on wzbudzał w cewce C prąd indukcyjny o pewnym kierunku; poruszając się do góry, będzie wywoływał prąd indukcyjny o wprost przeciwnym kierunku. Końce izolowanego drutu, nawiniętego na cewce, połączmy, jak pokazuje rysunek, z końcami drutu, nawiniętego na drugiej cewce podobnej C' . Ponad tą drugą cewką C' zawieśmy drugi magnes M' , na sprężynie S' . Prądy indukcyjne, wzbudzone w cewce C przez wahanie się czyli drganie magnesu M , płyną przez cewkę C' ; ale ponieważ płyną naprzemian w jednym i w drugim (wprost przeciwnym) kierunku, więc naprzemian to przyciągają, to odpychają magnes M' (por. § 196). Drgania magnesu M będą zatem wy-

woływały podobne drgania magnesu M' . Jeśli druty, łączące cewki ze sobą, są dostatecznie długie, przyrządy CM i $C'M'$ mogą być odległe od siebie; ruch drgający jednego magnesu M sprawia zawsze na drugiej stacji podobne drgania drugiego magnesu M' .

Na takiej zasadzie polega budowa *telefonów*. W miejscowości A , zamiast ciężkiego magnesu M z poprzedniego rysunku, wyobraźmy sobie cienką i sprężystą blaszkę żelazną M (rys. 155), umieszczoną tuż obok silnego magnesu NS ,



Rys. 155.

przez co i sama blaszka M stała się magnetyczna. Na magnesie NS , tuż pod blaszką M , osadzona jest cewka C . W miejscowości B dowolnie odległej znajduje się przyrząd podobny, złożony z blaszki M' , z magnesu $N'S'$ i z cewki C' . Cewki C i C' są połączone

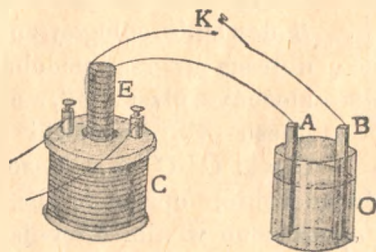
drutami, podobnie jak w doświadczeniu, opisanym przed chwilą. Dla jasności rysunku, opuszczono w nim drewniane lub kauczukowe oprawy, w których blaszka, magnes i cewka są umocowane. Takie przyrządy nazywają się *telefonami*. Przypuścimy, że ktoś, na stacji A , mówi w telefon A , trzymając blaszkę jego M niezbyt daleko od ust. Wiemy z rozdz. III-go, że mowa ludzka rozchodzi się w powietrzu szeregiem fal głosowych, które, uderzając blaszkę M , wprawiają ją w drganie. Drganie blaszki M opisanym sposobem (mianowicie za pośrednictwem prądów indukcyjnych, które drganie to wytwarza w C i posyła do C') pobudza blaszkę M' telefonu B do drgań zupełnie podobnych, co znów wzbudza w otaczającym powietrzu fale głosowe, takie same jak te, które w miejscowości A pobudzały do drgań blaszkę M . Kto zatem przyłoży ucho do wylotu telefonu B , usłyszy dźwięki i wyrazy, wymawiane przed telefonem A . Tym sposobem mogą rozmawiać osoby, oddalone o dziesiątki lub setki kilometrów od siebie.

Wynalazek telefonu zawdzięczamy Amerykaninowi Grahamowi Bellowi (1876). Pamiętajmy o tem, że ten wynalazek, z którego po miastach codziennie korzystają tysiące ludzi, oraz mnóstwo innych ważnych i pięknych zastosowań i wynalazków, polega na odkryciu *zjawiska*

indukcji (§ 196). Tego odkrycia dokonał w roku 1831-ym *Michał Faraday*, uczony angielski, którego nieśmiertelne badania wprowadziły naukę o elektrycznych i magnetycznych zjawiskach na nowe tory. Z prac *Faradaya* ludzkość korzysta i będzie jeszcze korzystała przez długie stulecia; takim więc mężom, jak *Faraday* winniśmy wdzięczność najgłębszą.

§ 199. Dalsze doświadczenia nad indukcją.

Doświadczenia, dotyczące się indukcji, możemy wykonywać w sposób odmienny. Posługiwaliśmy się dotychczas zwykłym magnesem (np. *NS* na rysunku 153-im), który wsuwaliśmy do cewki lub wysuwaliśmy z niej. Zamiast trwałym magnesem, spróbujmy działać (rys. 156) elektromagnesem *E*, któremu nadajemy własności magnetyczne zapomocą prądu z ogniwa *C* (lub z baterji, złożonej z takich ogniw). Poprzednio wsuwaliśmy magnes do cewki lub usuwaliśmy go z niej; spróbujmy teraz zostawiać elektromagnes *E* raz na zawsze wewnątrz cewki *C*, spróbujmy natomiast zamykać i otwierać obwód ogniwa *O* zapomocą klucza *K*, t. j. wpuszczać prąd do elektromagnesu i przerywać go. Każde zamknięcie prądu, wzbudzającego elektromagnes *E*, działa teraz jak nagłe wsunięcie zwykłego magnesu, t. j. wytwarza w cewce *C* (i w jej obwodzie) przemijający, krótkotrwały prąd indukcyjny. Każde otwarcie prądu działa jak nagłe wysunięcie zwykłego magnesu, t. j. wytwarza prąd indukcyjny równie krótkotrwały, lecz skierowany wprost przeciwnie.



Rys. 156.

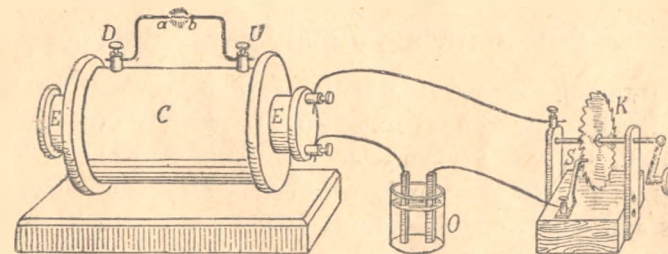
bardzo cienki i nadzwyczaj długi; bywają induktory, na których cewce znajduje się kilkanaście lub kilkadziesiąt kilometrów drutu. Czyni się to w tym celu, ażeby zwiększyć, o ile podobna, napięcie prądów indukcyjnych, powstających w cewce (por. § 174). Induktor tak zbudowany dostarcza prądów o napięciu tak wysokim, że mogą one utorować sobie drogę nawet przez powietrze, t. j. utworzyć w niem iskrę. Umocowawszy zatem w śrubkach *D* i *U* dwa druty, których końce *a*, *b* zbliżamy do siebie, spostrzegamy w przerwie *ab* między nimi (rys. 157) szybkie bicie iskier, jednej za drugą.

§ 200. O induktorach.

Induktorem nazywamy taką cewkę, jak opisana, zawierającą wewnątrz elektromagnes i zaopatrzoną w pomocniczy przyrząd, który przerywa i zamyka prąd w tym elektromagnesie. Na rys. 157-ym *C* wyobraża cewkę indukcyjną; *E* wewnętrzny elektromagnes, *O* ogniwo lub baterję, *SK* zaś przerywacz; *D* i *U* oznaczają końce drutu, nawiniętego na cewkę *C* induk-

tora. Koło *K* i sprężyna *S* są wyrobione z metalu. Obracając szybko koło zębate *K*, sprawiamy, że sprężyna *S* naprzemian przyciska się do zębów, to znów z nich zeskakuje. Ponieważ, jak widzimy na rysunku, sprężyna *S* i koło *K* są włączone w obwód elektromagnesu *E*, przeto szybki obrót koła *K* sprawia nieustanne przerywanie i zamykanie prądu, wzbudzającego ten elektromagnes.

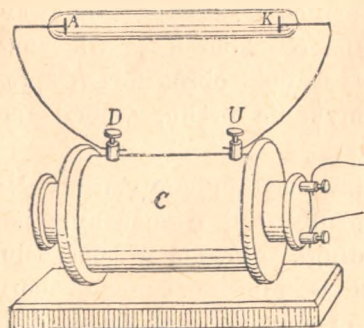
Induktory buduje się zazwyczaj w następujący sposób. Na elektromagnesie nawija się drut gruby (t. j. o znacznym poprzecznym przekroju) i niezbyt długi, głównie w tym celu, ażeby prąd baterji nie spotykał w nim znacznego oporu (§ 188). Na cewce indukcyjnej, przeciwnie, nawija się drut



Rys. 157.

Prądy indukcyjne mogłyby przechodzić między zakończeniami *a*, *b* nawet przy znacznie większym ich rozsunieciu, gdyby powietrze w odstępnie *ab* było rozrzedzone. Możemy przekonać się o tem zapomocą rurki zamkniętej czyli bańki szklanej *AK* (rys. 158), w której, przed jej zamknięciem czyli zaluto-

waniem, rozrzedzono powietrze zapomocą pompy rtęciowej lub pneumatycznej. W ścianę tej rurki wtopione są dwa druciki, dźwigające niewielkie płytki metalowe *A*, *K*; druciki te łączymy z biegunami cewki indukcyjnej *D*, *U*. Prądy indukcyjne przechodzą przez powietrze rozrzedzone; nie dają jednak wówczas iskier, lecz tworzą raczej piękne pasmo świetliste, jak gdyby lunę świecąca, rozlaną prawie w całej rurce *AK*.



Rys. 158.

§ 201. O promieniach katodowych.

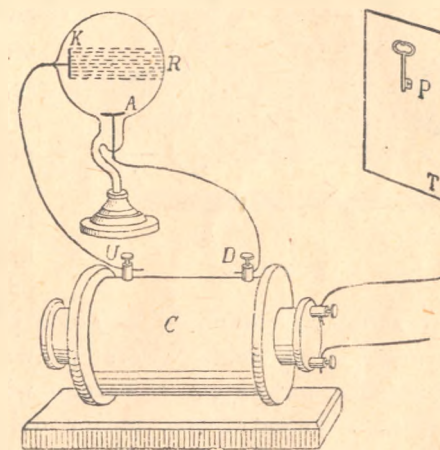
Powtarzając to doświadczenie, spróbujmy posuwać coraz dalej i dalej stopień rozrzedzenia powietrza w rurce *AK* (rys. 158). Gdy osiągniemy wysokie rozrzedzenie, jakie dają najlepsze pompy rtęciowe, wówczas zjawisko elektryczne przedstawi się odmiennie. Luna ciągła znika prawie zupełnie; natomiast z jednej płytki (mianowicie z płytki *K* na naszym rysunku) tryska snop promieni już teraz niewidzialnych, które biegną przez rurkę w kształcie linii prostych i kończą się na przeciwległej jej ścianie. Płytką *K* w rurce *AK* z rys. 158-go nazywa się *katodą* (przeciwległa *A* nazywa się *anodą*); stąd nazwa *promieni katodowych*, którą noszą rzeczone promienie. Same przez się promienie katodowe są niewidzialne; natomiast szkło rurki świeci jasnym światłem, barwy zwykle zielonkawej, w tem miejscu, gdzie trafiają je promienie katodowe.

