

1204 D  
II-3-90

BAŃKI MYDLANE.

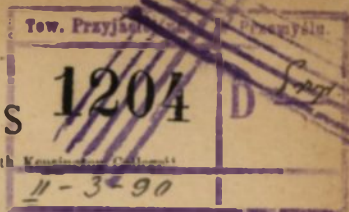
180

THOMAS M. YD...

W. B. SWANSON

...

...



C. V. BOYS

Głównik „Royal Society“, profesor w „South Kensington College“

# BAŃKI MYDLANE

WYKŁAD POCZĄTKOWY

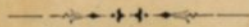
O ZJAWISKACH WŁOSKOWATOŚCI

Przetłóżył z upoważnienia autora

**Wiktor Biernacki**

Kard. Nauk Matemat.

Z licznymi drzeworytami w tekście i jedną tablicą litografowaną



WARSZAWA  
NAKLAD GEBETHNERA I WOLFFA

1894

A-19697

Дозволено Цезарюм.  
Варшава 12 Октября 1893 года



1000173293

Fizyka 3

BIBLIOTEKA

UMCS

LUBLIN

K. 1160/56/3698

Druk Rubieszewskiego i Wrotnowskiego, Nowy-Świat 34.

## SPIS RZECZY.

|   | <i>Str.</i> |
|---|-------------|
| Od tłumacza . . . . .   | VII         |
| Przedmowa . . . . .   | I           |
| <b>Napięcie powierzchniowe cieczy.</b>                                  |             |
| Doświadczenia wstępne. . . . .  | 3           |
| Zjawiska włoskowatości . . . . .  | 15          |
| Wartość napięcia powierzchniowego . . . . .                             | 24          |
| Zastosowania praktyczne . . . . .                                       | 29          |
| Ciśnienie wywierane na powierzchnię wody przez<br>nożki owadów. . . . . | 31          |
| Kulisty kształt kropeł cieczy . . . . .                                 | 33          |
| Napięcie błonek mydlanych . . . . .                                     | 41          |
| Ciśnienie i krzywizna . . . . .   | 44          |
| Trwałość postaci walców . . . . .                                       | 58          |
| Magnetyzm tlenu. . . . .  | 61          |
| <b>Strugi płynne.</b>   |             |
| Powstawanie i drganie kropeł . . . . .                                  | 64          |
| Elektryczne i akustyczne własności strugi wodnej .                      | 72          |
| Struga w oświetleniu przerywanem . . . . .                              | 85          |
| Mikrofon hydrauliczny . . . . .   | 91          |
| <b>Bańki mydlane.</b>   |             |
| Bańki mydlane i para eteru . . . . .                                    | 96          |
| Bańki mydlane w zetknięciu. . . . .                                     | 99          |
| Bańki mydlane i elektryczność . . . . .                                 | 106         |

| <b>Wskazówki praktyczne.</b>   | <i>Str.</i> |
|--|-------------|
| Krople sztuczne z powierzchnią kauczukową . . .                                    | 111         |
| Siatka metalowa na powierzchni wody (przyrząd<br>Van der Mensbrugghiego) . . . . . | 112         |
| Sito powleczone parafiną . . . . .   | 112         |
| Rurki włoskowate . . . . .   | 114         |
| Wznoszenie się cieczy pomiędzy płytami . . . . .                                   | 115         |
| Lzy z wina. . . . .  | 115         |
| Kulki cieczy . . . . .   | 116         |
| Doświadczenia Plateau. . . . .   | 116         |
| Roztwór mydlany do baniek. . . . .   | 118         |
| Pierścienie do baniek . . . . .  | 120         |
| Nie w pierścieniu . . . . .  | 121         |
| Zadmuchiwanie świecy za pomocą bańki mydlanej.                                     | 122         |
| Równowaga baniek mydlanych . . . . .   | 122         |
| Taumatrop do wykazania powstawania i drgania<br>kropel . . . . .                   | 123         |
| Kropla wody w parafinie i dwusiarku węgla. . . . .                                 | 125         |
| Kuleczki cieczy na pajęczynie . . . . .  | 128         |
| Fotografowanie strugi wodnej . . . . .   | 129         |
| Działanie naelektryzowanego laku na strugę . . . . .                               | 130         |
| Struga odskakująca jedna od drugiej. . . . .                                       | 131         |
| Struga w oświetleniu przerywanem . . . . .   | 132         |
| Struga śpiewająca, czyli mikrofon hydrauliczny Chi-<br>chestera Bella . . . . .    | 133         |
| Bańki i eter siarczany. . . . .  | 135         |
| Doświadczenia z bańkami wewnętrznymi . . . . .                                     | 136         |
| Bańki mydlane i elektryczność. . . . .   | 144         |
| <br><b>Dodatki tłumacza.</b>   |             |
| Dodatek I. O ruchach kamfory na powierzchni wody                                   | 149         |
| Dodatek II. Nitki kwarcowe . . . . .   | 152         |
| Dodatek III. O działaniu oliwy na fale morskie . . . . .                           | 153         |

## OD TLUMACZA.

---

C. V. Boys, młody członek „Royal Society,“ dał się już poznać zaszczytnie na polu popularyzacji wiedzy przyrodniczej. Dziełko jego, które tu w przekładzie podajemy, w przeciągu trzech lat od pojawienia się w wydaniu angielskiem, zostało przełożone na język francuski i niemiecki. Zawiera ono nader przystępny i barwny wykład o zjawiskach włoskowatości, oparty na licznych doświadczeniach, dobranych w taki sposób, że mogą być wykonane bez żadnych szczególnych przyrządów i nastroczają niewiele trudności nawet początkującym.

Przekład polski różni się cokolwiek od oryginału, stosownie do życzenia autora, wyrażonego w liście pisanym do mnie dnia 11 Marca 1893 r. Pod tym

względem kierowałem się wskazówkami, łaskawie mi przez niego udzielonemi, mianowicie, obrałem za wzór przekład francuski, dokonany przez znanego fizyka E. Ch. Guillaume'a. Główne zmiany dotyczą rozmieszczenia materiału, z opuszczeniem pewnych miejsc, o których sam autor wyraża się, że mogą zaciekać tylko młodzież angielską<sup>1)</sup>). Natomiast umieściłem opis doświadczenia, obmyślanego również przez p. C. V. Boysa dla wykazania magnetyzmu tlenku, poczerpnięty za upoważnieniem autora z przekładu francuskiego i opis doświadczenia Lorda Rayleigh, wykazującego działanie eteru na napięcie powierzchniowe wody, — z przekładu niemieckiego, dokonanego przez D-ra G. Meyera. Prócz tego dołączyłem krótką wzmiankę o nader dowcipnym sposobie oznaczania ciśnienia, wywieranego przez nóżki owadów na powierzchnię wody; badania te należą do H. Dixona z Dublinu i zostały mi wskazane życzliwie również przez p. C. V. Boysa. Inne zmiany są małego znaczenia. Dotyczą one przedewszystkiem miar, które przełożyłem na metryczne, jako więcej znane naszym czytelnikom. Wreszcie

---

<sup>1)</sup> „what is purely of interest to British people...“



## PRZEDMOWA.

Upraszam tych czytelników, którzy nie są już początkującymi i którzy mogliby uznać tę książkę za zbyt niedokładną lub banalną w wielu miejscach, aby zechcieli zwrócić uwagę na to, że wykłady te odbywały się wobec słuchaczy młodych, dla których przedewszystkiem były też przeznaczone. Chciałbym zachęcić młodych czytelników do wykonania opisanych w tej książeczce doświadczeń; przekonają się, że prawie do wszystkich wystarczy rurka szklana lub kauczukowa i wogóle najprostsze środki, każdemu dostępne. Przypuszczam, że pomysłny skutek, wynagrodzi ich pierwsze trudy. A jeżeli w doświadczeniach nieco mozolniejszych, nie zrażając się niepomysłnemi próbami, wytrwają

i z ulepszonymi środkami dojdę do celu, wówczas najtrudniejsze doświadczenia sprawią im najwięcej przyjemności i najbardziej zaspokoją ich ciekawość. Niektóre z podanych tu doświadczeń są bardzo łatwe; inne są nieco trudniejsze. Dla tych, którzy zechcą sami przyjrzeć się doświadczeniom przezemnie opisanym, podałem na końcu książki pewne pożyteczne wskazówki praktyczne.

W opracowaniu tego dziełka posiłkowałem się pismami wielu znakomitych uczonych, z których wymienię Savarta, Plateau, Clerka Maxwella, Williama Thomsona, Lorda Rayleigh, Mr. Chicheстера Bella i prof. Rückerera. Przeważna ilość podanych tu doświadczeń była przez nich opisana, niektóre tylko sam obmyśliłem. Winienem głęboką wdzięczność prof. Rückerowi, który pozwolił mi przy mych odczytach korzystać ze środków jego pracowni.

---

## NAPIĘCIE POWIERZCHNIOWE CIECZY.

---

### Doświadczenia wstępne.

Nie ma zapewne pomiędzy wami nikogo, ktoby nie puszczał nigdy baniek mydlanych, nie zachwycał się doskonałością ich kształtów i cudowną grą ich kolorów, nie zdumiewając się jednocześnie, że wszystko to wynagradza tak małe trudy. Zapewne nikomu z was nie dokuczyła dotąd zabawa bańkami; przypuszczam zatem, że w jednej zwyczajnej bańce zobaczymy w ciągu krótkiego czasu więcej, niż ci, których kieruje przy tej zabawie jedynie ich tylko własna fantazya. Nietylko my w dzieciennych latach bawimy się bańkami; przed wiekami dzieci czyniły to samo. Jakkolwiek nie ma o tem wzmianki u żadnego ze starożytnych autorów, jednakże w Luwrze w Paryżu jest jedna bardzo sta-

rożytna etruska waza z rysunkiem, który przedstawia dzieci, wydymające bańki za pomocą rurek. Trudno domyśleć się, jakiego mydła do tego używały.

Przedewszystkiem wytłomaczę, dla czego za przedmiot mych odczytów obrałem bańki mydlane. Wprawdzie wiele rzeczy może bardziej zadziwić, zachwycić lub zaciekawić początkującego, lecz mało jest takich, któreby tak wprost dotyczyły tego, co codziennie oglądamy. Nie można wylać wody z dzbanka, herbaty z czajnika, nie można, jednym słowem, nic zrobić z jakąkolwiek cieczą, aby nie pobudzić do działania sił, o których będę wam opowiadał. Nie zbraknie zjawisk, przypominających wam to, o czym będę mówił; ważną jest również ta okoliczność, że prawie wszystkie doświadczenia, które pokażę, są tak proste, że będziecie w stanie przeprowadzić je, nie posiadając żadnych przyrządów, a to sprawi wam większą przyjemność i więcej was nauczy, niż przyjrzenie się temu, co przed wami wykonam.

Gdybym spytał któregokolwiek z was, dla czego chcę pokazać pewne doświadczenia, odpowiedziałby bez wątpienia, że dla tego, aby uczynić wykłady mniej nudnymi. Być może; nie jest to jednak jedyna przyczyna. Gdy chcemy poznać pewne zjawisko, możemy szukać odpowiedzi na nasze pytania w książkach, lub też zwrócić się do kogoś,

ktoby nas mógł objaśnić. Możemy jednak sami drogą doświadczalną dojść do tego, czego poszukujemy. Jest to jedyny środek, jaki nam pozostaje, gdy nikt nie może nam dać wyjaśnienia. Przez doświadczenie stawiamy pytanie przyrodzie, a ta zawsze daje dokładną odpowiedź, byle tylko samo pytanie było dokładnie postawione. Doświadczenie nie jest kuglarstwem; nie należy również uważać doświadczenia za środek do urozmaicenia wykładu. Doświadczenia, które przed wami przeprowadzę, mają na celu przedewszystkiem wskazanie rzetelnych odpowiedzi na pytania, jakie postawię.

Zacznijmy najprzód od doświadczenia, które wykonywaliście często sami, z pędzelkiem z wielbłądziej sierści. Jeżeli chcemy zlepiać włoski pędzelka tak, aby otrzymać ostry koniuszek, zanurzamy go w wodzie. Sądzymy, że włoski zlepiają się dla tego, że pędzelek staje się mokrym. Zdaleka trudno dostrzedz pędzelek, lecz jeżeli go trzymać przed latarnią, wówczas widać duży wyraźny jego cień na ekranie. (Fig. 1 po lewej ręce). Teraz pędzelek jest suchy i możecie widzieć pojedyncze włoski. Zanurzmy go w wodzie i wyciągnijmy na powrót; włoski jego, jak oczekiwaliśmy, zlepily się (Fig. 1 po prawej ręce) dla tego, że, jak zwykle tłumaczymy, są mokre. Lecz trzymajmy pędzelek zanurzonym w wodzie; widzicie, że włoski nie zlepiają się (Fig. 1 środek), jakkolwiek są przecież

mokre, znajdując się w wodzie. To doświadczenie, do wykonania którego wystarczył pędzelek i szklane naczynie z wodą, wykazuje, że włoski pędzelka zlepiają się nie tylko dla tego, że są mokre; nie

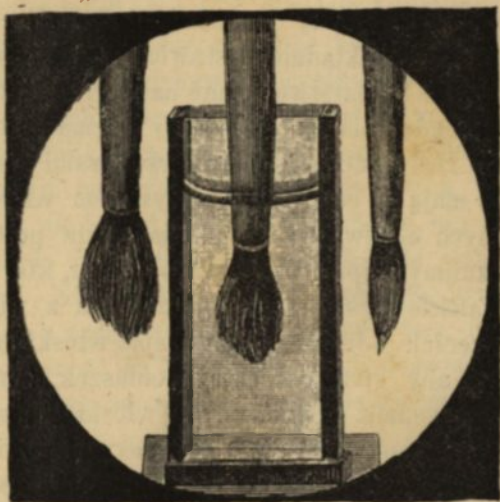


Fig 1.

znamy jednak jeszcze żadnej innej przyczyny. Wykazuje ono również, że mniemanie, jakoby nie można było otworzyć oczu pod wodą, jest błędem. Wiele osób sądzi, że nie można otworzyć oczu pod wodą, ponieważ woda zlepia rzęsy, i że, aby można było patrzeć pod wodą, należy zanurzyć głowę, mając oczy otwarte. Teraz wiecie już, że to niepraw-

da; zupełnie wszystko jedno, czy zanurzać głowę z otwartymi oczyma, czy z zamkniętymi: zawsze można je otworzyć pod wodą.

Doświadczenie z pędzelkiem, jakkolwiek niedaje jeszcze dokładnego wyjaśnienia, dla czego włoski pędzelka zlepiają się, posiada jednak pewną wartość, ponieważ przekonuje nas, że powszechnie podawana przyczyna tego zjawiska nie jest jedyną.

Przeprowadźmy teraz inne doświadczenie, również proste, jak i poprzednie. Puszczam zwolna wodę przez wąską rurkę. Woda nie leje się ciągle; lecz przy wylocie powstaje kropla, która stopniowo się powiększa, dopóki nie dosięgnie pewnej określonej wielkości, a wówczas raptownie odrywa się i spada. Należy zwrócić uwagę na to, że za każdą razą kropla w chwili odrywania się posiada ściśle taką samą zawsze postać i wielkość. Powinno to zależeć od pewnej stałej przyczyny i nie może być dziełem przypadku. Dla czego przedewszystkiem woda pozostaje przez pewien czas zawieszoną w postaci kropli? Wszak woda posiada pewien ciężar, a więc powinna spadać na dół, pomimo to jednak nie odrywa się od rurki, dopóki siły, które ją podtrzymują, nie zostaną pokonane przez ciężar kropli. Mr. Worthington przedstawił bardzo dokładnie szereg postaci, jakie przybiera kropla wody (Fig. 2). Jeden rzut oka na ten rysunek naprowadza na prawdopodobne mniemanie, że woda w kropli jest oto-

czoną jakby sprężystym workiem, który pęka, gdy nie może już unieść zawartej w nim wody. Wprawdzie nie jest to rzeczywisty worek; krople przybierają jednak postać podobną do tej, jaką mógł-by

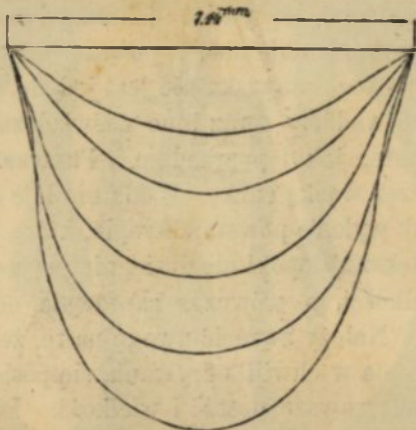


Fig. 2.

im nadać taki woreczek. Następne doświadczenie wykazuje, że nie jest to tylko gra wyobraźni. Zawieśmy na trójnogu (Fig. 3) drewnianą obręcz z naciągniętą na niej bardzo cienką kauczukową błonką i nalewajmy stopniową na tę błonkę wody. Błonka kauczukowa rozciąga się, i rzeczywisty ten worek przybiera szereg postaci podobnych do tych, jakie przybiera kropla. Jeżeli wciąż dolewać będziemy wody, worek nasz wreszcie będzie tak mo-



cno rozciągnięty, jak tylko być może; w tej chwili kształt jego zmienia się raptownie, i on przybiera

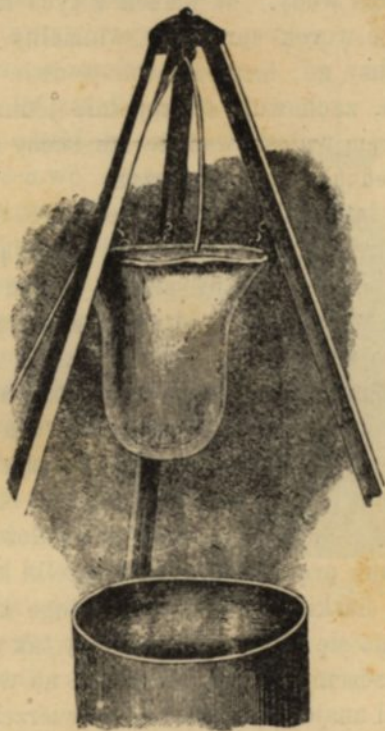


Fig. 3.

dokładnie taką samą postać, jak kropla w chwili odrywania się. Napięcie błonki kauczukowej podtrzymuje tę naszą dużą kroplę. Jeżeli teraz po-

czniemy wylewać wodę za pomocą syfonu, ujrzymy znów, lecz w odwrotnym porządku, cały szereg postaci kropli wody. W jednym z tych doświadczeń występuje worek sprężysty widzialny, w drugim nie widzimy go; lecz ponieważ te dwie krople, duża i mała, zachowują się zupełnie jednakowo, możemy zatem wnioskować, że ich ruchy i postać zależą od jednakowych przyczyn.

Teraz łatwo objaśnić poprzedzające doświadczenie z pędzelkiem. Włoski jego zlepiają się nie dla tego, że są mokre; aby mogły się zlepić, należy pędzelek wyjąć z wody, i wówczas sprężysta błonka okrąża włoski i łączy je razem.

Przejdźmy do innych jeszcze doświadczeń, wykazujących, że i w innych razach woda zachowuje się tak, jakby była otoczona sprężystą błonką. Osadźmy w pustej szklanej kuli dość cienki metalowy pręt i umocujmy go w tem położeniu za pomocą laku; pręt ten dźwiga niewielki kwadratowy kawałek siatki drucianej; do dolnego końca pręta przyczepia się balast, który należy tak dobrać, aby przy puszczeniu całego przyrządu na wodę, siatka w całości znajdowała się nad powierzchnią wody. Dla uwidocznienia ruchów przyrządu można przymocować do górnego końca pręta papierową choraągiewką (Fig. 4). Zepchnijmy nasz przyrząd pionowo w wodę tak, żeby siatka znajdowała się pod powierzchnią wody. Jeżeli powierzchnia wody zach-

wuje się w taki sposób, jak sprężysta błonka, w takim razie powinna się opierać powrotowi siatki na zewnątrz. Rzeczywiście, pozostawmy przyrząd samemu sobie, a zamiast odskoczyć, co by zaszło, gdyby nie było siatki, pozostanie on częściowo zanurzonym w wodzie: siatka nie może przedostać się przez powierzchnię wody. Lecz jeżeli zagiąć jeden róg siatki, aby mógł przebić powierzchniową błonkę wody, wówczas przyrząd nasz odskakuje napowrót, jak tylko go pozostawimy samemu sobie. O wytrzymałości tej błonki można sądzić z tego, że w jednym z doświadczeń, należało powiększyć obciążenie przyrządu o 8 gramów, aby sprowadzić siatkę do poziomu wody w naczyniu.

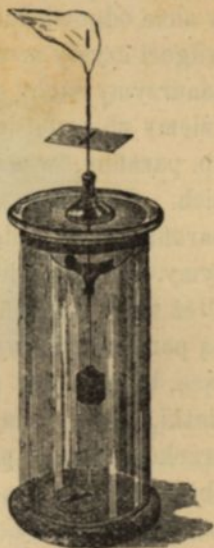


Fig. 4.

Doświadczenie to obmyślił Vander Menensbrugghę; zbudowanie całego przyrządu wymaga nie więcej nad 5 minut czasu.

Istnienie sprężystej warstwy czyli błonki powierzchniowej wody, można wykazać sposobem

jeszcze bardziej uderzającym. Przyrządźmy sito z siatki drucianej tak dobranej, aby przez jej oka mogła przejść zwyczajna szpilka; ilość ich wynosi w sicie odpowiedniej wielkości prawie 11000. Woda wilgoci czysty metalowy drut, co znaczy, że jeżeli zanurzymy suchy metalowy drut w wodę, wydobędziemy go z niej mokrym. Niektórych innych ciał, np. parafiny, woda nie wilgoci t. j. nie przylega do nich. Aby się o tem przekonać, zanurzymy świecę parafinową w wodę; gdy ją wydobędziemy, zauważymy, że pozostaje suchą, jak i przed zanurzeniem. Otóż takie druciane sito należy zanurzyć w roztopioną parafinę i po wydobyciu wstrząsać niem póki gorące, bacząc, aby parafina pokryła zupełnie druciki siatki, pozostawiając niezalepionemi oka. Można przekonać się, przypatrując się powiększonemu obrazowi dna sita na ekranie, że w taki sposób wszystkie otwory, z wyjątkiem może kilku, pozostaną niezalepionymi. Jeżeli teraz w takie sito nalać wody, to przypuszczalna błonka sprężysta rozciągnie się ponad jego okami i nie przepuści wody przez nie, chyba że zostanie gdzie przerwaną. W celu zapobieżenia przerwaniu błonki przy nalewaniu wody, należy położyć na dno sita kawałek papieru i dopiero wówczas nalewać wodę z dużej szklanki (Fig. 5); po nalaniu dostatecznej ilości wody wyciąga się papier, a ani jedna kropla nie uchodzi. Jeżeli zaś raptownie wstrząsnąć sitem, błonka

wodna przerywa się, i sito wypróżnia się w jednej chwili.

Sito nasze może również pływać po wodzie, gdyż ciężar jego nie wystarcza do przerwania powierzchni

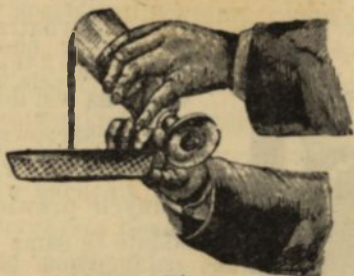


Fig. 5.

niowej błonki wody. Przeto woda nie przedostaje się na drugą stronę dna, i sito pływa, jakkolwiek w dnie jego znajduje się aż 11000 otworów, z których przez każdy można przesunąć zwyczajną szpilkę.

Przytoczę jeszcze jeden przykład wytrzymałości sprężystej błonki wody. Przypuśćmy, że chcemy przelać wodę ze szklanki do butelki z wąską szyjką. Jeżeli łać powoli, woda ścieka po szklance, jeżeli zaś wykonywać tę czynność szybko, wówczas większa część wody spada obok szyjki i tylko nieznaczna jej ilość trafia do wnętrza butelki. Lecz jeżeli

trzymać przy brzegu szklanki drewnianą lub szklaną pałeczkę (Fig. 6), w takim razie woda ścieka po pałeczce do flaszki, i nie rozlejemy ani kropli. Można nawet pałeczkę tę cokolwiek nachylić, a woda nie przestanie ściekać po niej. W tym przypadku błonka sprężysta wody tworzy rodzaj rurki, która nie przepuszcza wody na zewnątrz. Często



Fig. 6 .

korzystają z tej własności wody na wsi do zbierania wody deszczowej z dachów do beczek; kawał kija bez żadnych prawie kosztów oddaje tę samą przysługę, co i rynna.

Wszystkie przytoczone przykłady przekonywują dostatecznie, że powierzchnia wody jest podobna do sprężystej błonki. Nie należy tego rozumieć w taki sposób, że powierzchnia wody przedstawia coś, coby nie było wodą; lecz że powierzchniowa warstwa wody znajduje się w warunkach odmiennych, niż warstwy wewnętrzne. Powierzchniowa warstwa wody jest podobna do cieniutkiej kauczukowej błonki, z tą jednak różnicą, że jest doskonale sprężysta i prawie nieskończenie rozciągalna, jakim nie jest kauczuk.

### Zjawiska włoskowatości.

Teraz będziemy w stanie zrozumieć, dlaczego w bardzo wązkich rurkach woda nie stoi na tym samym poziomie, co w naczyniu, lecz zachowuje się w osobliwy sposób. Umieścmy przed latarnią naczynie z wodą, zabarwioną na niebiesko, aby zrobić widoczniejszym, co zajdzie. Zanurzymy w wodę dolny koniec wązkiej szklanej rurki; woda w rurce natychmiast wznosi się w górę i zatrzymuje się wyżej, niż w naczyniu. Rurka wewnątrz zostaje zwilżona; sprężysta błonka wody przyczepia się do wewnętrznej powierzchni rurki i ciągnie wodę ku górze, aż ciężar wzniesionej wody stanie się równym sile ciągnięcia, wywieranej przez błonkę. Jeżeli wziąć rurkę dwa razy szerszą, to siła ciągnięcia, która działa wzdłuż całego wewnętrznego obwodu rurki, będzie dwa razy większa, a więc może utrzymać dwa razy większy ciężar. Lecz wysokość słupa cieczy, wznoszącej się w niej, nie będzie dwa razy większa, niż w rurce poprzedniej, gdyż szeroka rurka nawet przy tej samej wysokości słupa zawiera znacznie więcej wody, niż rurka wązka. W szerokiej rurce woda nie wzniesie się nawet na taką samą wysokość, jak w wązkiej, ponieważ w tym razie ciężar wciągniętej wody byłby cztery razy większy, niż w rurce wązkiej. Woda wzniesie

się w szerokiej rurce na wysokość dwa razy mniejszą, niż w wąskiej, co można łatwo sprawdzić. W rurce, zbliżającej się swoją grubością do włosa, woda podnosi się bardzo wysoko; dla tego też wszystkie te objawy, o których tu mówimy, nazwano objawami włoskowatości (lub kapilarności, bo *capillus* po łacinie znaczy włos).



Fig. 7.

