

157
ST. MALEC I W. WERNER

FIZYKA

DLA III KLASY GIMNAZJALNEJ

87
ZRZESZENIE PROFESORÓW I DOCENTÓW
W
WIELKIEJ BRYTANII
LONDYN, 1946

N. 29

Sender dujom

ST. MALEC i W. WERNER

F I Z Y K A

DLA III KLASY GIMNAZJALNEJ

SKLAD GŁÓWNY W ZRZESZENIU PROFESORÓW I DOCENTÓW
4, WARWICK SQUARE, LONDYN, S.W.1

AE
1384055

BIBLIOTEKA
UNIwersytecka
w Toruniu

PRZEDMOWA

Zyjemy w epoce rozkwitu techniki. Sięga ona we wszystkie dziedziny naszego życia. Trudno nam dziś pojąć życie, jakie wiedli nasi przodkowie przed dwustu lub trzystu laty, zanim maszyna parowa zaprzęła w pomoc człowiekowi nieprzebrane siły, drżące w pokładach węgla. Tylko wyobraźnia powieściopisarzy, wspomagana badaniami dokumentów i zabytków historycznych, pozwala nam wejrzeć w sposób bytowania minionych pokoleń.

O ileż trudniej byłoby człowiekowi przeszłości zrozumieć nasze życie, tak przepojone obcemi mu wynalazkami.

Wyobraźmy sobie, że jakiś uczony Mistrz z XVII wieku, świadomy wszystkich tajników wiedzy swej epoki, usnął i cudem jakimś ocknął się w naszych czasach. Z jakim zdumieniem, a pewnie i przerażeniem, spoglądałby na życie dzisiejszego człowieka, który tak liczne i potężne siły przyrody zmusił do służby sobie. Wyobraźmy sobie, że napotkał współczesnego czarodzieja - Inżyniera, który oto pokazuje mu i objaśnia cuda dzisiejszej techniki. Lekko i sprawnie unosi ich winda na wysokie piętro współczesnego domu, do jasnego, zalanego słońcem mieszkania. Jak ciemnym wydaje mu się jego dawny pokój, w ciasnej uliczce ściśniętego murami obronnemi miasta, z małym oknem, przez którego szklane „gomółki” sączyło się skąpe światło. Tu wszystko jest dziwne, niepokojące i niezrozumiałe: dzwonek, oznajmiający za naciśnięciem guzika przybycie dostojnego gościa; szybko na gazie ugotowana herbata, do której wody dostarczył umieszczony przy ścianie kran... „Nie trzeba chodzić po wodę do studni miejskiej, ani wydobywać jej z przegrębli w rzece”.

Mrok zapada, więc gospodarz jednym przekręceniem kontaktu zaświeca elektryczne lampy, które zalewają cały pokój potokiem światła, jakże różnego od nikłych błysków lampki olejnej, lub lojowej świecy.

Nazajutrz rano — nowe cuda. Zadzwonił dzwonek telefonu; Inżynier chwytą słuchawkę i w kilka minut porozumiewa się z fabryką, leżącą gdzieś na krańcu Polski. Właśnie głośnik radja ogłasza ceny su-

rowców na krajowych rynkach; Inżynier porównywa je z umieszczeniem w gazecie cenami, jakie poprzedniego dnia placono we wszystkich ośrodkach handlu światowego, namyśla się, oblicza, wreszcie wysyła depesze, zamawiające potrzebne mu towary w kraju i zagranicą. Za kilka lub kilkanaście dni będzie je miał na miejscu. „Ileż to podróży” — myśli Mistrz — „ile trudów i niebezpieczeństw, ile mniejszy czasu zajęłoby dawniej to, co teraz można załatwić w godzinę”.

Inżynier proponuje przejażdżkę do innego miasta. Chętnie przy staje na to Mistrz; pamięta je dobrze, jeździł tam nieraz mocną, pakowną bryką po wyboistej drodze. „Dobremi końmi we dwa dni zajedziemy”. Uśmiechnął się Inżynier: „Muszę tam być dziś przed wieczorem”. Zbrakło Mistrzowi odwagi, by wsiąść do wielkiego, skrzydlatego ptaka, co ogłuszającym warkotem zapowiadał swój podniebny lot. Zato uniósł go z zawrotną szybkością dziwny wóz bez koni, głośnym bekiem spędzający z drogi przechodniów.

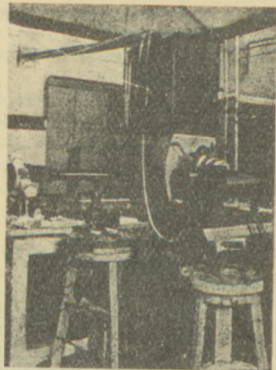
W ciągu dwugodzinnej jazdy po gładkiej, szerokiej szosie nie milkły pytania zdumionego Mistrza i objaśnienia uprzejmego Inżyniera. Oto czynnie oddział wojska: karabiny maszynowe, działa, miotacze płomieni... Zasepila się twarz Mistrza, któremu nieobce były rycerskie utarczki, gdy usłyszał o okropnościach współczesnej wojny, o zabijaniu wroga, którego się nie widzi, o rzucaniu pocisków na odległość taką, jak z Torunia do Poznania, o wytruwaniu całych pułków śmiercionośnemi gazami. „Homo homini lupus” — szepnął gorzko — „wszystko obróci na krzywdę bliźniego”... „Lub na obronę swego gniazda przed złym sąsiadem”, dokończył Inżynier myśl Mistrza.

„I na pomoc nieszczęśliwym” podjął znowu, gdy samochód mijal wielki, nowoczesnie urządzony szpital. „Tu oto pracują nasi lekarze nie tylko nad ulżeniem doli chorych, ale i nad zapobieganiem chorobom. Uzbrojeni w szkła — mikroskopy, powiększające tysiąckrotnie, wyszukują przyczyny chorób i uczą się, jak je usuwać. Niema dziś tych straszliwych epidemii, co dziesiątkowały ludzką za waszych czasów; dzięki medycynie i higienie ludzie są dziś zdrowsi i żyją dłużej”. — „A czy są też szczęśliwsi?” — Nie odpowiedział Inżynier na to pytanie.

Mijali wielką fabrykę. „Tu właśnie wyrabiamy te cuda, co ciebie, Mistrzu, takim napelnily podziwem. Tu powstają aparaty, które rozsyłają wiadomości do najbardziej zapadłych kątów, dają ludziom wiedzę i rozrywkę, pobudzają umysły głoszonym słowem, a serca koją muzyką”. — „Szczęśliwi jesteście, wy, którym tak wszystko ułatwia życie; niema pewno między wami potrzebujących, ni głodnych”. I znów nie odpowiedział Inżynier. „W połowie drogi jesteście”, pomyślał. „dużo jeszcze pozostało do zrobienia”.

Po chwili milczenia Mistrz otrząsnął się z zadumy. „I czemuż to zawdzięczacie te niepojęte postępy i ulepszenia?” — Ze cziłą odkrył głowę Inżynier: „Wam to zawdzięczamy, wam, uczonym wieku Odrodzenia Sztuk i Nauk. Wyście nauczyli nas badać otaczający świat. Wielcy uczeni twojego wieku, Mistrzu, stworzyli naukę o przyrodzie, bo zawierzili jej świadectwu więcej, niż zmuszaliśmy księgom. Liczne pokolenia ich następców zaciekle prowadziły dalsze badania; odkrywano tajemnicę za tajemnicą, sięgano umysłem coraz dalej i głębiej; nauka fizyki i chemji doszła do niebywalej, do nieprzeczuwanej potęgi. I teraz nie ustają badania; pracownice naukowe pokryły cały świat i dziś wszystkie narody cywilizowane współzawodniczą w najpiękniejszym wyścigu — do odkrycia prawdy.

„My, inżynierowie, korzystamy z tego, co odkryli i wciąż odkrywają uczeni. Prawa, rządzące zjawiskami cieplnemi, zastosowaliśmy, by zbudować potężne silniki parowe i benzynowe; znajomość praw ruchu i równowagi gazów pozwoliła nam opanować atmosferę pomocą balonów i samolotów; dzięki chemji poznaliśmy całe mnóstwo nowych materiałów, których używamy do naszych maszyn, narzędzi, budowli. Bez znajomości praw światła nie byłibyśmy udoskonalili tak naszych szkieł, by móc niemi widzieć rzeczy niedostrzegalnie



Ryc. 1. Jedna z licznych pracowni naukowych Zakładu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego



Ryc. 2.

Fragm. jednego z laboratorjów naukowo-technicznych Politechniki Warszawskiej.

małe i niepojęcie dalekie; poznanie praw elektryczności daje nam możliwość przesyłania pracy na setki kilometrów i pozwoliło opasać całą kulę ziemską siecią stacyj, rozsyłających wiadomości z niewiarygodną szybkością.

„Ale i nasza praca nie jest ślepem stosowaniem tego, czego nam dostarczą uczeni; i my musimy wiele zbadać, wiele prób dokonać, zanim udoskonalimy nasze pomysły tak, by nadawały się do zastosowania w wielkich zakładach przemysłowych. To też technika i przemysł mają własne pracownie i instytuty badawcze. Tylko te państwa, które należycie oceniają badania naukowe i techniczne, ostoją się wobec innych”.



Ryc. 3. Pracownia szkolna.

Ze wzruszeniem i zainteresowaniem słuchał Mistrz tych słów, choć nie wszystkie były dlań zrozumiałe; zacytowany Inżynier zapominał, że trzy wieki rozwoju dzieliły ich pojęcia.

Właśnie samochód mijal duży, wesoly budynek, przed którym bawiły się gromadki młodzieży. Inżynier zatrzymał samochód. „Oto nasza szkoła” — rzekł. Zaprowadził Mistrza do dużych sal, gdzie chłopcy i dziewczęta, pochyleni nad wagami, termometrami, probówkami i mikroskopami, zaznajamiali się z początkami fizyki, chemii i nauki o przyrodzie. „Wcześniej już uczą się poznawać zjawiska przyrody. Niejeden z nich, jako inżynier lub rolnik, będzie w życiu stosował swoje wiadomości. A może jest między nimi i taki, co dzięki zdolnościom i wytrwałej pracy będzie kiedyś uczniem i przyłoży się do dalszego postępu nauki”.

„Ku chwale swojej Ojczyzny i dla pożytku całej ludzkości” — zakończył Mistrz.

Część I

POMIARY WSTĘPNE

1. **Pomiary w życiu codziennem, w nauce i technice.** W życiu współczesnem nie możemy obyć się bez mierzenia; bez niego nie może rozwijać się ani handel, ani technika, ani nauka. Odwiedzmy różne warsztaty pracy — pracownię rzemieślnika, sklep kupca, gabinet lekarza, laboratorium uczonego — i spójrzmy na czynności zajętych tam ludzi. Oto widzimy, jak stolarz mierzy metrem długość obrabianej deski, mechanik przy tokarce mierzy średnicę toczonego wału, przekupka odmierza dla klienta litr mleka, kupiec waży kilkadziesiąt kilogramów węgla, aptekarz waży również na znacznie dokładniejszej wadze małą dawkę lekarstwa, lekarz wyznacza temperaturę ciała pacjenta, inżynier mierzy wytrzymałość materiału, uczoney wykonywa różne pomiary, niezbędne do zbadania zachodzących w przyrodzie zjawisk.