§ 202. O promieniach Röntgena.

Uczony niemiecki Röntgen odkrył w końcu XIX-go stulecia, że ze ścian rurki, świecących pod wpływem promieni katodowych, rozchodzi się dokoła, a więc i nazewnątrz rurki, szczególnego rodzaju promieniowanie; to promieniowanie jest niedostrzegalne dla wzroku, ale poznajemy je po skutkach, które ono może sprawiać. Przedewszystkiem, owe *promienie Röntgena* działają na płytkę fotograficzną, podobnie jak działa na nią światło zwyczajne, widzialne; o czem więcej powiemy

w następnym (szóstym) rozdziale. Powtóre, w pewnych ciałach, które nazywamy ciałami *fluoryzującymi*, promienie Röntgena wywołują jasne świecenie, skoro tylko na nie padną. Kartka papieru, posypana np. platynocjankiem barowym, świeci jasno tam, gdzie ją trafiają promienie Röntgena, dosyć podobnie jak szkło pod działaniem promieni katodowych. Potrzebie, promienie Röntgena przechodzą swobodnie, po liniach prostych, przez wiele ciał, nieprzezroczystych dla światła; np. przez papier, przez drzewo, przez miękkie części ciała ludzi i zwierząt i t. p. Inne ciała, jak ołów, żelazo, kamienie wapienne, kości, nie przepuszczają promieni tych wcale lub tylko w stopniu nieznacznym.

To tłumaczy zasadę doświadczenia następującego. Przed kartą *T* tekturową, powleczoneą (po przeciwnej stronie) preparatem fluoryzującym, umieszczamy jakibądź przedmiot żelazny lub ołowiany *P* (rys. 159) i rzucamy na przedmiot i kartę promienie Röntgena (z *R* na rysunku). Wówczas na



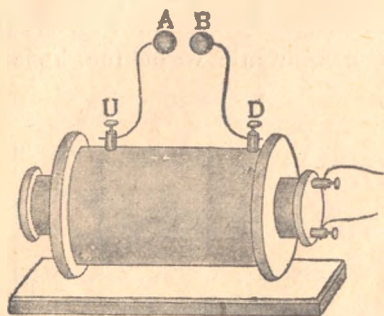
Rys. 159.

karcie *T* (oglądanej od strony preparatu fluoryzującego) rysuje się ciemno cień przedmiotu *P*. Jeżeli w miejscu *P* umieścimy rękę, promienie przenikną przez miękkie części dłoni, ale nie przenikną przez kości, tak, iż na karcie *T* ukaże się cień szkieletu kostnego umieszczonej przed nią ręki.

§ 203. Zasada urządzenia telegrafu bez drutu.

Zapomocą drutów metalowych połączmy bieguny *U* i *D* induktora z dwiema metalowymi kulami *A*, *B* (rys. 160), znajdującymi się w niewielkiej odległości od siebie. Ilekolwiek razy przerywa się prąd płynący z baterji, induktor nabija kule *A*, *B* ładunkami elektrycznymi, skutkiem czego potężna

iskra przeskakuje od kuli do kuli. Zbadawszy takie iskry, fizycy przekonali się, że one bynajmniej nie są jednorazowe każda składa się z szeregu wyładowań, które następują po sobie w niezmiernie krótkich odstępach czasu. Każde takie wyładowanie jest niezmiernie krótko trwającym prądem elektrycznym, o zmiennem natężeniu i o nieustannie zmieniającym się kierunku; w opisanem zjawisku kula A jest na-



Rys. 160.

ładowana raz dodatnio, natychmiast potem ujemnie, za chwilę znowu dodatnio i tak dalej. Kule zmieniają swoje ładunki wiele razy na przeciwnie, zanim wszystko ułoży się do równowagi.

Prądy takie, tak szybko przemienne, budzą dokoła siebie w powietrzu działania indukcyjne, które można odkryć nawet i w znacznej odległości od kul naszego

przyrządu. Na podobnej zasadzie polega też budowa *telegrafu bez drutu*, urządzenia, które pozwala ludziom porozumiewać się ze sobą nawzajem w bardzo wielkich dzielących ich odległościach. Telegrafować można dzisiaj w ten sposób z Ameryki do Europy; albo z okrętu, znajdującego się na pełnym morzu na łód lub odwrotnie. Telegrafuje się przytem bez żadnego łączącego drutu lub innego przewodzącego łącznika, jaki jest potrzebny w zwykłym telegrafie elektrycznym (§ 190). Dlatego taki telegraf nazywa się telegrafem «bez drutu» (albo *radjotelegrafem* lub wreszcie «iskrowym»).

Wynalazek radjotelegrafji stał się możliwy dzięki odkryciom, które zawdzięczamy *James Clerk-Maxwellowi* oraz *Henrykowi Hertzowi*; prace tych uczonych, które zapisały się nazawsze w historii myśli ludzkiej, przypadają na drugą połowę XIX-go stulecia.

Zadania.

1. W doświadczeniu, wyobrażonem na rys. 148-ym (§ 194), obnośmy igiełkę magnesową *ns* dokoła przewodnika *AB*, w którym płynie wciąż ten sam prąd elektryczny. W jakich położeniach ustawiać się będzie igiełka?

2. Przypuśćmy, że obwód ogniwa jest prostokątem, utworzonym z drutów naprzemian pionowych i poziomych. Wyobraźmy sobie, że umieszczamy igiełkę magnesową w pobliżu boków prostokąta, bądź po wewnętrznej, bądź po zewnętrznej stronie tych boków. Jakie położenie przybiera igiełka w tych różnych miejscach?

3. Skoro przewodnik, przez który płynie prąd elektryczny, wywiera pewne siły na magnes, czy zatem nie należy przypuszczać, według zasady działania i przeciwdziałania (§ 4), że ten przewodnik doznaje również działania pewnych sił od magnesu? Obmyśleć doświadczenie, w którym to działanie mogłoby się ujawnić.

4. Tuż obok pionowo stojącego magnesu wisi swobodnie giętka i lekki drucik metalowy, przez który przepuszczać możemy prąd elektryczny. Co stanie się, gdy przepuścimy istotnie prąd przez ten drucik, najprzód w kierunku z dołu do góry, potem w przeciwnym kierunku?



ROZDZIAŁ SZÓSTY.

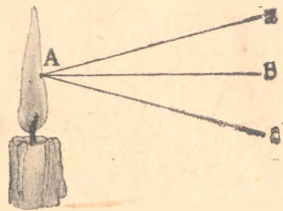
O promieniowaniu.

§ 204. Światło.

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

§ 205. Światło rozchodzi się po liniach prostych.

Przypuścimy, że widzimy w ciemności światło (np. latarki) i że chcemy jaknajprędzej dojść do źródła światła; skierujemy się wówczas wprost w tym kierunku, w którym dostrzegamy światło, nie pójdziemy ani w prawo ani w lewo. Wiemy z doświadczenia, że światło rozchodzi się w *prostych kierunkach*, że biegnie po liniach prostych. Linję prostą, po której biegnie światło, nazywamy *promieniem*.



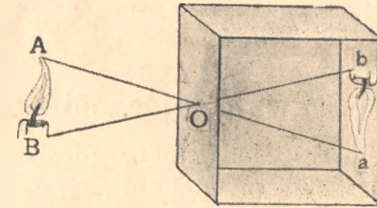
Rys. 161.

Wyobraźmy sobie palącą się świecę (rys. 161) i uważajmy jakikolwiek punkt (np. *A*) jej płomienia. Z punktu *A* poprowadźmy proste *Aa*, *Ab*, *Ac*; światło ze świecącego punktu *A* rozbiega się po tych drogach *Aa*, *Ab*, *Ac*. Jeżeli stosownie umieścimy kartkę papieru w niewielkiej odległości od płomienia, promienie *Aa*, *Ab*, *Ac* mogą przecinać kartkę, która zatem na tych drogach

otrzymuje z *A* światło. Powiadamy wówczas, że kartka jest *oświetlona* przez światło, pochodzące ze źródła *A*.

§ 206. Ciemnia optyczna.

Rozchodzenie się światła wzdłuż prostych promieni tłumaczy powstawanie obrazów w t. zw. *ciemni optycznej*. Wyobraźmy sobie prostokątną skrzynkę (rys. 162), wyrobioną z drzewa lub innego nieprzezroczystego materiału. W jednej ścianie skrzynki (tę ścianę nazwiemy przednią) zrobiono mały otworek *O* w kształcie krążka, o paru milimetrach średnicy. W ścianie przeciwległej (tylnej) umieszczono szybę szklaną matową. Przypuścimy, że w pewnej odległości od otworu *O* znajduje się lampa, świeca płonąca lub inne jakiegobądź źródło światła: biegnąc we wszystkie strony, światło pomiędzy innymi dobiega także do *O*. Światło, które od *A* doszło do *O* po drodze *AO*, biegnie dalej do *a*; światło, które od *B* doszło do *O* po drodze *BO*, biegnie dalej do *b* i t. d. Rozumiemy więc bez trudności, że na szybie matowej powstanie odwrócony obraz *ab* źródła światła *AB*.



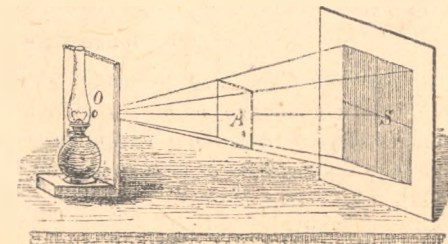
Rys. 162.

Gdybyśmy zrobili otwór duży, rozległy, w przedniej ścianie przyrządu, wówczas świetne obrazy, pochodzące od rozmaitych punktów źródła, zachodziłyby na siebie, nakrywałyby się wzajemnie, tworząc wielką plamę świetlną. Wyraźny obraz źródła nie mógłby utworzyć się wówczas.

W cieniastej aleji, chroniącej od blasku, w dzień letni słoneczny, dostrzegamy niejednokrotnie jasne kręgi i krążki wśród cienia; to obrazy słońca, powstające, jak w ciemni optycznej, działaniem wąskich otworów lub szczelin w gęstym ulistwieniu drzew rozgałęzionych.

§ 207. Cienie.