Ustawmy dużą ilość rurek o rozmaitej grubości w jeden szereg i zanurzymy ich dolne końce pionowo w wodę, nalaną w płaskie naczynie (Fig. 7). Woda wzniesie się najwyżej w rurce najwęższej, w następnych stać będzie tem niżej, im szersza jest



rukka, wreszcie w najszerszej rurce, wysokość wznoszącego się słupa wody będzie tak mała, że go zaledwie dostrzedz można. Podobny objaw zachodzi, jeżeli ustawić dwie szklane płytki jedną obok drugiej tak, aby się stykały wzdłuż jednej krawędzi, tworząc ze sobą niewielki kąt; aby przeciwległe

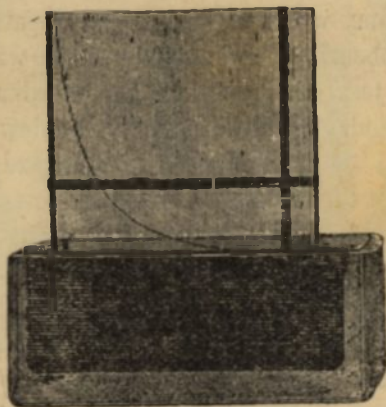


Fig. 8.

krawędzie płytek nie zbliżyły się, umieszcza się pomiędzy nimi kawałek drzewa lub metalu; wreszcie umocowuje się płytki w takim położeniu za pomocą pierścienia kauczukowego. Ustawmy te płytki w płaskim naczyniu, zawierającym zabarwioną wodę, bacząc, aby krawędź, wzdłuż której się stykają, stała pionowo. Wówczas odrazu można dostrzedz,

że woda wznosi się pomiędzy płytkami przy krawędzi aż do samego wierzchu, a dalej coraz niżej, w miarę powiększania się odległości pomiędzy płytkami. W skutek tego powierzchnia wody zarysowuje na każdej płytce bardzo prawidłową krzywą linię, którą matematycy nazywają hiperbolą równoboczną (Fig 8). Matematyczne dochodzenia wykazują, że mamy w danym razie do czynienia z hiperbolą równoboczną, ponieważ wysokość wzniesienia się cieczy jest odwrotnie proporcjonalna do odległości pomiędzy płytkami, lub też, ponieważ ciężar wzniesionej cieczy, odpowiadający każdej bardzo małej części tej krzywej, jest ten sam wzdłuż całej krzywej. Gdyby wziąć tafle lub rurki, wyrobione z ciała, którego woda nie wilgoci, wówczas napięcie powierzchniowe wypychałoby wodę z wąskich przestrzeni tem mocniej, im węższe przestrzenie rozważać. Dość trudno wykazać ten objaw za pomocą naparafinowanych płytek lub rurek i wody. Lecz można użyć innej cieczy, mianowicie rtęci, która nie wilgoci czystego szkła. Rtęć jest ciecz nieprzezroczysta, nie można zatem posługiwać się teraz wązkiemi rurkami, w których ta ciecz staje na niższym poziomie, niż w naczyniu. Lecz można to równie dobrze uwidocznic za pomocą przyrządu, składającego się wprost z dwóch szklanych rurek, połączonych ze sobą. Jeżeli w jeden taki przyrząd nalać rtęci, a w drugi wody, wówczas rtęć staje na

znacznie niższym poziomie w wąskiej rurce, niż w szerokiej, woda zaś zachowuje się wprost odwrotnie (Fig. 9).

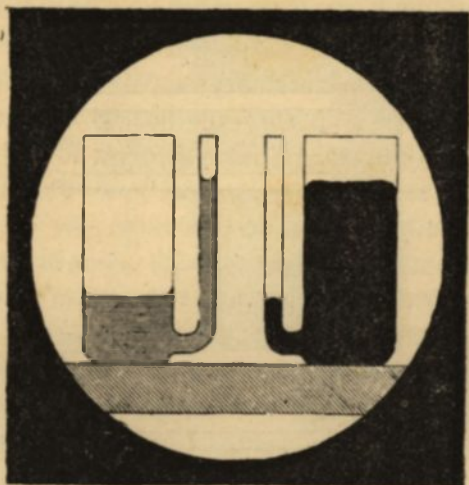
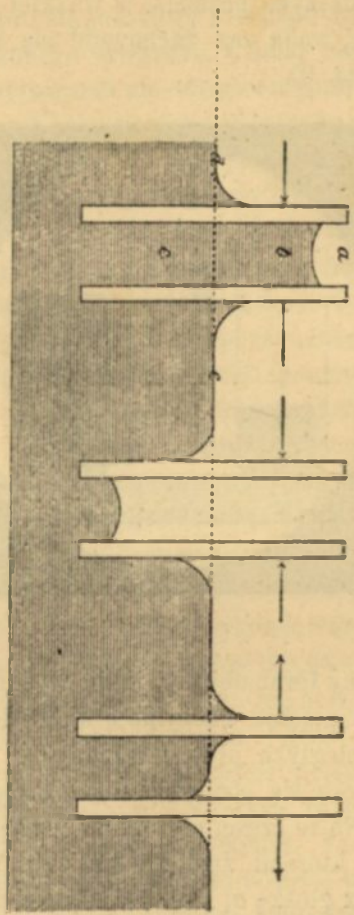


Fig. 9.

Rozważmy teraz objawy, jakie występują, jeżeli zanurzyć w płaskie naczynie z wodą dolne części dwu równoległych płytek szklanych. Wiemy, że woda wzniesie się pomiędzy nimi do pewnej wysokości. Na te części płytek, na zewnątrz których i pomiędzy którymi znajduje się powietrze (oznaczone przez głoskę *a*, Fig. 10), wywiera ono z obu stron każdej płytki jednakowe ciśnienie, lecz w kierunkach wręcz przeciwnych; te zatem części pły-

FIG. 10.



tek nie dążą ani do zbliżenia się ku sobie, ani do oddalenia się jedna od drugiej. Na części płytek, zanurzone zupełnie w wodzie (oznaczone na rysunku przez głoskę *c*), woda wywiera również z obu stron każdej płytki jednakowe ciśnienie, lecz w kierunkach przeciwnych, a więc i te części płytek nie są pobudzane do żadnego ruchu. Lecz rozważmy części płytek, pomiędzy którymi znajduje się woda, a na zewnątrz powietrze (oznaczone przez głoskę *b*). Można by przypuszczać, że woda wywiera na nie ciśnienie większe, niż otaczające powietrze. Łatwo jednak wykazać, że takie mniemanie jest błędnem. Woda, stojąca pomiędzy płytkami wyżej, aniżeli w naczyniu, jest wystawiona bezwątpienia na ciśnienie mniejsze, ponieważ, o czem każdy wie, ciśnienie w cieczy powiększa się wraz z głębokością, a zatem w kierunku z dołu do góry napotykamy ciśnienie coraz mniejsze. A że woda pomiędzy płytkami jest wzniesiona ponad ogólny poziom cieczy, jest zatem wystawiona na ciśnienie mniejsze, i na odwrót, wywiera mniejsze ciśnienie, niż otaczające powietrze; z tego powodu płytki przybliżają się do siebie. Można łatwo przekonać się, że zachodzi w rzeczywistości także pozorne przyciąganie się. Weźmy dwie bardzo lekkie, puste we środku szklane kulki, jakie się używają do ozdoby choinek. Takie kulki pływają po wodzie, jeżeli zalepić lakiem znajdujące się w nich otwory. Woda wilgoci obie

kulki i wznosi się cokolwiek pomiędzy niemi, gdyż dwie takie kulki wywierają takie samo działanie, jak dwie szklane płyty, tylko nie tak silne. Otóż, rzucając obie kulki na powierzchnię wody, można dostrzedz, że przyciągają się wzajemnie z dość znaczną siłą.

W razie, gdy woda nie wilgoci płytek, łatwo przewidzieć, że płytki również powinny przybliżyć się do siebie (środkowy rysunek na Fig. 10); łatwo sprawdzić to przez doświadczenie. Dwie inne kulki, powleczone cienką warstwą parafiny, aby woda ich nie wilgociła, rzucone na powierzchnię wody, tak samo jak czyste kulki, przybliżają się do siebie, jakby przyciągając się wzajemnie.

Przy dokładnem porównaniu poprzedzających dwóch przypadków widzimy, że płytka, dająca się zwilgocić, porusza się w stronę poziomu wyższego, płytka zaś, nie dająca się zwilgocić, dąży do poziomu niższego, jeżeli przez działanie sił włoskowatości poziom cieczy jest w różnych miejscach różny. Teraz przypuścimy, że tylko jedna płytka daje się zwilgocić, druga zaś nie. W tym razie, jak to widzimy na rysunku (Fig. 10 po prawej ręce), poziom cieczy pomiędzy płytkami przy płycie zwilgoconej jest niższy, niż na zewnątrz, a w pobliżu płytki nie zwilgoconej — wyższy. A zatem obie płytki dążą do oddalenia się jedna od drugiej. Rzucając na powierzchnię wody dwie kulki, jedną czystą, a dru-

gą powleczoną warstwą parafiny, przekonamy się, że takie dwie kulki odpychają się wzajemnie.

Z łatwością można dostrzedz, że powierzchnia cieczy w bliskości płytek jest zakrzywiona, mianowicie wklęsła przy płytce zwilgoconej i wypukła przy płytce niezwilgoconej. Bardzo proste doświadczenie wykazuje, że krzywość powierzchni posiada przy tych zjawiskach nader ważne znaczenie. Wpuśćmy do szklanki napelnionej do połowy wodą czystą szklaną kulkę; kulka biegnie do ścianek naczynia, i nie ma możności zatrzymać jej po środku. Dolejmy wody, aż jej powierzchnia wzniesie się nieco ponad brzegi szklanki i stanie się cokolwiek wypukłą; teraz kulka dąży do środka, i nie ma możności zatrzymać jej przy brzegu. Kulka powleczona warstwą parafiny zachowuje się wręcz przeciwnie. Zamiast kulki pokrytej parafiną można użyć wprost zwyczajnej igły. Igła złożona z dostateczną ostrożnością na powierzchnię wody pływa po niej, ponieważ ją chroni od zatonięcia powierzchniuwa sprężysta błonka. Otóż, jeżeli szklanka jest niezupełnie napelniona, igła odsuwa się od ścianek i dąży do środka powierzchni wody w szklance, lecz jeżeli tylko cokolwiek przepelnić szklankę, zwraca się ku brzegom szklanki i może nawet stończyć się na ziemię; z drugiej strony pęcherzyki powietrza na powierzchni wody, przyczepione do ścianek szklanki, w chwili gdy woda wznosi się po-

nad brzegi, odrywają się od szkła w sposób raptowny i nieoczekiwany. Tę raptowną zmianę położenia pęcherzyków można oglądać, jeżeli nalać do szklanki wody prawie do samych brzegów, i stopniowo zanurzać w nią i wyciągać z niej kawałek korka, co sprawia powolną zmianę poziomu wody w szklance.

### **Wartość napięcia powierzchniowego.**

Przekonaliśmy się dotychczas, że swobodna wierzchnia warstwa cieczy poddana jest jakby ściągającej sile, czyli pewnemu napięciu, w skutek czego zachowuje się jak cienka błona, którą rozciągamy, i której spójność temu się opiera. Nie powiedzieliśmy jednak jeszcze nic o natężeniu tej siły ściągającej. Badania nad wzniesieniem wody w rurkach włoskowatych, nad postacią kropeł i nad innymi jeszcze objawami napięcia powierzchniowego wykazały, że siła ta wynosi 7,6 miligrama na milimetr długości. Nie wiemy również jeszcze, czy i inne ciecze zachowują się tak samo, jak woda, a jeżeli tak samo, to czy posiadają takie same napięcie powierzchniowe.

Za pomocą takiej samej rurki, jaką posługiwaliśmy się przy badaniu kropeł wody, możemy otrzymać krople alkoholu. Krople alkoholu, jak i krople



wody, w chwili odrywania się od rurki, mają wszystkie jednakową wielkość i kształt, są jednak znacznie mniejsze, niż krople wody. Dwojako można to objaśnić : albo alkohol jest cieczą cięższą, niż wo-

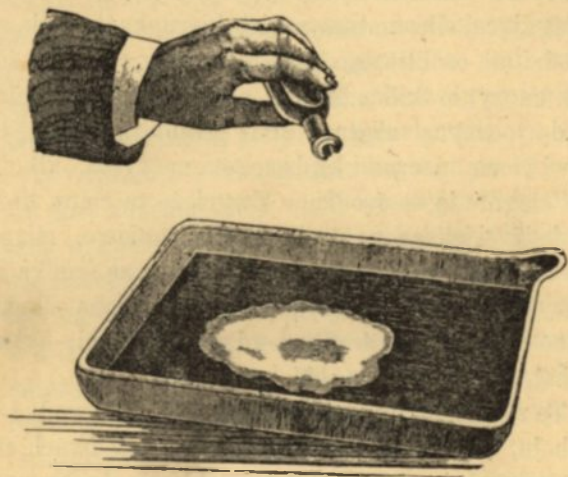


Fig. 11.

da, a więc jego błonka powierzchniowa, będąc takiej samej wytrzymałości, jak i błonka wody, pęka już przy mniejszej wielkości kropli; albo też, jeżeli alkohol nie jest cięższy od wody, jego błonka posiada słabszą spójność, czyli jest mniej wytrzymała, niż błonka wody. Wiadomo, że alkohol jest lżejszy

od wody, a zatem tembardziej musimy przyznać, że błonka alkoholu jest słabsza, niż błonka wody. Możemy zresztą naocznie przekonać się o tem. Należymy do płaskiej miseczki niewielką ilość wody zabarwionej na niebiesko, aby tylko pokryła dno miseczki. Błonka wody jest poddana jednakowej ściągającej sile we wszystkich kierunkach, i nie zachodzi nic osobliwego. Lecz wpuśćmy teraz na środek naczynia kilka kropel alkoholu: natychmiast woda poczyna ciągnąć linię graniczną pomiędzy obydwiema cieczami ku brzegom naczynia, alkohol zaś ciągnie ją do środka. Zwycięża ta ciecz, która posiada większe napięcie powierzchniowe, mianowicie woda: woda zatem rozbiega się ze środka we wszystkich kierunkach, pociągając za sobą alkohol, i dno naczynia po środku, gdzie poprzednio był alkohol, wysycha (Fig. 11).

Ta różnica w napięciu powierzchniowym wody i alkoholu, lub też różnych mieszanin tych dwóch cieczy wywołuje ciekawe ruchy, jakie się dają zauważyć na ściankach kieliszka, napełnionego do połowy mocnym winem, naprzykład portweinem. Wino podnosi się do góry po ściankach kieliszka, zbiera się na nich w krople i spada napowrót; zjawisko to może trwać dość długo. Można to objaśnić w następujący sposób. Cienka warstwa wina, wilżąca ścianki kieliszka, paruje prędzej, niż reszta cieczy, traci nadewszystko alkohol, staje się bardziej wodnistą

i nabiera większego napięcia powierzchniowego, aniżeli je ma wino; w skutek tego pociąga wino do góry, które się tam zbiera w krople. Ruch ten zauważono już oddawna; bezwątpienia o nim właśnie robi wzmiankę Salomon w „Przypowieściach“ Roz. XXIII, przyp. 31: „Nie patrz na wino, gdy się rumieni, gdy się rozjaśni w szklenicy barwa jego; łagodnie wchodzi.“<sup>1)</sup> Gdy zważycie, że ruch ten zachodzi tylko z winem mocnym, że bezwątpienia był znany powszechnie w tych czasach, gdy te słowa były napisane, i że posługiwano się tym sposobem dla sprawdzenia mocy wina, ponieważ w tych czasach wszyscy pili wino, wówczas przyznacie, że podane wyjaśnienie sensu tej przypowieści jest rzetelnem. Zapewne wiele jeszcze innych ustępów w Piśmie Świętem, których obecnie nie rozumiemy należycie, stosuje się również do nieznanych nam teraz powszechnych wiadomości i zwyczajów tych odległych czasów.

Eter siarczany posiada napięcie powierzchniowe również mniejsze, niż woda; nawet bardzo mała ilość eteru na powierzchni wody znacznie zmniejsza napięcie jej błonki. Wykazuje to następne doświadczenie ze znanym nam już przyrządem Van der Mennsbrugge'go (Fig. 4), w którym siatka nie może

---

<sup>1)</sup> Pismo Święte. Przekład X. Jakóba Wujka. Warszawa. Glücksberg, 1889.

przedostać się przez powierzchnię wody, gdyż siła, z jaką jest wypychana do góry, nie wystarcza do pokonania napięcia powierzchniowego wody. Lecz jeżeli wpuścić do szklanki kilka kropel eteru, po-



Fig. 12.

czekać aż wyparuje i następnie wylać z niej choćby tylko parę eteru na powierzchnię wody, to pochłonięta przez wodę para eteru wystarcza do zmniejszenia jej napięcia powierzchniowego o tyle, że siatka natychmiast wyskakuje do góry. Lord Rayleigh obmyślił doświadczenie, które w sposób jeszcze bardziej uderzający wykazuje zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody przez parę eteru. Zaopatrzymy się w rurkę o postaci przedstawionej na rysunku (Fig. 12). Średnica dolnej części rurki nie powinna przenosić 16 milimetrów. Na górny koniec rurki nasuwamy rurkę kauczukową, przez którą wciągamy w szklaną rurkę wodę, aż się dostanie do węższej górnej części; poczem należy ostrożnie zdjąć rurkę kauczukową, a rurkę szklaną, napełnioną w taki sposób wodą, utwierdzić pionowo w statywie. Napięcie dolnej swobodnej powierzchniowej warstwy wystarcza do

podtrzymania zawartej w rurce wody, w skutek czego woda nie wylewa się z rurki. Lecz ustawmy pod naszą rurką naczynie z paru kroplami eteru. Jak tylko para eteru dotknie się dolnej błonki wody, napięcie jej zmniejsza się, błonka pęka, i woda zawarta w rurce natychmiast wycieka.

### Zastosowania praktyczne.

Rozważmy jeden dobrze wszystkim znany przypadek, w którym różnicę w napięciu powierzchniowym dwóch cieczy możemy obrócić na naszą korzyść; natomiast nierozsądne posługiwanie się tą własnością cieczy może mieć przykre następstwa. Prawie każdy, przy wywabianiu za pomocą benzyny tłustej plamy z odzieży, rozpoczyna zwykle od tego, że puszcza kilka kropel benzyny na plamę i po chwili dolewa jej znowu. Lecz oto co zachodzi. Stłuszczona benzyna posiada napięcie powierzchniowe większe, niż czysta, rozpościerając się zatem na wszystkie strony, pociąga za sobą benzynę czystą, i dla tego im więcej benzyny będziemy nalewali na środek plamy, tem bardziej powiększymy plamę. Jeżeli zaś przedewszystkiem nalać benzyny dookoła plamy, a dopiero potem na jej środek, wówczas stłuszczona benzyna zbiera się po środku i może być usunięta stamtąd za pomocą gałganka. Tak

samo napięcie powierzchniowe zimnego i gorącego tłuszczu jest różne, w skutek czego zachodzą ciekawe ruchy, jakie można dostrzedz w palącej się świecy. Wewnątrz płomienia tłuszcz posiada wyższą temperaturę, a zatem mniejsze napięcie powierzchniowe, niż u doła knota; przeto na powierzchni knota odbywa się ruch na zewnątrz, a jednocześnie z dołu tłuszcz chłodniejszy wznosi się w knocie w górę i w taki sposób reguluje światło świecy. Ruchy te łatwo dostrzedz, jeżeli na powierzchni tłuszczu pływają cząsteczki kurzu.

Na podobnych objawach polega możność usuwania tłustych plam z odzieży za pomocą kawałka gorącego metalu, np. za pomocą gorącego noża i bibuły.

Jako drugi przykład ruchu, wzbudzonego przez różnicę w napięciu powierzchniowym, może służyć ruch małych drobinek kamfory, rzuconych na powierzchnię wody; objaw ten zależy od niejednako-  
wego rozkładu wody kamforowej, której napięcie jest mniejsze, niż napięcie wody czystej (Patrz Dodatek I).

Przy malowaniu farbami wodnemi często zdarza się, jeżeli papier jest cokolwiek stłuszczony lub zbyt gładki, że farba zbiera się w pewnych miejscach i tworzy plamy. Po dodaniu jednak odrobiny wołowej żółci farba rozpościera się doskonale, ponieważ przez to napięcie powierzchniowe wody zmniejsza

się; a zatem woda, zawierająca nieznaczną nawet ilość żółci, może wilgocić powierzchnię, której woda czysta nie wilgoci. To działanie wołowej żółci można uwidocznic za pomocą przyrządu Van der Mennsbrugge'go (Fig. 4). Siatka przylegająca do powierzchni wody odskakuje, skoro tylko dotknać wody pędzelkiem, pokrytym żółcią wołową.

Wszystkie podane doświadczenia i przykłady przekonywają dostatecznie, że powierzchnia cieczy zachowuje się jakby doskonale sprężysta błonka, poddana pewnej oznaczonej ściągającej sile.

### **Ciśnienie wywierane na powierzchnię wody przez nóżki owadów.**

Widzieliśmy powyżej, że igła może unosić się na powierzchni wody, gdyż chroni ją od zatonięcia napięcie powierzchniowe wody. Tak samo owady mogą chodzić po wodzie, jeżeli ciśnienie wywierane przez nóżki owadu nie wystarcza do przerwania jej powierzchniowej błonki. H. H. Dixon<sup>1)</sup> obmyślił nader dowcipny sposób mierzenia tego ciśnienia. Nóżki owadu, a czasem i jego brzuszek tworzą na gładkiej powierzchni wody stożkowe wgłębienia, które działają na promienie światła jakby soczewki roz-

---

<sup>1)</sup> Nature. Vol. 47. 1892. Str. 57.

praszające. W skutek tego, jeśli złożyć owad na wodę nalaną w płaską miseczkę i oświetlić go odpowiednio, dostrzegamy na dnie naczynia cienie, odpowiadające wgłębieniom na powierzchni wody, w postaci krążków, z których każdy jest otoczony połyskującą linią. Średnica wgłębienia, a zatem i odpowiadającego mu cienia, znajduje się w nader prostej zależności od siły, z jaką nóżka owadu ciśnie na powierzchnię wody. Dla wykazania tej zależności H. Dixon przymocowuje nóżkę owadu do cienkiej słomki, która odgrywa rolę jednego ramienia wagi. Obciążając ją odpowiednio i mierząc zarazem średnicę cienia na dnie miseczki, można się przekonać, że średnica ta jest w przybliżeniu proporcjonalną do ciśnienia, wywieranego przez nóżkę. Jeżeli zatem podzielimy ciężar całego owadu w stosunku średnic cieni na dnie miseczki, wówczas otrzymamy w przybliżeniu ciężar, jaki dźwiga każda nóżka, a zatem i ciśnienie, jakie wywiera na powierzchnię wody. Do badań dokładniejszych można posługiwać się fotografią. Rycina



Fig. 13.

nasza (Fig. 13) przedstawia właśnie kopię z fotografii pająka (tarantuli), złożonego na powierzchni wody; powyżej pająka widzimy obraz cienia na dnie naczynia. Na końcu cieni trzech par tylnych nózek widać okrągłe cienie, odpo-



wiadające wgłębieniom pod nóżkami. W tym przypadku owad dotykał powierzchni wody i brzuszkiem, wskutek czego widzimy również odpowiadający temu cień. Ciężar pająka użytego do doświadczenia wynosił 30 miligramów. Jeżeli zmierzyć dokładnie średnice cieniów, odpowiadających wgłębieniom, i następnie podzielić w ich stosunku 30 miligramów, otrzymamy, co następuje: 2-ga nóżka z prawej strony dźwiga 1,875 mgr., 3-cia — 7,125 mgr., 4-ta — 3,375 mgr.; 2-ga nóżka z lewej strony — 1,875 mgr., 3-cia — 5,25 mgr., 4-ta — 3 mgr.; brzuszek dźwiga 4,5 mgr. Ten sam badacz wykazał, że podczas chodzenia pająk podtrzymuje cały swój ciężar na trzech nóżkach, mianowicie na 2-iej i 4-iej z jednej strony i 3-iej z drugiej strony. Po wykonaniu odpowiednich pomiarów na fotografii pająka, użytego do poprzedniego doświadczenia, zdjętej z niego, podczas gdy chodził po wodzie, okazało się, że 2-ga prawa noga wywierała ciśnienie, równe ciężarowi 9,5 mgr., 4-ta prawa — 10,25 mgr. i 3-cia lewa — również 10,25 mgr.

### Kulisty kształt kropli cieczy.

Puśćmy z góry na dół niewielką ilość wody, na przykład tyle, ile się mieści w lupince orzechowej. Cóż się okaże? Woda spada na dół, aż uderzy o po-

dłogę. Lub też przypuśćmy, że wylewamy taką samą ilość wody na płytkę parafinową, posypaną proszkiem nasienia widłakowego (semen lycopodii), którego woda nie wilgoci; co się w tym razie z nią stanie? W tym razie ciężar kropli, który ją zmuszał wprzód do padania, teraz przyciska ją do parafiny i rozpościera po płytce. Coby zaszło, gdyby usunąć kroplę z pod wpływu siły ciężkości, ciągnącej ją ku ziemi? W tym razie na kroplę działałaby tylko jej sprężysta błonka powierzchniowa, która dąży do sprowadzenia zawartej w niej cieczy do takiej formy, w której powierzchnia byłaby najmniejszą; w tym więc razie kropla przybrałaby postać dokładnie kulistą, ponieważ w żadnym innym razie dana objętość nie odpowiada mniejszej powierzchni. Gdybyśmy zamiast tak dużej ilości wody wzięli tylko jedną kroplę, nie większą nad główkę od szpilki, wówczas ciężar jej, który ją przyciska do podstawy lub zmusza do padania, byłby znacznie mniejszy, natomiast napięcie błonki pozostałoby takim samym; a więc błonka miałaby większą możność sprowadzenia kropli do odpowiedniej postaci. Można zatem przypuszczać, że jeżeli wziąć dostatecznie małą ilość wody, w takim razie napięcie, czyli ściągająca siła błonki, będzie w stanie pokonać ciężar kropli, i że dla tego małe kropelki cieczy powinny być dokładnie kulistemi. Aby zrozumieć to jeszcze lepiej, rozważmy przykład następny. Można,

w sposób dobrze znany chłopcom, wyrobić z papieru pudełko, dające się napęlić wodą (Fig. 14). Otóż pudełko takie o zawartości decylitra, napęliżone wodą i rzucone z całej siły w powietrze, nie rozlatuje się, gdyż wytrzymałość papierowej powłoki wystarcza do zachowania go w całości; pudełko nie rozrywa się, dopóki nie trafi na jakiś twardy przedmiot. Lecz podobne pudełko, wyrobione z ca-

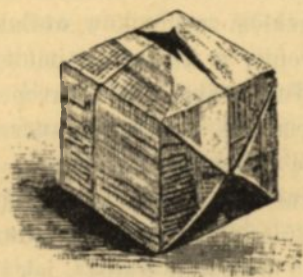


Fig. 14.

łego arkusza gazety, zaledwie może utrzymać nalaną weń wodę; można weń nalać wody, lecz już gdy je przenosić, rozrywa się, i woda zawarta w niem wycieka. Tak samo błonka powierzchniowa nie może nadać kulistej postaci większej ilości cieczy, lecz małym kroplom nadaje postać tak doskonale kulistą, że nawet przy bardzo uważnem oglądaniu nie można dostrzedz żadnej niedokładności. Łatwo to sprawdzić na rtęci; większa ilość rtęci

przybiera na stole postać podobną do płaskiego placuszka ; lecz jeżeli wylać rtęć na stół z pewnej wysokości, wówczas rozbija się na małe krople dokładnie kuliste. Taka sama różnica daje się dostrzedz w ziarnkach złota rozmaitej wielkości. Teraz znajdują się one w stanie stałym, lecz niegdyś były płynne i zakrzepły w takiej postaci. Większe ziarnka mają kształt spłaszczonej kuli, mniejsze zaś są doskonale kuliste. Woda rozlana na stół, posypany drobnym proszkiem zarodników widłakowych, rozbija się na krople, z których najmniejsze mają postać kulek. Takie same kuliste kropelki wody można widzieć podczas polewania kurzem pokrytych ulic za pomocą polewaczek.