Jak widzimy, prawie w każdej dziedzinie pracy napotyka się na takie momenty, kiedy trzeba coś zmierzyć, zważyć, porównać, czyli poprostu wykonać jakiś pomiar, aby móc wywiązać się z zadania zgodnie z zamierzonym planem.

Stolarz, krawiec, czy mechanik, nie wykona należycie zamówionego przedmiotu, jeżeli nie użyje metra lub innych miar długości. Także wymiana towarów w handlu sprawiałaby ludziom wiele kłopotu, gdyby nie było miar do mierzenia długości, powierzchni, objętości i ciężaru ciał. Wreszcie budowa gmachów, mostów, statków, samolotów i t. p. byłaby nader ryzykowna, gdyby uprzednio nie dokonano odpowiednich pomiarów. Tak np. przed przystąpieniem do budowy największego okrętu świata („Queen Mary” — spuszczonej na wodę w r. 1934 w Anglii), wykonano w związku z tą budową kilka tysięcy prób i pomiarów laboratoryjnych.

O ile chodzi o pomiary w rzemiośle, handlu, przemyśle, technice i wogóle w życiu gospodarzem kraju, to potrzebę ich rozumie i odczuwa

zarówno inżynier, jak i kupiec, zarówno szary mieszczuch, jak i wiejski prostaczek, słowem każdy, kto tylko w owym życiu bierze czynny udział.

A pomiary naukowe?

Niechaj rolę ich zilustruje następujący fakt, zaczerpnięty ze skarbni-
cy dziejów rozwoju fizyki.

Oto uczonej (lord Rayleigh), badając własności rozmaitych próbek azotu, otrzymanych z powietrza atmosferycznego i z wielu innych ciał, zawierających ten gaz, stwierdził że 1 litr azotu atmosferycznego waży 1,2572 G, podczas gdy 1 litr azotu, otrzymanego z innych ciał, waży tylko 1,2511 G.

Blysk radości w oczach badacza: „Zapewne w azocie atmosferycznym znajduje się domieszka jakiegoś nieznanego dotychczas gazu. A więc odkrycie nowego składnika powietrza”. „...Ale ostrożnie. Może ten triumf przedczesny! Może pomiary nie były dość dokładne. Wszakże chodzi tu o bardzo drobne różnice rzędu tysięcznych części Grama. Trzeba się upewnić, czy owe różnice nie są wynikiem błędów pomiarowych. Trzeba doświadczenie powtórzyć po raz drugi, trzeci... dziesiąty, trzeba je wykonać starannie i na czulszych przyrządach...”.

W wyniku tych pomiarów okazało się, że azot atmosferyczny był przecięź cięższy od innych próbek azotu. Przypuszczenie badacza było więc słuszne. Istotnie, jak stwierdził później, ową domieszką okazał się nowy, dotychczas nieznan gaz — argon.

Przykłady powyższe ilustrują dostatecznie rolę pomiarów w rozmaitych dziedzinach naszego życia. Znajomość miar i umiejętność mierzenia jest potrzebna każdemu prawie człowiekowi. A już szczególnie jest ona niezbędna dla fizyka i chemika.

POMIARY DŁUGOŚCI

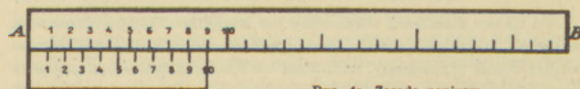
2. Przyrządy do mierzenia długości. Najprostsze przyrządy do mierzenia długości to taśmy, pręty lub listwy, zaopatrzone w podziałki decymetrowe, centymetrowe lub milimetrowe, zależnie od tego, do jak dokładnych pomiarów są przeznaczone.

Oczywiście, gdzie chodzi o pomiary długości wielkich, np. długości szosy, pola, wysokości góry, tam wystarcza podziałka decymetrowa, a nawet tylko metrowa, gdyż w tego rodzaju pomiarach nie zwracamy zazwyczaj uwagi na niedokładności w granicach decymetra, czy nawet metra. Przy pomiarach długości mniejszych, np. w pracy stolarskiej, zachodzi już potrzeba użycia podziałki centymetrowej i milimetrowej

Gdzie jednak chodzi o pomiary precyzyjne drobnych długości, np. średnicy drutu lub grubości blachy, tam ani przyrządy takie, ani umie-

szczone na nich skale, już nie wystarczają. Do pomiarów tych używa się przyrządów specjalnych, o podziałkach wykazujących ułamki milimetra. Najpospolitsze z nich to suwak z nonjuszem i mikrometr.

Suwak z nonjuszem. Na listewce *AB* (ryc. 4a — dla przejrzystości narysowano w powiększeniu) sporządzona jest skala główna milimetrowa. Do niej przylega druga listewka ze skalą pomocniczą, zwana

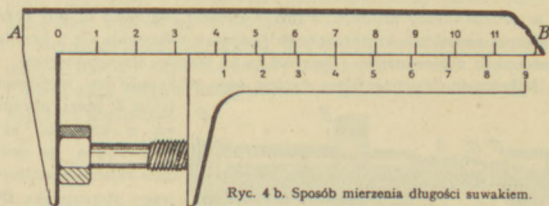


Ryc. 4a. Zasada nonjusza.

nonjuszem, sporządzona w ten sposób, że każda działka tej skali równa się 0,9 mm, czyli że 10 działek skali nonjusza daje razem długość 9 mm. Obie listewki zaopatrzone są w szczęki, pomiędzy które wkłada się mierzony przedmiot.

Gdy listewki są ułożone względem siebie tak, jak na rycinie, wtedy odległości między kreskami obu skal wynoszą kolejno: od kreski 1 nonjusza do kreski 1 skali głównej — 0,1 mm, od kreski 2 nonjusza do kreski 2 skali głównej — 0,2 mm i t. d. Jeśli przesuniemy listewkę dolną o 0,1 mm na prawo, wtedy jej kreska 1 pokryje się z kreską skali głównej, po przesunięciu o 0,2 mm, pokryje się jej kreska 2 z kreską skali głównej i t. d.

Rycina 4b podaje nam sposób mierzenia za pomocą suwaka. Widzimy tu, że zerowa kreska nonjusza wykracza nieco poza trzecią kreskę skali głównej; świadczy to, że długość mierzonego przedmiotu jest nieco



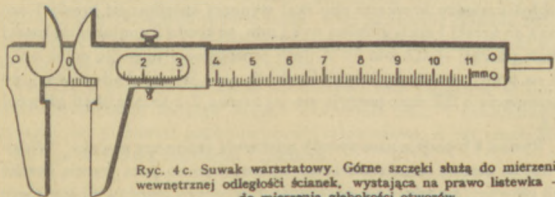
Ryc. 4b. Sposób mierzenia długości suwakiem.

większa niż 3 mm. Chcąc odczytać jeszcze ten ułamek milimetra, patrzemy, która z dalszych kresek nonjusza pokrywa się z jakąś kreską skali głównej: widzimy, że czwarta. Co to znaczy?

Cwiczenie 1. Wytnij z papieru dwa paski i wykreśl na nich podziałki w kilkakrotnym powiększeniu, jak na ryc. 4a. Połóż oba paski w ten sposób, aby ich zerowe kreski nakryły się wzajemnie, i posuwaj dolny pasek w prawo skokami tak, aby nakrywały się kolejno kreski: 1 nonjusza i 1 skali głównej, 2 nonjusza i 2 skali głównej i t. d. następnie 0 nonjusza i 1 skali głównej, 1 nonjusza i 2 skali głównej i t. d. Powiedz po każdym posunięciu, ile wynosi każdorazowa odległość między zerowymi kreskami nonjusza i skali głównej.

Po takim ćwiczeniu rozumiemy już wszystko: Oto położenie zera nonjusza wskazuje nam zawsze, o ile całkowitych milimetrów nonjusz został przesunięty, natomiast kreska nonjusza, która pokrywa się z jedną z kresk skali głównej, wskazuje liczbę dziesiątych części milimetra, które musimy jeszcze dodać do odczytanej już liczby całkowitej. W naszym przykładzie długość przedmiotu, mierzonego na ryc. 4b, wynosi 3,4 mm. Jak widzimy więc, przyrządem tym można mierzyć długość z dokładnością do 0,1 mm.

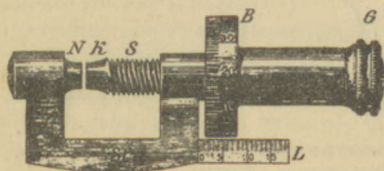
W suwakach, używanych w warsztatach i laboratorjach, obie skale są zwykle nieco odsunięte od szczęk (ryc. 4c), co oczywiście nie zmie-



Ryc. 4c. Suwak warsztatowy. Górne szczęki służą do mierzenia wewnętrznej odległości ścianek, wystająca na prawo listewka — do mierzenia głębokości otworów.

nia w niczem zasady pomiaru; ważnem bowiem jest tylko to, aby przy zsuniętych szczękach kreska zerowa nonjusza nakrywała się z kreską zerową skali milimetrowej. (Sprawdź to na suwaku warsztatowym).

Mikrometr. Najistotniejszą częścią tego przyrządu jest metalowa



Ryc. 5 Mikrometr.

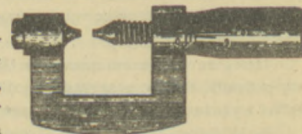
śruba S, którą wkręca się w nakrętkę, nagwintowaną na jednym ramieniu metalowego strzemiönka St (ryc. 5). Skok śruby, t. j. odległość dwu sąsiednich nacięć, wynosi zwykle 1 mm. Dzięki

temu przy każdym całkowitym obrocie śruby jej koniec K posuwa się o 1 mm naprzód, przy półobrocie — o 0,5 mm, przy jednej setnej obrotu o 0,01 mm i t. d.

Do kontrolowania liczby obrotów śruby służy podziałka milimetrowa na listewce L oraz bęben B, osadzony mocno na śrubie i obracający się wraz z nią; obwód bębna podzielony jest na 100 równych części. Milimetrowa skala na listewce służy do odczytywania całkowitych obrotów, a tem samem posuwa śruby o całkowite milimetry; podziałka zaś na bębnie umożliwia nam odczytanie setnych części obrotu, odpowiadających posuwowi śruby o setne części milimetra.

Mierzony przedmiot wkładamy pomiędzy końcówki naśrubka N i śruby K, poczem dokręcamy śrubę, ściskając przedmiot umiarkowanie. (Celem uniknięcia zbytniego nacisku, śruby są wyposażone często w automatyczne urządzenia ochronne, t. zw. czujniki). Następnie odczytujemy długość przedmiotu: najpierw całkowite milimetry na listewce, potem nadwyżkę w setnych częściach milimetra na bębnie.

Techniczne wykonanie mikrometru może być także inne. Na przykład mikrometr, przedstawiony na ryc. 6, posiada bęben w postaci wydłużonego kołnierza, obejmującego nakrętkę. Skala milimetrowa jest tu sporządzona wprost na trzpieniu i ukazuje się stopniowo przy odkręcaniu bębna.