Ciała metalowe, drewniane i t. p., gdy są dość grube, nie przepuszczają światła, są *nieprzezroczyste*. Takie ciała muszą przeto *rzucać cienie*, skoro światło rozchodzi się po liniach prostych (§ 205). Nieprzezroczysty kwadracik *A* (rys. 163), oświetlony płomieniem przez *O*, rzuca kwadratowy



Rys. 163.

cień na tablicę. Gdybyśmy umieścili rękę na drodze świetlnych promieni, zobaczylibyśmy cień ręki na tablicy. W jasnym blasku słonecznym widzimy podobnie cień, rzucany przez dom, przez drzewo lub inne nieprzezroczyste przedmioty.

Zacmienie słońca dostrzegamy wówczas, gdy miejsce na ziemi, z którego patrzymy, weszło w obręb cienia, rzucanego przez księżyc. Jeżeli księżyc zanurzy się w cień, rzucany przez kulę ziemską, spostrzegamy *zacmienie księżycy*.

§ 208. Z wzrastającą odległością oświetlenie słabnie.

Wiemy z codziennego doświadczenia, że w pobliżu lampy oświetlenie przedmiotów jest silne i jaskrawe; możemy na przykład czytać książkę, gdy jej karty znajdują się w niewielkiej odległości od lampy. Gdy odległość wzrasta, oświetlenie słabnie i może stać się tak słabe, że książki niepodobna jest czytać.

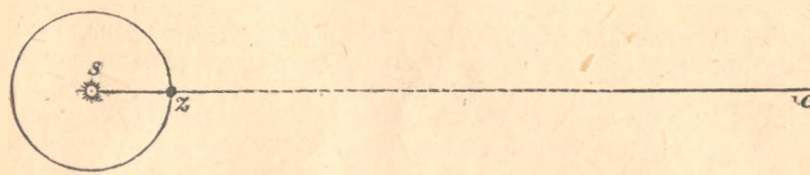
Jeżeli odległość OS w doświadczeniu, które objaśnia rys. 163 (§ 207), jest dwa razy większa od odległości OA , wówczas pole cienia S jest cztery razy większe od pola kwadracika A . Rzeczywiście, arkusz papieru, wycięty wzdłuż granic cienia S i złożony następnie we czworo, dokładnie przykrywa pole A . Usuńmy nieprzezroczysty kwadrat A ; pole S otrzymuje wówczas to samo światło, które przedtem otrzymywał kwadrat A . Widzimy zatem, że na każdy z 4-ch kwadratów, z których składa się S , przypada tylko czwarta część oświetlenia, jakie otrzymuje A . Gdy zatem S znajduje się dwa razy dalej od O niż A , każda jednostka pola S otrzymuje 4 razy mniej światła aniżeli A . Gdyby S znajdowała się trzy razy dalej od O niż A , każda jednostka pola S otrzymywałaby 9 razy mniej światła aniżeli A .

Ponieważ $2 \times 2 = 4$, $3 \times 3 = 9$ i t. d., mówi się zatem, że 4 jest kwadratem dwóch, 9 kwadratem trzech i t. d. A zatem oświetlenie jednostki pola słabnie z wrastającą odległością od źródła światła; zmienia się ono mianowicie w stosunku odwrotnym do kwadratu tej odległości.

§ 209. Słońce i gwiazdy stałe.

Słońce jest taką samą gwiazdą, jak inne gwiazdy t. zw. *stałe*, których tyle widzimy na niebie; a jednak ukazuje się nam zgoła inaczej. Słońce nie tylko jest samo widzialne, lecz i rozświeca wszystko dokoła; tymczasem gwiazdy nie oświetlają ziemi (lub raczej oświetlają ją bardzo słabo). Ta różnica tłumaczy się niezmiernym oddaleniem gwiazd. *Najbliższa* z pomiędzy gwiazd stałych (*planety*, jak Wenus, Mars, Jowisz, trzeba odróżniać od gwiazd stałych) znajduje się 260000 razy dalej od

nas niż słońce. Wyobraźmy sobie, że ziemia nasza Z (rys. 164), zamiast krążyć w swej obecnej odległości od słońca S , odsuwa się od niego 260000 razy dalej; że odsuwa się np. aż do C na rys. 164-ym, na którym należy wyobrazić sobie punkt C oddalonym 260000 razy dalej



Rys. 164.

od S niż punkt Z . W terażniejszej odległości od słońca SZ , ziemia Z zajmuje pewien ułamek kulistej powierzchni Z (zatoconej dokoła słońca promieniem SZ) i otrzymuje odpowiedni ułamek całego światła, wysyłanego przez słońce we wszystkie strony. Jeśli odległość SC jest znacznie większa niż SZ , powierzchnia kulista o promieniu SC jest nieporównanie bardziej rozległa niż powierzchnia kulista o promieniu SZ ; zatem ta sama ziemia, przeniesiona do C , wykrawałaby bezporównania *mniejszy ułamek* powierzchni C , więc otrzymywałaby bezporównania *mniejszy ułamek* całego światła, wysyłanego przez słońce, niż ten, jaki dziś otrzymuje.

W takim właśnie położeniu znajdujemy się względem gwiazd t. zw. stałych. Otrzymujemy *niezmiernie drobne ułamki* całkowitego światła, które one wysyłają; dlatego gwiazdy wydają nam się na niebie li tylko świecącymi *punktami*. W istocie są to słońca olbrzymie, nieraz większe i potężniejsze od naszego słońca; wszechświat zaś zawiera miliony i miliony takich słońc, które żarzą się w niezmiernych odległościach od siebie.

§ 210. Prędkość rozchodzenia się światła.

Z jaką prędkością rozchodzi się światło? Co o tem możemy powiedzieć z codziennego naszego doświadczenia? Tylko tyle, że światło musi rozchodzić się z nadzwyczajną znaczną prędkością. Wiemy np., że błysk wystrzału armaty dobiega nas znacznie wcześniej od huk; światło błyskawicy dobiega nas znacznie wcześniej od grzmotu. A wszakże głos rozchodzi się prędko: w powietrzu przebywa on 340 metrów w ciągu sekundy (§ 110). A zatem światło musi biec jeszcze znacznie prędzej od głosu. Uczni zmierzili prędkość rozchodzenia się światła; przekonali się, że *światło przebiega 300000 km w ciągu sekundy*. A zatem światło biegnie około 900000 razy prędzej aniżeli głos; w tym samym czasie, w którym huk wystrzału

oddalił się dopiero o jeden *milimetr* od miejsca wystrzału, błysk wystrzału zdołał już od tego miejsca odbiec blisko o cały *kilometr*.

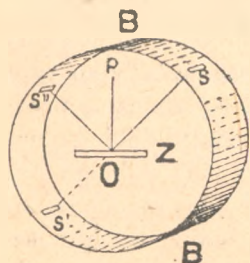
§ 211. Odległość ziemi od słońca i gwiazd.

Ziemia krąży dokoła słońca w odległości, wynoszącej średnio 149300000 kilometrów. Dzieląc tę liczbę przez 300000, otrzymujemy (niespełna) 498. A zatem światło zużywa blisko 498 sekund, czyli przeszło 8 minut czasu, ażeby przebyć odległość od słońca do ziemi. Najszybszy pociąg z pomiędzy tych, jakie biegą obecnie na kolejach żelaznych, musiałby pędzić bezustanku *przez 300 lat*, ażeby nas zawieźć na słońce; to porównanie uczy, jak niezmiernie wielka jest prędkość, z jaką rochodzi się światło. Widzimy zarazem, że, gdyby w pewnej chwili słońce nagle zgasło, spostrzeżlibyśmy to wydarzenie na ziemi dopiero po upływie przeszło 8 minut od chwili zgaśnięcia.

Najbliższa z pomiędzy gwiazd znajduje się 260000 razy dalej od nas niż słońce (§ 209). A zatem światło tej gwiazdy biegnie przez przeszło dwa miliony minut, czyli *przez 4 lata mniej więcej*, zanim dobiegnie ziemi. Inne gwiazdy znajdują się jeszcze dalej. Gwiazda *Syrjusz* np. znajduje się tak daleko, że światło jej biegnie przez blisko 9 lat, zanim dobiegnie do ziemi. Tymczasem, gdyby światło mogło przejść przez kulę ziemską, odbyłoby ono w ciągu $\frac{1}{2}$ -ej części sekundy drogę prostą od bieguna północnego do południowego. Jeżeli zważymy, jak niezmiernie małą cząstką 9-ciu lat jest $\frac{1}{2}$ -cia część sekundy, dojdziemy do wniosku, że cała nasza ziemia wobec wszechświata jest jak gdyby kropelką wobec oceanu.

§ 212. O odbijaniu się światła.

Do dalszych doświadczeń okaże się pożytecznym przyrząd, wyobrażony na rys. 165-ym. Widzimy tam okrągłe płaskie pudełko *BB* wyrobione z blachy; ściana tylna jest blaszana, przednią stanowi szyba szklana, przez którą widzimy wewnątrz przyrządu. W miejscu *s* na obwodzie wycięto szczelinę, przez którą wpuszczamy wiązkę światła do wnętrza pudełka. Jeżeli środek *O* jest wolny, przez nic niezajęty, światło biegnie po drodze prostej od *s* do *O* i dalej do *s'*; w *s'* utworzy się plamka świetlna,



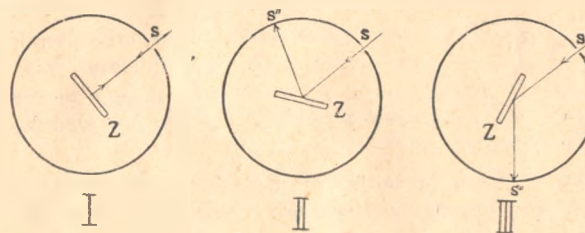
Rys. 165.

obraz szczeliny *s*. Umocujmy teraz w tylnej ścianie pudełka płaskie zwierciadło czyli lusterko *Z* tak, żeby zajmowało środek *O*. Plama świetlna, stanowiąca obraz szczeliny, nie

utworzy się teraz w *s'* lecz w *s''*; zwierciadło zmienia kierunek biegu promieni, odwraca je od *Os'* do *Os''*. Powiadamy, że zwierciadło *odbija* promienie światła.

Wprowadźmy nieco dymu do wnętrza przyrządu; promienie padające *sO* i odbite *Os''* zaznaczą się wówczas śladem widocznym, tak iż dostrzec możemy przebieg światła we wnętrzu przyrządu.

Ustawmy zwierciadło *Z* najprzód tak, żeby było prostopadłe do padających promieni. Wówczas światło odbija się napowrót do szczeliny; nie widzimy wówczas odbitego obrazu (rys. 166, I). Gdy ustawimy zwierciadło jak na rys. 166-ym, II,



Rys. 166.