Gdyby można było usunąć wpływ ciężkości, czyli siły przyciągania ziemi, wówczas duże krople byłyby tak samo dokładnie kuliste, jak i małe. Wykazał to w bardzo piękny sposób Plateau, uczony dotknięty zupełną ślepotą. Plateau umieszczał jedną ciecz wewnątrz drugiej, równie ciężkiej, jak pierwsza, i niedającej się z nią pomieszać. Alkohol jest lżejszy od oliwy, woda cięższa od niej ; odpowiednia zatem mieszanina wody i alkoholu posiada ciężar właściwy równy ciężarowi właściwemu oliwy. Otóż oliwa, umieszczona w takiej mieszaninie, pozostaje w niej zawieszoną, nie podnosząc się ku górze, ani nie opadając na dół. Wprowadźmy za pomocą pipetki w szklane naczynie, zawierające taką

właśnie mieszaninę, pewną ilość oliwy. Po usunięciu pipetki otrzymamy dokładnie kulistą oliwną kroplę tak wielką, jak orzech włoski. W taki sam sposób możemy otrzymać dwie, trzy lub więcej takich kropeł, a wszystkie przybierają postać kulistą. Zwróćmy uwagę na pewne zjawisko, do którego powrócimy jeszcze później. Jeżeli uderzyć taką kulistą kroplę, zmienia ona swój kształt, lecz odzyskuje stopniowo postać pierwotną, przyczem mniejsza kropla odzyskuje swą kulistą postać daleko prędzej, niż większa. Posługując się tem samem naczyniem (Fig. 15), można przeprowadzić bardzo piękne doświadczenia. Przesunimy w tym celu przez naczynie metalowy pręcik, zakończony rączką, za pomocą której można go obracać; koniec pręcika opiera się o dno naczynia. Po środku pręcika jest osadzona metalowa blaszka, którą przy zachowaniu pewnych ostrożności można pomieścić w środku kulki oliwnej. Jeżeli wprawimy pręt w ruch obrotowy, spostrzegamy, że kulka oliwy obraca się wraz z prętem. W miarę przyspieszania ruchu, oliwa poczyną dążyć do rozplynięcia się we wszystkich kierunkach, lecz błonka sprężysta przytrzymuje ją przy osi; wskutek tego kulka oliwy tylko spłaszcza się przy biegunach i przybiera postać naszej ziemi. Przy dość szybkim ruchu obrotowym dążność oliwy do rozplynięcia się bierze górę nad napięciem powierzchniowym, i odrywa się pierścień (Fig. 16), który zre-

szą przy zwolnieniu ruchu powraca napowrót do pozostałej reszty kuli oliwnej. Jeżeli jeszcze bardziej powiększyć szybkość, pierścień rozpada się

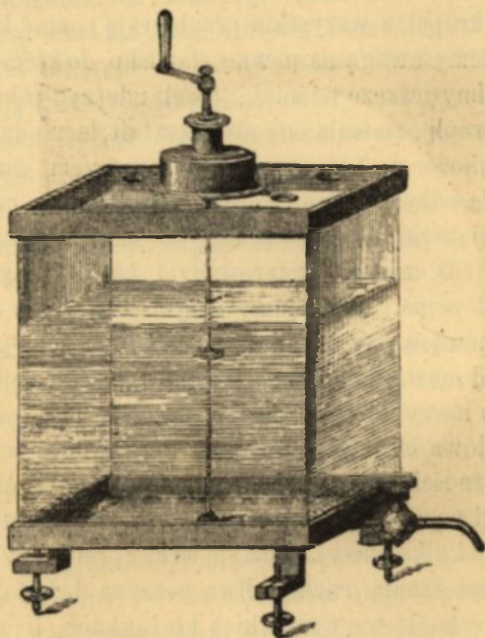


Fig 15.

na kilka części, a te, przybrawszy postać kulistą, obiegają wokół spłaszczonej kuli, pozostającej na pręciku (Fig. 17). To doświadczenie Plateau mimo-woli przypomina ruchy ciał niebieskich. Widzimy

tu jedno ciało środkowe i cały szereg kulek rozmaitych wielkości; a wszystkie obracają się w tym samym kierunku. Jakkolwiek siły, które działają pomiędzy ciałami niebieskimi, są zupełnie różne od sił, tu występujących, jednakże doświadczenie to

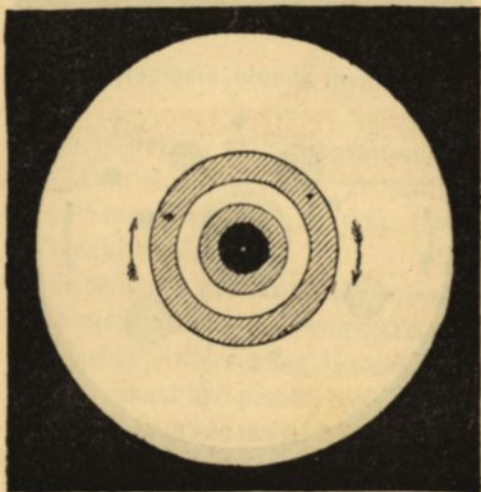


Fig. 16.

pozwała zdać sobie sprawę z tego, co zachodziło przy powstawaniu światów.

Dowiedzieliśmy się, że napięcie powierzchniowej błonki może i dużej ilości cieczy nadać postać kulistą, jeżeli tylko usunąć ją z pod wpływu ciężkości, co też uczyniliśmy w poprzednim doświadczeniu.

Wpływ ten, praktycznie rzecz biorąc, nie istnieje w przypadku baniek mydlanych, gdyż powłoka ich jest tak cienka, że cała bańka nie posiada prawie żadnego ciężaru. Każdemu wiadomo, że bańka my-

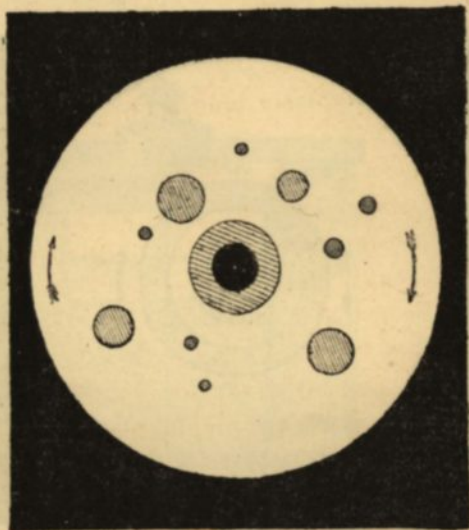


Fig. 17.

dlana ma postać kulistą; my możemy nawet powiedzieć, czemu się tak dzieje; otóż bańka mydlana przybiera postać kuli, ponieważ jej sprężysta powłoka jest poddana pewnej ściągającej sile. wskutek czego musi przybrać postać o najmniejszej powierzchni zewnętrznej, a więc postać kulistą. Nale-



ży zwrócić uwagę na pewien objaw, który dostrzeżliśmy już przy doświadczeniu Plateau. Mianowicie duża bańka mydlana, jeżeli zmienić jej kształt przez uderzenie pałeczką owiniętą watą, zostaje przez to wprawiona w drgania powolniejsze, niż bańka mała.

### **Napięcie błonek mydlanych.**

Zanim pójdziemy dalej, postaramy się wykazać wprost przez doświadczenia, że mydlana powłoka bańki jest rzeczywiście sprężystą, podobną do napiętej błonki kauczukowej.

Bańka mydlana, utworzona przez cienką warstwę płynu, posiada z obu stron, wewnętrzną i zewnętrzną, swobodną powierzchnię, a zatem i powierzchnię błonkę; musi być przeto sprężystą. Można to stwierdzić przez wiele doświadczeń, najłatwiej jednak uwidocznić to przez doświadczenie następujące. W dwóch przeciwległych miejscach pierścienia z drutu miedzianego przywiążmy końce jedwabnej nitki, bacząc, by nie była naprężoną, poczem zanurzymy pierścień w roztwór mydlany. Skoro go wyjmemy, przekonamy się, że w obrębie pierścienia jest naciągnięta cienka błonka, po której nasza nić porusza się zupełnie swobodnie. W chwili jednak, gdy przebijemy błonkę po jednej stronie, nitka rozciąga się i przyjmuje postać dokładnego łuku koła (Fig. 18).

Pochodzi to stąd, że nienaruszona część błonki usiłuje zająć przestrzeń jak najmniejszą, a więc uczynić przestrzeń pozostałą jak największą. W innym pierścieniu nitka po środku jest podwójną, tak że tworzy pętelkę. Skoro przebijemy błonkę wewnątrz

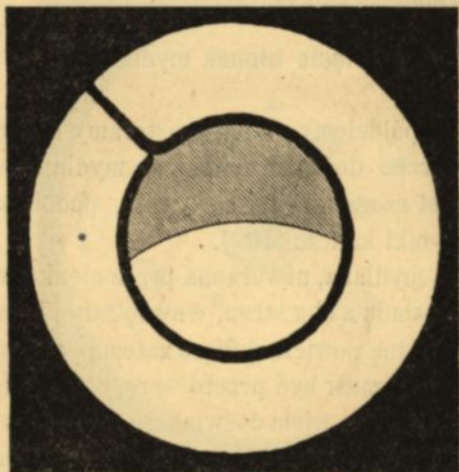


Fig. 18.

pętelki, wówczas pętelka rozszerzy się i utworzy doskonałe koło (Fig. 19), gdyż w takim razie nienaruszona część błonki zajmuje przestrzeń o możliwie najmniejszym polu, a więc przestrzeń wewnętrzną, ograniczoną nicią, jest, o ile można, największą. Koło to, nie zmieniając swego kształtu, może zupełnie swobodnie przesuwać się w obrębie pierścienia,

ponieważ taki ruch wcale nie zmienia pola nienaruszonej błonki.

Wydmyjmy bańkę mydlaną i złożmy ją na pierścieniu drucianym; prócz tego zawieśmy u spodu jej drugi znacznie lżejszy pierścień. Ażeby zaś lepiej uwidocznic, co zajdzie, wprowadźmy do wnętrza

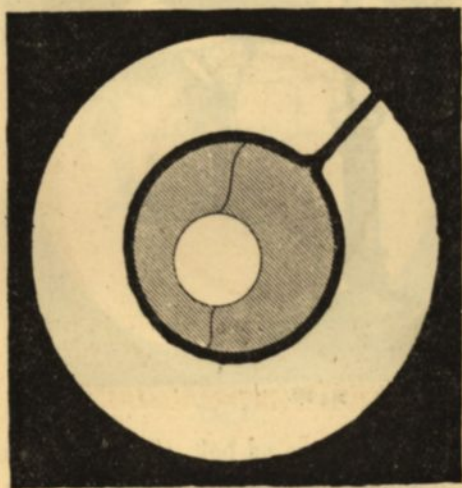


Fig. 19.

niewielko dymu tytoniowego. Jeżeli teraz przebić część bańki, znajdującą się w obrębie pierścienia (wierzchniego), pozostała część bańki natychmiast, ściągając się, wypędza dym i podnosi mały pierścień do góry. Obydwa działania ujawniają sprężystość błon-

ki, tworzącej bańkę. Jeżeli wydadź bańkę u spodu małego lejka i zbliżyć otwarty koniec do płomienia świecy, to powietrze wypychane z bańki dmucha na

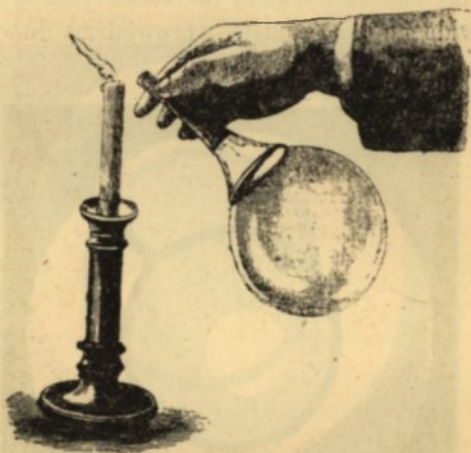


Fig. 20.

płomień i odchyła go na bok (Fig. 20). Doświadczenie to wykazuje, że bańka mydlana działa, jakby sprężysty worek, i usiłuje wypędzić na zewnątrz zawarte w niej powietrze.

### Ciśnienie i krzywizna.

Przekonaliśmy się, że dzięki sprężystości błonki, tworzącej bańkę mydlaną, powietrze wewnątrz niej

zawarte doznaje pewnego ciśnienia i usiłuje wyostać się na zewnątrz. Nie wiemy jeszcze, w jakiej bańce ciśnienie jest większe, w dużej czy w małej? Proste doświadczenie wykaże nam to. Posłuży nam tu urządzenie, składające się z dwóch rurek, zaopa-

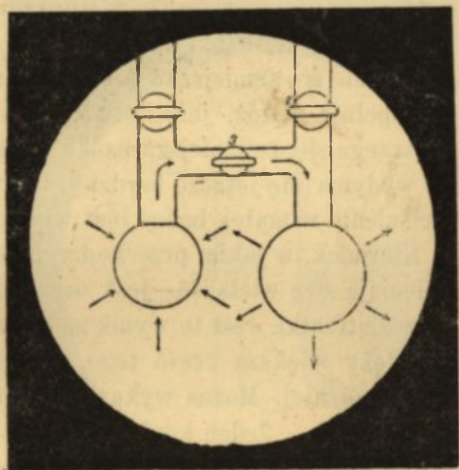


Fig. 21.

trzonych kranami, i połączonych za pomocą trzeciej rurki równie z kranem. Wydmijmy najpierw jedną bańkę i zamknijmy kran 1 (Fig. 21), następnie drugą i zamknijmy kran 2. Te dwie bańki są niejednakowej wielkości, lecz kran 3 pozostaje zamkniętym, i powietrze nie może przedostawać się

z jednej do drugiej. Jeżeli ciśnienie w bańce większej jest większe, niż w mniejszej, w takim razie, po otwarciu kranu 3, powietrze będzie przepychane z większej bańki do mniejszej, i większa bańka poczuje się ściągać, a mniejsza wydymać, aż będą jednakowe; jeżeli zaś, odwrotnie, ciśnienie jest większe w mniejszej bańce, wówczas powietrze przechodzić będzie z mniejszej bańki do większej, i mniejsza bańka poczuje się zmniejszać jeszcze bardziej, aż zniknie zupełnie. Otóż, jeżeli otworzyć kran 3, od razu dostrzega się, że mniejsza bańka ściąga się, a większa wydyma się jeszcze bardziej, co wykazuje, że ciśnienie w małej bańce jest większe, niż w dużej. Kierunek, w jakim przechodzi powietrze i bańki zmieniają swą wielkość — jest oznaczony na rysunku przez strzałki. Jest to wynik nader ważny, i od niego zależy większa część tego, o czym będziemy mówili później. Można wykazać to samo jeszcze w inny sposób. Jeden koniec szklanej rurki, zgiętej w kształt głoski U i napełnionej do połowy wodą, jest połączony z rurką, za pomocą której możemy wydać bańkę. Od razu daje się dostrzedz zmianę w ciśnieniu przy zmianie wielkości bańki, gdyż przy powiększeniu ciśnienia woda w rurce U przemieszcza się, mianowicie przesuwa się na dół w jednym ramieniu i wznosi do góry w drugim; różnica poziomów wody w obu ramionach pozwala określić ciśnienie wewnątrz bańki. Jeżeli wydać dość małą

bańkę, wówczas różnica poziomów wody w obu ramionach wynosi prawie 1 centymetr; jeżeli bańka się powiększa, ciśnienie wewnątrz jej zmniejsza się, przeto zmniejsza się i różnica poziomów wody w rurce; gdy bańka powiększy się dwa razy, ciśnienie

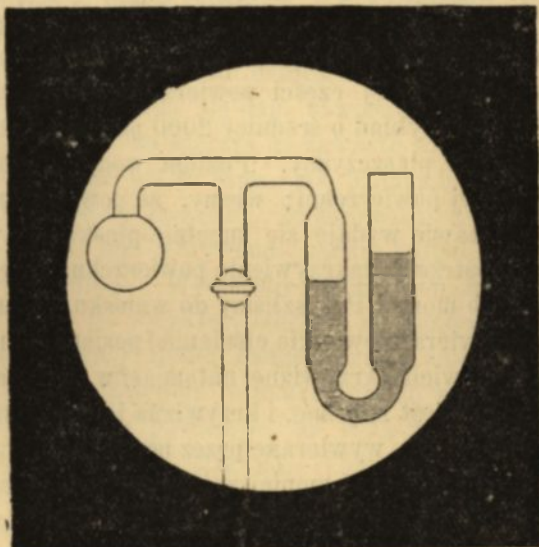


Fig. 22.

będzie dwa razy mniejsze. Jednym słowem, im bańka jest mniejszą, tem większe wywiera ciśnienie. Ponieważ napięcie powłoki bańki pozostaje zawsze jednakowem, wnosimy zatem, że ciśnienie wewnątrz bańki zależy jedynie tylko od jej krzywizny. Mówi

się zwykle, że im większy jest obwód koła, tem mniejsza jest jego krzywizna; naprzykład o łuku małego koła mówimy, że jest bardzo zakrzywiony, a o łuku dużego koła, że jest nieznacznie zakrzywiony. Łuk bardzo dużego koła trudno odróżnić od linii prostej, o której mówimy, że wcale nie jest zakrzywiona. Z częścią powierzchni kuli zachodzi to samo: im większą wziąć kulę, tem mniejsza jest jej krzywizna; niewielkiej części powierzchni bardzo dużej kuli, naprzykład o średnicy 2000 mil, nie można odróżnić od płaszczyzny. Poziom wody stanowi część takiej powierzchni; wiemy, że powierzchnia wody w stawie wydaje się zupełnie płaską, łatwo jednak dostrzedz zakrzywienie powierzchni dużego jeziora lub morza. Przyszliśmy do wniosku, że duża bańka wywiera niewielkie ciśnienie i posiada jednocześnie niewielką krzywiznę; natomiast w małej bańce ciśnienie jest znaczne, i krzywizna jej jest duża. Ciśnienie zatem, wywierane przez bańkę, i jej krzywizna powiększają i zmniejszają się jednocześnie. Oto czego nauczyło nas doświadczenie z dwiema bańkami niejednakowej wielkości.

Postać kulista nie jest jedyną, jaką może przyjąć bańka mydlana; rozciągając ją pomiędzy dwoma pierścieniami, można łatwo nadać jej postać okrągłej, pustej wewnątrz rurki, którą nazywają walcem (cylindrem). Mówiliśmy dotychczas o krzywiznie kuli; jaką też krzywiznę posiada powierzchnia walca? Jeżeli pa-



trzeć na walec z boku, wydaje się prostym, t. j. nieposiadającym krzywizny (czyli posiadającym krzywiznę równą zeru); jeżeli patrzeć na niego z góry, wydaje się okrągłym, przeto posiadającym określoną krzywiznę. Jak zatem określić krzywiznę walca? Ciśnienie w bańce zależy od jej krzywizny, jeżeli mamy do czynienia z bańką kulistą. Można to zastosować również i do baniek o jakiegokolwiek postaci. Jeżeli uda się nam utworzyć bańkę kulistą, któraby wywierała na zawarte w niej powietrze ciśnienie także samo, jak badana bańka walcowa, wówczas powiemy, że krzywizna tego walca jest taka, jak krzywizna bańki kulistej, która go równoważy. Wydmijmy na obu końcach krótkiej rurki po zwykłej bańce i za pomocą drugiej rurki nadajmy dolnej bańce kształt mniej więcej walcowy; następnie wdmuchujmy do wnętrza baniek stopniowo powietrze, aż boki walca wyprostują się zupełnie (Fig. 23). Ciśnienie w obu bańkach jest teraz zupełnie jednakowe, powietrze bowiem może swobodnie przedostawać się z jednej do drugiej. Jeżeli zmierzmy średnice otrzymanych baniek kulistej i walcowej, przekonamy się, że średnica kuli jest dwa razy większą, niż średnica walca. Lecz kula o średnicy dwa razy większej posiada krzywiznę dwa razy mniejszą. Ponieważ zaś wiemy, że walec posiada krzywiznę taką samą, jak otrzymana duża bańka kulista, gdyż ciśnienie we-

wewnątrz niego równoważy ciśnienie, wywierane przez tę bańkę, musi przeto posiadać krzywiznę dwa razy mniejszą, niż kula o takiej samej średnicy, i ciśnienie wewnątrz walca musi być dwa razy mniejsze, niż wewnątrz bańki o takiej samej średnicy.

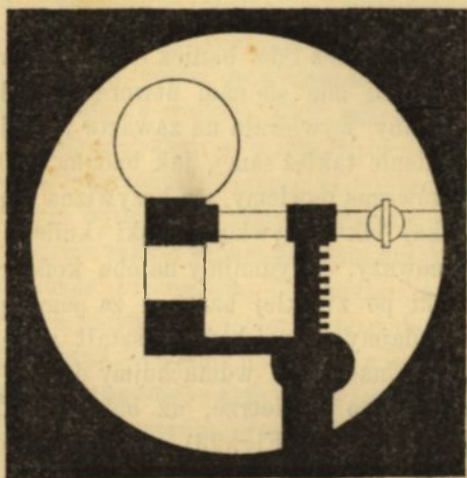


Fig. 23.

Pójdźmy jeszcze dalej w rozważaniu krzywizny. Teraz, gdy kula i walec równoważą się wzajemnie, wdmuchajmy do ich wnętrza cokolwiek powietrza, aby powiększyć bańkę kulistą; jak się zachowa w tym razie walec? Walec nie może zmieniać swej długości, może się zatem tylko zwęzać lub rozszerzać. Łatwo dostrzedz, że przy powiększeniu kuli

walec zwęza się w jednym miejscu. Jeżeli więc wdmuchiwać powietrze, kula wciąż powiększa się, a walec zwęza się coraz bardziej, zbliżając się do pewnej granicy. Gdy wierzchnia bańka będzie bardzo dużą, ciśnienie będzie bardzo małym. Możemy wreszcie zupełnie znieść ciśnienie, wprost przebijając bańkę kulistą; pozostała bańka w tym razie nie powinna wcale posiadać krzywizny, gdyż ciśnienie wewnątrz niej nie różni się od ciśnienia otaczającego powietrza. Pomimo-to bańka ta jest zakrzywiona ku wnętrzu. Możemy przeprowadzić ostatnie doświadczenie na większą skalę. Weźmy dwa szklane pierścienie i naciągnijmy pomiędzy nimi błonkę mydlaną (Fig. 24). Nie tylko jej kontur jest zakrzywiony ku wnętrzu, lecz i wogóle cała jej postać jest taka sama, jak postać bańki, otrzymanej w poprzednim doświadczeniu po przebicciu bańki kulistej. Ponieważ w tym razie nie ma żadnego ciśnienia, więc i błonka nie powinna posiadać żadnej krzywizny, jeżeli to, co powiedzieliśmy, jest słusznem. Spójrzcie jednak na rysunek? Czyż można powiedzieć, że błonka nie jest zakrzywiona? A jednak wyprowadziliśmy poprzednio wniosek, że ciśnienie i krzywizna powstają i nikną jednocześnie. Mogłoby się zatem zdawać, że wniosek ten jest niedorzeczny. Dokładne obejrzenie gipsowego modelu podobnie zakrzywionej matematycznej powierzchni (Fig. 25) usunie pozorną sprzeczność. Wytnijmy

z tektury krążek o średnicy równej średnicy modelu w najwęższym miejscu i trzymajmy go dotkniętym krawędzią do tego miejsca. Odrazu można dostrzedz, że na niewielkiej przestrzeni krążek dokła-

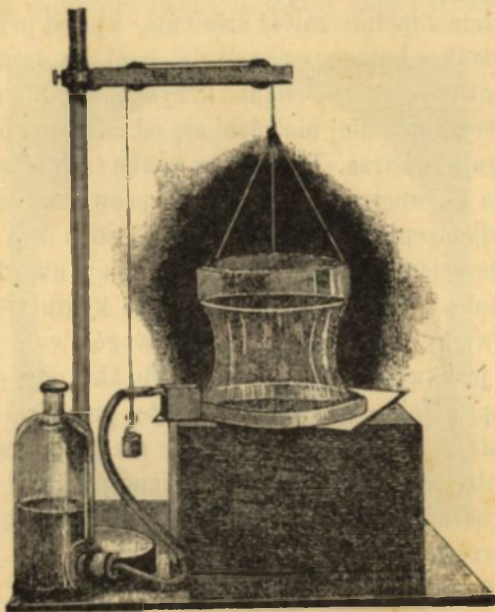
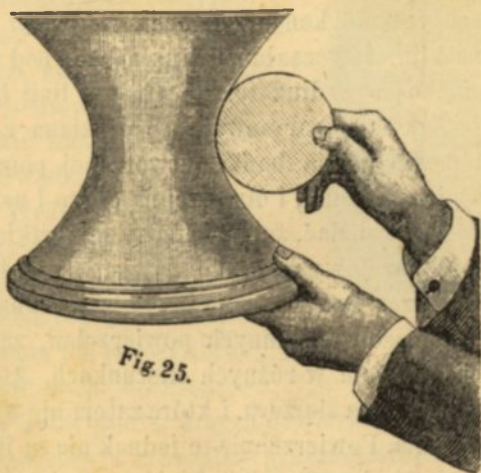


Fig. 24.

dnie stosuje się do zakrzywienia modelu. Wynika stąd, że w tem miejscu powierzchnia jest jednakowo zakrzywiona ku wnętrzu (widziana z boku) i na zewnątrz (widziana z góry), w dwóch wzajemnie pro-

stopadłych płaszczyznach. Wklęsłość wewnętrzna powiększa ciśnienie, natomiast wklęsłość zewnętrzna usiłuje je zmniejszyć; ponieważ zaś obie te krzywizny są sobie równe, przeto równoważą się wzajemnie, i ciśnienie wewnątrz bańki o takiej powierzchni nie istnieje, czyli jest równe ciśnieniu otacza-



jącego powietrza. Jeżeli w podobny sposób będziemy rozważać naszą powierzchnię w różnych miejscach, to przekonamy się, że wynik otrzymany dla najwęższego jej miejsca, stosuje się również do każdej jej części. Powierzchnie, które, jak dopiero co przytoczona, w każdym punkcie są zakrzywione (w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach)

jednakowo co do wielkości zakrzywienia, lecz wprost odwrotnie, zowią się powierzchniami o krzywiznie równej zeru. Ta powierzchnia, którą rozważaliśmy, nazywa się powierzchnią łańcuchową, czyli katenoidem, od łacińskiego słowa *catena*, co znaczy łańcuch, ponieważ ją można otrzymać przez obrót dookoła osi krzywej linii, zwanej linią łańcuchową. Jeżeli przyczepić końce łańcucha w dwóch miejscach na kiju, wówczas łańcuch układa się pod wpływem ciężkości wzdłuż takiej właśnie linii łańcuchowej. Tak samo zarysowuje się widziana z boku boczna powierzchnia bańki, utworzonej pomiędzy dwoma pierścieniami, i otwartej na górze i na dole. Należy jeszcze dodać, że z pomiędzy wszystkich powierzchni obrotowych, tylko powierzchnia łańcuchowa i płaszczyzna posiadają krzywiznę równą zeru. Istnieje jeszcze wiele innych powierzchni, zakrzywionych pozornie w różnych kierunkach, których krzywizna równa się zeru, i które zatem nie wywierają ciśnienia. Powierzchnie te jednak nie są już powierzchniami obrotowymi, t. j. nie mogą być otrzymane przez obrót krzywej linii dookoła osi. Można je przedstawić, zanurzając w roztworze mydlanym różne szkielety druczane; po wyjęciu otrzymamy rozliczne powierzchnie o krzywiznie zawsze równej zeru. Jedną z takich powierzchni jest powierzchnia śrubowa. Dla otrzymania jej należy do metalowego pręcika przylutować kawałek drutu, zwi-

nięty kilka razy tak, aby tworzył linię śrubową (Fig. 26). Powierzchnia śrubowa, jaka się tworzy przez zanurzenie takiego szkieletu w roztworze mydlanym, jest nader godna widzenia. Nie ma możliwości za pomocą rysunku dać dokładnego pojęcia o doskonałej postaci tej powierzchni; lecz, na szczęście, jest to jedno z doświadczeń, jakie każdy sam przeprowadzić może.

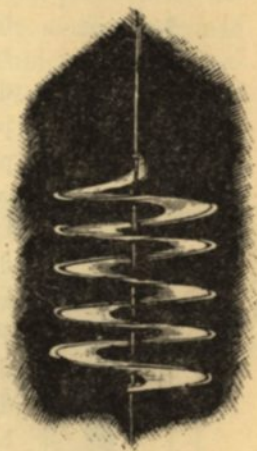


Fig. 26.

Weźmy teraz szkielety druciane, przedstawiające krawędzie brył umiarowych. Po zanurzeniu ich w roztworze mydlanym otrzymujemy znów szereg innych powierzchni. Niech szkielet przedstawia krawędzie graniastosłupa trójkątnego; w takim razie wszystkie utworzone w nim powierzchnie są płaskie; płaskie błonki w ilości nie większej nad 3 przecinają się wzdłuż jednej krawędzi, tworząc pomiędzy sobą wszędzie jednakowe kąty (Fig. 27). Ponieważ mamy do czynienia z graniastosłupem trójkątnym, nie dziwimy się, że płaszczyzny przecinają się po trzy wzdłuż jednej krawędzi.