Ryc. 6. Inny typ mikrometru.

Uwaga. Przed użyciem mikrometru należy sprawdzić, czy po dokręceniu śruby aż do zetknięcia się końcówek K i N, zerowa kreska bębna zajmuje właściwe położenie, t. j. czy pokrywa się ona wtedy z krawędzią listewki L. Gdyby się nie pokrywała, należy to naprawić przez odpowiednie wyregulowanie naśrubka N, który trzeba będzie wysunąć nieco wpród lub cofnąć wtył.

Można też zaniechać regulacji naśrubka, ale wtedy zauważone przesunięcie trzeba uwzględnić później przy pomiarach jako poprawkę (t. j. dodać wzgl. odjąć od odczytanych wartości). To samo odnosi się do suwaka z nonjuszem.

DOKŁADNOŚĆ POMIARÓW

3. Błąd bezwzględny. Cwiczenie 2. Zmierzmy jedną i tę samą długość, np. grubość płytki metalowej, kolejno zapomocą skali milimetrowej, suwaka z nonjuszem, oraz mikrometru i zanotujmy otrzymane kolejno wyniki, np. 8 mm, 8,3 mm, 8,27 mm.

Ileż wynosi grubość tej płytki: 8 mm, czy 8,3 mm, czy 8,27 mm?

Widzimy, że każdy przyrząd daje inny wynik pomiaru, przyczem pomiar staje się tem dokładniejszy, im mniejsze są odstepy pomiędzy kreskami skali. O przyrządzie, zaopatrzonym w drobne podziałki, który pozwala zatem wykonać pomiar z dużą dokładnością, mówimy, że jest „czuły”. Jaka jest „prawdziwa” grubość płytki, tego nie wiemy. Przeciwnie, różnaitość otrzymanych wyników upoważnia nas do mniemania, że nawet ten ostatni, najdokładniejszy wynik, nie jest jeszcze prawdziwy. Gdybyśmy bowiem użyli przyrządu jeszcze dokładniejszego, np. mierzącego z dokładnością do 0,001 mm, to i wynik pomiaru byłby prawdopodobnie inny, niż 8,27 mm. Ale i ta dokładniejsza metoda nie dawałaby jeszcze prawdziwej wartości, gdyż możnaby ją zastąpić metodą jeszcze dokładniejszą i t. d. ¹. Słowem każdy pomiar fizyczny, chociażby wykonany jak najstaranniej, jest obarczony zawsze pewnym, mniejszym lub większym błędem, którego wielkość zależy od przyrządu pomiarowego.

Jakiż tedy wniosek pewny i niewątpliwy możemy wysnuć z naszych pomiarów?

Oto przy starannem mierzeniu błąd nie powinien przekroczyć połowy podziałki danego przyrządu; możemy więc z otrzymanych wyników tylko wyznaczyć granice, w jakich zawiera się mierzona wielkość.

I tak, otrzymawszy przy użyciu skali milimetrowej wynik 8 mm, fizyk wydaje takie orzeczenie: „Nie wiem, ile wynosi dokładnie grubość blaszki; natomiast wiem napewno, że grubość ta jest nie większa niż 8,5 mm i nie mniejsza, niż 7,5 mm. Grubość tę zmierzyłem z dokładnością do 1 mm”.

Analogicznie powie o pomiarach wykonanych suwakiem i mikrometrem: „Granice błędów w tych pomiarach są ciśniejsze. Grubość rzeczywiŃta mieści się między wartościami 8,25 mm i 8,35 mm w pierwszym, a między 8,265 mm i 8,275 mm w drugim pomiarze. Grubość blaszki została zmierzona suwakiem z dokładnością do 0,1 mm, śrubą — do 0,01 mm”.

Otóż pomiar fizyczny przedstawia tylko wtedy wartość, jeśli znamy granice błędu pomiarowego. Oczywiście wartość ta jest tem cenniejsza, im ciśniejsze są granice błędu, czyli im mniejszy jest bezwzględny błąd pomiaru.

¹ Oczywiście w praktyce w wyborze metody i przyrządu mierniczego powinna decydować celowość pomiaru. Np. gdy stolarzowi przy wykonywaniu mebli wystarczy podziałka milimetrowa, to mechanik przy obróbce pewnych części silnika musi już używać mikrometru.

Przykład. Ktoś mierzy z dokładnością do 1 mm długość pręta metalowego dwukrotnie: rano — 5870 mm i w południe — 5872 mm: stąd ma prawo wysnuć wniosek: pręt wydłużył się (zapewne wskutek wyższej temperatury w południe, niż rano).

Wniosek ten jest pewny i niewątpliwy, albowiem długość pręta rano była napewno nie większa, niż 5870,5 mm, a teraz w południe jest napewno nie mniejsza, niż 5871,5 mm. Gdybyśmy nie znali granic błędów, moglibyśmy przypuszczać, że są one większe, niż zauważone różnice, że wynoszą np. 5 mm. W tym wypadku nie mielibyśmy prawa wysnuwać wniosku o wydłużeniu się pręta.

To też każdy, kto wykonywa pomiary, powinien notować wyniki tak, aby zarówno on sam, jak i inni mogli odrazu orzec o dokładności danego pomiaru. O dokładności tej świadczyć winna już sama zewnętrzna postać liczb, wyrażającej wynik pomiaru.

Przykład: Jeśli przy pomiarze średnicy drutu wskaźnik mikrometru zatrzyma się na 30-tej podziale, to wynik pomiaru zapiszemy 0,30 mm, a nie 0,3 mm, ponieważ ta ostatnia postać mogłaby wzbudzić przypuszczenie, że pomiar był robiony nie śrubą mikrometryczną, lecz suwakiem z dokładnością do 0,1 mm. Jakkolwiek więc w arytmetyce liczby 0,3 i 0,30 oznaczają tę samą wielkość, to w danym przypadku musimy wypisać po przecinku nie jedną, lecz dwie cyfry znaczące, aby w ten sposób zaznaczyć, iż pomiar był wykonany z dokładnością do 0,01 mm.

4. Błąd względny. Czy znajomość samej tylko czułości przyrządu (i związanej z nią granicy błędu) wystarcza do oceny dokładności pomiaru?

Przypuścmy, że zegarmistrz, dobierając kółko do zegarka, pomylił się przy pomiarze jego średnicy o 1 mm i że również o 1 mm pomylił się stolarz przy pomiarze długości deski do podłogi.

Obaj mierzyli z dokładnością do 1 mm, obaj popełnili taki sam błąd bezwzględny, każdy jednak rozumie, że pomyłka w pierwszym wypadku jest w następstwach bardzo kłopotliwa, w drugim — bez znaczenia.

Myląc się o 1 mm w pomiarze odstępów małych, np. średnicy drutu, popełniamy błąd bardzo poważny, podczas gdy to samo uchybienie, zrobione przy pomiarze wielkich długości (np. mostu, szosy), stanowiłoby błąd znikomo mały. W pierwszym wypadku pomiar zaliczyłibyśmy do niedokładnych, w drugim uznałibyśmy go za wysoce precyzyjny.

Nie sam więc popełniony błąd bezwzględny, lecz jego stosunek do całej mierzonej wielkości, czyli błąd względny pomiaru, jest miarą jego dokładności.

W przytoczonych wyżej przykładach (8 mm, 8,3 mm i 8,27 mm) błędy względne pomiarów wynosiłyby: $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{83}$ i $\frac{1}{827}$, albo wyrażone w procentach: 12%, 1,2% i 0,12%. Jak widzimy, w przykładzie tym, odnoszącym się do jednego i tego samego przedmiotu mierzonego (grubość blachy), błąd względny maleje w miarę zwiększania czułości przyrządu pomiarowego.

Natomiast przy pomiarze dwu różnych długości jednym i tym samym mikrometrem, np. 1,07 mm i 9,65 mm, otrzymamy błędy względne: w pierwszym wypadku $\frac{0,01}{1,07}$ = około 1%, w drugim $\frac{0,01}{9,65}$ = około 0,1%. Pomiar drugi jest więc 10 razy dokładniejszy od pierwszego.

5. Z historii metra. Zanim ludzkość dojrzała do potrzeby ścisłego opisywania i badania zjawisk fizycznych, miary długości były już potrzebne dla celów życia codziennego, zwłaszcza dla stosunków handlowych. Porozumienie między ludźmi wymagało, aby posługiwali się oni jednymi i temi samymi jednostkami długości. Pierwotnie brano je z rozmiarów części ciała ludzkiego (stopa, łokieć, sag czyli „siąg” i t. p.). Rozwijając się jednak stosunki handlowe wymagały miar dokładniej określonych, t. j. wzorców, z którymi można by porównywać miary używane w życiu praktycznym. Ustalone najpierw dla poszczególnych gmin, miast, prowincyj, zaczęły później obowiązywać na przestrzeni całych państw. Wreszcie, w miarę wzrostu stosunków międzynarodowych, wyłoniła się potrzeba miary wspólnej dla wszystkich.

Taką międzynarodową jednostką długości, przyjętą przez wszystkie prawie państwa cywilizowane, jest długość, równa odstępowi pomiędzy dwiema kreskami, wrytymi u obu końców metalowego pręta wzorcowego, przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sèvres pod Paryżem. Jednostkę tę nazywano metrem.

Twórcy metra (koniec w. XVIII) zamierzali wykonać wzorec o takiej długości, któraby stanowiła dziesięciomiljonową część ćwiartki południka ziemskiego, przechodzącego przez Paryż. W tem też przeświadczeniu, dokonawszy długotrwałych i żmudnych pomiarów geodezyjnych, sporządzili wyżej wspomniany wzorec. Tymczasem, jak się później okazało (po dokonaniu ponownych, znacznie dokładniejszych pomiarów), między sporządzonym już metrem wzorcowym a projektowaną jego długością wypadła nieznaczna różnica. Mianowicie wykonany wzorec okazał się nieco krótszy, niżby być powinien: stanowił $\frac{1}{10000836}$ część ćwiartki południka, zamiast okrągło $\frac{1}{10000000}$.

Wobec tego należało albo, trzymając się ściśle projektu, sporządzić nowy wzorec, albo też zrezygnować ze ścisłego wykonania zamierzeń

i gotowy już, choć niezupełnie „udany” wzorec przyjąć za jednostkę. Zgodzono się na to drugie wyjście. Metr wzorcowy (międzynarodowy) jest zatem o 0,0856 mm, czyli mniej niż o $\frac{1}{10}$ mm. krótszy od $\frac{1}{10000000}$ ćwiartki południka ziemskiego.