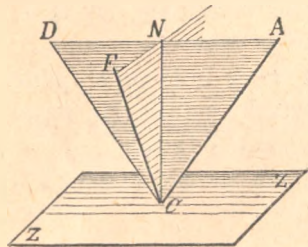
promienie padające są bardziej zbliżone do dolnej części zwierciadła; wówczas obraz *s''* szczeliny ukazuje się w górze, zatem odbite promienie przechyliły się ku górnej części zwierciadła. I przeciwnie: gdy promienie padające są bardziej zbliżone do górnej części zwierciadła (rys. 166, III), promienie odbite pochylają się ku dolnej, więc obraz *s''* szczeliny zjawia się u dołu.

§ 213. Prawo odbijania się światła.

Ażeby poznać dokładniej prawo odbijania się światła, wyobraźmy sobie, że poprowadziliśmy *prostopadłą* do płaszczyzny zwierciadła *Z* (w artykule poprzednim), w tym miejscu, gdzie trafia je promień światła, wychodzący ze szczeliny *s* (rys. 165). Kierunek tej prostopadłej wskazuje przybliżenie cienki drucik *p*, utwierdzony prostopadłe do zwierciadła, jak pokazuje rys. 165. Promień *sO* możemy nazwać *padającym*, promień *Os''* *odbitym*. Dla zwięzłości nazywajmy jeszcze kąt *sOp* (tworzony przez promień padający z kierunkiem prostopadłej *p*) *kątem padania* i podobnie kąt *pOs''* *kątem odbicia*. Widzimy natychmiast, że możemy mierzyć kąty padania i odbicia na naszym przyrządzie; wystarczy w tym celu zmierzyć łuki *sp*, *ps''* na jego obwodzie.

Pozwólmy teraz paść promieniowi *sO* na zwierciadło *Z*, zauważmy dokładnie miejsce odbicia *s''* i zmierzmy kąty *sOp*, *pOs''*. Okaże się,

że one są równe. Jakikolwiek jest kąt padania (np. 25° , 30° i t. d.) kąt odbicia jest mu równy. Jeżeli promień padający jest skierowany prostopadle do zwierciadła, kąt padania jest zerem; promień odbity jest wówczas również prostopadły do zwierciadła, kąt odbicia równa się zatem także zeru. *Kąt odbicia równa się zawsze kątowi padania.*



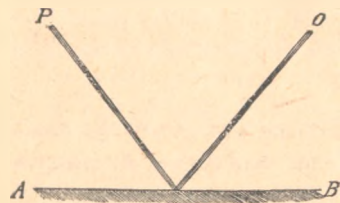
Rys. 167.

Prawo, które w tej chwili wypowiedzieliśmy, wymaga jeszcze uzupełnienia. Przypuśćmy, że mamy zadaną płaszczyznę zwierciadła ZZ (rys. 167); znamy więc prostopadłą CN . Przypuśćmy, że znamy też kierunek promienia padającego AC . Bardzo wiele prostych, na przykład CF , tworzy z prostopadłą CN kąt równy kątowi ACN . Tymczasem *nie* CF oczywiście będzie promieniem odbitym, lecz jedynie tylko CD . Uzupełniamy więc powyższe prawo w sposób następujący: *promień odbity leży w płaszczyźnie, przechodzącej przez promień padający i przez prostopadłą do płaszczyzny zwierciadła.*

W doświadczeniach, opisanych w § 212-ym, każda płaszczyzna, zawierająca obadwa promienie (padający i odbity) oraz prostopadłą p do zwierciadła, leży równoległe do tylnego dna lub do przedniej szyby pudełka. Skoro szczelina s ma pewną długość, tedy wychodzi z niej całe pasmo padających promieni; od zwierciadła odbija się podobnie pasmo promieni odbitych. Każdemu padającemu promieniowi odpowiada promień odbity i do każdej takiej pary promieni stosuje się prawo, które przed chwilą podaliśmy. Dlatego też długość odbicia s'' jest równa długości szczeliny s .

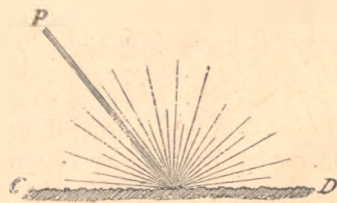
§ 214. Rozpraszanie się światła.

Wyobraźmy sobie dwie powierzchnie: jedną AB (rys. 168) gładką, równą, zbitą, jaką okazuje szkło, rtęć lub wypolerowa-



Rys. 168.

wany metal; drugą CD (rys. 169) nierówną, ziarnistą, chropowatą, pełną drobnutkich wyniosłości i zagłębień. Taką powierzchnię ma zwyczajnie papier, gips, drzewo (niepokryte



Rys. 169.

politurą), płótno; taką również ma skóra naszego ciała. Snop światła P , padającego na pierwszą powierzchnię, daje podobny snop światła odbitego O , gdyż wszystkie jego promienie odbijają się jednakowo od powierzchni AB . Inaczej dzieje się na powierzchni CD . Jedne promienie odbijają się od wyniosłości tej powierzchni; inne pójdą głębiej, wchodząc nieco wgłąb ciała; na powierzchni ciała utworzy się niejako cienka skórka, do której światło wchodzi i z której napowrót wychodzi. Łatwo zrozumieć, że wychodzące światło nie utworzy już snopu, lecz rozproszy się we wszystkich kierunkach; będzie to, jak zwykle mówimy, światło *rozproszone*. Światło, które zazwyczaj nazywamy »dziennem«, jest światłem słonecznym, rozproszonym w odbiciu od chmur i od przedmiotów, jakie wkoło nas się znajdują.

Kiedy snop światła odbija się od czystego zwierciadła w ciemnym pokoju, wówczas widzimy obraz odbity, ale samego zwierciadła dostrzec prawie nie możemy; to znaczy, że światło odbite idzie prawie tylko w jednym kierunku. Jeśli zwierciadło jest zapyłone, widzimy je, przeciwnie, z różnych miejsc w pokoju; wtedy przynajmniej część światła rozprasza się. Podstawmy rękę, papier lub płótno pod snop padającego światła; nigdzie nie zobaczymy wyraźnego odbitego obrazu, lecz pokój napełni się białym, nieco mdłym światłem rozproszonym. Pomiedzy rozpraszaniem się a odbijaniem się światła zachodzi więc istotna różnica. Dzięki światłu rozproszonemu widzimy ciało, które je rozprasza; dzięki światłu, wyłącznie tylko odbitemu, widzielibyśmy jedynie ciało, które je rzeczywiście wysyła.

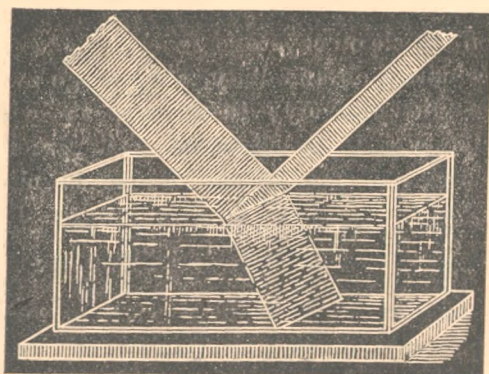
§ 215. Widzimy nie tylko świecące ale i oświetlone przedmioty.

Słońce wysyła światło, jest ciałem świecącym. Gwiazdy stałe, jak Syrjusz np., są również świecącymi ciałami. Ale planety i księżyc same przez się nie świecą; światło ich jest tylko światłem słonecznym odbitem. Płomień lampy, ogień na kominku, pasemko metalowe w zasilanej przez prąd lampce żarowej (§ 186), kawałek fosforu, robaczek świętojański — wszystko to są ciała świecące. Natomiast mnóstwo otaczających nas ciał nie świeci; ziemia, kamienie, woda, przedmioty

drewniane, metalowe, gliniane, sukno, płótno i t. d. są niewidzialne w ciemności i stają się widzialne dopiero wówczas, gdy są oświetlone, t. j. gdy światło pada na nie skądinąd. A zatem widzimy wszystkie te ciała tylko dzięki światłu, które one odbijają i rozpraszają. Dlatego też widzimy smugi światła, jeśli promienie słoneczne wchodzą do pokoju przez szczeliny i szpary i jeśli dużo pyłu unosi się w powietrzu, lub gdy puściliśmy umyślnie obłoczek dymu w drogę promieni.

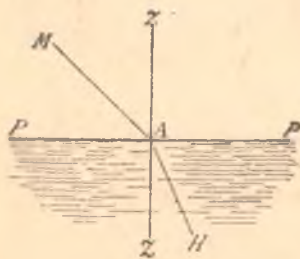
§ 216. Załamywanie się światła.

Puśćmy płaską smugę silnego światła na powierzchnię wody, jak pokazuje rys. 170. Dostrzeżemy przebieg światła przez powietrze i wodę,



Rys. 170.

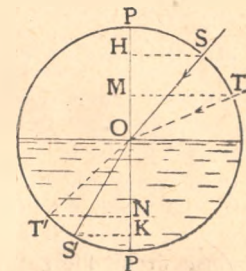
jeśli wprowadzimy obłoczek dymu do powietrza a do wody dodamy nieco mleka. W powietrzu widzimy dwie smugi, jedną smugę światła padającego, drugą odbitego. W wodzie widzimy również smugę, ale nie stanowi ona przedłużenia, w prostym kierunku, smugi padającej na wodę. Poprowadźmy linię PP poziomo; niechaj ona wyobraża powierzchnię wody (rys. 171). Poprowadźmy inną linię ZZ pionowo, więc prostopadle do pierwszej. Niechaj MA wyobraża kierunek światła, padającego na wodę; światło, idące przez wodę, ma wówczas kierunek AH (rys. 171), oddaliło się zatem od powierzchni wody a zbliżyło do prostopadłej AZ ku dołowi idącej. Powiadamy, że światło załamało się w przejściu z powietrza do wody.



Rys. 171.

§ 217. Prawo załamywania się światła.

Ażeby poznać prawo załamywania się światła, posługujemy się przyrządem, który opisaliśmy w § 212-ym. Zamknawszy go od przodu szybką szklaną, napełniamy ten przyrząd wodą, aż po środek O ; przez szczelinę S wpuszczamy snop świetlnych promieni. Ażeby widzieć przebieg promieni w powietrzu i w wodzie, zamącamy je lekko (umyślnym dodatkiem dymu, mleka i t. p.), jak w artykule poprzednim.



Rys. 172.

Uważajmy teraz przebieg jednego promienia; widzimy ten przebieg na rys. 172-im. Promień padający SO załamuje się, przechodząc z powietrza do wody i tworzy w wodzie promień OS' ; tworzy on oprócz tego jeszcze promień odbity od powierzchni wody, ale ten promień odbity dla uproszczenia opuściliśmy na rysunku.

Przez środek O poprowadźmy prostopadłą PP do powierzchni wody. Kąt SOP nazywamy kątem padania, kąt $S'OP$ nazywamy kątem załamania.