Możnaby sądzić, że w razie, jeżeli wziąć szkielet graniastosłupa czworokątnego, może się przecinać wzdłuż jednej krawędzi po cztery błonki. Lecz jest

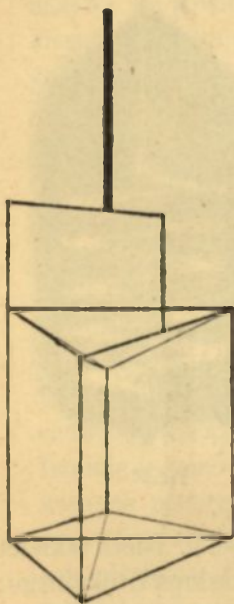


Fig. 27.

to rzecz godna zastanowienia, że, choćby szkielet użyty do doświadczenia był bardzo nieprawidłowy i złożony, pomimo to nigdy nie może się przecinać wzdłuż jednej krawędzi więcej nad 3 błonki, i nie może się spotykać w jednym punkcie więcej nad 4 krawędzie, lub 6 błonek. Prócz tego błonki i krawędzie tworzą zawsze jedna z drugą kąty jednakowe. Gdyby zdarzyło się, że w pewnej chwili wzdłuż jednej krawędzi przecinałyby się cztery błonki, lub że w jednym punkcie spotykałoby się więcej nad 4 krawędzie, lub nad 6 błonek, to taka postać o-

trzymanej kombinacji błonek byłaby niestałą, i błonki poczęłyby się ślizgać jedna po drugiej, aż doszłyby do takiego położenia, jakie odpowiada równowadze stałej. Można to uwidocznic przez łatwe doświadczenie, jakie każdy sam wykonać może.



Pomiędzy dwie równoległe szklane płytki, które przedstawiają dwa boki skrzyneczki, i są odległe jedna od drugiej prawie o  $1\frac{1}{2}$  centymetra, nalewa się roztworu mydlanego. Dmuchaając przez rurkę, dochodzącą aż do dna tego naczynia, można otrzymać pomiędzy płytkami dużą ilość baniek. Jeżeli średnica ich jest większa, niż odległość pomiędzy płyt-

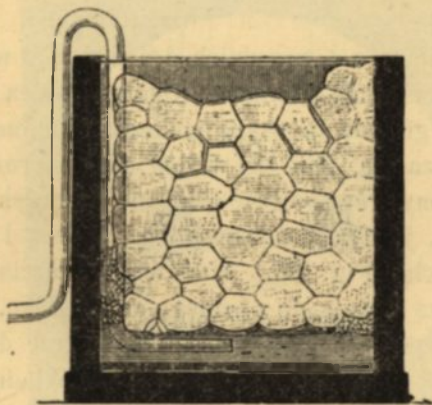


Fig 28

kami, można dostrzedz, że nigdzie nie spotyka się razem więcej nad trzy błonki, i że kąty pomiędzy niemi są wszędzie jednakowe (Fig. 28). Zapewne, krzywizna błonek w tym razie utrudnia dostrzeżenie tego, że wszystkie kąty są równe; lecz można usunąć błąd spostrzeżenia, biorąc pod uwagę tylko bardzo małe długości boków tych kątów. Podczas

tworzenia się baniek w tem doświadczeniu czasem zbyt wiele błonek spotyka się w jednym punkcie, lub wzdłuż jednej krawędzi; lecz w tej chwili błonki poczynają się ślizgać jedna po drugiej, aż dojdą do stanu równowagi stałej.

### Trwałość postaci walców.

W jednym z poprzednich doświadczeń widzieliśmy, że ciśnienie wewnątrz krótkiego walca zmniejsza się, gdy się on zwęża po środku, i przeciwnie, powiększa się, gdy się w tem miejscu rozszerza. Spróbujmy zrównoważyć ciśnienie w dwóch takich walcach, jednym z powierzchnią wklęsłą i drugim z wypukłą (Fig. 29). W chwili otwarcia kranu powietrze dostaje się z jednego do drugiego, mianowicie wypukła bańka wypędza powietrze do wklęsłej, i wreszcie obie bańki stają się dokładnie walcowemi, z konturami prostoliniowymi. Na rysunku kierunek, w jakim porusza się powietrze i boczne ścianki walców, jest oznaczony za pomocą strzałek. Przeprowadźmy to samo doświadczenie z walcami znacznie dłuższymi; niech na przykład ich długość będzie dwa razy większa od szerokości. Przypuśćmy, żeśmy otrzymali takie dwa walce również, jak i poprzednio, jeden z bokami wklęsłymi, drugi — z wypukłymi. W chwili otwarcia kranu, co pozwala

powietrzu dostawać się z jednej bańki do drugiej, walec wypukły wydyma się, a walec z bokami wklęsłymi zwięża się jeszcze bardziej i wreszcie rozpada się na dwie części. Takie więc dwa walce zachowują się wprost przeciwnie, niż walce krótkie.

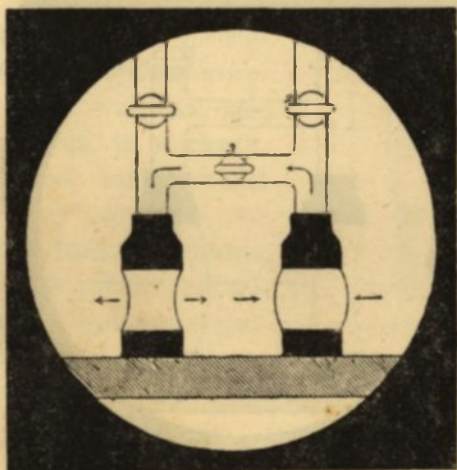


Fig. 29.

Jeżeli przeprowadzić szereg doświadczeń z walcami o rozmaitych długościach, łatwo można przekonać się, że ta zmiana w zachowaniu się walców występuje, gdy długość ich staje się większą, niż półtora raza wzięta średnica. Umieścmy jeden nad drugim

dwa walce tej drugiej kategorii; powstaje bańka walcowa, której długość przenosi cokolwiek trzy razy wziętą średnicę. Taka bańka pozostaje w równowadze niestałej i może tylko przez krótką chwilę zachowywać swą postać, gdyż, jeżeli tylko w ja-

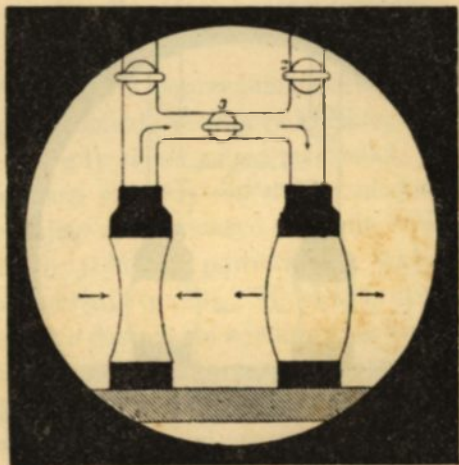


Fig. 30.

kiembądź miejscu powstanie zwężenie lub rozszerzenie, musi się ono powiększyć; część bańki zwężona wypędza powietrze w część rozszerzoną (Fig. 31), aż ścianki zwężonego końca bańki zejdą się razem. Największa długość walca, pozostającego

jeszcze w równowadze stałej, wynosi cokolwiek więcej, niż potrójna jego średnica. Walec przechodzi w stan równowagi niestałej, gdy jego długość staje się równą obwodowi; obwód zaś wynosi dokładnie  $3\frac{1}{2}$  średnicy. Jeżeli rozsuwać stopniowo pierścienie, pomiędzy którymi została utworzona bańka walcowa, można dostrzedz, iż w chwili, gdy długość bańki wynosi prawie trzy razy tyle, co szerokość, bańka raptownie zwięża się w pobliżu jednego z pierścieni, wreszcie rozpada się na dwie części, tworząc dwie bańki kuliste niejednakowej wielkości.

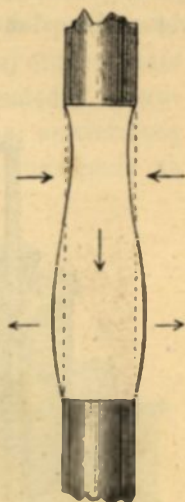


Fig. 31.

### Magnetyzm tlenu.

Faraday w 1845 roku dostrzegł, że tlen jest przyciągany przez bieguny silnego elektromagnesu mocniej, aniżeli powietrze, czyli że tlen jest ciałem paramagnetycznym. Jeżeli pomiędzy biegunami potężnego elektromagnesu umieścić bańkę mydlaną, napełnioną tlenem, wówczas, w chwili zamykania

lub przerywania prądu w cewkach, można zauważyć zaledwie niewielkie drgania bańki. Lecz nawet nader słabe działanie zewnętrzne wywołuje

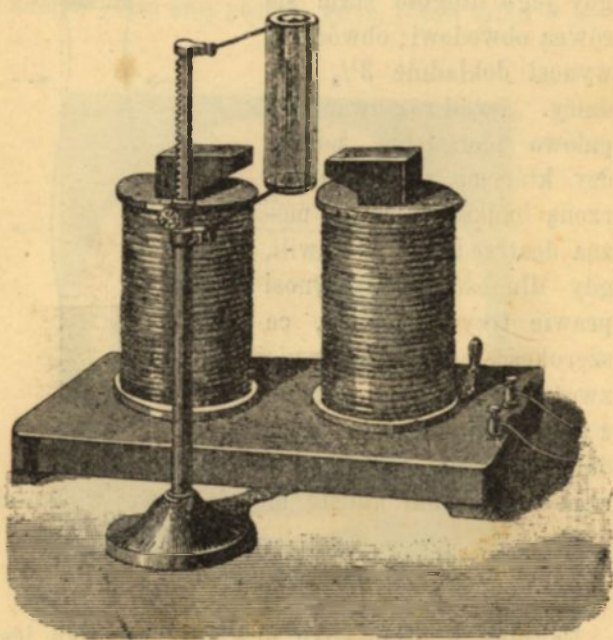


Fig. 32.

znaczłą zmianę w postaci bańki i wprawia ją w mocne drganie. To pierwsze zatem doświadczenie wykazuje, że tlen jest nader słabo magnetyczny,

i że należy się zwrócić ku bardziej czulej metodzie badania. Tu właśnie można zużytkować tę własność bańki mydlanej walcowej, że przechodzi w stan równowagi niestąlej, skoro jej długość staje się równą obwodowi. Umieścimy pomiędzy biegunami elektromagnesu bańkę mydlaną, zawierającą poprzednio odmierzoną ilość tlenu; następnie za pomocą dwóch

pierścieni nadajemy jej postać walca i rozciągamy stopniowo dopóty, aż jego długość będzie wynosiła prawie tyle, co i obwód (Fig. 32). W chwili, gdy zamykamy prąd, bańka rozpada się na

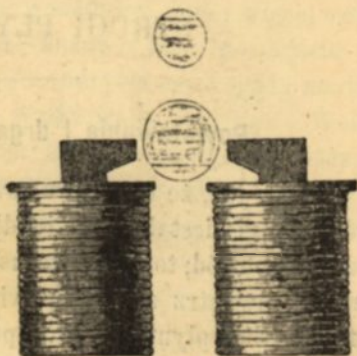


Fig. 32.

dwie niejednakowej wielkości, z których większa pozostaje na pierścieniu dolnym, umieszczonym bliżej od biegunów elektromagnesu (Fig. 33).

## STRUGI PŁYNNE.

---

### Powstawanie i drganie kropeł.

Wiemy już, że bańka walcowa przechodzi w stan równowagi niestąlej, gdy jej długość staje się większą, niż obwód; toż samo zachodzi, jeżeli błonka zawiera wewnątrz zamiast powietrza płyn. Wynika stąd, że długi płynny walec, raptownie utworzony, nie może zachować swej postaci i rozpada się na szereg kropeł, lecz tak szybko, że nie ma możliwości widzieć powstawania każdej z osobna. Można jednak uwidocznić różnymi sposobami, jak się to odbywa. Widzieliśmy poprzednio, że można utworzyć dużą kroplę z jednego płynu, umieszczając go w innym płynie, aby usunąć z pod wpływu siły ciężkości. Duże krople zmieniają kształt daleko powolniej, niż małe; przeto posługując się dużemi kroplami, łatwiej zauważyć, co, i jak zachodzi. Należymy w szklaną skrzyn-



kę wody, zabarwionej na niebiesko, a na nią mieszaninę parafiny z płynem niebezpiecznym i posiadającym nieprzyjemny zapach, zwanym dwusiarkiem węgla. Woda posiada ciężar właściwy cokolwiek większy, niż ta mieszanina. Zanurzymy w skrzynkę rurkę otwartą na obu końcach i napelnimy ją wodą. Jeżeli teraz podnosić ją do góry, tak aby woda z niej wyciekała, wówczas tworzą się u spodu rurki krople o średnicy mniej więcej równej średnicy trojaka; każda z nich, po dojściu do odpowiedniej wielkości, odrywa się i spada na dół, pociągając za sobą wązki walec (szyjkę). Walec ten podczas spadania kropli wydłuża się, poczem powstaje z niego mała kropelka, która spada tuż za większą kroplą. Szczegóły zjawiska występują tak wolno, że można wszystko dokładnie obejrzeć.

Tablica, podana na końcu książki, zawiera szereg fotograficznych zdjęć z postaci, jakie przyjmuje kropla, następujących po sobie co  $\frac{1}{20}$  sekundy. Sposób, w jaki należy posługiwać się tą tablicą, jest opisany niżej na str. 123.

Napelnimy znowu tę samą rurkę zabarwioną wodą i szybkim ruchem ręki wyciągnijmy ją ze skrzynki. W tym razie powstaje wodny walec, który od razu rozpada się na kuliste krople, jak to widać na rysunku (Fig. 34).

Posługując się tym samym przyrządem, można otrzymać w parafinowej mieszaninie bańki wodne,

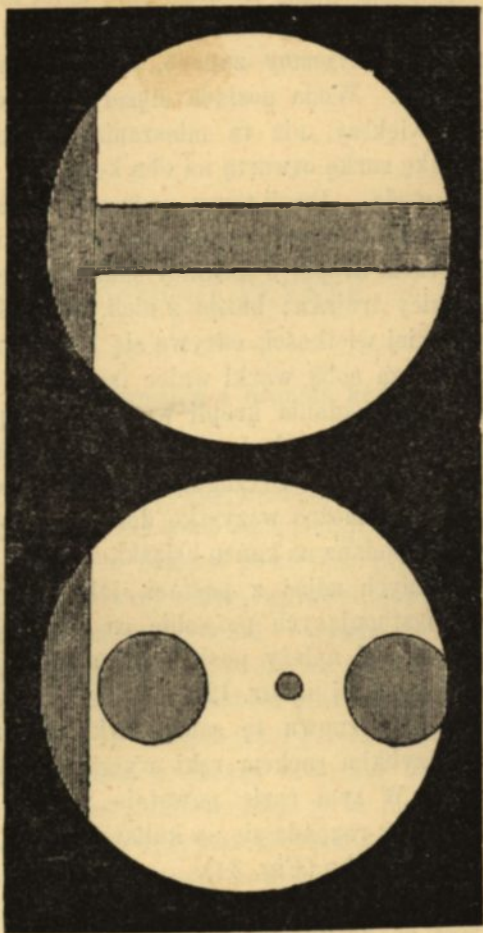


Fig. 34.

napelnione parafiną, wewnątrz których mogą być zawarte znów inne bańki i krople. Jeżeli wyciągnąć raptownie rurkę ze skrzynki, można otrzymać bańkę walcową wodną, zawierającą wewnątrz parafinę. Taki walec tak samo rozpada się powoli na bańki kuliste.

Wykazaliśmy, że duży walec płynny rozpada się prawidłowo na krople; tak samo zachowuje się bardzo cienki walec. Rysunek (Fig. 35) przedstawia kopię fotografii, zdjętej z pajęczyny. Widzimy, że pajęczyna składa się z nitek dwóch rodzaj: jedne z nich są prostoliniowe i rozchodzą się ze środka w kierunku promieni, inne tworzą szereg współśrodkowych kół; pierwsze są twarde i gładkie, drugie bardziej sprężyste i pokryte kropelkami lepkiej cieczy. Na dobrej pajęczynie znajduje się więcej niż ćwierć miliona tych kuleczek; one to właśnie zatrzymują muchy, któremi się żywi pająk. Pająk wykończy swą sieć w ciągu godziny i zwykle robi co dzień świeżą; widocznem więc jest, iż nie miałby czasu przylepić wzmiankowane kuleczki jedną po drugiej. Dopomaga mu własność płynnego walca rozpadania się na kulki. Robiąc swą tkaninę, jednocześnie zwilża ją lepką cieczą, która z początku układa się w postaci walca, lecz zaraz potem rozpada się na kulki. Rysunek (Fig. 36), wykonany podług fotografii rzeczywistej pajęczej nitki, zdjętej za pomocą aparatu fotograficznego,

zaopatrzonego w mikroskop, pokazuje, jak wygląda cienka nitka, pokryta płynem. Widzimy kolejno duże i małe krople, a w niektórych miejscach można jeszcze dostrzedz pomiędzy nimi nadzwyczaj małe

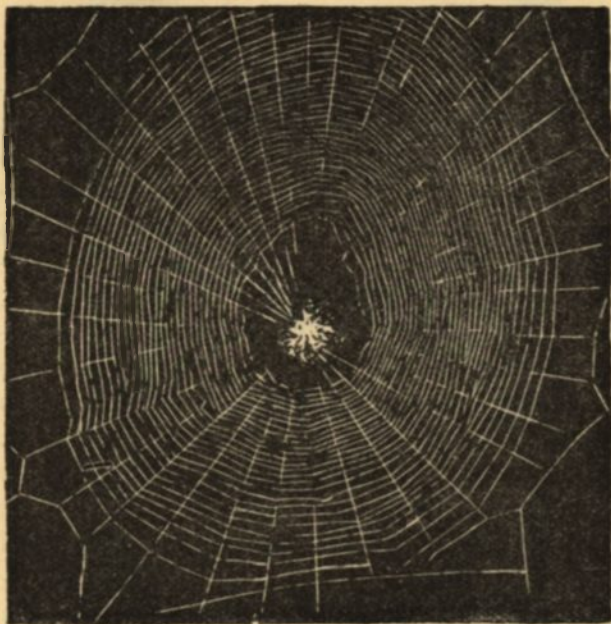


Fig. 35.

kropelki. Aby dać pojęcie o rzeczywistej wielkości tych kulek, obok obrazu nitki jest umieszczony również powiększony obraz skali, podzielonej na 50-te części milimetra. Łatwo przekonać się o słuszności

podanego wytłomaczenia, jeżeli pokryć za pomocą słonki olejem rycynowym nitkę kwarcową; widać wówczas kolejno duże i małe krople, zupełnie jak na pajęczynie. Można z takich nitek zrobić sieć podobną do pajęczyny, którą trudno odróżnić od rzeczywistej pajęczyny; podobieństwo jest tak wielkie, że taka sieć, pokryta kulkami oleju rycynowego, nadaje się do łapania much tak samó dobrze, jak pajęczyna rzeczywista. (Patrz Dodatek II).

Struga wody zachowuje się tak samo, jak walec wodny w mieszaninie parafinowej, lub mikroskopijny walec na nitce. Podany rysunek (Fig. 37) przedstawia  $3\frac{1}{4}$  razy

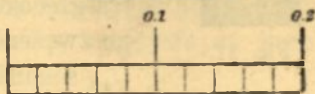


Fig. 36.

powiększoną kopię z fotografii, zdjętej przy momentalnym oświetleniu strugi iskrą elektryczną. U góry kształt strugi jest zupełnie walcowy, cokolwiek niżej występują już zwężenia i rozszerzenia, wreszcie na samym dole widać pojedyncze krople. Można nawet wyraźnie dostrzedz periodyczną zmianę postaci kropeł: krople są kolejno wąskie i długie, lub szerokie i krótkie. Bez wątpienia iskrząca się część strugi, jakkolwiek wydaje się ciągłą, składa się z pojedynczych kropeł, które jednak tak szybko przebiegają przed naszymi oczyma, że nie możemy ich dostrzedz. (Z powodu który będzie wyjaśniony później, podczas fotografowania strugi był wytwarzany przenikliwy dźwięk przez dmuchanie w poprzek otworu klucza).



Fig. 37.

Lord Rayleigh wykazał, że w strudze wody o średnicy 1 milimetra głębokość ledwie dostrzegalnego zwężenia powiększa się w ciągu  $\frac{1}{40}$  sekundy tysiąckrotnie; łatwo więc pojąć, że struga taka musi rozpadać się na

krople w bardzo niewielkiej odległości od wylotu. Ten sam badacz odkrył następujące prawo, które pozwala oznaczyć okres drgania kropel wody: kula o 50 milimetrach średnicy wykonywa w sekundzie jedno drgnięcie zupełne; jeżeli średnica kuli jest cztery razy mniejsza, okres drgań wynosi tylko  $\frac{1}{6}$  sekundy. Jeżeli zaś wziąć pod uwagę kulę o średnicy 100 razy mniejszej, okres drgań będzie równy  $\frac{1}{1000}$  sekundy i t. d. Taki sam stosunek istnieje pomiędzy średnicą walca i okresem przerywań się jego w pewnym punkcie. Oznaczmy okres drgań kropelek wody tak małych, jak kulki płynne na pajęczynie. Kropla poczyna drgać, jeżeli zmienić w jakikolwiek sposób jej kształt i pozostawić samej sobie. Przypuśćmy, że średnica takiej kulki wynosi 0,032 milimetra; w rzeczywistości jest nawet mniejsza. Otóż kropelka wody tej wielkości jest 1600 razy mniejszą, niż kula, która wykonywa w sekundzie jedno drgnięcie. A zatem drgania jej są 64000 razy szybsze, czyli taka kropelka wykonywa 64000 drgnień w sekundzie. Krople wody tej wielkości, co najmniejsze z kulek, rozsianych po pajęczynie, wykonywają więcej, niż pół miliona drgnień w sekundzie, i to tylko wskutek napięcia powierzchniowego wody. Widzimy zatem, jak potężne działanie wywiera słaba błonka sprężysta na krople wody, jeżeli są dość małe.

## Elektryczne i akustyczne własności strugi wodnej.

Puśćmy w górę prawie pionowo niewielką strugę wody; na drodze spadającej z góry wody umieścmy arkusz papieru; wówczas dają się słyszeć wyraźnie uderzenia wody o papier. Elektryczna lampa rzuca snop światła na strugę, przeto jednocześnie ze strugą widać jej cień na ekranie. Woda wytryskuje w postaci wąskiego walca, który niedaleko od wylotu rozpada się na krople, rozsypujące się szeroko (Fig. 38). Dla czego krople rozsypują się? Wszystkie cząsteczki wody wychodzą z wylotu przy jednakowych warunkach i rozpoczynają swój ruch w tym samym kierunku; powstające krople powinnyby przeto iść jedna po drugiej po tej samej linii. Zamiast tego, aby teraz podać wytłomaczenie tego zjawiska, a dopiero później wykonać doświadczenia, wykazujące słuszność naszych rozumowań, uczynimy odwrotnie. Mianowicie, przedewszystkiem przeprowadzimy dwa doświadczenia, które pozwolą nam poznać istotną przyczynę zjawiska. Doświadczenia te są tak podobne do sztuk czarodziejskich, tak zadziwiający, jakkolwiek nader proste, że ten, kto pokazałby je przed pięciuset laty, bez wątpienia naraziłby się na spalenie żywcem.

Krople wody, jak powiedzieliśmy wyżej, spadają na arkusz papieru, który wydaje przez to słaby,



lecz ciągly dźwięk. Wyciągnijmy z kieszeni laseczkę laku; w oka mgnieniu zewnętrzny kształt strugi zmienia się, jakkolwiek znajdujemy się na pewnej odległości od niej i nie dotykamy jej wcale. Woda przestaje rozpadać się na krople, i struga przybiera postać jednego pasemka (Fig. 39); papier

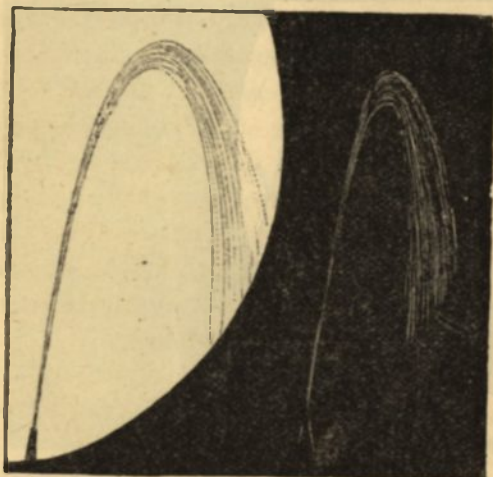


Fig. 38.

wydaje donośny, lecz przerywany dźwięk, który przypomina uderzenia kroplel ulewnego deszczu o szyby w oknach. Jeżeli przysunąć tę samą laseczkę do strugi cokolwiek bliżej, woda znów poczyną rozpadać się na krople, które teraz są daleko większe, niż poprzednio. Wsuńmy lak napowrót do kie-

szeni. Struga przybiera postać pierwotną, lecz znowu staje się ciągłą, gdy tylko wyciągniemy lak na zewnątrz.

Użyjmy zamiast laku kopącego płomienia, jaki powstaje przy paleniu waty, napojonej benzyną. Płomień ten, umieszczony z boku strugi, nie wy-

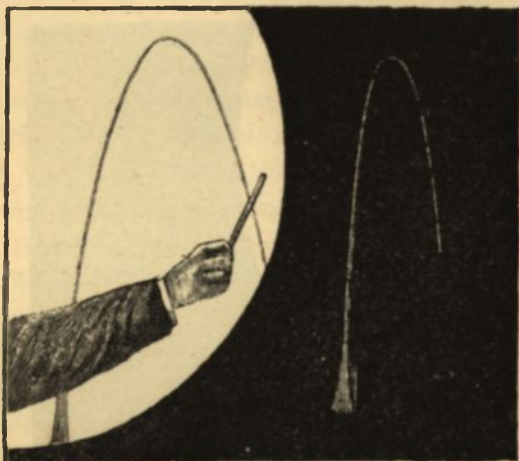


Fig 39.

wiera na nią żadnego działania; lecz jeżeli go umieścić tak, aby struga przenięć przechodziła, wówczas woda schodzi się w jedno pasemko i spada na papier dużemi, czarnemi kroplami. Podobny skutek wywiera również nawet bardzo niewielka ilość oliwy, wprowadzona w strugę za pomocą włoskowatej szklanej rurki.