Ponieważ ze zmianą temperatury zmienia się długość pręta wzorcowego (a więc i odstęp wrytych na nim kresceczek), przeto umówiono się przyjąć za jednostkę długości (t. j. metr) tę odległość kresceczek, w jakiej znajdują się one wówczas, kiedy temperatura pręta wynosi 0°. Celem zaś zapobieżenia ewentualnej zmianie długości metra wskutek zginania się pręta nadano mu charakterystyczną postać przedstawioną na ryc. 7 (gdzie widać wyraźnie obie kreski, wryte na dnie górnej rynienki). Wzorec ten sporządzony jest ze stopu platyny i irydu. W państwach, które przyjęły metryczny system miar, znajdują się dokładne kopie owego wzorca międzynarodowego, jako wzorce urzędowe. Z temi wzorcami muszą być porównane i uzgodnione miary metryczne, używane w handlu. Czuwają nad tem Państwowe Urzędy Miar, w których posiadaniu znajdują się wszelkie wzorce urzędowe.



Ryc. 7.
Wzorec metra.

Tablica I

JEDNOSTKI DŁUGOŚCI

1 metr (m) = 10 decymetrów (dcm)	1 kilometr (km) = 1000 m
1 decymetr (dcm) = 10 centymetrów (cm)	1 mikron (μ) = $\frac{1}{1000}$ mm.
1 centymetr (cm) = 10 milimetrów (mm)	

POMIARY POWIERZCHNI I OBJĘTOŚCI CIAŁ

6. Pomiar powierzchni. Wiadomo, że chcąc zmierzyć powierzchnię płytki, stołu, ogrodu czy krążka kołowego, zazwyczaj nie porównujemy jej bezpośrednio z inną powierzchnią jednostkową, lecz mierzymy odpowiednie odcinki, związane z daną powierzchnią (np. podstawę i wysokość, średnicę), poczem obliczamy jej wielkość przez stosowanie wzorów geometrycznych.

Ćwiczenie 3. Zmierzmy taśmą metrową z dokładnością do 1 cm boki jakiegoś prostokąta.

Zmierzywszy jego boki, np. $a = 8,13$ m i $b = 0,72$ m, obliczamy powierzchnię prostokąta $P = ab = 5,8536$ (m²).

Jakaż jest dokładność tego pomiaru?

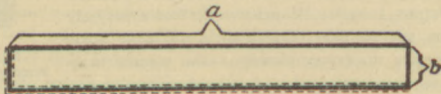
Oczywiście ów wielocyfrowy wynik 5,8536 m² jest tylko liczbą przybliżoną, ponieważ tylko z przybliżeniem zmierzaliśmy boki prostokąta. Wylania się tedy pytanie, ile cyfr z tej liczby możemy i mamy prawo zatrzymać jako cyfry pewne, a ile trzeba będzie skreślić, aby zapobiec nieporozumieniu, jakoby nasz pomiar był aż tak precyzyjny.

Rozważmy: Mierziliśmy boki z dokładnością do 1 cm. Wobec tego wiemy o nich tylko tyle, że bok *a* jest napewno nie większy niż 8,135 m i nie mniejszy, niż 8,125 m, zaś bok *b* — nie większy, niż 0,725 m i nie mniejszy, niż 0,715 m. Rzeczywista wielkość *P* naszej powierzchni (ryc. 8) mieści się więc w granicach:

$$8,135 \cdot 0,725 > P > 8,125 \cdot 0,715$$

czyli po pomnożeniu

$$5,97875 \text{ m}^2 > P > 5,809375 \text{ m}^2$$



Ryc. 8. Prostokąt, ograniczony liniami kreskowanymi, oznaczają wartości graniczne, pomiędzy którymi mieści się rzeczywista wartość powierzchni mierzonej.

Zestawiając otrzymany z pomiaru wynik 5,8536 z obliczonymi wyżej wartościami granicznymi, widzimy, że w liczbach tych powtarzają się tylko dwie pierwsze cyfry znaczące: 5 i 8. Napiszemy więc: nasza powierzchnia $P = 5,8 \text{ m}^2$; pozostałe cyfry, jako niepewne, odrzucimy.

Porównajmy teraz ów dwucyfrowy rezultat z liczbami 8,13 i 0,72, wyrażającymi długości boków *a* i *b*. Jedna z nich zawiera trzy cyfry znaczące (8, 1 i 3), druga tylko dwie (7 i 2) t. j. tyle samo, co nasz rezultat (5, 8). Zarazem ta druga (0,72) jest wynikiem pomiaru mniej dokładnego, gdyż, jak łatwo czytelnik sprawdzi, błąd względny dla boku *b* jest znacznie większy, niż dla *a*. Zatem okazało się, że w ostatecznym rezultacie należy pozostawić tyle cyfr znaczących, ile ich zawiera mniej dokładny pomiar.

Sprawdź to jeszcze na kilku dowolnych przykładach liczbowych i na przyszłość przestrzegaj reguły: W wynikach końcowych pomiarów w złożonych (t. j. przy wyznaczaniu powierzchni, objętości i t. d.) należy zachować tylko tyle cyfr znaczących, na ile zezwala najmniej dokładny pomiar składowy.

7. **Pomiary objętości.** Wyznaczanie objętości brył foremnych odbywa się analogicznie do wyznaczania pól figur foremnych, t. j. mie-

rzy się odpowiednie wymiary linjowe, poczem oblicza się objętość zapomocą wzorów geometrycznych.

Cwiczenie 4 a. Zmierzmy objętość sztabki metalowej o bokach: $a = 86,6 \text{ mm}$, $b = 7,1 \text{ mm}$ i $c = 6,8 \text{ mm}$. Jej objętość $V = abc$.

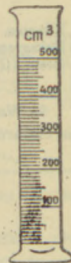
Ile cyfr znaczących zachowasz w obliczonym wyniku, skoro do mierzenia boków używałeś suwaka z nonjuszem?

Objętość ciał sypkich i ciekłych mierzy się zwykle bezpośrednio miarami litrowymi, hektolitrowymi i t. d. oraz cylindrami miarowymi czyli mensurami (ryc. 9).

Cwiczenie 4 b. W mensurce, z podziałką na centymetry sześciennie, odmierz kolejno: raz niewielką ilość cieczy np. 5 cm³, drugi raz znacznie więcej, np. 30 cm³.

Który z tych pomiarów jest dokładniejszy i ile razy?

Objętość brył nieforemnych można zmierzyć szybko za pomocą mensury. Nalewamy do mensury trochę cieczy (takiej, w której badane ciało nie rozpuszcza się) i odczytujemy jej objętość na podziale cylindra. Następnie zanurzamy w niej całkowicie badaną bryłę i odczytujemy na podziale zwiększenie objętości cieczy. Przyrost objętości cieczy wskazuje odrazu szukaną objętość ciała.



Ryc. 9. Mensurka.

Cwiczenie 4 c. Zmierzmy objętość kilku bryłek o różnych wielkościach kolejno w mensurach o rozmaitych przekrojach. Który z tych pomiarów jest najdokładniejszy?

Jeśli objętość zanurzonego ciała jest mała, a przekrój mensury duży, wtedy pomiar objętości jest bardzo niedokładny. W takich wypadkach używa się metody innej, opartej na ważeniu, o czem będzie mowa później.

WAŻENIE CIAŁ

8. **Jednostki ciężaru.** Przez długie wieki używano w różnych krajach różnych jednostek ciężarowych, np. funtów, lutów i t. p. W miarę jednak rozwoju międzynarodowych stosunków gospodarczych taka różnorodność okazywała się coraz bardziej kłopotliwą. Postanowiono tedy wprowadzić — na wzór międzynarodowej jednostki długości — także międzynarodową jednostkę ciężaru.

Umówiono się wykonać w orzec metalowy o ciężarze, równym ciężarowi 1 dm³ wody dystylowanej o temperaturze 4° C. Ustalona w ten sposób jednostka ciężaru nazywa się **Kilogramem (Kg)**. Ów

wzorzec międzynarodowy, wykonany z platyny, znajduje się we Francji w tem samym Biurze Miar i Wag, co wzorzec metra. Podobnie, jak przy sporządzaniu metra, i tu wkradł się drobny błąd. Kilogram wzorcowy waży cokolwiek więcej (o 0,027 G), niż dm^3 wody.

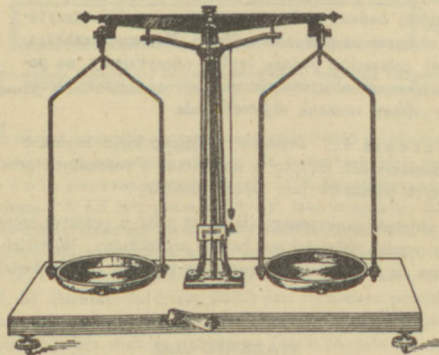
Analogicznie do dziesiątowego podziału metra wprowadzono także i tutaj dziesiątne ułamki, wzgl. wielokrotności Kilograma.

Tablica II

JEDNOSTKI CIĘŻARU

1 Kilogram (Kg) = 100 Dekagramów	100 Kg = 1 Cetrnar czyli Kwintal (q)
1 Dekagram (Dkg) = 10 Gramów	1000 kg = 1 Tonna.
1 Gram (G) = 1000 Miligramów (Mg)	

9. Waga. Najpospolitszym przyrządem, służącym do porównywania ciężarów ciał, jest waga szalkowa.



Ryc. 10 Waga laboratoryjna.

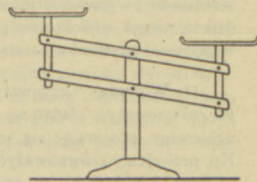
Najważniejszą częścią składową wagi (ryc. 10) jest jej belka, podparta na odpowiednim statywie. Jej osią obrotu jest najczęściej krawędź stalowego pryzmatu, wbitego prostopadłe w połowie długości belki. Krawędź ta spoczywa na stalowym (lub agatowym) łożysku, osadzonem u góry pionowego słupa. Na obu końcach belki zawieszono są szalki wagowe za pośrednictwem strzemiączek, opartych na pryzmatach, zwróconych ostrzem do góry. Ostrza wszystkich trzech pryzmatów (środkowego i obu skrajnych) leżą na jednej linii prostej. Długości obu ramion

belki, mierzone od osi obrotu do punktów zawieszenia szalek, są jednakowe. Wychylenia belki odczytuje się na podziałce, względem której przesuwa się koniec wskazówki, przytwierdzonej sztywnie do belki.

Do wagi należy komplet odpowiednich ciężarków, zwanych odważnikami. Odważniki, używane w handlu, muszą być co pewien czas porównane i uzgodnione z wzorcami urzędowymi. Na odważnikach, sprawdzonych przez „Urząd Miar”, są wyryte znaki „UM” oraz data sprawdzenia. Sprawdzeniu podlegają także i wagi, używane w handlu. Kupiec, posługujący się wagami lub odważnikami, niezaopatrzonemi w cechy UM, naraża się na surowe kary jako podejrzany o chęć oszukiwania na wadze.

W handlu i w gospodarstwie domowym używa się także innych typów wag.

Do najpospolitszych należy waga talerzykowa, której zasadę podaje ryc. 11. Budowa takiej wagi jest zwykle dość skomplikowana, lecz i tu najważniejszą częścią jest belka o równych ramionach. Dodatkowe beleczki ruchome są tylko na to, aby zapobiec przechylaniu się talerzyków, gdy pochyla się belka główna.



Ryc. 11. Zasada wagi talerzykowej.