Promień załamany leży znowu (podobnie jak w przypadku odbicia) w płaszczyźnie, przechodzącej przez promień padający i przez prostopadłą do powierzchni granicznej. Ale kąt załamania nie jest równy kątowi padania. Jeżeli światło przechodzi z powietrza do wody, kąt załamania jest zawsze mniejszy od kąta padania.

Poprowadźmy z S prostopadłą SH do górnej OP i z S' prostopadłą $S'K$ do dolnej OP (rys. 172). Stosunek tych odcinków, w razie, gdy światło przechodzi z powietrza do wody, wypada jak następuje:

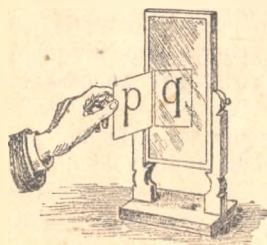
$$SH : S'K = 4 : 3$$

Przypuśćmy teraz, że szczelina znajduje się nie w S , lecz w T , tak iż TO jest padającym, OT' załamanym promieniem. Powtarzając pomiar, podobnie jak wykonaliśmy go w położeniu poprzednim szczeliny, znajdujemy

$$TM : T'N = 4 : 3$$

Stosunek 4 : 3 dla uważanej pary ciał (powietrza i wody) jest więc zawsze jednakowy czyli stały, nie zależy od położenia szczeliny na obwodzie pudełka, t. j. nie zależy od kątów padania i załamania. Ten

leży na prostej ANO , prostopadłej do ZZ . Jeśli patrzymy od strony BC , promienie LB i MC sprawiają w oku takie wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu O ; pomimowoli przedłużamy BL i CM aż do przecięcia się w O i bezwiednie przypisujemy promienie LB i MC źródłu O , które wysyłałoby je rzeczywiście, gdyby ono tam było a zwierciadła wcale nie było. Tym sposobem powstaje w O t. zw. *obraz* punktu A ,



Rys. 175.

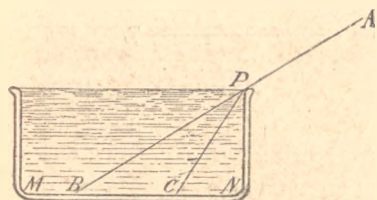
widziany w zwierciadle. Tak samo powstają obrazy całych przedmiotów, odbijane przez zwierciadła, szyby lustrowane, przez powierzchnię wody, rtęci i t. p.

Możemy przekonać się na rysunku 174-ym, że odległość ON jest równa odległości AN . Tak bywa zawsze przy tworzeniu się obrazów odbitych: im dalej od powierzchni zwierciadła znajduje się punkt, wysyłający promienie, tem dalej od tej powierzchni widzimy obraz.

Łatwo więc zrozumieć, że obraz odbity każdego przedmiotu będzie położony przeciwnie niż sam przedmiot względem odbijającej powierzchni; litera p np. będzie wyglądała w odbiciu od zwierciadła jak litera q (rys. 175).

§ 220. Niektóre zjawiska, polegające na załamaniu się światła.

Promienie światła w przejściu z wody do powietrza załamują się przeciwnie niż w przejściu z powietrza do wody (zob. § 217); mianowicie oddalają się wówczas od linii, prostopadłej do powierzchni granicznej. Możemy to okazać zapomocą prostego przyrządu. Weźmy prostokątne pudełko MNP i narysujmy podziałkę na jego dnie (rys. 176). Patrząc od A , widzimy wówczas część MB podziałki; resztę BN zasłania ścianka NP samego pudełka.

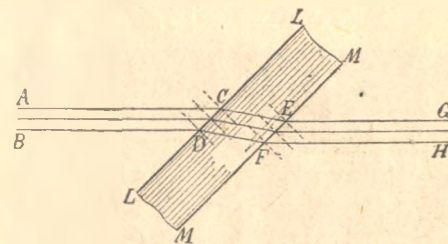


Rys. 176.

Napełnijmy teraz pudełko wodą i patrzmy z tego samego miejsca A , z którego spoglądaliśmy wprzód; dzięki załamaniu się światła widzimy dalszą część podziałki, sięgającą np. do C . Podobnym sposobem można wytłumaczyć, dlaczego kij, zanu-

rzony do połowy w wodzie, tak, ażeby był nachylony ku powierzchni wody, wygląda jak gdyby był złamany.

Ponieważ w przejściu ze szkła do powietrza światło załamuje się wprost przeciwnie niż w przejściu z powietrza do szkła, zatem łatwo zrozumieć, że promienie światła, jak AC , BD i t. d. (rys. 177), trafiawszy na płytkę szklaną o równoległych ścianach $LLMM$, nachyloną do nich ukośnie, pójdą dalej, jak EG , FH i t. d.: t. j. równolegle do pierwotnych kierunków. Dwa przeciwne sobie załamania każdego promienia znoszą się, jak widzimy na rysunku; snop promieni nie zmieni ostatecznie kierunku, przesunie się tylko, np., jak na rys. 177-ym, ku dołowi; oczywiście przesunie się tem mniej, im płytka jest cieńsza.

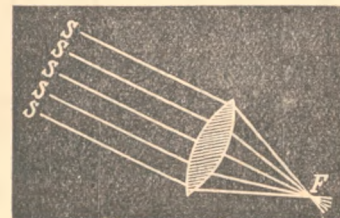


Rys. 177.

Światło załamuje się nietylko w przejściu z jednego ciała do innego. Gdy mieszamy wodę zimną z bardzo gorącą, spostrzegamy smugi migotliwe, które błyszczą przez chwilę i niebawem znikają. Jest to objaw załamania się światła w przejściu z wody zimnej do gorącej.

§ 221. Soczewka.

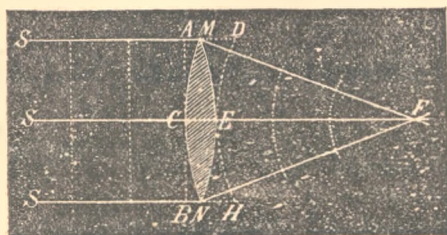
Weźmy t. zw. »szkło palące« czyli soczewkę wypukłą, wyrobioną ze szkła. (Soczewka wypukła jest to ciało o takiej postaci, jaką otrzymalibyśmy, złożwszy dwa szkiełka od zegarka wklęsłemi stronami do siebie). Jak wiadomo, szkło palące gromadzi promienie np. słoneczne SSS (rys. 178) w jednym miejscu F , t. zw. ognisku soczewki. Zbliżajmy do soczewki ćwiartkę papieru po stronie odwróconej od słońca; w odległości F zobaczymy punkt bardzo jasny, w którym papier



Rys. 178.

niebawem zwęgła się; zapalka tam umieszczona zapala się. A zatem w punkcie F skupiają się świetlne i ciepłe objawy promieniowania słońca.

Co się tu dzieje? Wyobraźmy sobie wiązkę słonecznych promieni SA, SC, SB , padających na soczewkę, jak okazuje rysunek 179. Promienie te uważamy za równoległe, ponieważ słońce znajduje się niezmiernie daleko. Na rysunku widzimy (kropkowane) czoła wiązki padającej; jednym z tych czoł jest



Rys. 179.

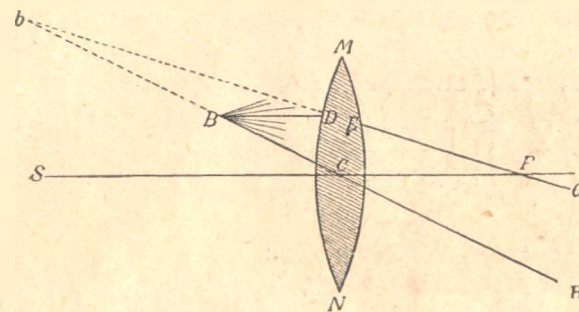
ACB. Kiedy światło biegnące wzdłuż promienia SC doszło do C i wkracza do szkła, światło biegnące wzdłuż SA jest w A i posuwa się naprzód przez powietrze. Kiedy światło biegnące wzdłuż SC dojdzie do E , światło idące wzdłuż SA odbędzie drogę dłuższą (por. § 218) i dojdzie np. do D . Łatwo więc zrozumieć, że czoło

wiązki zakrzywi się; zamiast być płaskie jak wprzód, będzie wklęsłe w stronę ku F jak DEH . Lecz skoro pierwsze czoło jest zakrzywione i wklęsłe ku F , przeto i następne (które na rysunku widzimy kropkowane) będą zakrzywione i wklęsłe ku F ; innymi słowy, światło od wszystkich części soczewki pójdzie ku miejscu F i skupi się w F , t. j. w ognisku soczewki.

§ 222. Obrazy pozorne.

Niechaj MN (rys. 180) wyobraża soczewkę, której ognisko jest w punkcie F ; C jest «środkiem» soczewki; płaszczyzna, idąca przez punkty M, C, N i prostopadła do linii SCF jest poprzecznym przecięciem soczewki, sama zaś linja SCF jest osią soczewki. Przypuśćmy, że blisko soczewki, np. w miejscu B , znajduje się punkt, który wysyła światło. Z miejsca B rozchodzą się więc promienie na wszystkie strony; z pomiędzy tych promieni uważajmy dwa, mianowicie: 1) promień BD równoległy do osi soczewki; 2) promień BC skierowany ku środkowi soczewki. Pierwszy BD , po załamaniu się w soczewce, przejdzie przez ognisko, zatem pójdzie jak EF na rys. 180-ym; to nam już wiadomo z § 221-go. O drugim promieniu BC możemy powiedzieć, że pójdzie dalej w pierwotnym kierunku, zatem jak CH na rys. 180-ym; albowiem cząstka powierzchni, przez którą ten promień wchodzi do soczewki, oraz cząstka,

przez którą z niej wychodzi, są równoległe do siebie; zatem część soczewki, przez którą promień BCH przebiega, jest dla niego niejako płytka o równoległych ściankach (§ 220), reszta zaś soczewki nie wywiera wpływu na bieg tego promienia.

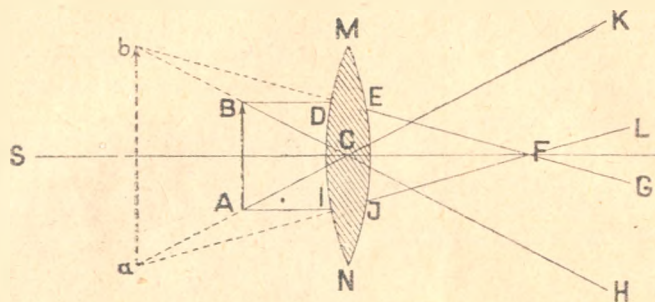


Rys. 180.