Ustawmy na drugim końcu stołu kamerton i wprawmy go w drganie; struga nie podlega żadnej zmianie. Lecz, jeżeli przytknąć jeden koniec długiego kija do wylotu strugi, a drugi do pudełka rezonatorowego kamertonu, woda w strudze schodzi się w jedno pasmo, i papier, na który pada, wydaje ten sam ton, co i kamerton. Przy zmianie szybkości wypływu wody zjawisko zmienia się. Niekiedy struga rozpada się na dwa, trzy, a nawet i więcej oddzielnych pasemek, jak gdyby wytryskała w różnych kierunkach z kilku niejednakowych wylotów (Fig. 40). Przy wytwarzaniu dźwięków różnych wysokości, struga przybiera coraz to inną postać. Jeżeli w pobliżu deseczki, w której jest osadzona rurka z wylotem, wytwarzać różne szmerzy, można przekonać się, że każdemu szmerowi odpowiada inna postać strugi. Mogłoby wydać się dziwnem, że takie, można powiedzieć, mało znaczące wpływy, jakie może wywierać laseczka laku, płomień kopzący, mniej lub bardziej muzyczny dźwięk, wywołują takie ciekawe objawy. Niezbyt jednak trudno to wytłomaczyć. Przypomnijmy sobie, że jeżeli długość walca płynnego jest większa, niż jego obwód, w takim razie walec nie może zachować trwale swej postaci i rozpada się na krople. Jeżeli na walcu płynnym wywołać w jakikolwiek sposób szereg zwężeń na odległościach jedno od drugiego mniejszych, niż potrójna średnica walca, wówczas

niektóre z tych zwężeń znikają, ponieważ walec płynny o długości mniejszej, niż potrójna jego średnica pozostaje w równowadze stałej; jeżeli zaś zwężenia te są bardziej odległe jedno od drugiego, mianowicie więcej, niż na potrójną średnicę, wówczas powiększają się z czasem coraz bardziej i na-

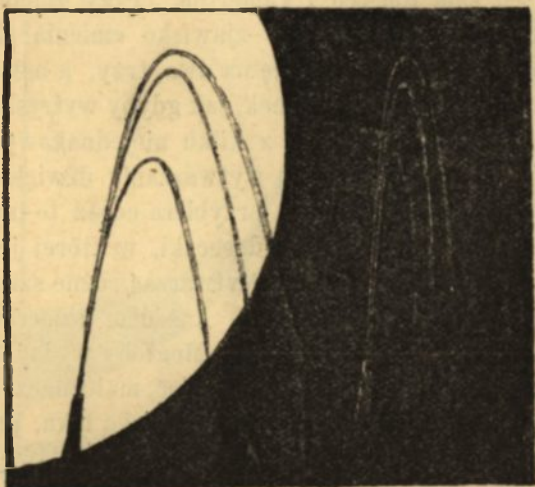


Fig. 40.

reszcie zupełnie przecinają walec, który przeto rozpada się na szereg kropel. Zwężenia wywołują ten skutek najłatwiej, jeżeli odległość pomiędzy nimi wynosi mniej więcej  $4\frac{1}{2}$  średnicy płynnego walca. Czyli, innymi słowy, struga wytryskająca z wylotu zupełnie nieruchomego, przerywa się z naj-

większą łatwością w punktach, odległych jeden od drugiego o  $4\frac{1}{2}$  średnicy; może jednak przerywać się w punktach bardziej zbliżonych, lub też bardziej odległych jeden od drugiego, jeżeli przez słabe wstrząśnienia, udzielane rurce z wylotem, zaznacza się, niejako, ślady zwężeń na walcu płynnym. Nie ma możności uczynić wylot strugi zupełnie nieruchomym; zawsze podlega on pewnym wypadkowym wstrząśnieniom, które właśnie wywołują nieprawidłowe rozpadanie się strugi na krople niejednakowej wielkości i niejednakowo odległe jedna od drugiej. Każdą kroplę, przed jej oderwaniem się, podtrzymuje, jak widzieliśmy wyżej, sprężysta błonka, która tworzy pomiędzy spadającą kroplą i resztą cieczy bardzo cienki walec. W chwili odrywania się kropli z tego wąziutkiego walca powstaje druga mała kropelka i podąża za pierwszą. Ta okoliczność zmniejsza chyżość pierwszej kropli; kropla spadająca ustępuje, jak mówią, część swej chyżości tej właśnie małej kropelce, która podąża tuż za nią. Zmniejszenie szybkości spadającej kropli zależy od wielkości tych dwóch kropel, które są różne w różnych razach. A zatem każda kropla spada z szybkością różną od szybkości innych kropel, wskutek czego krople w strudze spotykają się. Zdawałoby się, że dwie krople przy spotkaniu łączą się razem w jedną kroplę. Lecz tak nie jest: krople wody zachowują się podobnie, jak dwie piłki

kauczukowe, i przy spotkaniu odskakują jedna od drugiej. Jeżeli więc przedstawimy sobie szereg kropeł rozmaitych wielkości i na rozmaitych odległościach jedna od drugiej, które prócz tego często spotykają się, łatwo zrozumiemy, dlaczego krople rozsypują się i spadają ze wszystkich stron na podłożony papier. Jak więc objaśnić działanie laski potartego laku, lub kopącego płomienia? W jaki sposób muzyczny dźwięk może zapobiegać rozsypywaniu się kropeł? Weźmy nasamprzód pod uwagę kawałek laku. Lak, potarty o ubranie, elektryzuje się i przyciąga drobne skrawki papieru. Krople wody wobec potartego laku również elektryzują się i przyciągają się wzajemnie z siłą, jakkolwiek słabą, jednak wystarczającą do przerwania przedzielającej je błonki i do połączenia ich w jedną kroplę. Aby wykazać, że rozumowanie takie jest słusznem, rozważmy dwie rozmaicie zabarwione strugi wody filtrowanej, wytryskające z dwóch różnych butelek i spotykające się pod kątem ostrym tak, aby odskakiwały jedna od drugiej (Fig. 41). Jeżeli, znajdując się nawet na drugim końcu pokoju, wyciągnąć z kieszeni laseczkę laku, strugi łączą się natychmiast razem (Fig. 42). Doświadczenie to można powtórzyć dowolną ilość razy i zawsze z jednakowym skutkiem. Jest to bardzo czuły sposób do wysledzenia nawet bardzo małej ilości elektryczności. Teraz jesteśmy w stanie zrozumieć pierw-

sze doświadczenie. Pojedyncze krople, które przedtem odskakiwały jedna od drugiej i rozsypywały się we wszystkich kierunkach, nie mogą odskakiwać jedna od drugiej, jeżeli umieścimy niedaleko łaskę potartego laku, który wywiera działanie elektryczne. Dla tego też krople łączą się razem ; i zamiast

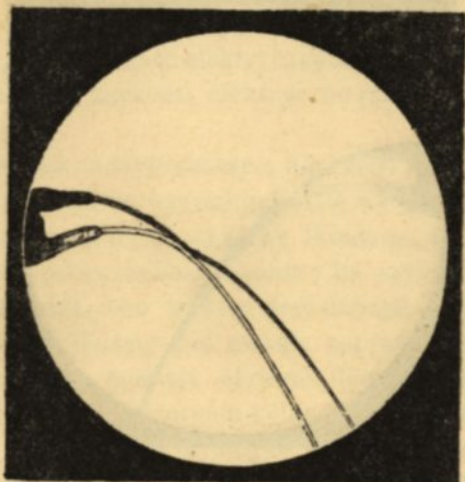


Fig. 41

tego, aby spadała na papier ze wszystkich stron duża ilość małych kropeł, teraz struga schodzi się w jedno pasemko, i na jeden punkt papieru spadają, wprawdzie rzadziej, lecz krople duże takie, jakie można widzieć podczas burzy. Takiemu samemu wpływowi należy bez wątpienia przypisać to, że

krople deszczowe podczas burzy są takie duże. Doświadczenie to i jego wytłumaczenie zawdzięczamy Lordowi Rayleigh.

Płomień kopzący, jak wykazał niedawno Bidwell, wywiera na strugę wody takie samo działanie; pra-

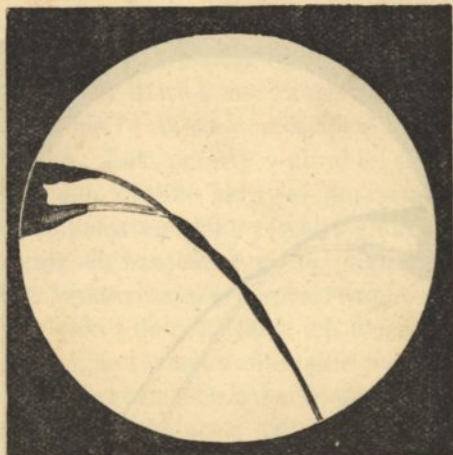


Fig. 42.

wpodobnie sadza, zbierająca się na powierzchni wody, wytwarza chropowatości, które właśnie wywołują przerywanie się błonki powierzchniowej i łączenie się kropeł przy ich spotkaniu. Być może, że produkty palenia, skraplające się na powierzchni wody, również odgrywają pewną rolę przy tem zjawisku, ponieważ odrobina oliwy wpro-



wadzona w strugę, wywiera takie samo działanie, jak płomień kopcający. Lecz i w tym przypadku, jak również i przy użyciu oliwy do uśmierzania fal morskich, trudno wyjaśnić jej działanie. (Patrz Dodatek III).

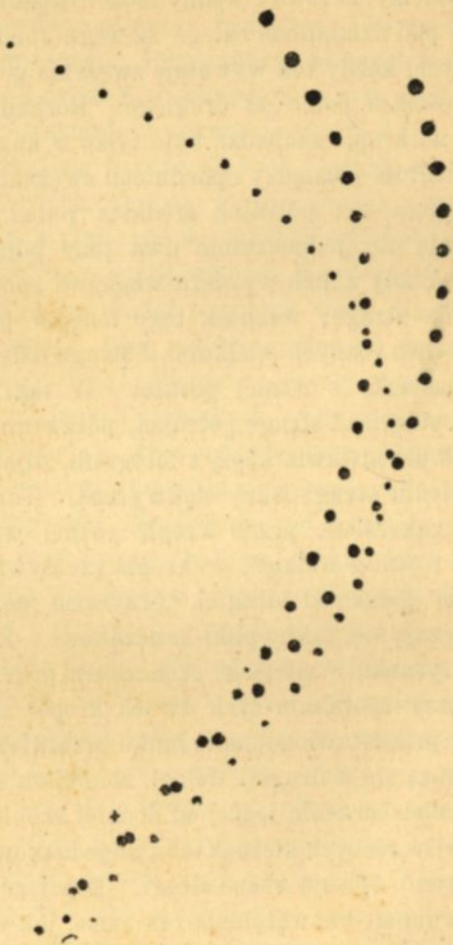
Jeżeli przysunąć laseczkę laku bliżej do wylotu, krople wody elektryzują się w chwili, gdy się odrywają; wszystkie zatem elektryzują się jednakowo, przeto odpychają się wzajemnie, jako ciała o równomiennych ładunkach elektrycznych. Wskutek tego w tym razie zachodzi elektryczne rozpryskiwanie się strugi.

Łatwo teraz wytłomaczyć, dla czego dźwięczący kamerton zmusza wszystkie krople wody w strudze do zakreślania tej samej drogi. Wiadomo, że dźwięk powstaje przez szybkie drgania; im szybsze drgania zachodzą, tem wyższy jest dźwięk, przez nie wywołany. Weźmy pod uwagę, naprzykład, kółko zębate, które możemy obracać dowolnie szybko. Przy powolnem wirowaniu kółka słycać uderzenia pojedynczych zębów o kartkę sztywnego papieru, trzymaną w ręku; przy wirowaniu szybszem kartka wydaje bardzo niski dźwięk. Jeżeli poczniemy obracać kółko zębate coraz szybciej, wysokość dźwięku powiększa się coraz bardziej; a gdybyśmy mogli wprowadzić kółko w ruch obrotowy dostatecznie szybki, dźwięk, wydawany przez kartkę, byłby tak wysoki, że nawet nie bylibyśmy w stanie słyszeć go. Kamerton drga zupełnie regularnie, wykonywając

określoną ilość drgnień w sekundzie; dla tego też dźwięk, wydawany przez kamerton, jest zupełnie określonym tonem. Przypuśćmy, że kamerton wykonywa 128 drgnień w sekundzie; w tym razie wylot strugi otrzymuje w sekundzie również 128 uderzeń, wprawdzie bardzo słabych, jednak wystarczająco mocnych, aby na wypływającym z wylotu walcu wody wytworzyć w sekundzie 128 ledwie dostrzegalnych na początku zwężeń. Zwężenia te, przy odpowiedniej szybkości wypływu wody dla danej średnicy strugi, będą odległe jedno od drugiego o  $4\frac{1}{2}$  średnicy strugi. W razie szerszej strugi, przy jednakowych innych warunkach, woda powinna wypływać szybciej, a więc pod większem ciśnieniem; dla cieńszej strugi wystarcza mniejsza szybkość wypływu. Zwężenia, odległe jedno od drugiego mniej więcej o 4 razy wziętą średnicę, jakkolwiek ledwie dostrzegalne w pierwszej chwili, powiększają się nader szybko, i słup wody rozpada się prawidłowo na krople; każda kropla jest tak samo wielka, jak i poprzedzająca ją. Natomiast w razie, jeśli wylot otrzymuje wstrząśnienia tylko wypadkowo, wielkość powstających kropeł jest rozmaita. Ponieważ w danym razie wszystkie krople są jednakowo wielkie, wszystkie zatem dążą po tej samej drodze, i struga wody przybiera postać ciągłego pasemka. Struga rozpada się na krople z największą łatwością, jeżeli zwężenia są odległe jedno od drugiego o  $4\frac{1}{2}$  średni-

cy. Wiemy, że walec wodny może rozpadać się na krople pod działaniem całego szeregu tonów pojedynczych; każdy ton wywołuje zwiężenia w różnych odległościach jedno od drugiego. Rozpadanie się walca na krople zachodzi, byle tylko w każdym razie odległość pomiędzy sąsiednimi zwiężeniami była większa, niż potrójna średnica walca. Jeżeli rozlegają się jednocześnie dwa tony pojedyncze, często każdy z nich wywiera właściwe sobie działanie na strugę; wskutek tego kolejno powstają krople dwu różnych wielkości, i struga dzieli się na dwa pasemka o różnej postaci. W taki sposób można otrzymać strugę potrójną, poczwórną i t. d. Fig. 43 przedstawia kopię z fotografii, zdjętej przy oświetleniu strugi iskrą elektryczną. Tam widać drogi, zakreślane przez krople różnej wielkości; można również widzieć, że krople rzeczywiście odskakują jedna od drugiej, przyczem cokolwiek spłaszczają się, jakby piłki kauczukowe. Zachodzi to na rysunku w miejscu, oznaczonem przez krzyżyk; przy spotkaniu tych dwóch kropeł szybkość kropli, przedstawionej na rysunku cokolwiek wyżej, powiększa się, a drugiej, dolnej, zmniejsza się. Dla tego po odskoczeniu jednej od drugiej krople te dążą dalej w różnych kierunkach i niejednakowo szybko, przeto opisują różne drogi. Mniejsze krople zachowują się bezwątpienia tak samo, jak większe, lecz część strugi, w której to zachodzi, nie jest

FIG. 43.



przedstawiona na rysunku. Przy działaniu dźwięku na strugę powstają również małe kropelki, o których mówiliśmy już kilka razy, lecz wogóle na niewielkiej odległości od wylotu są odrzucane na bok i tam opisują właściwe im krzywe linie, niepodobne do tych, jakie opisują krople większe. Można łatwo przekonać się, że te kropelki powstają jeszcze wcześniej, niż się stają dostrzegalnymi, przesuwając laseczkę naelektryzowanego laku wzdłuż strugi, nie dotykając jej jednak. Gdy dojdziemy do miejsca, gdzie one już istnieją, lak, działając na nie mocniej, niż na większe krople, przyciąga je ku sobie; wskutek tego kropelki te poczynają opisywać dookoła laseczki laku niewielkie orbity tak, jak planety dookoła słońca. Opór powietrza zmniejsza wkrótce ich szybkość, i po kilku spiralnych obrotach spadają one na laseczkę. Tak samo i planety spadłyby na słońce, gdyby w swym ruchu doznawały oporu.

### **Struga w oświetleniu przerywanem.**

Można pokazać działanie dźwięku na strugę wody, nie posługując się fotografią. Jeżeli oświetlić strugę za pomocą silnej iskry elektrycznej, w takim razie można rzeczywiście dostrzedz pojedyncze kropelki. Pragnąc jednak przyjrzeć się strudze do-

kładniej i przez czas dłuższy, trzeba oświetlać ją w sposób przerywany i tak zastosować błyski światła, aby każdy błysk powstawał dokładnie w tej chwili, kiedy każda kropla zajmuje położenie, w którym znajdowała się kropla poprzedzająca w chwili, kiedy była oświetloną; wówczas krople, pomimo ich szybkiego ruchu, wydają się nieruchomemi. W razie, gdy szybkość, z jaką następują błyski światła jeden po drugim, nie jest należyta, można dostrzedz ciekawe objawy. Jeżeli, na przykład, błyski światła następują jeden po drugim zbyt szybko, wówczas widzieć możemy każdą kroplę cokolwiek w tyle za tem miejscem, w którym przy poprzednim błysku znajdowała się kropla poprzedzająca; tak samo przy trzecim błysku kropla znów będzie zajmowała położenie w tyle za poprzedniem położeniem poprzedzającej kropli i t. d. Wskutek tego zdawać się będzie, że krople powoli powracają napowrót ku wylotowi. Gdyby zaś błyski światła następowały jeden po drugim zbyt wolno, wydawałoby się, że krople posuwają się powoli naprzód. Dla przeprowadzenia tego doświadczenia służy urządzenie, przedstawione na rycinie (Fig. 44). Promienie latarni elektrycznej, zebrane w ognisku soczewki skupiającej, przechodzą przez wąską szparę w krążku tekturowym, umieszczonym tuż przy ognisku soczewki, poczem padają na ekran. Struga wody znajduje się pomiędzy krążkiem tekturowym i ekra-

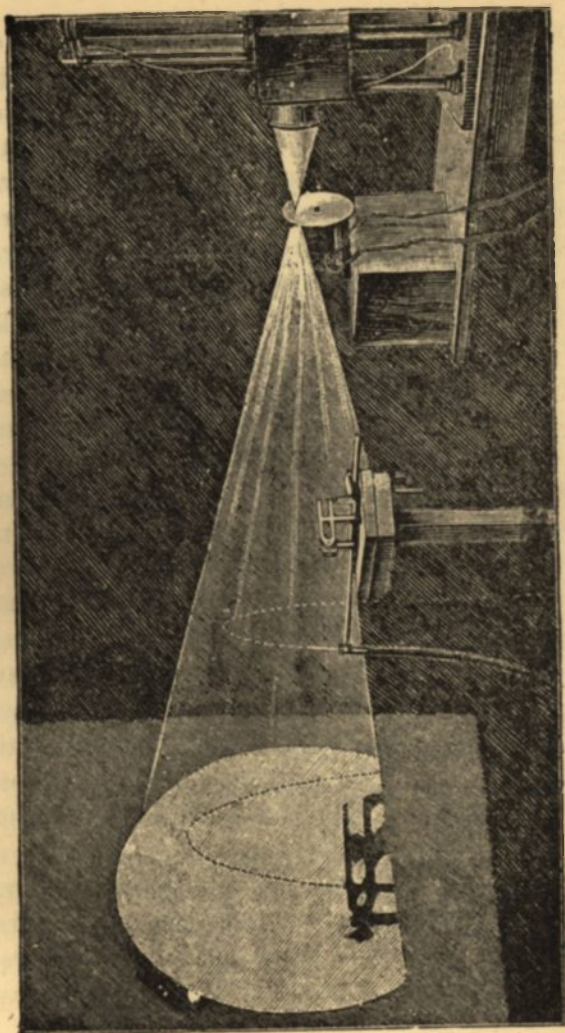


Fig. 44.

nem, widzimy przeto na ekranie wyraźny cień od strugi. Za tym pierwszym krążkiem jest umieszczony niewielki motor elektryczny; motor ten wprawia w szybki obrót około poziomej osi drugi krążek tekturowy, posiadający blisko brzegu 6 otworów na jednakowych odległościach jeden od drugiego. Podczas jednego zatem obrotu krążka ruchomego, otwór w krążku nieruchomym będzie się znajdował 6 razy naprzeciwko otworu w krążku obracającym się; przy każdym więc obrocie krążka powstaje za krążkiem 6 błysków światła. Niech kamerton, którego działanie na strugę chcemy zużytkować, wykonywa 128 pojedynczych drgnień w sekundzie; jeżeli krążek wykonywa w tym samym czasie  $21\frac{1}{3}$  obrotów, w takim razie czas pomiędzy dwoma błyskami światła jest równy dokładnie okresowi drgań kamertonu. Puśćmy wruch motor i dmuchajmy w poprzek otworów w krążku ruchomym. Jeżeli ton w taki sposób otrzymany jest wyższy, niż ton kamertonu, wykazuje to, że krążek obraca się zbyt szybko, jeżeli zaś niższy, w takim razie krążek obraca się zbyt wolno; wreszcie szybkość obrotu krążka jest należyta, jeżeli otrzymany ton jest taki sam, jak ton kamertonu.

Przy należytej szybkości obrotowej krążka wprawiony w drganie kamerton wydaje się zupełnie nieruchomym. Aby to wykazać, umieścimy go na drodze promieni światła pomiędzy krążkiem z otwora-



mi i ekranem tak, aby dawał wyraźny cień na ekranie. Jeżeli zatrzymać motor i ustawić jeden z otworów w krążku ruchomym naprzeciwko otworu w krążku nieruchomym, wówczas kamerton jest oświetlony statecznie, i łatwo dostrzedz, że drga, ponieważ końce jego ramion, gdzie zachodzą najdalsze wychylenia z położenia równowagi, wydają się, jakby zamglone. Puśćmy teraz w ruch motor, a natychmiast kamerton przybiera całkiem inną postać; teraz wydaje się podobnym do dwóch kawałków kauczuku, które stopniowo zbliżają i oddalają się jeden od drugiego. Przy odpowiedniej szybkości obrotu krążka kamerton wydaje się zupełnie nieruchomym, jakkolwiek dźwięk, przez niego wydawany, przekonywa, że nie przestał drgać. Ramiona kamertonu drgają, lecz światło pada na nie w przerwach równych okresowi drgań, i dla tego tak samo, jak to widzieliśmy poprzednio przy rozważaniu kropel wody, kamerton wydaje się nieruchomym. Jeżeli zaś szybkość, z jaką następują błyski światła jeden po drugim, jest zbyt wielka lub zbyt mała, w takim razie każdy nowy błysk światła pozwala dostrzedz kamerton w położeniu poprzedzającym lub następującym po położeniu, spostrzeżaniem w chwili błysku poprzedniego; dla tego wydaje się nam, że kamerton wykonywa powolne drgania, szybkość których pozornie zmienia się przy zmianie szybkości obrotu krążka, jakkolwiek

wysokość tonu wydawanego przez kamerton nie zmienia się, z czego wnosimy, że ilość drgnień na sekundę pozostała taką samą. Można zatem, spojrzawszy na kamerton lub jego cień na ekranie, od razu powiedzieć, czy czas pomiędzy dwoma następującymi po sobie błyskami światła jest dokładnie równy okresowi jego drgań. Po odpowiednim uregulowaniu szybkości obrotu krążka, puśćmy strugę wody. Wszystkie krople wydają się nieruchomemi, jakby perełki lub srebrne kulki nawleczone na niewidzialny drucik. Jeżeli zmniejszyć szybkość obrotu krążka, wydaje się, że krople posuwają się wolno naprzód; prócz tego daje się dostrzedz bardzo ciekawe, znane już nam zjawisko: każda kropla przy odrywaniu się pociąga za sobą wążutki walec, z którego powstaje inna, mniejsza kropla; większe krople po oderwaniu się wykonywają albo powolne drgania, kolejno wydłużając i skracając się, albo też rozmaite ruchy obrotowe. W przypadku strugi podwójnej lub wielokrotnej można dostrzedz spotkanie się kropel, które się przytem spłaszczają, poczem odskakują jedna od drugiej. Wprawmy krążek ruchomy w szybszy ruch obrotowy; w tym razie wydaje się, że krople cofają się napowrót, wychodząc z naczynia na podłodze i powracając ku wylotowi. Aby przekonać się, że to tylko złudzenie, wystarczy umieścić palec pomiędzy dwie krople; wówczas woda rozpryskuje się we wszystkich

kierunkach, co wykazuje, że krople poruszają się wcale nie tak wolno, jak się zdaje. Należy zwrócić uwagę na to, że w tym czasie, w którym ilość błysków światła różni się o jeden od ilości drgnień kamertonu, wydaje się, że kamerton uskutecznia jedno zupełne drgnięcie, i że krople cofają się w tył, lub też posuwają naprzód o jedno miejsce.

### **Mikrofon hydrauliczny.**

Opiszemy tu bardzo piękne praktyczne zastosowanie strug muzycznych, które, jak i wiele jeszcze innych doświadczeń, obmyślił Chichester Bell, kuzyn Grahama Bella, znakomitego wynalazcy telefonu.

Skierujmy z góry na dół wąziutką strugę wody, wytryskającą pod znacznem ciśnieniem z bardzo wąskiego wylotu na kauczukową błonkę, rozciągniętą na końcu rurki o grubości małego palca. Woda, spadając na błonkę, wpycha ją w rurkę i w taki sposób czyni ją wklęsłą. Jeżeli wylot znajduje się niezbyt daleko, błonka pozostaje wtłoczona zawsze jednakowo głęboko; w tym razie nie słyszymy żadnego dźwięku. Lecz jeżeli wzniesić rurkę z wylotem cokolwiek w górę, w takim razie w walcowej dotychczas strudze powstają zwężenia i rozszerzenia. Gdy do błonki dochodzi zwężenie,

wówczas staje się ona mniej wklęsłą i wznosi się cokolwiek w górę; lecz zostaje wepchniętą jeszcze głębiej, gdy jej dosięgnie rozszerzenie w strudze, a więc większa ilość wody, co sprawia powiększenie ciśnienia na błonkę. Każde drgnięcie, udzielone strudze, wytwarza w niej zwężenie, które się powiększa coraz bardziej; błonka zatem odtwarza to drgnięcie, lecz na większą skalę. Jeżeli przypomnimy, że dźwięk jest objawem drgań, zrozumimy, że struga wody, spadająca na błonkę kauczukową, może służyć jako przyrząd do potęgowania słabych dźwięków. Dla wykazania tego zbliżmy rurkę z wylotem do błonki kauczukowej tak blisko, aby dźwięk, rozlegający się dotychczas, zginął i przytknijmy do wylotu niewielką drewnianą deseczkę (Fig. 45). W tej chwili poczyna się rozlegać ostry dźwięk; jest to jeden z tonów właściwych deseczki, lub błonki, a nawet rurki z wylotem. Pierwsze drgnięcia, udzielone wypadkowo błonce przez niewielkie zwężenia w strudze, udzielają się odwrotnie deseczce; deseczka uderza znów o rurkę z wylotem, a zatem udziela te drgnienia znów strudze; w taki sposób drgania potęgują się, i struga poczyna wydawać (śpiewać) ostry dźwięk.

Przysuńmy do wylotu strugi zwyczajny zegarek z wychwytem kotwicowym (Fig. 46). Wstrząśnienia, powstające przy każdym tyknięciu zegarka, udzielają się wylotowi i błonie kauczukowej; wsku-

tek tego tykanie zegarka rozlega się po całym pokoju. Przy stopniowem podnoszeniu rurki z wylotem w górę dźwięki te stają się coraz donośniejszymi i wreszcie przypominają bardziej uderzenia młota o kowadło, niż chód zegarka. Jeżeli wziąć zamiast tego zegarka repetyer, który za naciśnięciem wybijają godziny, kwadranse i minuty, w takim razie można nie tylko słyszeć z daleka jego uderzenia, lecz nawet odróżnić wysokość i barwę tych dźwięków.

Taki przyrząd może również zagrać całą melodyę muzyczną. Przystępujemy do wylotu jeden koniec długiej laski,

opartej drugim końcem na pozytywce, owiniętej starannie dwa razy grubym sukniem tak, że wcale jej nie słyszeć. Lecz skoro tylko puścimy strugę na błonkę, dźwięki pozytywki poczynają się rozlegać po całym pokoju <sup>1)</sup>.



<sup>1)</sup> Autor zaznacza dwuznacznik zawarty w zdaniu: „the fountain play“, co znaczy: „struga gra“, lub też: „struga

Należy w tem doświadczeniu zwrócić uwagę na jedną osobliwość, którą zresztą można było przewi-



Fig. 46.

dzieć. Struga przerywa się najłatwiej w pewnych tylko miejscach, które dzielą niejako strugę na równe części o stałej dla danej strugi długości; prze-

---

mieni się“; taka sama gra słów zachodzi w języku francuskim i niemieckim: „le jet joue“ i „der Wasserstrahl spielt“.

Kto zna ten nowy mikrofon, słowa te rzeczywiście może rozumieć dwojako.

(Przyp. tłum.)

to dana struga odtwarza pewne dźwięki łatwiej i dokładniej, niż inne. Wskutek tego niektóre dźwięki pozytywki dają się słyszeć niewyraźnie i przypominają dźwięki, jakie wydaje fortepian, jeżeli położyć monetę na strunach o wysokich tonach.

---

## BAŃKI MYDLANE.

---

### Bańki mydlane i para eteru.

Powróćmy do baniek mydlanych. Wiemy już, że powietrze wewnątrz bańki jest poddane ciśnieniu, które zależy od sprężystości i krzywizny błonki, tworzącej bańkę. Gdyby powietrze mogło przedostawać się przez błonkę mydlaną, w takim razie bańka ściągęłaby się tak samo, jak w jednym z poprzednich doświadczeń bańka złożona na pierścieniu i następnie przebita w obrębie pierścienia. Lecz w powłoce bańki nie ma żadnych otworów, należałoby zatem przypuszczać, że gaz podobny do powietrza nie może się przez nią przedostawać. Jednak gazy mogą powoli przechodzić z jednej jej strony na drugą, pewne zaś pary przechodzą daleko szybciej, niż możnaby przypuszczać.