10. Przygotowanie wagi. Przed użyciem wagi należy się z nią najpierw praktycznie zapoznać, a mianowicie:

a) Odczytać na belce napis fabryczny, wskazujący najwyższą dopuszczalną granicę obciążenia wagi (w wagach szkolnych najczęściej 500 G).

b) Zapoznać się z urządzeniem aretującym, służącym do ochrony przyrządu w czasie, gdy waga jest nieczynna (zwykle służy do tego korbka, umieszczona u podstawy wagi); dokonując półobrotu korbką w prawo lub w lewo, możemy w każdej chwili wagę zwolnić względem „zaaretować”, czyli zatrzymać. Zarówno ważony przedmiot jak i odważniki należy nakładać na szalki przy wadze zaaretowanej.

c) Uregulować ewentualne błędy ustawienia wagi, jak pionowe ustawienie słupa, ocieranie wskazówki o podziałkę i t. p. (Do regulowania pionowego ustawienia słupa służą śruby w podstawie wagi, do kontroli — pion, zawieszony przy słupie).

d) Uregulować poziome położenie belki, inaczej mówiąc — zerowe położenie wskazówki, przez odpowiednie rozmieszczenie nakrętek, znajdujących się na obu końcach ramion, albo przez wytarowanie, t. j. przez dodatkowe obciążenie jednej z szalek piaskiem, śrutem lub t. p. Zarówno podczas regulowania położenia zerowego, jak i podczas

ważenia, można nie czekać, aż wskazówka zatrzyma się nieruchomo przy zerowej kresce podziałki. Końcowe położenie wskazówki można zawsze zgóry przewidzieć na podstawie tego, czy kolejne jej wychylenia w obie strony od kreski zerowej są równe, czy nie.

e) Skontrolować komplet odważników i zapoznać się z ich kolejnością, zwłaszcza z ułamkami Grama. Odważniki brać zapomocą szczypecie a nie palcami.

f) Przystępując do ważenia jakiegoś ciała, ustawiamy pudełko z odważnikami po prawej stronie wagi (dla wygody, bo po odważniki będziemy sięgać wielokrotnie prawą ręką i układać je na prawej szalce), ważony zaś przedmiot na szalce lewej.

11. **Ważenie.** Ocenivszy „na oko” ciężar przedmiotu, próbujemy go zrównoważyć, kładąc na szalce odpowiednie odważniki. Odważniki dobieramy, posuwając się kolejno od największych do najmniejszych. Np. próbujemy zrównoważyć przedmiot najpierw odważnikiem 100-gramowym, a widząc, że jest za duży, kładziemy go zpowrotem do pudełka i sięgamy po odważnik bezpośrednio mniejszy, t. j. 50 G. Gdy ten okaże się za mały, próbujemy osiągnąć równowagę przez dolożenie następnego, kolejno mniejszego odważnika (20 G), a przekonawszy się, że obciążenie 70 G jest za duże, odkładamy odważnik 20-gramowy do pudełka i kładziemy na szalce odważnik następny (10 G) i t. d.

Uchwycivszy w ten sposób granice ciężaru ważonego przedmiotu, dążymy do stopniowego ich zacieśnienia przez dokładanie dalszych, coraz to mniejszych odważników. Wtedy obciążenie będzie kolejno za małe i za duże, a mianowicie w danym przypadku, gdy ciężar naszego przedmiotu wynosi np. $P = 66,57$ G, otrzymamy kolejno

$$\begin{aligned} 100 &> P > 50 \\ 70 &> P > 60 \\ 67 &> P > 65 \end{aligned}$$

66,57

Gdybyśmy zaczęli ważenie od nakładania odważników małych, to moglibyśmy ich położyć dużo na szalce, nie osiągając równowagi, a wtedy musielibyśmy usunąć wszystkie z szalki i zastąpić je jednym większym, co oczywiście odbywałoby się ze znaczną stratą czasu.

Odchylenie wskazówki wagi przy dodaniu małego odważnika, jest miarą czułości danej wagi. Wagę szkolną uważamy za dostatecznie czułą, jeżeli nadwyżka 0,01 G wywołuje, przy pełnym obciążeniu wagi,

wychylenie o jedną kreskę. Daje to możność ważenia ciał z dokładnością do 0,01 G.

Cwiczenie 5a. Przygotuj wagę według wskazówek w ustępie 10, połóż na obu szalkach jednakowe odważniki i wyznacz jej czułość. Powtórz to samo przy innych obciążeniach szalek.

Cwiczenie 5b. Zważ kilka dowolnych przedmiotów i oblicz błędy względne pomiarów.

Przykład: Jeżeli dla zrównoważenia ważonego przedmiotu położyliśmy na szalce np. 9,82 G, a czułość danej wagi upewnia nas, że rzeczywisty ciężar tego przedmiotu jest nie większy niż 9,83 G i nie mniejszy niż 9,81 G, wtedy błąd względny pomiaru wynosi 0,01/9,82 t. j. około 0,1%. Ważąc natomiast z tą samą dokładnością inny, znacznie lżejszy przedmiot, np. małą dawkę 0,50 G lekarstwa, otrzymamy błąd względny 0,01/0,50 czyli 2%. Ten drugi pomiar jest więc 20 razy mniej dokładny, niż pierwszy.

12. Zależność ciężaru od objętości ciała.

Cwiczenie 6a. Zmierzy w mensurce kolejno objętości odważników mosiężnych: 50, 100, 200-gramowego i zanotujmy w tabelce, jak rośnie objętość mosiądzu w miarę wzrostu jego ciężaru.

Cwiczenie 6b. Powtórzmy to samo z innym ciałem, stałem lub ciekłem, ważąc coraz większe dawki np. nafty i mierząc za każdym razem jej objętość.

Doświadczenia te pouczają nas, że w miarę, jak ciężar ciała rośnie 2, 3, 4... razy, wzrasta tyleż razy i jego objętość. Np. objętości mosiężnych bryłek, ważących 50 G, 100 G i 200 G, wynoszą 6 cm³, 12 cm³ i 24 cm³. To samo zachodzi i przy innych materiałach.

Wyrażając się językiem matematycznym, powiemy: Ciężar i objętość ciała są do siebie proporcjonalne.¹

Z przytoczonych liczb możemy obliczyć, ile waży 1 cm³ ciała, w tym wypadku mosiądzu. W tym celu dzielimy liczbę Gramów ciężaru każdej bryłki przez liczbę cm³ jej objętości. Za każdym razem otrzymamy jeden i ten sam wynik: 1 cm³ mosiądzu waży 8,3 G.

13. Ciężar właściwy. Ciężary różnych ciał, wziętych w tej samej objętości, są naogół różne. Pręt szklany, wielkości zwyczajnego ołówka, waży prawie 4 razy więcej, niż ołówek, a 3 razy mniej, niż pręt żelazny o tych samych wymiarach.

¹ Owa zależność zachodzi oczywiście wtedy, jeżeli porównujemy różne objętości jakiejś substancji w jednakowych warunkach, t. j. w tej samej temperaturze i pod tem samym ciśnieniem.

Dla podkreślenia powyższej cechy ciał mówimy, że jedne są gęstokrotnie cięższe niż inne. Np. rtęć jest gęstokrotnie cięższa niż szkło.

Znajomość liczbowych stosunków, zachodzących pomiędzy ciężarem a objętością ciał, stanowi w wielu wypadkach jedyną podstawę do wyznaczenia ciężarów większych brył, niedogodnych albo nawet wręcz nie nadających się do bezpośredniego zważenia.

Przykład. Chcąc odnaleźć ciężar dużego bloku kamiennego albo ciężar, ropy, zawartej w cysternie, ważymy niewielką dawkę danego ciała (np. 1 dm³ kamienia, ropy), poczem mierzymy objętość bloku (wzgl. pojemność cysterny) i, porównawszy tę objętość, znajdujemy poszukiwany ciężar. Jeśli np. 1 dm³ kamienia waży 2,5 Kg, to blok kamienny (z tego samego materiału) o objętości 1 m³, czyli o objętości 1000 razy większej, posiada tyleż razy większy ciężar, t. zn. waży 2500 Kg.

Postępowanie takie jest nieuniknione we wszystkich wypadkach, gdzie chodzi o ocenę ciężaru przedmiotów zaprojektowanych, czyli poprostu o „zważenie” przedmiotów, które jeszcze nie zostały wykonane. Oto np., przystępując do budowy domów, mostów, okrętów, samolotów i t. p., stajemy przedwzyskiem wobec konieczności uprzedniego obliczenia ich ciężaru. Gdybyśmy tego zaniechali, nie byłibyśmy pewni, czy fundamenty wytrzymają nacisk wzniesionego na nich gmachu, czy stalowy pancernik, zbudowany olbrzymim nakładem pracy i kosztów nie utonie natychmiast po spuszczeniu go na wodę, czy balon lub samolot wzniesie się w powietrze i t. d.

We wszystkich tych przypadkach musimy obliczyć, jaki ciężar przypada na jednostkę objętości danego ciała, czyli jaki jest jego ciężar właściwy.

W poprzednim ustępie przeprowadziliśmy ten rachunek dla mosiądzu. Teraz możemy powiedzieć, że ciężar właściwy mosiądzu wyraża się liczbą 8,3. Dla jej otrzymania musieliśmy liczbę, wyrażającą ciężar ciała, podzielić przez liczbę, wyrażającą jego objętość. Zwykle wyrażamy się krócej, choć mniej prawidłowo: podzieliśmy ciężar przez jego objętość.

Tak postępujemy zawsze przy obliczaniu ciężaru właściwego; możemy też uogólnić prawo postępowania, posługując się, podobnie jak w algebrze, literami dla oznaczenia różnych wielkości. Tak więc, jeśli literą P oznaczymy ciężar ciała, literą V jego objętość, znajdziemy jego ciężar właściwy D w myśl powyższego pravidła:

$$D = \frac{P}{V} \quad (1)$$

gdzie zarówno wartość liczbowa, jak i miano tej nowej wielkości zależą od doboru jednostek dla P i V .

14. Jednostki ciężaru właściwego. Ciężar ciała liczymy w G , jego objętość w cm^3 , ciężar właściwy wyraża, ile G przypada na 1 cm^3 . Powiemy więc np., że ciężar właściwy mosiądzu wynosi 8,3 Gramów na centymetr sześcienny. Aby wyrazić, że ta liczba powstała z podzielenia liczby G przez liczbę cm^3 , piszemy miano jednostki jako ioraz: G/cm^3 . Powiemy, że chodzi o obliczenie ciężaru właściwego kulki ołowianej o objętości $V = 2,5 cm^3$ i ciężarze $P = 28,5 G$; znajdziemy go, stosując wzór (1).

$$D = \frac{P}{V} = \frac{28,5}{2,5} = 11,4 \left(\frac{G}{cm^3} \right)$$

Ciężar właściwy jednostkowy 1 G/cm^3 ma takie ciało, którego 1 cm^3 waży 1 G . (Jakie o ciało?)

Tablica III

CIĘŻARY WŁAŚCIWE CIAŁ STAŁYCH W G/cm^3 W TEMP. 18°.