Widzimy, że właściwie CH będzie linją równoległą do BC , nieco względem niej przesuniętą; lecz to drobne przesunięcie zaniedbujemy na rysunku. A zatem promienie BD i BC pójdą za soczewką jako EFG i CH . Jeśli patrzymy od strony HG , promienie te sprawiają na nas wrażenie, jak gdyby były wyszły z punktu b ; albowiem przedłużamy bezwiednie GFE i HC aż do przecięcia się w b i przypisujemy promienie EFG i CH nieistniejącemu źródłu b , które wysyłałoby je, gdyby znajdowało się w miejscu b rzeczywiście i gdyby soczewki wcale nie było. Budując podobnie przebieg innych promieni, wychodzących z punktu B , dochodzimy również do tego samego pozornego źródła b . Tym sposobem powstaje w miejscu b obraz *pozorny* punktu B , utworzony przez soczewkę.

Przypuśćmy teraz, że w pobliżu soczewki MN (rys. 181) znajduje się przedmiot AB , który wysyła światło: własne światło, albo odbite, albo rozproszone. Soczewka MN utworzy w miejscu b pozorny obraz punktu B , jak przed chwilą widzieliśmy; zupełnie podobnie w miejscu a (rys. 181) utworzy ona pozorny obraz punktu A ; to samo możemy powtórzyć o każdym punkcie przedmiotu AB . Powstanie zatem *pozorny* obraz ab przedmiotu AB ; obraz ten jest *powiększony* (w stosunku do AB), ułożony jest względem soczewki tak samo jak

przedmiot AB (jeżeli B leży wyżej niż A , wówczas b leży wyżej niż a); wreszcie obraz ten jest położony po tej samej stronie soczewki, po której znajduje się przedmiot AB . Taki



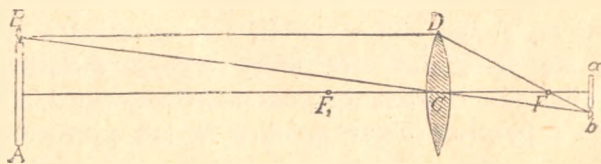
Rys. 181.

obraz, jak widzimy, tworzy się, gdy przedmiot jest umieszczony w *mniejszej* odległości od soczewki aniżeli jej własne ognisko.

§ 223. Obrazy rzeczywiste.

Przypuszczaliśmy w § 222-im, że przedmiot, rozpatrywany przez soczewkę, znajduje się od niej w odległości nieznaczącej i że oko widza, umieszczone ze strony przeciwnej, patrzy na ów przedmiot przez soczewkę nawskróś. Promienie wstępowały do oka *rozbieżnie*, jak gdyby obraz, utworzony przez soczewkę, a nie sam przedmiot, był źródłem, które je wysyła.

Odsuńmy teraz przedmiot od soczewki na znacznie większą odległość. Wówczas promienie wychodzą z soczewki *zbieżnie* i przecinają się za soczewką. Wszak widzieliśmy w art. 221-ym, że promienie, idące od słońca, gdy padną na soczewkę i przejdą

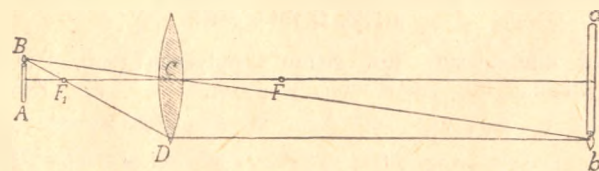


Rys. 182.

przez nią, zbierają się w jednym punkcie, mianowicie w ognisku jej F . Uważajmy jakibądź duży przedmiot AB (rys. 182) (np. świecę zapaloną) i umieścmy go, jak wskazano na rys.

182-im, daleko od soczewki, mianowicie dalej niż ognisko jej F_1 . Jak w art. 222-im, prowadzimy promień BD , równoległy do osi oraz promień BC przez środek soczewki C . Po przejściu przez soczewkę, promienie te przecinają się teraz w punkcie b . W podobny sposób biegną i przecinają się inne promienie, pochodzące od innych punktów przedmiotu AB . Widzimy, że w ab powstanie *mały, odwrócony obraz* przedmiotu AB ; widzimy zarazem, że powstanie on skutkiem istotnego przecinania się promieni. Gdybyśmy umieścili za soczewką, w odpowiedniej odległości, kartę białego papieru albo szkło matowe, dostrzeglibyśmy rysujący się tam maleńki, odwrócony obraz świecy. Obraz przeto ab nazywamy *rzeczywistym*.

Uważajmy powtórę przedmiot drobny AB (rys. 183), który znajduje się znacznie bliżej soczewki niż przedmiot poprzedni, zatem niewiele dalej aniżeli ognisko soczewki F_1 . Widzimy natychmiast, że obecny przypadek (rys. 183) jest niejako odwróceniem poprzedniego (rys. 182). Rozumując w znany już sposób, dochodzimy do wniosku, że drobny przedmiot AB daje tutaj obraz ab , znacznie *większy* od samego przedmiotu i *odwrócony*.



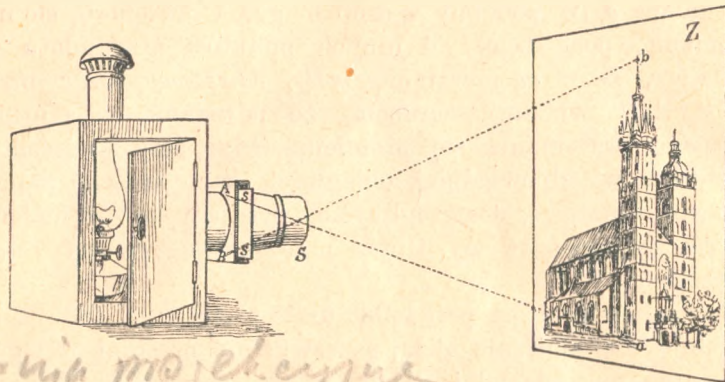
Rys. 183.

Ileokroć razy przedmiot jest ustawiony w większej odległości od soczewki aniżeli jej ognisko, tyleokroć razy utworzy się, po przeciwnej stronie soczewki, obraz *rzeczywisty*, zawsze *odwrócony*. Powiadamy przytem: obraz jest *zmniejszony*, jeśli przedmiot jest odległy; *powiększony*, gdy ustawiamy przedmiot blisko ogniska.

§ 224. Latarnia magiczna.

Powszechnie znany przyrząd, zwany *latarnią magiczną*, stanowi przykład sposobów otrzymywania obrazów rzeczywistych (rys. 184).

Mały przezroczysty (na szkłe ss wykonany) rysunek *AB*, umieszczony przed soczewką *S*, mianowicie nieco dalej niż jej ognisko, stanowi tu »przedmiot« artykułu poprzedzającego. Oświetlamy go silnie zapomocą lampy, ukrytej wewnątrz latarni.



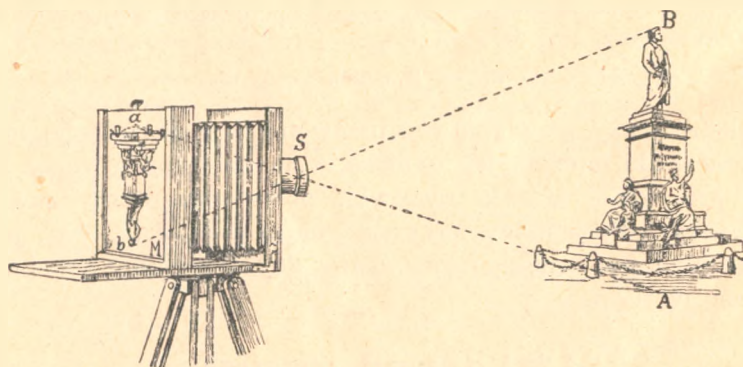
Latarnia projekcyjna

Rys. 184.

Mamy tu oczywiście przypadek ten sam, jak poprzednio na rys. 183-im. Wkładając rysunek w położeniu *odwróconem*, widzimy wówczas na zasłonie *Z* obraz *ab* rzeczywisty powiększony tego rysunku w położeniu właściwym.

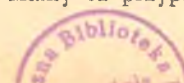
§ 225. O fotografii.

Przyrząd fotograficzny jest ciemnią optyczną (zob. § 206), której przednia ścianka jest zaopatrzona w soczew. rys. 185); ściankę



Rys. 185.

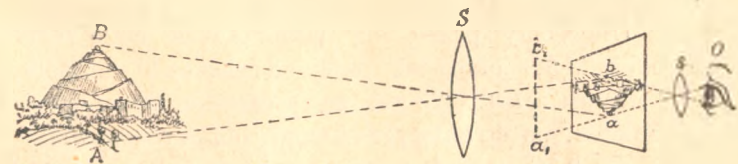
tylną, umieszczoną naprzeciwko soczewki, stanowi, jak w zwykłej ciemni, szyba szklana matowa *M*. Mamy tu przypadek rys. 182-go w § 223-im.



Przedmiotem jest odległy pomnik *AB*, pewien krajobraz, osoba, cokolwiek wreszcie, co zdaleka przesyła lub odbija świetlne promienie. Na szybie matowej tworzy się obraz *ab* rzeczywisty, zmniejszony i odwrócony przedmiotu *AB*. Obraz ów utrwalić jest zadaniem fotografii. Wsunąwszy szybę matową (która służyła do obejrzenia obrazu), wstawiamy na jej miejsce t. zw. *kliszę* czyli szklaną płytkę, na której znajduje się cienka warstewka *żelatyny* (rodzaju kleju), zmieszanej z bromkiem srebra. Pod wpływem światła ciało to rozkłada się, wydzielając ciemny proszek; tym sposobem w najjaśniejszych miejscach obrazu otrzymamy najsilniejsze przyciemnienie kliszy, w miejscach zaś stosunkowo ciemnych (np. czarne ubranie, ciemne włosy i t. p.) bromek srebra zmieni się bardzo mało i pozostanie tam przezroczysty. Otrzymamy zatem t. zw. *negatywę* czyli rysunek *ujemny*, w którym cienie i światła rozłożone są wprost przeciwnie niż w rzeczywistości. Mając taką negatywę, trzeba uczynić ją nieczułą na dalsze działanie światła; co uskuteczniamy przez wypłókanie niezmienionego bromku srebra. Z *utrwalonej* tym sposobem kliszy (negatywy) możemy zdjąć dowolną liczbę *kopij* czyli *pozytyw* (rysunków dodatnich). W tym celu podkładamy pod kliszę kartkę papieru »do kopjowania« czyli fotograficznego. Jest to papier zwyczajny, na którym rozprowadzono znów cienką warstewkę połączeń srebrnych, czerniejącą pod działaniem światła. Pod jasnymi, przezroczystymi częściami negatywy papier czernieje, nie zmienia się natomiast pod miejscami czarnymi i nieprzezroczystymi; otrzymamy więc na papierze rysunek dodatni (w którym cienie i światła rozłożone są tak samo jak w rzeczywistości) i trzeba będzie tylko *utrwalić* ten rysunek (podobnie jak poprzednio utrwaliliśmy kliszę), ażeby uzyskać skończoną *fotografję*.