Eter wydziela ciężką, łatwo zapalną parę, która z nadzwyczajną szybkością przenika przez błonkę



z roztworu mydlanego. Wylejmy niewielką ilość eteru na kawałek bibuły, umieszczony na dnie szklanego klosza, przewróconego wierzchem na dół; klosz natychmiast wypełnia się parą, co można łatwo dostrzedz, jeżeli go umieścimy na drodze promieni światła, aby otrzymać cień na ekranie. W takim razie od razu widać, że klosz jest czemś napelniony. Jeżeli go cokolwiek przechylić, można dostrzedz, również po cieniu na ekranie, że się wylewa z niego para. Opuśćmy w ten klosz bańkę mydlaną; bańka spada na dół, lecz skoro dojdzie do miejsca, gdzie się znajduje para eteru, poczyną zwalniać swój ruch, wreszcie zatrzymuje się i pływa po parze, jak kawałek korka po wodzie (Fig. 47).



Fig. 47.

Aby zbadać, czy para eteru dostała się do wnętrza bańki, wyjmijmy ją za pomocą pierścienia drucianego i zbliżmy do płomienia świecy: bańka natychmiast zapala się z wybuchem. Wnosimy ztąd, że bańka została napelnioną parą eteru. Wprawdzie możnaby powiedzieć, że eter zebrał się tylko na powierzchni bańki w ilości dostatecznej do tego, aby się mogła zapalić. Łatwo jednak przekonać się, że para eteru rzeczywiście przedostała się do

wnętrza bańki. Jeżeli opuścić w parę eteru bańkę napelnioną tlenem, w takim razie przy zapalaniu jej otrzymujemy wybuch daleko mocniejszy i tak głośny, jakby wystrzał z pistoletu. Następne doświadczenie ujawnia to jeszcze lepiej. Zanurzymy

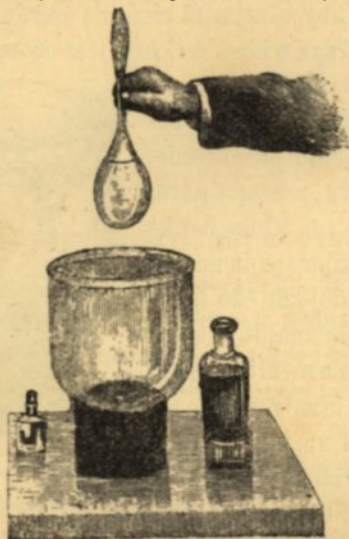


Fig. 48

w parę eteru bańkę, wydętą na końcu niewielkiego lejka; drugi koniec tego lejka należy zatkać palcem. Przy wyciąganiu bańki z klosza od razu widzimy, że przybiera ona postać wydłużoną, podobną do postaci ciężkiej kropli. Po odjęciu palca przysunimy otwarty koniec lejka do płomienia świecy. Para eteru, wypychana przez powierzchniową powłokę

bańki, zapala się i pali płomieniem, czasem na 10 do 15 centymetrów długim (Fig. 48). Podczas wyciągania bańki z klosza można widzieć na ekranie ciężki strumień pary, wlokący się za bańką. Wykazuje to, że para eteru, która przedostała się poprzednio do wnętrza bańki, powraca znów na zewnątrz.

### Bańki mydlane w zetknięciu.

W doświadczeniach z kroplami oliwy w mieszaninie wody i alkoholu widzieliśmy, że krople mniejsze, powstałe przy rozpadnięciu się dużej kropli, nie łączyły się razem, lecz przy spotkaniu odskakiwały jedna od drugiej tak, jak krople wody w strudze. W podobny sposób zachowują się krople wody w mieszaninie parafinowej, a także bańki wodne, napelnione wewnątrz parafiną. W każdym z tych przypadków, pomiędzy dotykającymi się kroplami istnieje cieniutka warstwa powietrza (parafiny, wody), której krople nie są w stanie zgnieść i wyrzucić z przestrzeni, znajdującej się pomiędzy nimi. Toż samo zachodzi z bańkami mydlanymi. Złożymy jedną bańkę na pierścieniu drucianym, drugą na końcu niewielkiej glinianej fajeczki. Można przyciskać jedną bańkę do drugiej, nawet dość mocno, a pomimo to bańki nie łączą się razem (Fig. 49).

Umieścmy bańkę na pierścieniu dość wązkim, aby nie mogła przesunąć się przez niego. Prócz tego, weźmy inny pierścień z naciągniętą w nim błonką mydlaną; w tym celu należy przebić bańkę złożoną na pierścieniu. Otóż, jeżeli za pomocą tej błonki wywierać na bańkę ciśnienie, można przepchać ją przez pierścień, a pomimo to te dwie błonki mydlane nie łączą się razem (Fig. 50). Z jedną bańką i jedną błonką można przeprowadzić to doświadczenie kilka razy.



Fig. 49.

Zawieśmy na pierścieniu bańkę, poczem przytwierdzmy do dolnej jej części inny, mały pierścień z cieniutkiego drutu, który swym ciężarem nadaje bańce postać wydłużoną. Teraz ciśnienie wewnątrz bańki, jakkolwiek większe, niż otaczającego powietrza, jest jednak mniejsze, niż wówczas, gdy bańka nie była jeszcze wydłużoną i posiadała postać kulistą. Wsuńmy w nią przez górny pierścień rurkę i wydmijmy drugą bańkę, która wolniutko spada na

dół, aż dotknie się wewnętrznej powierzchni bańki zewnętrznej, co następuje, z powodu wydłużonej postaci tej ostatniej bańki, nie na samym jej spodzie, lecz wzdłuż koła, znajdującego się cokolwiek wyżej (Fig. 51). Można teraz ostrożnie usunąć



Fig. 50.

krople cieczy, jakie się zebrały na dole bańki. Jeżeli pociągać zwolna na dół bańkę zewnętrzną za dolny pierścień, bańka wewnętrzna przybiera postać jajkowatą (Fig. 52). Można wreszcie zdjąć ostrożnie ten dolny pierścień; wówczas obie bańki stają się zupełnie kulistymi (Fig. 53). Można wyciągnąć

powietrze z bańki zewnętrznej tak, aby pozostała tylko bardzo niewielka przestrzeń pomiędzy obydwoma bańkami, potem znów stopniowo wpuszczać powietrze. Jeżeli dmuchać przez rurkę dość mocno, można naocznie przekonać się, że powłoki baniek nie przylegają do siebie bezpośrednio, gdyż bańka

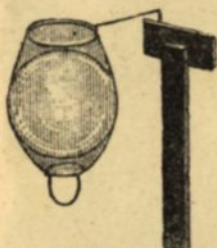


Fig. 51.



Fig. 52.

wewnętrzna poczyna obracać się po środku bańki zewnętrznej. Jeżeli przebić bańkę zewnętrzną, wewnętrzna wylatuje bez żadnego uszkodzenia.

To ostatnie i inne doświadczenia z bańkami wewnętrznymi wyglądają bardzo ładnie, jeżeli bańkę wewnętrzną wydad z roztworu mydlanego, zabarwionego fluoresceiną, lub, jeszcze lepiej, uraniną, bańkę zaś zewnętrzną z roztworu niezabarwionego.

Przy oświetleniu gazowem nie widać prawie żadnej różnicy pomiędzy takimi dwiema bańkami. Lecz przy świetle słonecznem, lub elektrycznem bańka wewnętrzna wydaje się świecącą światłem zielonawem, natomiast bańka zewnętrzna pozostaje przezroczystą i bezbarwną, jak i przedtem. Zabarwienie jednej bańki nie udziela się drugiej, jakkolwiek pozornie bańka wewnętrzna przylega do zewnętrznej; w rzeczywistości przedziela je cienka warstwa powietrza.

Gaz świetlny jest lżejszy od powietrza; wskutek tego bańka mydlana, nadęta tym gazem, podnosi się w górę. Jeżeli wyjąć bańkę mydlaną gazem



Fig. 53.

świetlnym i złożyć ją na pierścieniu, wówczas bańka, usiłując podnieść się w górę, przybiera kształt podobny do kropli wody, zawieszanej u spodu rurki, z tą różnicą, że jest zwróconą do góry, a zatem w stronę przeciwną, niż ciężka kropla (Fig. 54 bez bańki wewnętrznej). Jeżeli wprowadzać stopniowo gaz do wnętrza bańki, powłoka jej wreszcie nie będzie w stanie oprzeć się sile, ciągnącej ją do góry; wówczas bańka odrywa się i unosi się w górę. W chwili odrywania się bańka jest zupełnie podobna do odrywającej się kropli.

Umieścimy na pierścieniu bańkę napelnioną powietrzem i wewnątrz niej wydmiemy bańkę mieszaniną powietrza i gazu; bańka ta zatrzymuje się przy samym wierzchołku pierwszej bańki (Fig. 54). Następnie wpuścimy do wnętrza bańki zewnętrznej pewną ilość gazu, aby mieszanina gazu i powietrza wewnątrz niej była tak samo ciężka, jak w bańce wewnętrznej, która wskutek tego nie pozostaje

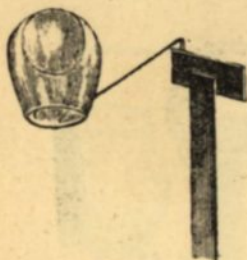


Fig. 54.

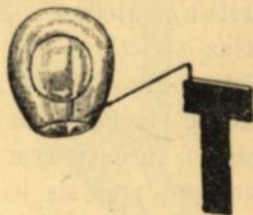


Fig. 55.

u góry, lecz opuszcza się cokolwiek na dół i poczyna pływać po środku bańki zewnętrznej zupełnie tak samo, jak krople oliwy w mieszaninie wody z alkoholem (Fig. 55). Łatwo przekonać się, że bańka wewnętrzna jest lżejsza od powietrza; jeżeli, mianowicie, przebić bańkę zewnętrzną, bańka wewnętrzna podniesie się w górę aż do sufitu.

Złożmy pierwszą, zewnętrzną bańkę nie na pierścieniu nieruchomym, jak w ostatniem doświadczeniu, lecz na małym, lekkim, wyrobionym z bardzo



cienkiego drutu; następnie wprowadźmy do jej wnętrza bańkę, nadętą gazem świetlnym. Bańka ta usiłuje wznieść się w górę i ciśnienie na powierzchnię bańki zewnętrznej z siłą tak wielką, że obie bańki wraz z pierścieniem, dość długą nitką i przywiązanym do niej na drugim końcu kawałkiem papieru podnoszą się w górę (Fig. 56). Jednak powłoki obu bańek nie przylegają rzeczywiście jedna do drugiej.

Wprowadźmy do wnętrza bańki, złożonej na pierścieniu metalowym, pręcik z pierścieniem na końcu i wydmyjmy na nim bańkę; wewnątrz tej ostatniej bańki umieścimy trzecią bańkę, nadętą gazem świetlnym; ta bańka, pozostawiona sama sobie, zatrzymuje się u wierzchołka otaczającej ją bańki. Wpuśćmy do wnętrza drugiej bańki cokolwiek gazu, aby ją zrobić lżejszą, i wysuńmy pierścień, na którym była złożona; wreszcie powiększmy cokolwiek bańkę zewnętrzną, wdmuchując w nią ostrożnie powietrze (Fig. 57). A wtedy te trzy bańki w równowadze, rysujące się wyraźnie, wskutek wielokrot-

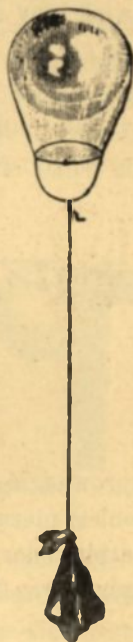


Fig. 56

nego odbicia promieni światła pomiędzy ich powierzchniami, przedstawiają tak wspaniałą grę kolorów, że trudno otrzymać coś podobnego w jakikolwiek inny sposób. Wystarczy wyjąć inną bańkę

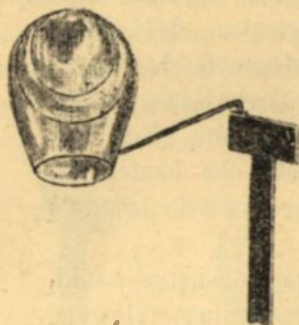


Fig. 57.

i wprowadzić ją w rzeczywiste zetknięcie z pierścieniem nieruchomym i bańką zewnętrzną, aby ta ostatnia oderwała się od pierścienia i wzniosła w górę wraz bańkami wewnętrznymi.

### **Bańki mydlane i elektryczność.**

Wiemy już, że krople i bańki mydlane zachowują się pod wielu względami jednakowo. Zachodzi pytanie, czy elektryczność również wywiera na nie działanie jednakowe? W jednym z poprzednich

doświadczeń laska naelektryzowanego laku zapobiegała rozsypany w wodzie krople, i krople wody łączyły się razem. Wydmijmy dwie bańki i złożmy je na pierścieniach tak, aby dotykały się wzajemnie (Fig. 58). Skoro tylko zbliżyć laseczkę laku potartego o sukno, bańki natychmiast łączą się razem w jedną bańkę (Fig. 59). Wynika stąd, że dwie dotykające się wzajemnie bańki mydlane mogą służyć tak samo,

jak struga wody, do wysłedzenia nawet bardzo małej ilości elektryczności. Lecz w danym przypadku możemy pójść dalej i skorzystać z bańek mydlanych do wykazania jednego bardzo ważnego i znanego prawa, rządzącego zjawiskami elektrycznymi;

mianowicie możemy wykazać, że wewnątrz naelektryzowanego przewodnika, nawet na bardzo małej odległości od jego powierzchni, nie daje się odczuć działania choćby bardzo wielkiej ilości elektryczności, znajdującej się na zewnątrz. Weźmy jeszcze raz bańki, przedstawione na Fig. 54, i zbliżmy laskę naelektryzowanego laku. Bańka zewnętrzna jest przewodnikiem, a zatem wewnątrz niej nie powinno zachodzić działanie elektryczne; rzeczywiście, jeżeli nawet laseczkę laku przysunąć do bańki ze-

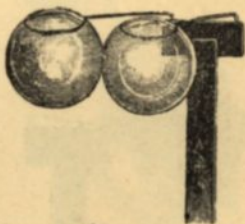


Fig. 58.

wewnętrznej tak blisko, że aż bańka będzie znacznie wyprowadzoną z położenia równowagi, nie dostrzegamy żadnego działania na bańkę wewnętrzną, i błonki pozostają rozdzielonemi, jakkolwiek pozornie stykające się powierzchnie obu baniek są tak blisko jedna od drugiej, że nie widać wcale przedziału pomiędzy nimi. Gdyby zachodziło choćby nader słabe

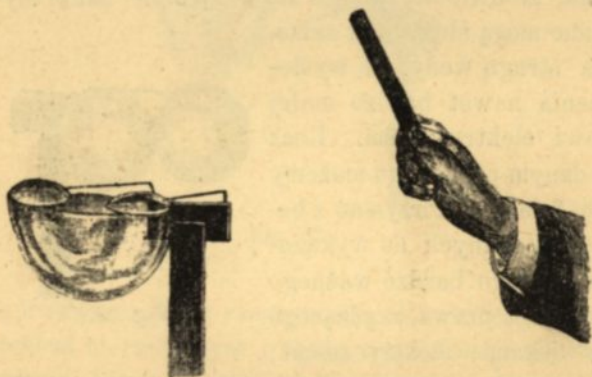


Fig. 59.

elektryczne działanie na głębokości nawet tysięcznej części milimetra, bańki bezwarunkowo złączyłyby się razem.

Przeprowadźmy jeszcze jedno doświadczenie, polegające na połączeniu dwóch ostatnich doświadczeń w jedno, a które wyraźnie wykazuje różne zachowanie się baniek wewnętrznych i zewnętrznych względem działań elektrycznych. Przysuńmy do

bańki, zawierającej bańkę zewnętrzną (Fig. 54), trzecią bańkę tak, aby się stykała pozornie z bańką zewnętrzną. Jak tylko zbliżyć potartą laskę laku, bańki zewnętrzne łączą się razem, a bańka wewnętrzna pozostaje wewnętrzną, nie zmieniając wcale swej postaci; pierścień wreszcie ześlizguje

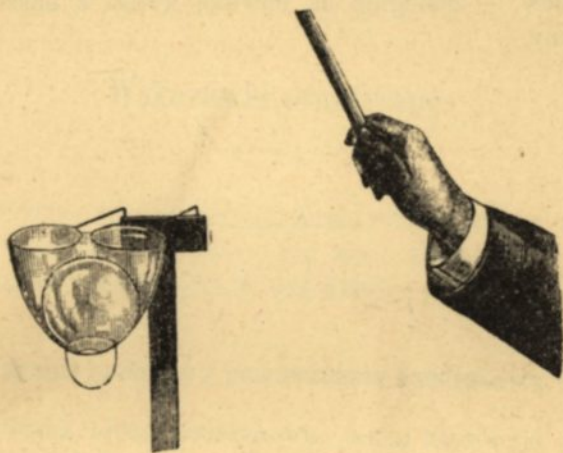


Fig. 60.

się na spód otrzymanej jednej bańki zewnętrznej (Fig. 60).

Doszliśmy do kresu naszych pogadank. Mimo-  
woli nasuwa się pytanie, czy przyjemność z jaką  
bawiliście się bańkami mydłanemi, zmniejszyła się

przez lepsze poznanie ich własności? Wszyscy czytelnicy bez wątpienia zgodzą się na to, że zjawiska włoskowatości, które zachodzą najczęściej, i które, jakkolwiek wydają się najbardziej błahemi ze wszystkich, jakie dostrzegamy, jednak zajmowały umysły największych filozofów od Newtona aż do naszych czasów, — zasługują na chwilkę uwagi z naszej strony.

---

## Wskazówki praktyczne.

---

Podane niżej wskazówki praktyczne mają na celu usunięcie trudności, jakie może nastreżać wykonanie doświadczeń, w tem dziełku opisanych.

### **Krople sztuczne z powierzchnią kauczukową.**

Cienka błona kauczukowa, jakiej używa się do wyrobu baloników dziecinnych, rozciąga się na drewnianej lub metalowej obręczy o średnicy 40 do 50 centymetrów i przymocowuje się wzdłuż brzegu obręczy za pomocą kilku obrotów drutu, który wciska brzegi błonki w rowek, wyżłobiony na bocznej powierzchni obręczy. Z mniejszym pierścieniem doświadczenie nie udaje się. Doświadczenie to wykonane zostało pierwszy raz przez W. Thomsona w „Royal Institution“.

## **Siatka metalowa na powierzchni wody.**

(Przyrząd Van der Meensbrughe'go).

Kawałek drutu o grubości 1 do 2 milimetrów przesuwana się przez dwa otwory w szklanej kulce z pipetki, lub też w kulce wewnątrz posrebrzanej, jakie są używane do ozdoby choinek. W tem położeniu umocowuje go się za pomocą laku; należy baczyć, by otwory w kulce pozostały szczelnie zatka-  
ne, aby woda nie mogła się przedostawać do wnętrza kulki. Na odległości kilku centymetrów od kulki przylutowuje się prostopadle do drutu kawałek cienkiej metalowej siatki; można zresztą przytwierdzić ją również za pomocą laku. Na drugim końcu tego drutu przyczepia się balast w postaci kawałka ołowiu, którego ciężar należy tak dobrać, aby cały przyrząd utrzymywał się w wodzie pionowo i zanurzony w niej zupełnie podnosił się w górę, lecz aby siatka nie mogła przedrzeć się przez powierzchnię wody. Rozmiary przyrządu i materiały, z jakiego jest zrobiony, nie mają żadnego znaczenia.

## **Sito powleczone parafiną.**

Wycina się z miedzianej siatki, oka której mają około 1 milimetra szerokości, krążek o 20 mniej więcej centymetrach średnicy. Kładzie się go na



walcowej kłodzie o mniejszej średnicy tak, że brzegi tego krążka wystają ze wszystkich stron o jakie 2 — 3 centymetry. Wystające brzegi należy stopniowo zaginać, bacząc, aby dno pozostało zupełnie płaskiem. W taki sposób dość łatwo otrzymać coś w rodzaju płaskiego naczynia bez fałd po bokach, dzięki temu, że druty siatki mogą się skręcać.

Teraz należy umocować boki otrzymanego sita w takim położeniu za pomocą kilku obrotów dość grubego drutu i następnie przylutować końce tego drutu do siatki. Zresztą można się obejść bez tego i wprost zagiąć brzegi siatki dokoła drutu. Topi się jedną lub dwie świece parafinowe najlepszego gatunku w czystym płaskim naczyniu, nie wprost na ogniu, gdyż byłoby to niebezpiecznem, lecz na gorącej płycie. W roztopioną, przezroczystą, jak woda, masę zanurza się nasze sito i, gdy się ogrzeje, wyjmuje go się szybko i uderza kilka razy o brzeg stołu, aby wytrząsnąć parafinę z oków siatki; potem należy pozostawić sito dnem do góry aż do zupełnego zastygnięcia, bacząc, by nie zdrapać ani zetrzeć z niego parafiny. Wszystko to należy robić w takim miejscu, gdzie spadające krople roztopionej parafiny nie mogą nic uszkodzić.

Napełnienie takiego sita wodą, lub złożenie go na wodzie, nie nastrecza już żadnych trudności.

### Rurki włoskowate.

Należy przedewszystkiem wystarać się o szklaną rurkę długości i szerokości zwyczajnego ołówka. Jeżeli ma się do rozporządzenia tylko dłuższą rurkę, w takim razie należy odciąć od niej kawałek tej długości. W tym celu za pomocą trójkątnego pilnika robi się na rurce w jednym miejscu głęboki rys, poczem już łatwo przełamać ją w tem miejscu. Aby otrzymać rurkę włoskowatą, należy, trzymając rurkę w obu rękach za jej końce, umieścić jej środkową część wewnątrz najjaśniejszej części płomienia gazowego i ciągle obracać w palcach, aż się rozmiękczy po środku tak, że pocznie wyginać się na dół. Wówczas można wyjąć rurkę z płomienia i zginać, jak się podoba. Jeżeli jednak chcemy ją rozciągnąć, należy trzymać ją w ogniu dotąd, aż pokrywająca ją sadza zacznie pękać i odpadać; wówczas wyjmuje się szybko rurkę z ognia i rozciąga wprost przez rozsunięcie rąk. Średnica otrzymanej wąziutkiej rurki zależy od stopnia, do jakiego rurka była ogrzana, i od samego sposobu rozciągania. Pod tym względem cokolwiek praktyki nauczy daleko więcej, niż wszelkie wskazówki drukowane. Łatwiej wyciągać rurki włoskowate, mając palnik Bunsena, lub też posługując się palnikiem z dmuchawką; zwyczajny płaski płomień gazowy nadaje się najlepiej do zginania rurek. Nie należy

usuwać sadzy z rurki wprzód, nim ostygnie zupełnie, ani też przyspieszać stygnięcie przez zwilżanie lub dmuchanie na nią. W braku gazu można posługiwać się płomieniem sporej lampki spirytusowej; jednak płomień gazowy lepiej się do tego nadaje.

Im rurka jest węższa, tem wyżej wznosi się w niej czysta woda. Do zabarwiania wody nie należy używać farb akwarelowych, ponieważ roztwór ich zawiera zawsze cząsteczki stałe, które mogą zapchać wązkie kanały rurek. Lepiej używać farb anilinowych, które są zupełnie rozpuszczalne; można uczynić ich barwy bardziej jaskrawymi, przez dodanie do ich roztworu kilku kropel octu winnego.

### **Wznoszenie się cieczy pomiędzy płytami.**

Do tego doświadczenia potrzebne są dwie szklane kwadratowe płyty o długości i szerokości 6 do 12 centymetrów. Nader ważnem jest, aby powierzchnie płyt były zupełnie czyste, niezatłuszczone; w tym razie płyty zwilżają się wodą bardzo dobrze. Najlepiej, zdaje się, zmywać w tym celu płyty gorącym roztworem mydła w wodzie.

### **Łzy z wina.**

Najłatwiej można je dostrzedz w kieliszku, napełnionym do połowy portweinem. W braku portweinu

można użyć mieszaniny, składającej się z 2 lub 3 części wody i jednej części spirytusu, zabarwionego czerwoną anilinową farbą (rosaniliną); kawałeczek tej farby tak mały, jak główka od szpilki, wystarcza w zupełności na duży kieliszek spirytusu. Ścianki kieliszka powinny być zwilżone winem.

### **Kulki cieczy.**

Aby widzieć kuliste krople, można wylać na stół posypany proszkiem nasienia widłakowego (semen lycopodii) kilka kroplel wody różnej wielkości. Tak samo krople rtęci rozlanej wprost na stole ujawniają wyraźną różnicę kształtów dużych i małych kroplel. Różnicę tę dostrzega się jeszcze łatwiej, jeżeli posługiwać się szkłem powiększającym.

Przy doświadczeniach, do których używa się rtęci, należy usuwać na bok wszystkie srebrne i złote przedmioty, ponieważ rtęć może je łatwo uszkodzić.

### **Doświadczenia Plateau.**

Doświadczenia udają się tylko wówczas, jeżeli przeprowadza się je bardzo starannie. W tym celu może służyć oliwa, pod tym jednak warunkiem, aby była oczyszczona przez wstrząsanie w butelce z mie-

szaniną 9 objętości spirytusu winnego (nie metylowego) z 7 objętościami wody; potem należy pozostawić butelkę z całą jej zawartością w spoczynku przez jeden dzień. Oczyszczona w taki sposób oliwa nadaje się już do tych doświadczeń. Wlewa się do szklanki więcej niż do połowy takiej samej mieszanki wody z alkoholem, poczem wprowadza się ostrożnie za pomocą rurki, zanurzonej jednym końcem w tej mieszance, pewną ilość wody, aby ciecz na dole szklanki zrobić cięższą. Następnie zanurza się jeden koniec pipetki w oliwę i, zatknąwszy drugi jej koniec palcem, wyciąga napowrót; w taki sposób otrzymuje się w dolnej części pipetki niewielką ilość oliwy, którą należy ostrożnie wpuścić do szklanki z naszą mieszanką. Jeżeli powstała kropla oliwy spada aż na dno, należy dodać w spodniej części szklanki nieco wody; jeżeli zaś, odwrotnie, podnosi się w górę, należy nalać cokolwiek spirytusu na powierzchnię cieczy w szklance. W razie, gdy kropla pływa wewnątrz mieszanki, co wykazuje, że jej ciężar gatunkowy jest zupełnie odpowiedni, można umieścić w szklance za pomocą pipetki niezbędną do doświadczenia ilość oliwy, bacząc jednak, aby oliwa nigdzie nie dotykała ścianek szklanki. Przy posługiwaniu się do tego doświadczenia szklanką, kropla oliwy, rozważana przez ściany szklanki, nie wydaje się kulistą, ponieważ szkło wraz z zawartą w szklance cieczą wydłuża ją w kie-

runku poziomym, nie zmieniając wcale jej kształtu w kierunku pionowym. Możemy się łatwo o tem przekonać, trzymając w cieczy, nalanej do szklanki, monetę; moneta wydaje się wydłużoną w kierunku poziomym. Jeżeli chcemy zatem oglądać rzeczywistość, kulistą postać kropli, musimy zaopatrzyć się w naczynie kuliste, lub też w szklaną skrzynkę z bokami płaskimi. Aby można było wprawiać kroplę w ruch obrotowy, osadza się na cienkim pręciku metalowym prostopadle do niego krążek, mający 5 do 6 milimetrów średnicy; krążek ten wsuwa się wewnątrz kropli. Wprawiając bez wstrząśnień pręcik w ruch obrotowy, możemy dostrzedz, że kulka oliwna spłaszcza się, i następnie odrywa się od niej pierścien. Krążek, przed wsunięciem go wewnątrz kropli, należy naoliwić.

### **Roztwór mydlany do baniek.**

Zwyczajne mydło nadaje się lepiej, niż mydła toaletowe, zawierające zwykle dość wiele cząsteczek stałych. Również odpowiedniem jest mydło marseilijskie, którego można dostać u chemików.

Bańki wyrobione wprost z roztworu mydła w wodzie trwają zbyt krótko; wskutek tego z takim roztworem nie można przeprowadzić większej części podanych w tej książce doświadczeń. Plateau dodaje do roztworu mydła gliceryny, co czyni błonki

mydlane trwalszemi. Gliceryna powinna być czysta; wodę należy brać dystylowaną, o ile to jest możliwe. Zresztą można także używać wody deszczowej. Nie należy w tym celu zbierać pierwszą ilość wody, jaka spadnie z dachu, szczególnie po długotrwałej posusze; należy wstrzymać się przez pewien czas i począć zbierać dopiero później. W taki sposób zebrana woda nadaje się doskonale do tego roztworu, osobliwie, jeżeli ścieka z dachu szklanego lub łupkowego. W braku nawet wody deszczowej należy wystarać się o wodę jak najmniejszą. Plateau przekonał się, że zamiast mydła marseljskiego można brać zwyczajny olejan sodu, byle świeży. Najlepszy roztwór, zawierający mniej gliceryny, niż roztwór Plateau, przyrządza się w następujący sposób, podany przez profesorów Reinolda i Rückera.