Platyna	21,4	Cynk	7,1
Złoto	19,3	Glin (aluminium)	2,7
Ółów	11,3	Granit	2,7
Srebro	10,5	Szkło	2,4—2,7
Miedź	8,9	Beton	1,8—2,5
Nikiel	8,8	Cegła	1,4—1,6
Mosiądz	8,1—8,6	Drewno dębowe	około 0,8
Żelazo	7,8	„ sosnowe	„ 0,6
Cyna	7,3	Korek	„ 0,24

CIĘŻARY WŁAŚCIWE CIAŁ STAŁYCH W G/cm^3 TEMP. 18°.

Rtęć	13,53	Terpentyna	0,87
Kwas siarkowy	1,83	Nafta	0,8
Gliceryna	1,26	Alkohol	0,79
Oliwa	0,91	Eter	0,72

Jeśli znamy ciężar właściwy ciała D i jego objętość V , możemy łatwo obliczyć jego ciężar P , rozwiązawszy uprzednio równanie (1) względem P .

Np. bryła ołowiu o objętości $V = 500 cm^3$ waży:

$$P = D \cdot V = 11,3 \cdot 500 = 5650 (G).$$

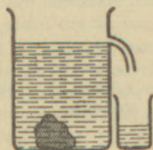
Zwróćmy uwagę na użyte tutaj jednostki; trzymajmy się podobnego pravidła, co przy tworzeniu miana ciężaru właściwego: pomóżmy symbol $\frac{G}{cm^3}$ przez cm^3 , otrzymamy miano G . Otrzymujemy więc

taką właśnie jednostkę, jakiej moglibyśmy się zgóry spodziewać, wiedząc, że ciężar ciała wyrażamy w Gramach.

Jeśli ciało nie jest jednorodne, t. zn. jeśli w różnych częściach jego objętości znajdują się różne składniki (np. ciało ludzkie, gleba), wtedy stosunek ciężaru całego ciała do całej jego objętości nazywamy średnim ciężarem właściwym ciała.

15. Wyznaczenie ciężaru właściwego. Aby znaleźć ciężar właściwy D jakiegos ciała, musimy znać — w myśl wzoru — (1) — jego ciężar P oraz objętość V . Ciężar znajdujemy zawsze zapomocą wagi, objętość zaś bądźto metodami opisanymi w ust. 7, bądź zapomocą innych zabiegów, opartych na ważeniu. To ostatnie stosujemy zwłaszcza wtedy, kiedy z powodu zbyt małej objętości badanego ciała, pomiar V zapomocą mensurki byłby niedokładny. Do tego celu może służyć t. zw. naczynie z odpływem.

Jest to albo szklanecka, zaopatrzona w boczną rurkę odpływową (ryc. 12), albo odwrócona flaszką bez dna, uszczelniona korkiem, przez który przechodzi wąska rurka odpływowa (ryc. 13). Po napełnieniu na-



Ryc. 12.
Naczynie z odpływem.



Ryc. 13.
Inny rodzaj naczynia z odpływem.

czynia wodą podstawiamy pod wylot rurki odpływowej zważoną uprzednio zlewkę, poczem zanurzamy w naczyniu badane ciało. Wyparta przez ciało woda splywa do zlewki. Po ponownym zważeniu zlewki dowiadujemy się, jaki jest ciężar wypartej wody. Jeśli wyparta woda waży np. 5 G, to jej objętość wynosi 5 cm³. Tyleż centymetrów sześciennych wynosi objętość zanurzonego ciała.

Cwiczenie 7a. Zważmy prostopadłościan metalowy (P G) i zmierzmy jego objętość (V cm³). Następnie obliczmy jego ciężar właściwy, pamiętając, że zarówno P , jak i V , znamy tylko z przybliżeniem, czyli że w ostatecznym wyniku naszego rachunku trzeba będzie zachować tylko cyfry zupełnie pewne.

Zagadnienie to rozważymy na konkretnym przykładzie.

Przykład. Niech otrzymane z pomiarów wartości wynoszą:

$$P = 188,3 \text{ G i } V = 72 \text{ cm}^3. \text{ Mielibyśmy wtedy } D = \frac{P}{V} = \frac{188,3}{72} = 2,61527\dots \text{ (G/cm}^3\text{)}.$$

Cóż począć z tym niekończącym się szeregiem cyfr? Na której cyfrze, jako pewnej, trzeba przerwać dzielenie?

Rozstrzyga o tem stopień dokładności pomiarów składowych. Jeśli np. o ciężarze danego ciała wiemy tylko tyle, że jest nie napewno nie większy, niż 188,4 G, a objętości, że jest nie mniejsza, niż 71 cm³, wówczas biorąc pod uwagę owe graniczne wartości, obliczamy: $\frac{188,4}{71} = 2,653$.

Znaczy to, że rzeczywisty ciężar właściwy naszego ciała nie przekracza w żadnym razie wartości 2,653 G/cm³.

Porównując tę graniczną wartość z wartością, obliczoną z pomiarów, widzimy, że powtarzają się w nich tylko dwie pierwsze cyfry znaczące (2 i 6), co jest dla nas wskazówką, że za wynik naszych pomiarów powinniśmy przyjąć wartość 2,6 G/cm³.

Do tego samego rezultatu możemy dojść także inną prostszą drogą. Oto z obu pomiarów składowych (P i V) pomiar V był mniej dokładny; mianowicie w pomiarze P błąd względny wynosił $\frac{0,1}{188} = 0,05\%$, w pomiarze $V = \frac{1}{72} =$ około 1,5%. Wartość tego drugiego pomiaru jest wyrażona liczbą o dwu cyfrach znaczących (72). Tyleż cyfr znaczących zatrzymaliśmy właśnie w naszym ostatecznym wyniku, zgodnie z prawidłem w ust. 6.

Uwaga: Gdyby w ostatecznym wyniku pierwsza z odrzuconych cyfr była 5 lub większa niż 5, wtedy wynik „zaokrąglamy”, podwyższając o 1 ostatnią zatrzymaną cyfrę. Np. gdybyśmy mogli zatrzymać trzy cyfry znaczące z liczby 2,61527..., napisalibyśmy 2,62.

Cwiczenie 7b. Wyznacz ciężar właściwy jakiejś cieczy (nafty, rtęci), zachowując w ostatecznym wyniku tyle cyfr znaczących, na ile pozwala dokładność twoich pomiarów.

Porównaj otrzymane wyniki z wartościami, podanemi w tablicy ciężarów właściwych.

Doświadczenie. Żelazo, wrzucone do wody, tonie; położone na powierzchni rtęci, pływa. Krople nafty pływają po wodzie, krople zabarwionej wody toną w alkoholu.

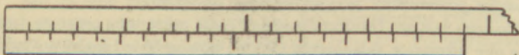
Odczytajmy z tabl. III wartości ciężarów właściwych ciał, użytych w powyższem doświadczeniu. Okazuje się, że w jakiejś cieczy toną tylko te ciała, których ciężar wł. jest większy od ciężaru wł. danej cieczy. Np. w wodzie toną tylko te ciała, których ciężar wł. jest większy od jedności; ciała o ciężarze wł. mniejszym od jedności pływają po wodzie. Na zjawiska te powołamy się później w ust. 26 (ob. ryc. 33).

Km			
20 00	0	o GRUDZIĄDZ X . . . 101, 127	p 7020
20 08	8	o Oczaraki	7 13
20 19	13	o Rogośno Pomorskie	7 04
20 29	20	o Gardajka X	6 55
20 50	30	o Szambruk	6 47
21 10	27	o Wydźno	6 38
21 18	27	o ZARBA X	6 19
21 29	33		6 05

Ryc. 14.

1. Na ryc. 14 widzimy fragment rozkładu jazdy kolejowej. W jakich jednostkach są tu podane odległości stacji oraz czasy przyjazdu i odjazdu pociągów? Czy stosowanie mniejszych jednostek, np. metrów, milimetrów, sekund, byłoby celowe? Która z podanych tu odległości jest obciążona największym błędem względnym?

2. Przyjrzyj się uważnie rycinie 15 i powiedz, jakie części milimetra (gdyby podziałka skali głównej była milimetrowa) można mierzyć takim nonjuszem.



Ryc. 15.

3. Jakie części milimetra można mierzyć zapomocą mikrometru, którego skok wynosi $\frac{1}{2}$ mm, a bęben jest podzielony na 50 części?

4. Ile waży 1 m³, 1 cm³, 1 mm³ wody w temperaturze 4°.

5. Ciężar jednego gwoźdźca, zważonego z dokładnością do 0,1 G, okazał się równy około 12,4 G. Do zbudowania parkanu potrzeba 2400 takich gwoździ. W sklepie sprzedają ten towar na kilogramy, a nie na sztuki. Ile więc Kg co najmniej należy kupić, aby w czasie budowy zabezpieczyć się przed brakiem choćby jednego gwoźdźca.

Część II

O CIEPLE

Rozdział I

O TEMPERATURZE I TERMOMETRACH

16. Wstęp. Ciepło i zimno odgrywają w życiu ludzkim niezmiernie ważną rolę. Człowiek chroni się od zbyt wielkiego zimna lub gorąca, a najchętniej przebywa w temperaturze umiarkowanej. Zmuszony do przebywania w chłodzie, chroni swe ciało od jego skutków, okrywając się skórą lub tkaninami, w upał szuka cienia, by uciec przed palącymi promieniami słońca.

Człowiek nauczył się nie tylko bronić przed nieodpowiednią temperaturą, ale i sztucznie ją zmieniać; rozpala ogniska i pali w piecach, by się ogrzać, lub ugotować pokarm; lodem ochładza środki spożywcze, by chronić je od zepsucia. A nieocenione wprost usługi oddaje mu umiejętność otrzymywania wysokich temperatur w jego wytwórczości. Bez niej nie mógłby ani wytapiać metali z rud, ani ich kuć, ani odlewać w formy; nie mielibyśmy też owych potężnych pomocników, tysiące razy przewyższających siłę człowieka — maszyn parowych.

17. Termometry. Dotykając dłonią pieca, w którym świeżo napolono, możemy zgrubsza ocenić, jak wzrasta jego temperatura: zimne początkowo kafle stają się stopniowo chłodnymi, potem letniemi, ciepłymi, wreszcie gorącymi. Zmysły nasze pozwalają nam więc utworzyć pewną skalę temperatur, bardzo jednak grubą i niedokładną; przytem ocena nasza podlega różnym złudzeniom: np. ta sama woda wyda się naszej ręce ciepłą albo chłodną, zależnie od tego, czy trzymaliśmy przedtem dłoń na chłodzie, czy w cieple.

Do dokładniejszego i pewnego wyznaczenia temperatur służą dobrze znane przyrządy, zwane termometrami (ryc. 16).

Rtęć, wypełniająca bańkę termometru, rozszerza się przy ogrzewaniu i wznosi się w cienkiej, u góry zatopionej rurce. Skala, umieszczona obok rurki, pozwala odczytać, ile stopni wskazuje termometr.

Termometry nie zawsze miały postać dziś powszechnie używaną. Myśl o użyciu rozszerzalności ciała do wyznaczania temperatur zawdzięczamy znakomitemu

uczonemu włoskiemu GALILEUSZOWI, który żył na przełomie wieku XVI i XVII, w epoce Odrodzenia nauki i sztuki.