§ 226. Luneta.

Dużą soczewkę wypukłą *S* (rys. 186) zwróćmy ku jakiemukolwiek odległemu przedmiotowi, jak kopiec, balon, okręt na morzu, księżyc na niebie i t. p. Ustawmy za soczewką, blisko jej



Rys. 186.

ogniska, płytkę szklaną matową. Jak w przyrządzie fotograficznym, zobaczymy na płytce obraz odwrócony *ab* przedmiotu. Jeżeli przedmiot jest bardzo odległy, obraz będzie bardzo mały. Ażeby go zobaczyć wyraźniej, posługujemy się szkłem po-

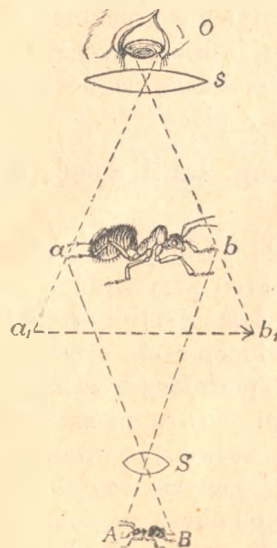
większającym. Ustawimy za płytką soczewkę s , małą ale silnie powiększającą, a tuż za nią umieściwszy oko (O), zobaczymy powiększony obraz a_1b_1 obrazu pierwotnego ab (por. § 222). Ale płytka szklana matowa jest teraz oczywiście zbyt cienka. Usunąwszy ją, będziemy wciąż jeszcze widzieli powiększony obraz a_1b_1 obrazu rzeczywistego ab , a nawet będziemy go widzieli lepiej, ponieważ płytka zabierała dość dużo światła. Promienie idą teraz wprost od soczewki dużej S do małej s , przecinają się ze sobą, jak poprzednio, w punkcie \dots , i t. d. (por. rys. 182) i dają nam obraz rzeczywisty, który jednak tworzy się teraz *w powietrzu*, tak, iż nie zobaczylibyśmy go, patrząc z boku. Patrząc zaś wprost, w kierunku promieni, przy pomocy szkła powiększającego s , dostrzegamy go jako obraz a_1b_1 (rys. 186).

Dwie takie soczewki, duża S i mała s (silnie powiększająca), zamknięte w oprawie czyli rurce metalowej, stanowią przyrząd, zwany *lunetą*. W obrazie, utworzonym przez lunetę, odróżniamy z łatwością szczegóły przedmiotu, które bez jej pomocy byłyby niedostrzegalne. Astronomom luneta oddaje nieocenione usługi, pozwalając oglądać dokładnie szczegóły powierzchni ciał niebieskich, jak słońce, księżyc, planety; jednakże gwiazdy t. zw. *stałe* są tak niezmiernie od ziemi odległe (por. § 209), że obrazy ich nawet w najsilniejszych lunetach (t. zw. *teleskopach*) rysują się li tylko jako punkty świecące.

§ 227. Mikroskop.

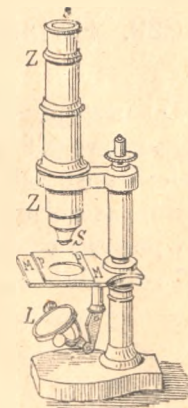
Weźmy soczewkę małą S , możliwie silnie wypukłą (zob. rys. 187). Umieścmy przed nią jakiegokolwiek ciała drobne, np. robaczka AB , cokolwiek dalej od soczewki aniżeli jej ognisko. Wiemy z art. 223-go, że soczewka utworzy w takich warunkach, po stronie przeciwnej, obraz rzeczywisty ab , odwrócony i silnie powiększony. Lecz i ten obraz, pomimo owego powiększenia, będzie zazwyczaj jeszcze bardzo mały. Zatem, podobnie jak w artykule poprzedzającym, zastosujemy drugą soczewkę s (rys. 187), jako szkło powiększające, do oglądania obrazu ab . Otrzymamy wówczas obraz pozorny a_1b_1 znacznie powiększony. *Mikroskop* (czyli przyrząd, służący do

oglądania nader drobnych przedmiotów) składa się właśnie



Rys. 187.

z takich dwóch soczewek; jednej małej lecz silnie wypukłej i z drugiej, działającej jako szkło powiększające. Obie soczewki mieszczą się w oprawie czyli rurce metalowej ZZ (rys. 188); przedmiot oglądany kładziemy na płytce szklanej pp , tę zaś znowu na stoliku MM , mającym otwór w środku. Lusterko L , umieszczone pod otworem, oświetla przedmiot od dołu.



Rys. 188.

Jak teleskop jest niezbędny przy

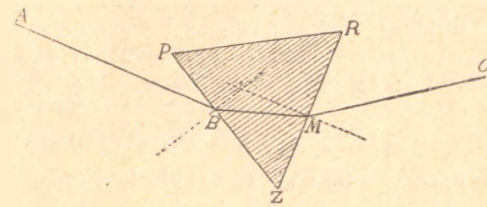
spozrzeżeniach astronomicznych, podobnie mikroskop stanowi najważniejsze narzędzie, którym posługują się zoologowie, botanicy, bakterjologowie i inni uczeni przy swoich badaniach.

§ 228. Pryzmat.

Weźmy pryzmat (czyli graniastosłup trójkątny), wyrobiony ze szkła, jaki widzimy na rys. 189-ym. Wyobraźmy sobie, że



Rys. 189.



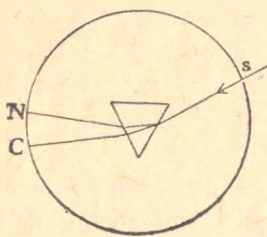
Rys. 190.

na jedną z tych ścian pryzmatu, które mają postać prostokątów, pada promień światła; np. na rys. 190-ym promień OM na ścianę RZ . Zbadajmy dalszą drogę promienia, według

praw załamania się światła (§§ 216 i 217): w pryzmacie będzie nią *MB*, po wyjściu z pryzmatu będzie nią *BA*. Przez drugie załamanie się, w miejscu *B*, odchylenie promienia od jego pierwotnego kierunku powiększa się jeszcze, inaczej niż w płytce o ścianach równoległych (§ 220), gdzie drugie załamanie znosiło odchylenie, sprawione przez pierwsze.

§ 229. Światło niebieskie ma inną łamliwość niż czerwone.

Do następnych doświadczeń może nam posłużyć przyrząd, opisany w § 212-ym. Do tylnej ścianki tego przyrządu przytwierdzamy szklany pryzmat (rys. 191); zasłaniamy następnie otwór szczeliny *s* tafelką szkła zabarwionego na czerwono i wpuszczamy tamtędy wiązkę promieni, pochodzącą z lampy łukowej lub innego silnego źródła światła. Otrzymamy tym



Rys. 191.

sposobem wiązkę czerwonych promieni, które, załamując się w pryzmacie, dają obraz czerwony *C* na obwodzie pudełka. Nie zmieniając położenia ani przyrządu ani źródła światła, zasłaniamy teraz otwór szkłem niebieskim. Promienie niebieskie dają obraz niebieski *N* na obwodzie pudełka *nie* w tem samym miejscu, w którym tworzył się czerwony, lecz w innym. Światło niebieskie

załamuje się w pryzmacie *bardziej* aniżeli czerwone.

Różną łamliwość niebieskich i czerwonych promieni można okazać w następujący prosty sposób. Na kawałku tektury naklejamy dwa paski: jeden czerwony, drugi niebieski, tak, żeby jeden leżał w prostym przedłużeniu drugiego. Patrząc na paski przez pryzmat szklany (lub lepiej przez naczynie szklane w kształcie pryzmatu, wypełnione dwusiarczkiem węgla), zobaczymy, że wydają się położone jak gdyby nie stanowiły prostej linii.

§ 230. Widmo.

W sposób opisany w artykule poprzednim rzucamy na pryzmat światło słoneczne albo też światło, pochodzące z silnej lampy (łukowej); wogóle mówiąc, jakiegokolwiek światło, które w mowie potocznej nazywamy *światłem białym*. Widzimy wówczas na obwodzie przyrządu szereg barwnych obrazów. Dostrzegamy obraz czerwony, który przechodzi w pomarańczowy; ten przechodzi w żółty, dalej w zielony, w niebieski, w błę-

kitny i na koniec w fioletowy. Jest tam właściwie niezmiernie wiele odcieni, lecz byłoby trudno wymienić więcej niż siedm przytoczonych zabarwień; przynajmniej w mowie potocznej brak na to utartych wyrażań.

Taki szereg obrazów nazywa się *widmem*. Przypomina on *tęczę*, bo też tęcza powstaje w sposób podobny, dzięki załamaniu się światła słonecznego w drobnych kropelkach wody, zawieszonych w powietrzu.

§ 231. Promienie niewidzialne.

Słońce nie tylko świeci, ale również grzeje. Wprowadźmy czuły termometr do widma słonecznego; przekonamy się, że promienie różnych barw grzeją, lecz promienie czerwone grzeją bardziej niż niebieskie. Gdybyśmy użyli pryzmatu, wyrobionego z soli kamiennej (zamiast pryzmatu szklanego), *zobaczylibyśmy* widmo, podobnie jak poprzednio, ale wówczas moglibyśmy dowieść, że jakieś *niewidzialne promienie padają i poza końcem czerwonym widma*, gdzie nie widzimy już światła: albowiem termometr ogrzewałby się tam, nawet bardziej niż w widmie widzialnem.

Promienie, które padają poza czerwony koniec widma, nazywają się »pozaczzerwonymi«. Mają one widocznie łamliwość jeszcze mniejszą niż promienie czerwone; na oko nie działają, ale działają na termometr.

Weźmy pasemko bibuły, napojonej roztworem azotanu srebra (lapisu); bibuła taka czernieje na słońcu. Czernieje ona w różnych częściach widma słonecznego, w fioletowej prędzej niż np. w zielonej; ale czernieje również i *poza* fioletowym końcem widma, gdzie nie widzimy już światła, a nawet czernieje tam prędzej aniżeli w widmie widzialnem.

Przekonywamy się z tych wszystkich doświadczeń, że *światło jest tylko jednym ze skutków, jakie sprawić mogą promienie słoneczne*; oprócz świetlnych, jak widzimy, promienie te mogą wywoływać różne inne zjawiska, np. cieplne, chemiczne.