Napełnić  $\frac{3}{4}$  czystej butelki wodą dystylowaną, wsypać  $\frac{1}{40}$  część na wagę olejanu sodu i czekać, aż się rozpuści, co trwa mniej więcej cały dzień. Po zupełnem rozpuszczeniu się olejanu sodu dolać do wierzchu butelki gliceryny Price'a i mocno wstrząsać butelkę lub przelewać jej zawartość z jednego naczynia do drugiego, aby gliceryna zmieszała się doskonale z resztą zawartości. Pozostawić mieszaninę w spoczynku prawie przez tydzień w ciemnym miejscu, poczem zlać do innej butelki za pomocą lewaru klarowną ciecz, bacząc, by się nie zmieszała

z mętną białą warstwą, jaka się przez ten czas zebrała na powierzchni cieczy; wreszcie dodać po trzy lub cztery krople amoniaku na każdy litr roztworu. Podczas przyrządzania roztworu nie należy go ani ogrzewać, ani filtrować, gdyż psuje się od tego. Butelkę z otrzymanym w taki sposób roztworem należy szczelnie zakorkować i przechowywać w ciemnym i chłodnym miejscu. Odkorkowywać należy tylko dla odlania do innej mniejszej butelki ilości, potrzebnej do doświadczeń; resztek, pozostających po wykonaniu doświadczeń, nie należy wlewać napowrót do ogólnego zapasu cieczy. Wreszcie nie należy pozostawiać butelki odkorkowaną dłużej, niż zachodzi tego konieczna potrzeba przy przelewaniu płynu. Ciecz, przechowywana w taki sposób, może służyć do doświadczeń nawet po dwóch lub trzech latach od czasu, gdy została przyrządzona. Podajemy te dokładne wskazówki, ponieważ żaden inny roztwór nie nadaje się tak dobrze do opisanych doświadczeń z bańkami. Zapewne równie dobrym będzie roztwór mydła marselijskiego i gliceryny Price'a w takim samym stosunku w wodzie deszczowej.

### **Pierścienie do bańek.**

Mogą być wyrobione z jakiegokolwiek drutu; pierścienie, na których umieszcza się bańki, powin-



ny mieć mniej więcej po 5 centymetrów średnicy. Końce drutu należy zlutować, jeżeli zaś tego nie można skutecznie, należy je przynajmniej skrócić. Wogóle pierścienie powinny być tak zakrzywione, aby nigdzie nie posiadały kątów ostrych. Powlekanie pierścieni cienką warstwą parafiny, jak niektórzy radzą, nie przedstawia żadnej korzyści. Małe pierścienie, do zawieszania u spodu baniek, powinny być jak najlżejszymi. Najlepiej robić je z drutu aluminiowego, mającego 0,3 do 0,4 milimetra grubości. Można również użyć do tego drutu miedzianego o grubości 0,2 milimetra. Przed doświadczeniem należy pierścienie zwilżyć roztworem mydlanym, a po użyciu doskonale oczyścić i wysuszyć.

### **Nić w pierścieniu.**

Bardzo łatwo wykonać to doświadczenie. Pierścień z nitką zanurza się w roztwór mydlany. Można również utworzyć w nim błonkę, przesuwając po nim brzeg kartki papieru lub kauczuku, zanurzonego przedtem w ten płyn. W taki sposób otrzymujemy błonkę po obu stronach nitki. Dla wykazania, że nitka może poruszać się po błonce zupełnie swobodnie, można posługiwać się igłą zwilżoną roztworem mydlanym. Ta sama igła, potrzymana jakiś czas w płomieniu świecy, może służyć do przebicia błonki w odpowiednim miejscu.

### **Zadmuchiwanie świecy za pomocą bańki mydlanej.**

W tym celu należy wydać bańkę na rozszerzonym cokolwiek końcu krótkiej, szerokiej rurki. Również dobrze nadaje się do tego niewielki szklany lejek.

### **Równowaga baniek mydlanych.**

Doświadczenia te udają się najlepiej z bańkami małymi. Można je wydymać na końcach mosiężnych rurek, mających około 1 centymetra średnicy. Najlepiej posiadać przyrząd z niezbędnymi kranami, urządzone umyślnie do tych doświadczeń; można jednak posługiwać się rurkami, połączonymi za pomocą rurek kauczukowych z zaciskaczami zamiast kranów. Aby doświadczenie się powiodło, należy koniecznie uwzględnić podane tu warunki. Mianowicie wydymać bańki należy za pomocą mundsztuczka, składającego się ze szklanej, bardzo wąskiej na jednym końcu rurki, wsuniętej w rurkę kauczukową. Takie urządzenie zapobiega zbyt raptownemu wydymaniu baniek; bez niego trudno wprowadzić do bańki dokładnie niezbędną ilość powietrza. Do doświadczeń z bańką kulistą i walcową krótka ruchoma rurka powinna być tak urządzona, aby ją można było bez wstrząśnień stopniowo opuszczać

na dół lub podnosić do góry; na obu jej końcach należy za pomocą kawałka papieru lub kauczuku, zanurzonego poprzednio w roztwór mydlany, naciągnąć błonkę; na końcu zaś rurki nieruchomej błonki być nie powinno. Przedewszystkiem należy zbliżyć obie rurki do siebie i wydać pomiędzy nimi bańkę kulistą; następnie rozsuwa się je stopniowo, wdmuchując wciąż powietrze, aby boki walca pozostawały prostymi, dopóki długość jego nie będzie dostateczną, mianowicie cokolwiek mniejszą, niż długość walca, który pozostaje w równowadze niestatecznej. Im walec jest dłuższy, tem widoczniejszy jest stosunek pomiędzy średnicami kuli i walca, równoważących się. Jeżeli zmierzymy te średnice, przekonamy się, że rzeczywiście średnica kuli jest dokładnie dwa razy większa, niż średnica walca, w którym ciśnienie jest takie samo.

### **Taumatrop do wykazania powstawania i drgania kropel.**

Spadek i drganie kropel można doskonale uwidocznić, nie posługując się wcale cieczą. Dość wziąć rysunek, podany na końcu tej książki, i zrobić z niego przyrząd, zwany taumatropem. Za pomocą tego przyrządu możemy obejrzeć dokładnie zjawisko spadania kropli, ponieważ rysunek ten przedstawia szereg kopii fotografii, zdjętych z kropli co każde

$\frac{2}{43}$  sekundy podczas jej spadku <sup>1)</sup>. Rysunek ten należy przedewszystkiem nakleić na arkusz tektury, poczem, umieściwszy go na stole, nakryć kilku arkuszami bibuły, przycisnąć dość dużą deską, na którą jeszcze można nakłaść sporo ciężarów, i pozostawić w takim położeniu, dopóki nie wyschnie zupełnie, gdyż inaczej pokrzywiłby się i na nic by się nie zdał. Następnie wycina się za pomocą ostrego nożyka, lub jeszcze lepiej dłutka, 43 szpary, przedstawione na rysunku przez czarne linie pomiędzy obrazami kropli, trzymając się ściśle podanych tam konturów; należy baczyć, by szpary nie były za szerokie. W taki sposób otrzymuje się 43 jednakowe szpary o szerokości mniej więcej 1 milimetra. Zbyteczną resztę tektury odcina się wzdłuż zewnętrznego brzegu czarnego koła. Dokładnie po środku otrzymanego krążka robi się otwór i przy mocowuje się z tyłu za pomocą kleju lub małych gwoździków drewnianą szpulkę; przez nią przesuwają się ołówek lub drut, dokoła którego krążek powinien obracać się swobodnie. Teraz, trzymając krążek przed zwierciadłem, wprawmy go w obrót i spo glądajmy przez szpary w zwierciadło. Wówczas można dostrzedz wszystkie szczegóły przy spadaniu kropli. Kropla coraz bardziej się powiększa,

---

<sup>1)</sup> Szczegóły patrz w Philosophical Magazine. Wrzesień, 1890.

aż wreszcie staje się zbyt ciężką, by mogła pozostać zawieszoną; w tej chwili zwężenie w jej górnej części raptownie przerywa się, i kropla spada do naczynia. Nie od razu jednak miesza się z cieczą w naczyniu, lecz na początku odskakuje od jej powierzchni. Podczas spadania kropla peryodycznie zmienia swą postać, t. j. drga, co jest spowodowane raptownym zniknięciem ciągnięcia z jednej strony. Jednocześnie z wąskiej części kropli powstaje odrębna mała kropelka, również drgająca i silnie uderzana przez powstającą następną kroplę, która powiększa się i drga tak samo, jak pierwsza kropla; to samo powtarza się w dalszym ciągu.

Aby dokładnie naśladować zjawisko, należy oś wesprzeć na nieruchomej podstawie i nadać krążkowi szybkość obrotową, nie przenoszącą pół obrotu na sekundę. Dla powiększenia złudzenia można pomiędzy zwierciadłem i krążkiem umieścić przegródkę z jednym pionowym otworem, któryby pozwalał spostrzegać tylko jeden obraz kropli.

### **Krople wody w parafinie i dwusiarku węgla.**

Stosuje się tu wszystko, co było powiedziane w opisie doświadczenia Plateau. Można otrzymać duże, dokładnie kuliste krople wody w mieszaninie, zawierającej dwusiarek węgla i przyrządzonej w taki sposób, aby dolne jej warstwy w naczyniu były

cięższe, górne zaś lżejsze od wody. Dodanie dwusiarku węgla powiększa ciężar gatunkowy mieszaniny. Płyn ten posiada bardzo nieprzyjemny zapach i jest nader łatwo zapalny; wskutek tego lepiej nie trzymać go w mieszkaniu. Postać zawieszonych kropli i przebieg odrywania się jej można obserwować i w tym razie, gdy woda wyciekaz rurki kroplami wprost w parafinę; jednak w mieszaninie parafiny z dwusiarkiem węgla krople spadają znacznie wolniej, i całe zjawisko występuje wyraźniej. Do tego doświadczenia nadają się szklane rurki, z obu stron otwarte, o średnicy 1 do 2 centymetrów. Na dno szklanego naczynia nalewa się wody zabarwionej na niebiesko, a na nią warstwę płynnej parafiny, lub też mieszaniny parafinowej, o grubości mniej więcej 10 centymetrów. Następnie zanurza się w wodę rurkę, zatknętą na górnym końcu palcem; gdy dolny jej koniec dojdzie do dna naczynia, należy palec odjąć, aby woda weszła do rurki; poczem znowu zatyka się górny koniec rurki i podnosi się ją do góry tak wysoko, aby jej dolny koniec był tylko cokolwiek niżej od górnej powierzchni cieczy w naczyniu. Jeżeli teraz wpuszczać stopniowo powietrze do rurki, uchylając zatykający ją palec, woda poczyną powoli wyciekać kroplami; każda kropla odrywa się od rurki, gdy średnica jej dochodzi do pewnej wielkości, zależnej od średnicy rurki i gęstości mieszaniny.

Aby otrzymać walec wodny w parafinie, należy napęłnić rurkę wodą w taki sposób, jak w poprzednim doświadczeniu, lecz pozostawić górny jej koniec otwartym. Gdy ustanie wszelki ruch, wyciąga się ją szybko w kierunku jej długości. Wówczas woda zawarta w rurce przybiera postać walca, który, przy użyciu dość szerokiej rurki, rozpada się na krople tak wolno, że można dokładnie obejrzeć cały przebieg tego zjawiska. Aby się doświadczenie powiodło, grubość warstwy mieszaniny w naczyniu powinna być przynajmniej 10 razy większa od średnicy rurki.

Można otrzymać bańki wodne w parafinie; w tym celu należy wprowadzić w to samo naczynie rurkę z obu stron otwartą, aby w nią dostać się mogły parafina i woda i wzniesć się do takiej samej wysokości, do jakiej są nalane w naczyniu. W taki sposób rurka napęlnia się przeważnie parafiną. Następnie zatyka się górny koniec rurki palcem i podnosi ją tak wysoko, aby jej dolny koniec był cokolwiek wyżej, niż poziom wody w naczyniu, poczem wpuszcza się stopniowo do rurki powietrze, podnosząc ją jednocześnie w górę. Na dolnym końcu rurki powstają bańki wodne, napęlnione parafiną; można je oddzielić od rurki w taki sam sposób, jak bańki od lejka, mianowicie przez odpowiednie wstrząsanie rurką. Jeżeli w parafinie, napęlniającej rurkę, pływają krople wody, w takim razie mo-

gą powstać bańki wodne, zawierające wewnątrz krople, a nawet inne bańki. Wlewając ostrożnie po rurce pewną ilość dwusiarku węgla, otrzymamy nad wodą w naczyniu ciężką warstwę, po której te bańki mogą pływać.

Można wreszcie tworzyć bańki wodne o kształcie walcowym. W tym celu wprowadza się w naczynie, jak w poprzednim doświadczeniu, otwartą z obu stron rurkę i wyciąga się ją raptownie. Powstaje bańka walcowa, która rozpada się na bańki kuliste w taki sam sposób, jak walec płynny na krople.

### **Kuleczki cieczy na pajęczynie.**

Można je znaleźć na spiralnej części każdej pajęczyny. Najładniejsze pajęczyny bywają na domach w jesieni, w największej zaś ilości przez cały rok w oranżeryach. Aby zdjąć pajęczynę dla przyjrzenia się jej, należy wziąć jakikolwiek pierścień lub krążek z dużym otworem po środku. Brzegi tego pierścienia lub krążka powleka się cienką warstwą płynnego kleju, poczem, upatrzwszy świeżo zrobioną pajęczynę, przesuwa się przez nią ów pierścień lub krążek w taki sposób, aby pewna ilość spiralnych nitek (lecz nie środkowa część pajęczyny) przylepiła się do krążka. Należy przytem wystrzegać się uszkodzenia tych części nitek, które mają być naciągnięte w poprzek otworu. Kuleczki



na pajęczynie są zbyt drobne, aby je można było widzieć nieuzbrojonym okiem; można dobrze przyjrzeć się im, posługując się lupą lub mikroskopem, dającym choćby mierne powiększenie. Kulczki na pajęczynach pajaków młodych nie są tak ładne, jak na pajęczynach pajaków dojrzałych. Te dziwnie piękne kulki, które można oglądać gołym okiem na pajęczynie wczesnym jesiennym rankiem, nie są utworzone przez pajaka. Jest to tylko zwyczajna rosa. Zjawisko to wykazuje kulistość małych kropel wody.

### Fotografowanie strugi wodnej.

Najprostszy sposób, podany przez Chicheстера Bella, polega na tem, że puszcza się strugę wody jak można najbliżej przy bardzo czułej suchej kliszy, ustawionej pionowo, i oświetla się ją z odległości 2 do 3 metrów silną iskrą elektryczną, rozbrajając dużą baterję butelek lejdejskich. W takim razie struga rzuca na kliszę bardzo wyraźny cień tak, że otrzymany obraz nawet przez lupę nie wydaje się zamglonym. W pokoju, w którym się to odbywa, powinno być naturalnie zupełnie ciemno. Prawidłowe rozpadanie się strugi można wywołać przez jakikolwiek ostry dźwięk. Struga, której obraz powiększony  $3\frac{1}{4}$  razy przedstawia Fig. 37, była przerywana wprost przez gwizdanie na kluczu.

Struga rozpada się prawidłowo na krople, jeżeli przymocować rurkę z wylotem do długiej laski, dotykającej drugim końcem podstawy kamertonu, wprowadzając go w drganie za pomocą elektromagnesu. Zresztą nadaje się do tego i zwyczajny kamerton, jeżeli go wprowadzić w drganie i przytknąć do drewnianej podstawy, podtrzymującej rurkę z wylotem. Struga rozpada się najłatwiej pod wpływem pewnych tylko tonów; można ją jednak przystosować do każdego tonu, zmieniając odpowiednio szerokość wylotu, ciśnienie wody, lub też jedno i drugie.

#### **Działanie naelektryzowanego laku na strugę.**

To doświadczenie proste i zarazem bardzo uderzające udaje się z wielką łatwością. Struga wody może mieć od  $\frac{1}{2}$  do 5 lub 6 milimetrów średnicy i do 3 metrów wysokości. Najlepiej jednak nadaje się struga, mająca około  $1\frac{1}{2}$  milimetra średnicy i mniej więcej 1,2 metra wysokości, nachylona nieznacznie względem linii pionowej. Jeżeli potrzebować laskę laku o jakąkolwiek suchą tkaninę wełnianą tak, aby przyciągał drobne skrawki papieru, w tym razie wywiera on nader silne działanie na strugę; lecz działanie to daje się dostrzedz nawet wówczas, gdy lak przestanie już przyciągać drobne ciała, a nawet przestanie działać na czuły elektroskop o złotych listkach.

### Strugi odskakujące jedna od drugiej.

Wykonanie tego doświadczenia, podanego przez Lorda Rayleigh, wymaga pewnych zachodów. Rozciąga się szklaną rurkę tak, aby jej średnica w najwęższym miejscu wynosiła około 3 milimetrów, i w tem miejscu przecina się ją ostrożnie; każdy z otrzymanych kawałków rurki łączy się za pomocą rurki kauczukowej z osobnem naczyniem, napelnionem wodą. Obie strugi reguluje się zaciskaczami śrubowymi, nasuniętymi na rurki kauczukowe, aż będą zupełnie jednakowe, poczem skierowuje się jedną przeciw drugiej pod kątem ostrym. Strugi odskakują jedna od drugiej przez pewien czas, łączą się jednak natychmiast, jeżeli w powietrzu unosi się kurz, jeżeli woda nie jest dostatecznie czysta lub zawiera pęcherzyki powietrza.

W doświadczeniu, którego rzut na ekranie, otrzymany za pomocą lampy elektrycznej, jest przedstawiony na Fig. 41, obie rurki z wylotami były prawie poziome i umieszczone jedna nad drugą na odległości około 1 centymetra tak, że przedłużone ich osie dążyły do jednego punktu; poczem były umocowane w takim położeniu za pomocą laku. Rurki kauczukowe łączyły je z butłami, umieszczonemi o 15 centymetrów wyżej; wpływ wody można było regulować za pomocą zaciskaczy śrubowych.

Jedna z butelek była odosobniona za pomocą trzech nówek z laku. Butle były napelnione wodą filtrowaną; w jednej z nich woda była zabarwiona na niebiesko.

Jeżeli uwzględnić te wszystkie warunki, strugi odskakują jedna od drugiej dość długo i łączą się, skoro tylko umieścić na odległości 2—2½ metrów łaskę naelektryzowanego laku. Można je znów rozłączyć, umieszczając palec przed jednym wylotem, aby sprowadzić strugę na chwilę z jej drogi. Jeżeli następnie ostrożnie usuwać palec, struga przybiera kierunek poprzedni i znów poczyna odskakiwać od drugiej strugi. W taki sposób można 10 do 12 razy w minucie rozdzielać strugi i łączyć je napowrót.

### **Struga w oświetleniu przerywanem.**

Jeżeli wypada pokazać to doświadczenie licznym widzom, należy koniecznie posługiwać się światłem lampy elektrycznej łukowej, by otrzymać rzut strugi na ekranie. Jeżeli nie mamy do rozporządzenia takiej lampy, w takim razie możemy tylko pokazywać strugę każdemu widzowi osobno. W tym celu należy przed mocno oświetlonym ekranem puścić strugę i przerywać ją za pomocą drgającego kamertonu, lub wogóle jakiegokolwiek dźwięku muzycznego. Spoglądać należy przez szereg otworów

w tekturowym krążku, wprawionym w szybki obrót. Najzupełniej nadaje się do tego tekturowy krążek o średnicy 13 centymetrów, z sześciu otworami o szerokości mniej więcej 3 milimetrów, wyciętymi na odległości 1 centymetra od brzegu krążka. Szybkość obrotu powinna być tak wielka, aby drgający kamerton, oglądany przez otwory w obracającym się krążku, wydawał się nieruchomym lub prawie nieruchomym. Wówczas można dostrzedz pojedyncze krople i wogóle wszystko to, co opisaliśmy powyżej.

Autor niniejszego dziełka posługiwał się do tego doświadczenia małym motorem elektrycznym od Cuttris i C-ie, który okazał się zupełnie odpowiednim. Do poruszania go wystarcza 4 ogniwa Bunsena. Wogóle od czterech ogniw motor ten obraca się zbyt szybko, lecz można dowolnie zmniejszać szybkość obrotu przez stosowne przesuwanie szczoteczek w takim kierunku, w jakim się to czyni dla odwrócenia ruchu. Można również nieco zmniejszyć tę szybkość, wywierając słaby ucisk palcem na jeden koniec osi.

### **Struga śpiewająca, czyli mikrofon hydrauliczny Chicheстера Bella.**

Przy tem doświadczeniu średnica wylotu powinna wynosić około 0,3 milimetra. Dla otrzymania w rur-

ce takiego wylotu, Bell radzi ogrzewać koniec rurki szklanej, wciąż obracając ją, w płomieniu palnika gazowego z dmuchawką, aż się zupełnie zatopi, potem dmuchnąć mocno przez drugi koniec; w taki sposób można otrzymać małeńki otwór w cieniwej ścianie ogrzanej części rurki. Przyrządziwszy kilka takich rurek z otworkami, wybiera się z nich najodpowiedniejszą. Lord Rayleigh zaś w tym celu przykutowuje na końcu metalowej (lub szklanej) rurki cienką mosiężną blaszkę, w której można potem zrobić otwór taki, jaki się spodoba. Ciśnienie powinno być równe ciśnieniu słupa wody o wysokości mniej więcej 5 metrów. Woda powinna być wolna od kurzu i pęcherzyków powietrza; w tym celu przepuszcza się, zanim się dostanie do wylotu, przez rurkę napełnioną watą, flanelą lub jakimkolwiek innym ciałem, które może służyć do filtrowania wody. Rurka z wylotem łączy się z tym filtrem za pośrednictwem rurki z dobrego czarnego kauczuku, mającej 1 metr długości przy 2 do 3 centymetrów średnicy wewnętrznej. Nie należy używać wody wprost z wodociągu; lepiej połączyć wylot ze zbiornikiem, umieszczonym prawie o 5 metrów ponad wylotem; w braku takiego zbiornika można wziąć nawet wiadro, połączone z wylotem za pośrednictwem syfonu. Zmieniając wysokość wiadra ponad wylotem, można regulować ciśnienie, dopóki się nie dostrzeże najlepszego skutku.

Inne części tego przyrządu są nader proste. Na końcu szklanej lub metalowej rurki o średnicy mniej więcej 1 centymetra naciąga się kawałek cienkiej kauczukowej błonki, używanej do wyrobu baloników dzieciennych. Można rurkę pozostawić otwartą na drugim końcu i utrzymywać ją w statywie, lub też osadzić w ciężkiej podstawie i zaopatrzyć krótką boczną rurką, do której można przymocować tekturowy stożek dla wzmocnienia dźwięku (Fig. 46). Przy spostrzeżeniach subiektywnych korzystniejszym jest doprowadzanie dźwięku do ucha za pomocą rurki kauczukowej o 1 centymetrze średnicy, złączonej z otwartym końcem rurki. Przy takim urządzeniu tykanie zegarka jest prawie ogłuszającym.

### **Bańki i eter siarczany.**

Przy doświadczeniach z eterem należy być bardzo ostrożnym, gdyż plyn ten tak samo, jak i dwusiarek węgla, jest nader łatwo zapalny; nie należy nigdy stawiać butelki z eterem blisko ognia. Jeżeli rozlać dużą ilość eteru, para rozchodzi się nad podłogą i może się zapalić od płomienia, znajdującego się na drugim końcu pokoju. Aby napełnić naczynie parą eteru, należy nalać go na kawałek bibuły, umieszczonej na dnie naczynia tak, by koniec wystawał poza górny brzeg. Na dwulitrowe naczynie wy-

starcza pół kieliszka eteru. W razie przeciągu powietrza eter paruje nader szybko. Łatwo urządzić, aby bańka mydlana pływała po parze eteru. Po 5—10 sekundach można tę bańkę wydobyć z naczynia za pomocą pierścienia metalowego, zanurzonego poprzednio w roztwór mydlany, lecz nie zawierającego błonki. Już na pewnej odległości od płomienia bańka zapala się raptownie z dość głośnym hukiem. Jeżeli umieścić świecę znacznie wyżej od naczynia z parą eteru, wówczas doświadczenie to nie jest zgoła niebezpiecznym. Przy wyciąganiu bańki z pary eteru można łatwo zauważyć, że postać jej, podobna do postaci gruszki, różni się od postaci bańki zwyczajnej. Strumień pary, wydobywający się z bańki, można dostrzedz tylko na cieniu jej na ekranie, otrzymanym przy użyciu bardzo mocnego światła.

### **Doświadczenia z bańkami wewnętrznymi.**

Do tych doświadczeń niezbędnym jest dobry roztwór mydlany i odpowiednia rurka. Zwyczajna fajeczka porcelanowa nie nadaje się tu wcale. Najodpowiedniejszą jest szklana rurka, średnica której przy wylocie wynosi mniej więcej 8 milimetrów. Jeżeli wprost zgiąć rurkę na końcu pod kątem prostym, wówczas ciecz, jaka się w niej zbierze, może spływać na bańki, wskutek czego bańki pękają.



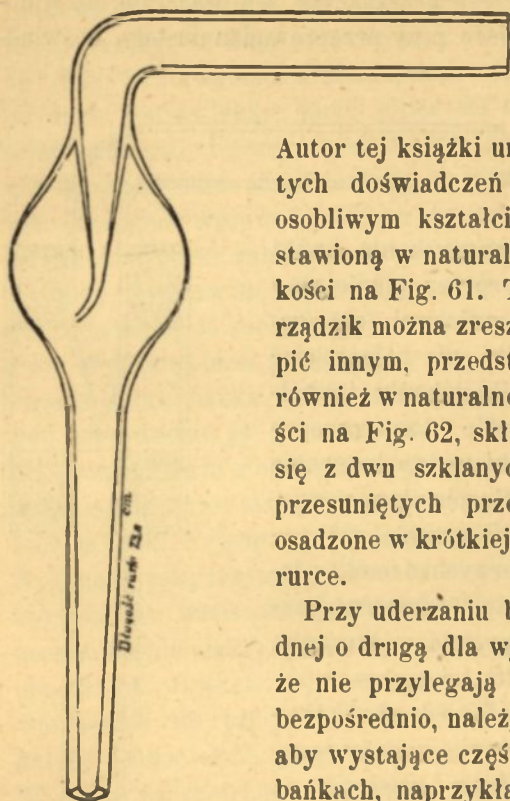


Fig. 61.

Autor tej książki urządził do tych doświadczeń rurkę o osobliwym kształcie, przedstawioną w naturalnej wielkości na Fig. 61. Ten przyrządek można zresztą zastąpić innym, przedstawionym również w naturalnej wielkości na Fig. 62, składającym się z dwu szklanych rurek, przesuniętych przez korki, osadzone w krótkiej szerokiej rurce.

Przy uderzaniu baniek jednej o drugą dla wykazania, że nie przylegają do siebie bezpośrednio, należy baczyć, aby wystające części na obu bańkach, na przykład kropla cieczy, jaka się zawsze zbiera na spodzie bańki, lub też pierścienie, nie były wprowadzone w zetknięcie. W przeciwnym razie bańki pękają. Nie należy również uderzać zbyt mocno, gdyż istnieje pewna granica, któ-

rej nie należy przekraczać, a która staje się widoczną dopiero przy przeprowadzaniu tego doświadczenia.

Przy przepychaniu bańki mydlanej przez pierścień o średnicy mniejszej, niż średnica bańki, nie należy brać zbyt wielkiej bańki, jakkolwiek wogóle można przepychać bańki nadspodziewanie wielkie. Kropla płynu na spodzie bańki zwykle nie pozwala przepychać bańki z dołu ku górze; bezpieczniej zatem przepychać w kierunku odwrotnym, t. j. z góry na dół.