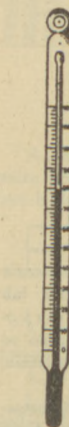
Pierwszy zbudowany przez Galileusza termometr (ryc. 18) był oparty na rozszerzalności powietrza; okazał się on jednak niepraktyczny, gdyż wskazania jego zależały nie tylko od temperatury, ale i od ciśnienia powietrza, które, jak przekonamy się w Części III tej książki, jest zmienne. To też Galileusz zbudował inny przyrząd, oparty na rozszerzaniu się alkoholu; był on podobny do dziś używanych, ale miał rurkę otwartą u góry. Wkrótce potem florencki uczeń Galileusza zastąpił alkohol rtęcią, a następnie, w połowie XVII wieku, zaczęto zatapiać rurki termometru.

Wadą tych przyrządów było to, że nie miały one jednakowej skali; do odczytywania używano szklanych kuleczek, przytopionych w równych odstępach do rurki termometru. Ale odstępy były dowolne; z pomocą kulek można było porównywać temperatury, mierzone jednym i tym samym termometrem, ale nie można było porównywać wskazań dwóch różnych termometrów.

Choć bardzo prymitywne, termometry Galileusza posłużyły do odkrycia zupełnie nowych faktów; tak np. mniemano dawniej, że woda w studni jest cieplejsza w zimie, niż w lecie; zapomocą termometru stwierdzono, że przeciwnie, w zimie woda jest zimniejsza. Okazało się, że lód może mieć różne temperatury (dawniej mniemano



Ryc. 17. Galileusz, wielki uczyony włoski XVII w. (1564 — 1642).



Ryc. 16. Termometr rtęciowy.



Ryc. 18. Termometr Galileusza.

że temperatura lodu jest zawsze jednakowa). Najważniejszym jednak odkryciem było wykazanie, że lód topi się, a woda wrze zawsze w tej samej temperaturze.

18. Skale termometryczne. Wielki uczyony angielski NEWTON (czyt. Niuten) rzucił myśl, by użyć wymienionych dwóch stałych punktów termometru do stworzenia wspólnej, jednakowej dla wszystkich skali termometrycznej; w tym celu należy oznaczyć te punkty pewnymi, ogólnie przyjętymi liczbami. Zależnie od wyboru tych liczb powstały w XVIII w. trzy różne skale termometryczne.

Gdańszczanin FAHRENHEIT wprowadził skalę, w której topnienie lodu przypada na 32° a wrzenie wody na 212° ; odstęp między temi punktami wynosi 180° . Francuz RÉAUMUR oznaczył temperaturę topnienia lodu przez 0° , a temperaturę wrzenia wody przez 80° . Ta skala była używana przed wojną w zaborze rosyjskim.

Najbardziej rozpowszechnioną stała się skala, wprowadzona przez szwedzkiego fizyka CELSIJUSZA, zwana też skalą stustopniową, ponieważ pomiędzy temperaturą topnienia lodu (0°), a temperaturą wrzenia wody (100°) zawiera sto stopni. Jest ona w powszechnym użyciu w nauce i w technice, a w życiu codziennym we wszystkich prawie krajach cywilizowanych, z wyjątkiem krajów anglosaskich, które używają jeszcze skali Fahrenheita. W Polsce obowiązuje skala stustopniowa i wszystkie sprzedawane termometry są według niej cechowane.

Wskazane przez Newtona, bardzo łatwe do otrzymania stałe punkty termometru pozwalają sprawdzić, czy termometry, którymi rozporządzamy, są dobrze wycechowane, a przynajmniej, czy dobrze wskazują temperatury tych punktów.

Cwiczenie 8. Sprawdzanie punktów stałych termometru.

a) Termometr wstawiamy do lejka, napełnionego drobno potluczonym lodem lub śniegiem (ryc. 20).

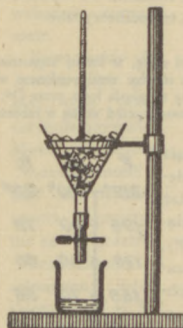
b) Termometr przesuujemy przez otwór w korku, zatykającym

F	C	R	
212°	100°	80°	Wrzenie wody
194	90	72	
176	80	68	
158	70	56	
140	60	48	
122	50	40	
104	40	32	Temperatura zdrowego człowieka
88	30	24	
68	20	16	
50	10	8	
32°	0°	0°	Topnienie lodu
14	10	8	
0	20	16	

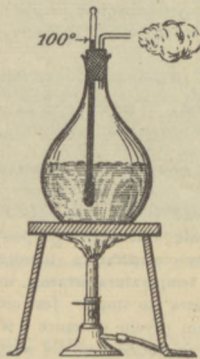
Ryc. 19. Zestawienie trzech skal termometrycznych. Można z niego odczytać, ile stopni jednej skali odpowiada temperaturze, odczytanej na innej skali.

czyjkę kolby szklanej z wrzącą wodą; bańka termometru ma znajdować się w parze; nadmiar pary uchodzi boczną rurką (ryc. 21).

W obu wypadkach odczytujemy wskazania termometru, gdy poziom rtęci przestanie się zmieniać; cały termometr aż prawie po odczytanej podziałkę powinien znajdować się w stałej temperaturze (w lodzie, wzgl. w parze)



Ryc. 20.
Sprawdzanie punktu topnienia lodu



Ryc. 21.
Sprawdzanie punktu wrzenia wody.

Przy masowym wytwarzaniu termometrów trzeba liczyć się z tem, że nie zawsze są one zupełnie dokładne; błędy są spowodowane głównie niedokładnym wyznaczeniem punktów stałych oraz niezupełnie jednostajnym przekrojem rurki. Używając termometru, wiemy, że popełniamy zawsze pewien błąd. By błąd, wynikający z winy samego przyrządu, był jak najmniejszy, posyła się termometr do specjalnej pracowni, gdzie go sprawdzają. Sprawdzenie polega na porównaniu wskazań termometru badanego i termometru wzorcowego; jest to termometr rtęciowy, sporządzony ze szczególną starannością.

Termometr wzorcowy musi być uprzednio porównany z termometrem wodoro-*wym*, którego wskazania są oparte na wzrastaniu prężności gazu wodoru przy ogrzewaniu; taki termometr jest uznany za normalny; według niego są sprawdzane wszystkie inne termometry.

W Polsce można sprawdzać termometry w Instytucie Fizycznym Muzeum Przemysłu i Rolnictwa w Warszawie.

Każdy sprawdzony termometr otrzymuje świadectwo, w którym

wymienia się, ile trzeba odjąć lub dodać do jego wskazań, by otrzymać prawdziwą temperaturę.

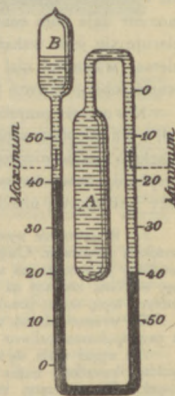
19. Różne termometry współczesne. Termometry, napełniane rtęcią, nadają się do wyznaczania temperatury tylko w ograniczonym zakresie; przy -39° rtęć już krzepnie, a przy 357° zaczyna wrzeć. Dla mierzenia temperatur niższych od -39° termometry napełnia się cieczami, marznąciami w znacznie niższych temperaturach, np. toluolem (krzepnie przy -95°), lub alkoholem (-114°).

Przyrządy do wyznaczania wysokich temperatur nazywają się pirometrami.

Zgrubsza możemy ocenić okiem temperaturę, np. rozżarzonego żelaza po barwie, jaką świeci; stwierdzono, że w temperaturze 500° żelazo ledwo zaczyna świecić, w 600° ma barwę ciemno czerwoną; około 1000° świeci już żółto, a począwszy od 1200° , barwa świecenia staje się ośniewająco białą. Przy takim ocenianiu nie potrzebujemy zbliżyć się do gorącego przedmiotu, co stanowi ogromną dogodność. Na porównywaniu ciśnieniami optycznymi metodami barw świecenia ciał rozżarzonych opierają się pirometry optyczne. W hutach szklanych i żelaznych, w kotłowniach używają ich do wyznaczania temperatury pieców i palenisk.

Do mniej dokładnego wyznaczania wysokich temperatur służą t. zw. *stożki Seegera*. Są to stożki ulepione z gliny z dodatkiem tlenków różnych metali; zależnie od tych dodatków stożek taki topi się w niższej lub wyższej temperaturze. Po umieszczeniu kilku stożków w piecu do topienia szkła lub wypalania wyrobów z gliny, można się przekonać, które się stopiły, a które nie, i z tego ocenić, jaka była temperatura pieca.

Meteorologowie, którzy badają prawa, rządzące pogodą, interesują się, jaka była najwyższa i najniższa temperatura w ciągu jakiegoś przeciągu czasu, np. doby. Do tego celu używają t. zw. termometrów maksymalnych i minimalnych (ryc. 22). Termometr taki składa się z dwóch baniek szklanych A i B połączonych rurką. Bańka A jest napełniona całkowicie alkoholem a B zawiera nad alkoholem pewną ilość powietrza i parę tej cieczy; dolna część rurki zawiera rtęć. Przy ogrzewaniu alkohol w pełnej bańce rozszerza się, a wskutek tego nitka rtęci zostaje przesunięta w lewo i popycha krótką igielkę żelazną; przy ochładzaniu rtęć przesuwa się w prawo, popychając drugą igielkę. Igielki, raz przesunięte, nie powracają i pozostają w miejscach, do których zostały doprowadzone. Lewa igielka wskazuje więc miejsce, do którego doszła rtęć przy najniższej, a prawa — miejscach,



Ryc. 22. Termometr maksymalny i minimalny.



Ryc. 23. Przewężenie rurki w termometrze lekarskim.

ce, do którego doszła przy najniższej temperaturze. Po odczytaniu tych krańcowych temperatur można igiełki zapomocą magnesu znów doprowadzić do zetknięcia z rtęcią; przyrząd jest gotowy do ponownego użytku.

Termometr lekarski (ryc. 23) jest termometrem maksymalnym; podczas ogrzewania rtęć jest przepychana przez przewężenie w dolnej części rurki; przy ochładzaniu rtęć w bańce kurczy się, ale ta część rtęci, która znajduje się poza przewężeniem, nie może przostać się przez wąski otwór i pozostaje w tem położeniu, w jakim znalazła się podczas mierzenia. Przez wstrząsanie przepychamy rtęć z powrotem do bańki.

Ćwiczenie 9. Do lekko ogrzanej wody wstawiamy termometr zwykły i lekarski, odczytujemy ich wskazania, poczem wyjmujemy je z wody i po krótkim czekaniu odczytujemy ponownie.

20. Zastosowanie termometrów. Termometr należy do najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych przyrządów fizycznych. Niema prawie dziedziny życia, w której nie znalazłby zastosowania. Radzimy się go w sprawie ogrzewania mieszkania, wyboru odzieży na wyjście z domu, przygotowania kąpieli. Funkcjonowanie wszelkich organizmów jest ściśle związane z temperaturą; więc termometr daje nam cenne wskazówki o stanie naszego zdrowia; rolnik kieruje się jego wskazaniami, planując swą pracę na roli. Wszystkie niemal własności ciał zależą od temperatury, więc niepodobna wyobrazić sobie pracowni fizycznej lub chemicznej bez termometru.