Rozgrzany kawałek żelaza wysyła podobnież rozmaite promienie. Gdy jeszcze nie jest bardzo znacznie ogrzany, wysyła tylko pozaczzerwone promienie, grzejące lecz nie świecące; powiadamy wówczas, że żelazo promieniuje ciepło, ale nie świeci. W temperaturze wyższej żelazo wysyła coraz nowe promienie. Jeśli wysyła promienie czerwone, mówimy: »żelazo

jest rozgrzane do czerwoności«. Skoro wysyła nietylko czerwone, lecz i wszelkie inne promienie, powiadamy wówczas, że jest »rozgrzane do białości« (por. § 230).

§ 232. Barwa jest tem dla światła, czem wysokość dla dźwięku.

Gdy na sekundę udzielamy powietrzu około trzydziestu regularnie powtarzających się wstrząśnięć, wówczas, jak wiadomo z § 116-go, *zaczynamy słyszeć*; słyszymy mianowicie pewien dźwięk bardzo niski. Udzielajmy kilka tysięcy wstrząśnięć w ciągu sekundy a usłyszymy dźwięk pewien *wysoki*; udzielajmy ich więcej (w tym samym czasie jednej sekundy), dźwięk stanie się wyższy i wyższy i nareszcie *przestaniemy go słyszeć*.

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

§ 233. Promieniowanie.

Powiadamy więc teraz poprawniej: od słońca, od gwiazd, od płomieni i od ciał ogrzanych rozbiega się na wszystkie strony z niezmierną prędkością *promieniowanie*. Część tego promieniowania, jeśli trafi (pośrednio czy bezpośrednio) do oka, stanie się *widzialna* a więc będzie tem, co nazywamy *światłem*. Lecz jeśli promieniowanie w jakimkolwiek ciele zatrzyma się choć w części, jeśli nie przejdzie przez nie całkowicie nawskróś, zamieni się na ciepło lub wzbudzi działanie chemiczne. Ciepło jest pewnym rodzajem energii; budzenie działań chemicznych jest również gromadzeniem energii. Więc *promieniowanie niesie ze sobą szczególnego rodzaju energję*, która może płynąć z niezmierną prędkością przez powietrze, przez wodę, przez szkło, przez puste pomiędzy gwiazdami przestworza lub też przez ciała gęste i zbite.

ZAKONCZENIE.

§ 234. O materji.

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

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

§ 235. O energii.

Z codziennego doświadczenia znamy różne rodzaje materji; w nauce fizyki zaś poznaliśmy rozmaite rodzaje *energji*. Prze-

konaliśmy się (w rozdziale I-ym), że ciało ciężkie wzniesione ma pewnego rodzaju energję; że sprężyna skręcona i rzucony kamień mają energję. Kula, wystrzelona z armaty, ma energję, ponieważ porusza się i ma masę. Podobnie ziemia ma olbrzymią energję, ponieważ porusza się i ponieważ, powtóre, słońce ją przyciąga. Wiemy (z rozdziału II-go), że słup wody ma pewną energję i że ma ją podobnie słup atmosferycznego powietrza; że powietrze i woda mogą przenosić i w różne strony rozprowadzać energję. Przekonaliśmy się (w rozdziale III-im), że falująca sprężyna ma energję i że ma ją podobnie powietrze, w którym rozchodzi się głos. W rozdziale IV-ym widzieliśmy, że ciepło jest pewnym rodzajem energji. Poznaliśmy (w rozdziale V-ym) prąd elektryczny, który powstaje z energji i ma też dlatego własną energję. Nakoniec w rozdziale ostatnim mówiliśmy o promieniowaniu, iż przynosi ze sobą szczególnego rodzaju energję, która może biec z niezmierną prędkością przez ciała materialne zarówno jak przez próżnię.

Odnajdywaliśmy zatem w rozmaitych zjawiskach różne przykłady i rodzaje energji czyli zasobów pracy mniej albo bardziej ukrytych, które przyroda w sobie zawiera i mieści. Z tych zasobów ludzkość nieustannie korzysta; żyjemy kosztem energji, rozlanej w otaczającym nas świecie.

INSPEKTOR SZKOLNY
W CHELMNIE

747

WYKAZ RZECZY.

- Akumulator § 184
Anoda § 201
Ar § 2
Atmosferyczne ciśnienie §§ 85, 88
Atmosfera § 85
- Balony § 98
Barometry § 86
Barwa § 232
Bateria elektryczna § 165
Bezwładność § 19
Bezwładny opór §§ 21, 26
Bieg księżycy § 36
Bieguny elektromagnesu § 189
— magnesu § 192
— ogniwa § 165
Busola § 193
- Celsjusza skala § 132
Centymetr § 2
Cewka indukcyjna §§ 196, 200
Ciała ciekłe § 56
— gazowe § 83
— pływające § 80
— stałe § 56
Ciężenie powszechne § 37
Cienie § 207
Ciecze § 56
— lepkie § 56
Ciepło §§ 162, 164
— parowania § 157
— topliwości § 146
— w obwodzie § 176
Ciężar §§ 6, 7, 33, 36
— powietrza §§ 84, 96
— właściwy § 50
Ciśnienie §§ 62, 63
— atmosf. §§ 85—89.
— cieczy §§ 64, 68, 69
— nasycenia §§ 148, 150
Czoło wiązki świetlnej § 218
- Decymetr § 2
Dekagram § 8
Długość fali § 105
Doba § 14
Droga § 13
Działanie § 4
— chem. w obwod. § 178.
— prądu na magnes § 194
Dźwięk § 117
Dźwignia §§ 47, 48, 51
- Echo § 115
Elektrolity § 179
Elektroliza § 179, 180
Elektromagnes § 189
Elektroskop § 166
Elektryczność §§ 169, 170, 172
Energja §§ 42, 44, 109, 164, 183, 235
- Fala §§ 101, 102, 103, 104, 105, 106
Fluoryzujące ciała § 202
Fotografia § 225
- Galwanometr § 195
Galwanoskop § 195
Gazy § 83
Gęstość §§ 50, 137
— wody § 139
Głos §§ 107, 108, 116, 117
Gram §§ 28, 139
Granica sprężystości § 60
- Hektar § 2
Hydrauliczna prasa § 67
- Ilość ciepła § 141
Indukcja § 196
Induktor § 200
Iskra elektryczna § 174
Izolatory § 167

Jednostka ciepła § 142
 — prędkości § 17
 — siły § 8

Kaloria § 142
 Katoda § 201
 Kilogram §§ 8, 28
 Kilogramometr § 41
 Kilometr § 2
 Klisza § 225
 Kompas § 193
 Kondensator (elektr.) § 166
 — (masz. par.) § 163
 Kotwica § 38

Lampy łukowe § 186
 — żarowe § 186
 Latarnia magiczna § 224
 Lewar § 95
 Litr § 2
 Luneta § 226

Magnes § 191
 Magnetyzm ziemski § 193
 Manometr § 76
 Masa §§ 22, 27, 28, 33
 Maszyny dynamoelekt. § 197
 — elektryczne § 172
 — parowe § 163
 Materja § 234
 Metr § 2
 Miara pracy § 41
 Mierzenie mas § 28
 — sił § 8
 Mikroskop § 227

Naczynia połączone §§ 73, 74
 Napięcie elektryczne § 174
 Napięcie prądu elektr. § 195
 Negatywa § 225
 Niewidzialne promienie § 231

Objętość §§ 1, 55, 125, 126
 Obraz pozorny § 222
 — rzeczywisty § 223
 Obwód ogniwa § 175
 Odbijanie się fal § 114
 — — światła § 212
 Odgłos § 115
 Ognisko soczewki § 221
 Ogniwa elektr. §§ 165, 181, 185
 Opady atmosferyczne § 155
 Opór elektryczny § 187
 — powietrza § 32
 Oziębianie sztuczne § 158

Para wodna §§ 147, 154
 Parcie do góry § 79

Pion § 6
 Piorun § 174
 Piorunochron § 174
 Polaryzacja ogniów § 184
 Pole § 2
 Pompy pneumatyczne §§ 91, 92
 Postać § 55
 Powierzchnia § 1
 — cieczy § 71
 Powietrze §§ 81, 82
 Pozytywa § 225
 Praca §§ 40, 43, 45, 46, 52, 54, 160, 161
 Prasa hydrauliczna § 67
 Prąd elektryczny §§ 173, 175
 — indukcyjny § 196
 Prędkość §§ 16, 17
 — rozch. s. głosu §§ 110, 111
 — światła § 210
 Promienie katodowe § 201
 — Röntgena § 202
 Promieniowanie § 233
 Pryzmat § 228
 Przeciwdziałanie § 4
 Przewodniki ciepła § 159
 — el. prądu § 167
 Przemian § 47
 Przyciąganie § 37
 — — i odpychanie el. § 168
 — — mag. § 192
 Przyspieszenie §§ 24, 25, 26
 — — ciężkości §§ 30, 31, 32
 Punkt topliwości § 144
 — wrzenia §§ 151, 156

Ramiona dźwigni § 47
 Rosa § 155
 Rozbrojenie (elektr.) § 174
 Rozkładanie siły § 12
 Rozpraszanie światła § 214
 Rozszerzanie się ciał
 §§ 125, 126, 128, 134
 Równia pochyła § 12
 Równoległobok sił § 11
 Równowaga §§ 5, 10
 Ruch § 13
 — ciała rzuconego §§ 34, 35
 — jednostajny § 17
 — obrotowy § 13
 — opóźniony § 17
 — postępowy § 13
 — przyspieszony § 17
 — wahadła § 38
 — złożony § 18

Ścisłość cieczy § 57
 — gazów § 90

Siła § 3
 — ciężkości § 6
 — składowa § 11

Siła sprężystości § 3
 — wypadkowa § 11
 Skala temperatur § 129
 Składanie ruchów § 18
 — sił § 11
 Skraplanie się pary § 153
 Soczewka § 221
 Spadanie §§ 30, 32
 Spółczynnik załamania światła § 217
 Sprężystość ciał stałych § 58
 — — ciekłych § 61
 Środek ciężkości §§ 9, 10
 Stopnie termometru § 132
 Światło § 204
 — elektryczne § 186
 Szkło palące § 221

Tarcie §§ 20, 53
 Telefon § 198
 Telegraf (elektr.) § 190

Telegraf bez drutu § 203
 Teleskop § 226
 Temperatura §§ 121, 122, 123
 Termometry § 129
 Torricelli'ego doświadczenie § 87

Waga § 49
 Wahadło § 38
 Widmo § 230
 Wychwył § 38
 Wypadkowa siła § 11
 — — dźwigni § 18
 Wysokość dźwięku § 118

Załamywanie się światła §§ 216,
 217, 218
 Zasada Archimedesesa § 78
 Zasady dynamiki § 29
 Zegar § 38
 Zero temperatur § 130