Aby wydać jedną bańkę wewnątrz drugiej, należy przede wszystkim zawiesić na pierścieniu, umieszczonym poziomo, bańkę o wielkości pomarańczy i przyczepić do niej z dołu inny mniejszy pierścień, wystarczająco ciężki, aby mógł zmienić odpowiednio jej kształt;



Fig. 62.

mianowicie boki bańki pomiędzy pierścieniami powinny tworzyć z linią pionową kąt, równy  $30^{\circ}$  do  $40^{\circ}$  (Fig. 51). Pierścień z cieniutkiego aluminiowego drutu jest za lekki; lepiej wziąć do tego pierścień z innego, cięższego metalu, lub też przyczepić do pierścienia aluminiowego stosowny ciężarek. Następnie wprowadza się przez wierzchni pierścień koniec rurki, zanurzony poprzednio w roztwór mydlany; wydyma się odpowiedniej wielkości bańkę, oddziela się ją od rurki i wyciąga rurkę napowrót. Przy zbyt powolnem poruszaniu rurką, w celu oderwania bańki, bańka wewnętrzna rozciąga się i łatwo wprowadzić ją w rzeczywiste zetknięcie na powierzchni rurki z bańką zewnętrzną; zbyt mocne wstrząsanie rurką może również być przyczyną pęknięcia bańki. Najodpowiedniejszym jest krótki ruch, wykonany ręką trzymającą rurkę, wywołujący niezbyt mocne wstrząśnienie bańki. Należy potem usunąć krople cieczy, jakie się zebrały na spodach obu baniek, wewnętrznej i zewnętrznej. W tym celu wprowadza się rurkę przez pierścień dolny, który należy jednocześnie przytrzymywać ręką, bacząc, by bańka wewnętrzna nie dotknęła pierścienia. Nie należy również zbliżać rurki do tego miejsca, gdzie powłoki obu baniek stykają się pozornie. Aby potem odjąć pierścień dolny, należy go pociągać powoli ku dołowi, nachylając jednocześnie na bok; skoro tylko powłoka bańki pocznie się oddzielać od

pierścienia, należy go podnosić stopniowo do góry, bacząc, by nie wprawić bańki w zbyt mocne drgania.

Bańki zabarwione fluoresceiną lub uraniną wyglądają bardzo ładnie, lecz tylko w promieniach światła słonecznego lub elektrycznego, skupionych za pomocą soczewki lub zwierciadła. Ilość barwnika, potrzebna do zabarwienia roztworu, jest tak mała, że zwykle bierze się go za dużo, co psuje efekt. Na szklankę roztworu mydlanego wystarcza w zupełności tyle, ile może pokryć koniec ostrza scyzoryka na długości 3 milimetrów. Przy użyciu większej ilości występuje daleko słabsza fluorescencya i znika bardzo szybko. Kilkominutowa próba wystarcza do znalezienia w każdym przypadku ilości najodpowiedniejszej.

Jeżeli idzie o bańki, zawierające powietrze, lub gaz świetlny, lub też ich mieszaninę, przydatnym być może szklany przyrząd w kształcie głośki T. Jedno jego ramię jest połączone rurką kauczukową z rurką szklaną do wydymania baniek, drugie z kranem gazowym. Rurka, prowadząca do kranu gazowego, powinna być takiej długości, aby się włączyła po podłodze. Jeżeli chcemy przerwać przyływ gazu, możemy ścisnąć ją lewą ręką lub też nastąpić na nią nogą. Przez trzecie ramię, które się trzyma w ustach, można wdmuchiwać powietrze; jeżeli wprowadza się do bańki tylko gaz, w takim razie zatyka się jego koniec językiem. Ramię to po-

winno być na końcu cokolwiek rozszerzone, aby się nie wymknęło z ust podczas dmuchania; w takim razie łatwo go trzymać pomiędzy zębami bez obawy, że się wysliznie. W braku takiego przyrządu można posługiwać się wprost jedną rurką, przez którą, po odjęciu jej od ust, można wpuszczać gaz. Jakkolwiek przedstawia to wiele niedogodności, jednak w taki sposób można przeprowadzić prawie wszystkie opisane powyżej doświadczenia, prócz doświadczenia z trzema bańkami.

Rurkę należy zawsze wsuwać w bańkę przez jej najwyższy punkt; jeżeli wprowadzać przez boczną ściankę bańki, w takim razie bańka wewnętrzna pęknie prawie napewno. Bańka wewnętrzna nadęta gazem świetlnym wznosi się w górę; aby zapobiedz połączeniu się jej z bańką zewnętrzną w tem miejscu, gdzie przez nią przechodzi rurka, należy stosownie nachylać rurkę. Jeżeli już po usunięciu rurki, wypada jeszcze wprowadzić w jedną z baniek cokolwiek powietrza (lub gazu), nie należy dmuchać zaraz po ponownem wsunięciu w nią rurki, gdyż w tym razie błonka, naciągnięta zwykle na końcu rurki, tworzy trzecią bańkę, która przy tych warunkach przyczynia się prawie zawsze do pęknięcia baniek. Aby temu zapobiedz, należy przed wsunięciem rurki w bańkę wciągnąć przez nią powietrze; w takim razie błonka pęka, poczem można bez obawy wpuszczać przez rurkę gaz lub powietrze.

Przy przeprowadzaniu takiego doświadczenia z lekkim pierścieniem, do którego jest przyczepiony na nitce kawałek papieru lub waty, ręka lewa trzyma ten pierścień; w tym przeto razie do regulowania przyływu gazu należy naciskać na rurkę, przywodzącą gaz, nogą, lub też mieć kogoś do pomocy. Średnica tego pierścienia powinna wynosić mniej więcej 5 centymetrów.

Gdy bańki poczynają się wznosić, i uda się schwyćć unoszący się wraz z nimi kawałek papieru, wówczas można, wykonywając stosowny ruch, oderwać pierścień od baniek, poczem bańki wznoszą się wyżej same, a pierścień można zużytkować do innych doświadczeń. Aby odłączyć bańkę od dużego pierścienia należy go odpowiednio nachylać, lub też wprowadzić w rzeczywiste zetknięcie z nim inną bańkę, przez co pierwsza bańka wyswobadza się.

Dość trudno wyjąć trzy bańki jedną w drugiej. Można jednak przy pewnej wprawie dokonać tego według podanych tu wskazówek. Przedewszystkiem należy złożyć na pierścieniu nieruchomym bańkę tak wielką, jak duża pomarańcza, i wprowadzić w nią pierścień o średnicy 2—3 centymetrów, umocowany na końcu cienkiego pręcika metalowego, prostopadłego do płaszczyzny pierścienia. Pierścień ten po zwilżeniu go roztworem mydlanym należy wsunąć w bańkę w kierunku z dołu do góry. Następnie zanurza się znów rurkę w roztwór my-

dlany, wprowadza w bańkę zewnętrzną (Nr. 1) i poczyną wydymać bańkę Nr. 2. Jak tylko bańka ta zaczyna się tworzyć, należy natychmiast wprowadzić ją w zetknięcie z pierścieniem, gdyż w przeciwnym razie błonka w nim naciągnięta bezwarunkowo spowoduje pęknięcie bańki, gdy już będzie dostatecznie wielką. Po wysunięciu rurki i ponownem zanurzeniu jej w roztwór mydlany, wsuwa się ją przez bańkę Nr. 1 do wnętrza bańki Nr. 2, bacząc, by nie wprowadzić tych dwóch baniek w zetknięcie. Teraz nadyma się gazem dużą bańkę, która może tymczasowo dotykać swą wierzchnią częścią bańki Nr. 2; bańkę Nr. 2 można również bez obawy podnieść do góry, aż dotknie bańki Nr. 1.

Następnie oddziela się ostrożnie rurkę od bańki Nr. 3, wprowadza cokolwiek gazu do wnętrza bańki Nr. 2, aby uczynić ją lżejszą, a przeto zmniejszyć ciśnienie na nią bańki Nr. 3, poczem można oddzielić pierścień ruchomy od bańki Nr. 2 i usunąć go. Jeżeli przy wykonaniu tego napotyka się pewne trudności, w takim razie należy wyjąć rurkę z bańki Nr. 2 i napuścić powietrza do bańki Nr. 1, aby ją powiększyć. Wówczas już znacznie łatwiej wysunąć pierścień. Wreszcie wysuwa się rurkę z bańki Nr. 1. Jeżeli teraz złożyć na pierścieniu nieruchomym czwartą bańkę, nasze trzy bańki odrywają się i wznoszą w górę.

Opis ten wydaje się bardzo zawilym; przy pe-

wnej jednak wprawie można wykonać doświadczenie z trzema bańkami w krótszym daleko czasie, niż tego wymaga opis. W rzeczywistości wszystko to robi się tak prędko i wydaje się tak prostem, że niktby się nie domyślił, ile szczegółów należy uwzględnić, aby się to doświadczenie powiodło.

### Bańki mydlane i elektryczność.

Ze wszystkich opisanych w tej książce doświadczeń te są najtrudniejsze do wykonania, i, aby się powiodły, należy uwzględnić koniecznie podane poniżej warunki. Należy zaopatrzyć się w dwa pierścienie, przytwierdzone do metalowych prętów o długości około 15 centymetrów, zgiętych na przeciwnych końcach pod kątem prostym. Zagięte końce prętów, mające prawie po 2 centymetry długości, osadza się w pionowych otworach, wywierconych na odległości 5—8 centymetrów jeden od drugiego w jakimkolwiek nieprzewodniku, na przykład w ebonicie. Przy dokładnem urządzeniu oba pierścienie leżą w płaszczyźnie poziomej w jednakowej wysokości i mogą być zsuwane lub rozsuwane. Po rozsunięciu pierścieni na odległość mniej więcej 10 centymetrów, składa się na każdym z nich po bańkę, o ile można jednakowej, poczem zsuwa się ich, aby wprowadzić bańki w zetknięcie. Choćby udało



się od razu zbliżyć bańki tak, by się stykały pozornie, nie pozostają długo w takim położeniu, gdyż wypukłe ich powierzchnie mogą łatwo ścisnąć zawartą pomiędzy nimi warstwę powietrza. Ebonit nie powinien być ogrzany, ani zupełnie suchym, gdyż w takim stanie prawie napewno posiada własności elektryczne, i doświadczenie nie udaje się. Nie powinien również być zbyt wilgotnym, gdyż wówczas jest dobrym przewodnikiem, i naelektryzowany lak nie wywiera żadnego działania. Pierwsze bańki, które pękając obryzgały go, wilgocią go tak, że wówczas nadaje się najlepiej do tych doświadczeń. Należy jednak od czasu do czasu wycierać go.

Laszkę laku, owiniętą dwa lub trzy razy suchą flanelą lub futrem, należy trzymać w pogotowiu pod pachą. Jeżeli naelektryzować lak zbyt silnie, wówczas działa zbyt energicznie, i bańki, wystawione na jego działanie, pękają. Wystarcza w zupełności słabo go naelektryzować. Bańki łączą się natychmiast, jak tylko wyciągnąć lak na zewnątrz. Do bańki, zawierającej wewnątrz inną bańkę, można zbliżyć lak tak blisko, że pod jego działaniem bańka zewnętrzna aż pochyli się na bok, a pomimo to nie dostrzega się żadnej zmiany w zachowaniu się bańki wewnętrznej. Przy tem doświadczeniu nie należy przysuwać laku zbyt blisko, gdyż bańka przy zetknięciu się z nim może pęknąć i obryzgać

go, a wówczas trudno naelektryzować go ponownie. Przy wykazaniu różnicy w zachowaniu się bańki zewnętrznej i wewnętrznej należy unikać straty czasu i nie elektryzować laku zbyt silnie. W tem doświadczeniu pożyteczniej zostawiać ciężkie krople płynu na obu bańkach, gdyż przez to równowaga ich jest bardziej stateczną. Jeżeli bańka zewnętrzna nie jest zbyt wielka, można powtórzyć z nią to doświadczenie kilka razy bez uszkodzenia bańki wewnętrznej. Autorowi książki niniejszej udało się raz połączyć z jedną bańką zewnętrzną 8 czy 9 innych baniek, jedną za drugą, aż wreszcie stała się tak wielką, że przy dalszem powiększaniu pękła.

Odbieglibyśmy zbyttnio od obranego przedmiotu, gdybyśmy zechcieli tu rozważać szczegóły urządzenia przyrządu do projekcyi. Należy jednak zauważyć, że za pomocą soczewki można rzucać na białą ścianę obrazy małych baniek, natomiast ostatnie doświadczenia z dużemi bańkami można uwidocznic tylko przez ich cień na ekranie; w tym razie należy usunąć z lampy soczewkę i umieszczać bańki na drodze promieni, wychodzących bezpośrednio z lampy. Lampa elektryczna łukowa nadaje się wogóle do tego lepiej, niż lampa ze światłem Drumonda, gdyż daje wyraźniejsze cienie i czyni barwy bardziej świetnemi. Lampa olejna nie nadaje się do tych doświadczeń wcale, gdyż

plomień jej jest zbyt szeroki, by można było otrzymać wyraźnie cienie.

---

W tych wskazówkach, które utworzyły dość obszerny rozdział w książeczce niniejszej, zawarte są wszystkie te szczegóły, jakie należy koniecznie uwzględnić przy publicznem przeprowadzaniu doświadczeń tu opisanych. Bez wątpienia, przydadzą się one i tym, którzy zechcą powtórzyć doświadczenia te jedynie tylko dla zaspokojenia własnej ciekawości.

Czytelnicy, mało obeznani z fizyką doświadczalną, mogą sądzić, że „Wskazówki“ są zbyt drobiazgowe. Lecz, gdy przystąpią do dzieła, będą napotykać, prawdopodobnie, jeszcze wiele trudności, a wówczas pożałują, że nie uwzględniono jeszcze więcej szczegółów.

Nie zamieszcza się zwykle na końcu dziełka takiego, jak niniejsze, dokładnych wyjaśnień, dotyczących się doświadczeń w niem opisanych. W tym razie jednak nie jest to zbytiecznem, mianowicie dlatego, że większą część tych doświadczeń można wykonać bez szczególnych przyrządów, bez których w wielu razach obejść się niepodobna.



## Dodatki tłumacza.

---

### DODATEK I.

#### **O ruchach kamfory na powierzchni wody.**

Jeżeli umieścimy na powierzchni wody kawałek kamfory, poczyną on wykonywać szybkie ruchy postępowe i obrotowe. Zjawisko to oddawna zwracało na siebie uwagę fizyków, lecz właściwą przyczynę jego wyjaśnił dopiero Van der Mensbrughe w 1870 roku.

Odłamek kamfory dotyka wody niewielu dolnymi punktami, i w tych miejscach kamfora rozpuszcza się w wodzie. Woda kamforowa posiada napięcie powierzchniowe mniejsze, niż woda czysta; a zatem dokoła tych punktów zachodzi objaw taki sam, jaki opisaliśmy powyżej (str. 25). Widzieliśmy, że woda w płaskim naczyniu rozbiega się ku brzegom naczynia, jeżeli na

środek puścić kroplę alkoholu lub płynu, napięcie powierzchniowe którego jest mniejsze, niż napięcie powierzchniowe wody. Tak samo w danym przypadku czysta powierzchnia wody rozbiega się na wszystkie strony z miejsc, w których zachodzi rozpuszczanie się kamfory. Jeżeli w jakimkolwiek punkcie zetknięcia kamfory z wodą rozpuszczanie kamfory, zatem zmniejszenie napięcia wody, występuje osobiście szybko, wówczas mniej zanieczyszczona część powierzchni wody, uchodząc z tego miejsca, pociąga za sobą cały kawałeczek kamfory. Ponieważ zaś coraz to w innych punktach kamfora rozpuszcza się najłatwiej, przeto drobinka kamfory wykonywa nieprawidłowe ruchy, wirując i zmieniając jednocześnie swe miejsce. Jeżeli zaś tak urządzić, aby kawałeczek kamfory dotykał wody jednym zawsze punktem, w takim razie występuje ruch bardziej prawidłowy. Van der Mensbrugghe obmyślił dla wykonania tego następnę, dając się łatwo wykonać, doświadczenie. Na końcu małej łódeczki, wyrobionej z cynfolii, przytwierdza się kawałeczek kamfory, który, po złożeniu łódeczki na wodę, dotyka powierzchni wody tylko jednym punktem. Prócz tego owija się go arkusikiem cynfolii, pozostawiając część jego powierzchni odkrytą w taki sposób, aby rozpuszczanie się kamfory z biegiem czasu występowało w kierunku długości łódeczki. Gdy więc łódeczkę tę puścimy na wodę,

poczyna ona szybko płynąć w kierunku swej długości. Doświadczenie to można urozmaicić, jeżeli przyczepić łódeczkę do lekkiego spodeczka, złożonego na wodę; wówczas łódka nasza wykonywa szybki ruch obrotowy dokoła spodeczka. Lecz skoro tylko zbliżyć odkorkowaną butelkę z eterem, łódeczka poczyna wykonywać ruchy wielce nieprawidłowe.

Aby się te doświadczenia powiodły, trzeba zachować jak największą czystość. Naczynie do wody przed użyciem go do doświadczenia należy wypłukać kwasem siarczanym, aby usunąć z niego nawet najmniejsze ilości tłuszczu; nie należy dotykać powierzchni wody, ani wewnętrznej powierzchni naczynia przed napełnieniem go wodą palcami, gdyż to wystarcza do wytworzenia na powierzchni wody cieniutkiej warstwy tłuszczu, i ruch kamfory ustaje. Lord Rayleigh wykazał, że warstwa oliwy o grubości 0,000002 milimetra, rozpostarta na powierzchni wody, wystarcza w zupełności do powstrzymania ruchów kamfory. Działanie to oliwy polega na tem, że napięcie powierzchniowe wody powleczonej oliwą nie różni się już od napięcia roztworu kamforowego.

Bardzo łatwo i wyraźnie można wykazać, że rozpuszczanie kamfory w wodzie zmniejsza jej napięcie powierzchniowe. W tym celu należy ułożyć na powierzchni wody nitkę, tworzącą jakikolwiek kontur zamknięty, i opuścić wewnątrz tego obwodu

kilka drobinek kamfory. Cząsteczki poczynają szybko wirować, i stopniowo nitka zaokrąglą się w doskonały obwód kola.

## DODATEK II.

### Nitki kwarcowe.

Nie wszyscy czytelnicy wiedzą zapewne, że można otrzymywać nitki z kwarcu. Odkrycie sposobu wyrabiania nitek kwarcowych zawdzięczamy autorowi niniejszego dziełka. W tym celu należy wybrać odpowiedni kryształ kwarcu, zetrzeć go na proszek, poczem stopić w palniku Drumonda w przezroczystą pałeczkę o średnicy 1 do 2 milimetrów. Niewielki kawałek tej pałeczki przytwierdza się do końca strzały włożonej w napięty łuk, następnie zbliża się inny kawałek kwarcu do kawałka umocowanego na strzałce i skierowuje się płomień palnika na punkt zetknięcia tych dwóch kawałków. Jak tylko utworzy się pomiędzy nimi płynna, rozpalona aż do białości kropla, puszcza się cięciwę, a strzała, wylatując, wyciąga cieniutką nitkę, którą potem nawija się na szpulkę <sup>1)</sup>. Nitki kwarcowe

---

<sup>1)</sup> Niedawno mechanik Voltacek w Wiedniu wynalazł jeszcze bardziej prosty sposób otrzymywania nitek kwarcowych, zachowuje go jednak tymczasowo w tajemnicy. (Wied. Beibl. t. 17, 1893, str. 603).



przy wielkiej wytrzymałości (według Boysa wytrzymałość kwarcu równa się wytrzymałości stali) przedstawiają nieznaczny opór w skręcaniu i prócz tego posiadają w doskonałym stopniu własność powrotności. Wszystkie te zalety czynią nitki kwarcowe nader odpowiedniami do zawieszania na nich igieł w galwanometrach, elektrometrach i t. p. Obecnie też do wszystkich bardziej czułych galwanometrów używają nitek kwarcowych, zamiast kokonowych. Przy pewnej wprawie otrzymuje się w opisany sposób niteczki tak cienkie, że można nimi z korzyścią zastąpić nitki pajęczne w mikroskopach i lunetach.

### DODATEK III.

#### O działaniu oliwy na fale morskie.

Starożytni Grecy i Rzymianie znali już sposób uśmierzania wzburzonego morza przez wylewanie na jego powierzchnię oleju; znajdujemy wzmianki o tem w dziełach Arystotelesa, Pliniusza, Plutarcha i innych starożytnych pisarzy. W wiekach średnich przypisywali takie uśmierzające działanie olejowi poświęconemu. Od najdawniejszych zatem czasów marynarze posługiwali się tem zjawiskiem, nie zdając sobie dokładnie sprawy z niego; fizycy zaś nie zwracali na nie uwagi i mieścili je w szeregu licznych przesądów rybaków.

W ostatnich czasach liczne badania i obserwacje wykazały, że takie działanie oleju istnieje rzeczywiście (należy zaznaczyć obserwacje wiceadmirała Cloué w roku 1887), i jakkolwiek nie posiadamy jeszcze dokładnej znajomości prawdziwej przyczyny tego zjawiska, jednak na zasadzie tych badań powstało już kilka przypuszczalnych teorii. Van der Mensbrugge podał najbardziej zadawalniające wytłumaczenie; podajemy je też w skróceniu.

Weźmy kwadrat druciany zaopatrzonego w równoległy do dwóch jego boków kawałek drutu, który może być przesuwany, pozostając zawsze w płaszczyźnie kwadratu, w kierunku równoległym do dwóch innych boków. Za pomocą takiego przyrządźdiku można wykazać istnienie napięcia powierzchniowego cieczy, a nawet mierzyć je bezpośrednio. Przysuńmy ruchomy kawałek drutu do jednego z równoległych ku niemu boków i zanurzymy cały kwadrat w roztwór mydlany, a po wyjęciu ustawmy pionowo; wówczas, wskutek napięcia powierzchniowego roztworu mydlanego, drut ruchomy pozostanie zawieszonym przy górnym poziomym boku. Składając na przyczepionej do niego szalce niewielkie ciężarki, można go odciągnąć na pewną odległość i przez to powiększyć powierzchnię błonki, zawartej pomiędzy drutami. Przy tem powiększeniu błonki, ciężarki opuszczają się na dół, a zatem siła ciężkości wykonywa pracę,

mianowicie na powiększenie swobodnej powierzchni błonki. Odwrotnie zaś błonka, zmniejszając swą swobodną powierzchnię, może podnieść do góry odpowiednie ciężarki; w tym razie napięcie błonki wykonywa pracę. Widzimy więc, że na powiększenie swobodnej powierzchni błonki (lub też utworzenie nowej powierzchni) należy wykonać pracę, natomiast przy zmniejszaniu się jej (lub też znikaniu) zyskujemy pewną pracę.

Rozważmy teraz 1 milimetr kwadratowy powierzchni wody i określmy pracę, jaką należy wykonać na pokonanie siły napięcia powierzchniowego, aby powiększyć tę powierzchnię w dwójnasób. Ponieważ siła napięcia powierzchniowego wody wynosi 7,5 miligrama na milimetr długości, praca ta wynosi zatem 7,5 mg.-mm. Odzyskujemy ją w postaci energii potencjalnej, zawartej w nowo powstałym milimetrze kwadratowym powierzchni wody. Jeżeli zaś tyleż swobodnej powierzchni zniknie, wówczas zawarta w niej energia potencjalna wyswobadza się i może być zamieniona na pracę. Każdy więc milimetr kwadratowy powierzchni wody zawiera energię potencjalną w ilości 7,5 mg.-mm. W powierzchniowej zaś warstwie oceanu o grubości, nie przenoszącej 0,00005 milimetra, zawarta jest olbrzymia ilość energii — potęga, o jakiej nie jest w stanie dać dokładnego pojęcia.

Po tych uwagach wstępnych powróćmy do fal

morskich. Jeżeli na spokojną powierzchnię wody rzucić kamień, powstaje fala, w której cząsteczki wody wykonywają ruchy drgające około swego położenia równowagi; wiemy jednak, że w tym razie ruch postępowy na powierzchni wody nie zachodzi wcale. Inaczej rzecz się ma z falami morskimi; wiatr, mianowicie, przesuwa wierzchnie warstwy wody względem dolnych. Ponieważ zaś działanie wiatru nie na wszystkie części powierzchni wodnej, szczególnie, gdy nie jest spokojna, jest jednakowo mocne, zatem różne jej części przesuwiają się niejednakowo szybko, i warstwy, poruszające się szybciej, wślizgują się na warstwy, postępujące wolniej. Wyobraźmy sobie, że jedna warstwa powierzchniowa wślizguje się na taką samą drugą, położoną obok niej tak, że nakrywa ją zupełnie. Warstwa, która została przykryta, utraciła przez to swą swobodną powierzchnię, a wraz z nią i energię potencjalną. Gdyby to wślizgiwanie się zachodziło stopniowo, w takim razie wyswobodzona energia potencjalna mogłaby się zamienić na ciepło. Lecz zjawisko to zachodzi szybko, wskutek tego energia ta zamienia się na energię cynetyczną i powiększa szybkość poruszających się mas wodnych. Jeżeli zatem wiatr nadaje pewnym warstwom powierzchni szybkość większą, niż warstwom sąsiednim, wówczas jedne warstwy wślizgują się na drugie, które dążą dalej z większą niż poprzednio szybkością,

wślizgują się znów na inne bardziej odległe i t. d. Tworzy się bałwan, który składa się z wielu warstw, a szybkość każdej warstwy jest tem większa, im wyżej ta warstwa się znajduje. Najwyższa warstwa przy dość silnym wicherze posiada olbrzymią szybkość i tworzy tak zwany „grzebień“ fali, nader groźny dla marynarzy, który w miarę postępowania fali staje się coraz wyraźniejszym, aż wreszcie spada z pluskiem do morza.

Aby mieć pojęcie o tej szybkości, jaką może udzielić masom wodnym wyswobodzona energia potencjalna nakrytych warstw, przeprowadźmy krótkie wyliczenie. Jeżeli warstwa o powierzchni 1 metra kwadratowego przykrywa taką samą drugą, wówczas wyswobadza się energia równa 0,0075 kg.-m. Otóż jeżeli takie warstwy o grubości 0,00005 milimetra poczną wślizgiwać się jedna na drugą, aż utworzą słup wody o wysokości 1 metra, wówczas cała ilość wyswobodzonej energii równa się 150000 kg.-m.; taka ilość energii może nadać całej tej masie wody, t. j. 1 metrowi sześciennemu, szybkość równą 54,2 m. na sekundę.

Jeżeli jednak jedna warstwa wody wślizguje się na inną, powleczoną choćby bardzo cienką warstewką oliwy<sup>1)</sup>, w takim razie występuje nie zmniejsze-

<sup>1)</sup> Według badań Röntgena, Lorda Rayleigh i najnowszych Oberbecka wystarcza warstewka oleju o grubości 0,000002 milimetra.

nie, lecz powiększenie swobodnej powierzchni wody, gdyż warstwa, która wśliznęła się, zyskała przez to dolną swobodną powierzchnię. W tym razie zatem musi być jeszcze wykonana pewna praca na powiększenie swobodnej powierzchni<sup>1)</sup>; wskutek tego zmniejsza się energia cynetyczna, a zatem szybkość mas wodnych. Łatwo więc pojąć, że pokrycie powierzchni wody warstwą oleju zapobiega tworzeniu się bałwanów. Gdy już utworzona fala zbliży się do części morza, pokrytej oliwą, ta rozpościera się w oka mgnieniu po powierzchni fali i wznosi się w górę aż do wierzchołka grzebienia. Od tej chwili dalsze wślizgiwanie się warstw wodnych wywołuje zmniejszenie szybkości warstw wierzchnich, warstwy dolne wysuwają się naprzód, wskutek tego fala wydłuża się i przestaje być groźną dla marynarzy.

---

<sup>1)</sup> Na utworzenie nowej powierzchni wody, stykającej się z olejem, zużywa się 0,0115 kg.-m. energii na metr kwadratowy, natomiast przy pokryciu swobodnej powierzchni oleju wodą, wyswabza się na metr kwadratowy ilość energii, równa 0,0055 kg.-m; wogóle zatem występuje strata energii, równa 0,006 kg.-m. na metr kwadratowy.

staralem się uniknąć wykładowego tonu całej książki, która w oryginale przedstawia wprost przedruk odczytów autora, mianych w „the theatre of the London Institution“.

W obec tego przekład mój stanowi właściwie przeróbkę oryginału. Nie moja rzecz sądzić, o ile mi się to udało, nadmienię jednak, że pozatem wszędzie staralem się o wierne oddanie myśli autora, poświęcając w wielu razach ozdobność, a być może i potoczność stylu.

*Wiktor Biernacki.*

Wrzesień, 1893.

---

**BIBLIOTEKA  
UMCS  
LUBLIN**