Nie mniej korzysta z termometru technik; wydobywanie z rud metali i ich obróbka, topienie szkła i wypalanie gliny, suszenie wyrobów tkackich i papierniczych, dystylacja nafty i węgla — to są nieliczne tylko przykłady procesów przemysłowych, w których wyznaczanie temperatury jest sprawą nieodzowną.

21. Wytwarzanie wysokich temperatur. Wiele czynności technicznych wymaga wysokich temperatur. Chcąc kuć stal, musimy ją ogrzać co najmniej do jakich 700°; stopienie jej wymaga już 1400°; inne metale topią się w jeszcze wyższej temperaturze, np. wolfram, używany na druciki w żarówkach, topi się w 3400°. W piecach, w których topią szkło, panuje temperatura około 900°.

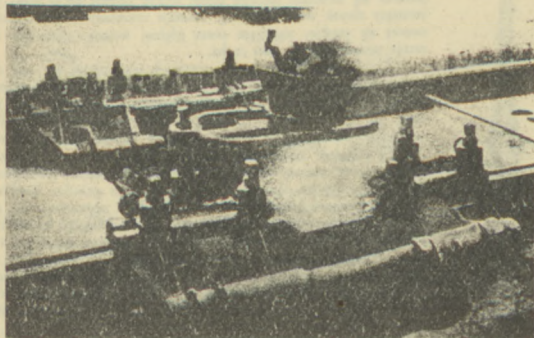
Do wytwarzania tak wysokich temperatur posługujemy się najczęściej spalaniem, a najpospolitszym paliwem jest węgiel.

Ale węgiel spala się naogół zbyt wolno: utlenianiu podlega tylko powierzchnia każdego kawałka i trzeba czekać dość długo, zanim płomień ogarnie głębiej leżące cząstki. To też często stosuje się palenie pyłem węglowym, wdmuchiwanym do paleniska.

Gdy chodzi o wytworzenie wysokiej temperatury na niewielkiej przestrzeni, używa się sproszkowanego glinu (aluminium); metal ten tak chwiej łączy się z tlenem, że

odbiera go tlenkiem innych metali. Jeśli mieszaninę sproszkowanego glinu z tlenkiem żelaza, czyli t. zw. *termit*, nagrzać w jednym miejscu, następuje gwałtowna reakcja, glin spala się, cała masa rozżarza się do białości, wytwarzając temperaturę, która może sięgać 3000°. Używa się tego sposobu przy spawaniu szyn (ryc. 24); reperacji pękniętych przedmiotów żelaznych i t. p.

Termity znajdują też zastosowanie w *bombach zapalających*, jakie w czasie wojny są rzucane z samolotów w celu wywołania pożarów. Rozgrzany łatwo zapalnym nabojem, zawierającym fosfor, termit staje się potężnym ogniskiem, spalającym lub topiącym w swym żarze niemal wszystko w najbliższym otoczeniu. Dodane ciekłe paliwo



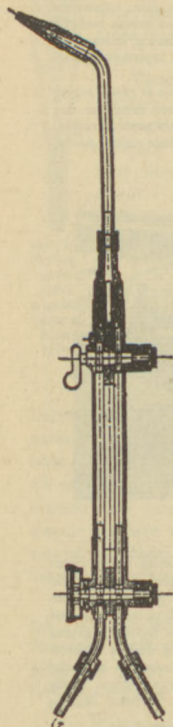
Ryc. 24. Spawanie szyn zapomocą termitu.

(ropa naftowa, benzyna) rozlewa się, szerząc płomień naokół. Groza takich bomb zwiększa się przez to, że nie można ich zagasić ani wodą, ani zapomocą t. zw. *gaśnic*. Te sposoby stosuje się oczywiście dla stłumienia już wywołanego pożaru; sam termit jednak, zawierający potrzebny zapas tlenu w postaci tlenku żelaza, nie może być zgaszony, a tylko unieszkodliwiony. Płonącą masę można wynieść na łopacie z grubej blachy w miejsce, gdzie już niżej nie grozi, albo też zasypać ją ciałem suchym i niepalnym, np. piaskiem, ziemią, cementem, opilkami żelaznymi; warstwa tych ciał oddziela płonący termit od palnych przedmiotów. Można też zasypać termit grubą warstwą plew jęczmiennych; zwęglając się, tworzą one naokoło termitu skorupę zapiekłego węgla.

Skuteczniejsze od węgla jest paliwo płynne, np. nafta, ropa naftowa lub benzyna, które można rozpylić, zmieszać z powietrzem lub czystym tlenem i zapalić; taka mieszanina spala się gwałtownie, wybuchowo i może wytworzyć wysoką temperaturę, sięgającą 2500° a nawet wyżej. Ropą naftową pali się pod kotłami parowymi, wybuchowe spalanie mieszanki benzynowej zostało wyzyskane w silnikach spalinowych, używanych do poruszania samochodów i samolotów.

Jeszcze wyższe temperatury daje spalanie niektórych gazów, zmieszanych w odpowiednim stosunku z tlenem. Dawniej używano do tego celu wodoru; obecnie został on wyparty przez gaz, zwany *acetylenem*, który jest chemicznie połączonym wodorem i węglem; obie te części składowe ulegają spalaniu i mogą przytem wytworzyć temperaturę sięgającą 4000°.

Palnik acetylenowo-tlenowy (ryc. 25) jest połączony z dwoma zbiornikami, zawierającymi acetylen i tlen pod wysokim ciśnieniem; gazy miesza-



Ryc. 25. Palnik acetylenowo-tlenowy (przekrój)

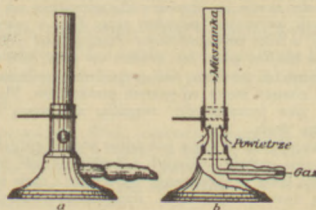
ją się w palniku i wylatują z niego bystrym strumieniem; zapalone, łączą się z sobą i tworzą płomień o wysokiej temperaturze. Płomień acetylenowo-tlenowy znajduje w technice duże zastosowanie; zestawione brzegami blachy lub pręty metalowe topią się w płomieniu na powierzchni i spajają z sobą; nazywamy to *spawaniem*. Takie łączenie jest dogodniejsze, trwalsze i mocniejsze, niż łączenie zapomocą śrub i nitów.

Palnik acetylenowo-tlenowy służy też do przecinania większych przedmiotów żelaznych; na rozgrany płomieniem metal puszcza się strumień samego tleny; żelazo utlenia się w nim, powstający tlenek żelaza topi się i zostaje uniesiony prądem gazu, tworzy się wąskie, sięgające coraz głębiej wcięcie, póki nie rozetnie przedmiotu na dwie części.

Gaz świetlny nie daje tak wysokich temperatur, ale jest dogodny w użyciu, ponieważ gazownie dostarczają go rurami wprost do mieszkań, pracowni, warsztatów. Zwykły, świecący płomień gazowy ma temperaturę dosyć niską. Świecące płomienie w kształcie „motyłka” były niegdyś w powszechnym użyciu dla oświetlenia.

By podnieść temperaturę płomienia, trzeba gaz spalić zupełnie, a osiągnąć to można, mieszając go przed spaleniem z potrzebnym do tego powietrzem. Cel ten został osiągnięty w palniku, zbudowanym przez niemieckiego chemika BUNSENA, używamy dziś powszechnie w pracowniach. Na ryc. 26 a widzimy wygląd zewnętrzny palnika, a na ryc. 26 b jego przekrój. W miejscu, gdzie gaz wypływa z małego otworu i wchodzi do rurki palnika, znajduje się otwór, łączący rurkę z powietrzem zewnętrznym; strumień gazu porusza z sobą powietrze i miesza się z nim wewnątrz rurki; mieszana gazu z powietrzem dochodzi do płomienia i ulega szybkiemu i dokładnemu spalaniu. Regulując wielkość otworu dla powietrza, można powodować mniej lub więcej gwałtowne spalanie, a przez to zmieniać temperaturę płomienia, która dochodzi do 1300°.

Prąd elektryczny jest też często używany do wytwarzania wysokich temperatur; będzie o tym mowa w II tomie tej książki.

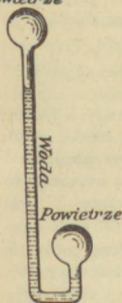


Ryc. 26. Palnik Bunsena. a) widok zewnętrzny, b) przekrój.

Pytania.

1. Jakie znasz jeszcze zastosowania wysokich i niskich temperatur?
2. Jakie znaczenie kulturalne miało dla ludzkości zdobycie umiejętności wzniesienia ognia?

Powietrze



Ryc. 27.

3. Guericke (ob. Cz. III, rozdz. II) zbudował termometr powietrzny, wyobrażony na ryc. 27. Górna jego bańka stykała się z badaniem ciałem. Objaśnij działanie tego termometru. Czy została w nim usunięta wada termometru powietrznego Galileusza? Jaką inną wadą ma ten przyrząd?

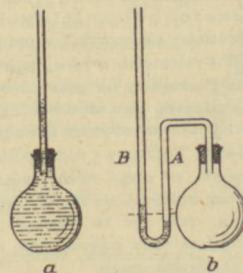
4. Dlaczego termometry lekarskie mają bańkę nie w kształcie kuli, lecz wydłużonego walca.

Rozdział II

ROZSZERZALNOŚĆ CIEPLNA CIAŁ

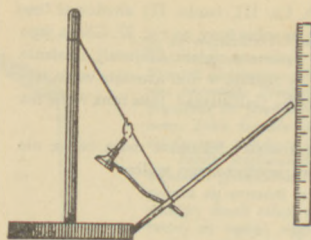
22. Zmiany długości i objętości wskutek ogrzewania. Wiemy wszyscy dobrze o tem, że ciała stałe, ciecze i gazy rozszerzają się pod wpływem ogrzewania.

Pamięta o tem technik, pozostawiając przy układaniu szyn kolejowych odstępy pomiędzy szynami, lub pozwalając zwiisać nieco drutem telegraficznym, rozpinanym na słupach. Liczy się z tem szofer i nie nalewa nigdy pełno benzyny, oliwy lub wody do zbiorników, które ogrzeją się, skoro silnik zacznie działać. Poznamy niebawem cały szereg przyrządów, urządzeń i sposobów, opartych na rozszerzalności ciał.



Ryc. 28. Ciecze i gazy rozszerzają się wskutek ogrzania.

Rozszerzanie cieczy i gazów łatwo zauważyć (ryc. 28); patrzmy zresztą na to codziennie, gdy obserwujemy przesuwanie się rtęci w rurce termometru. Trudniej to okazać przy ciałach stałych, które mało zmie-



Ryc. 29. Ciała stałe też rozszerzają się.

niają swe wymiary przy ogrzewaniu; musimy uciekać się do rozmaitych urządzeń, które pozwalają powiększać wywołane zmiany.

Doświadczenie 1. Ogrzewamy palnikiem cienki drut, umocowany jednym końcem w statywie, a drugim uwiązany do wskazówki, utworzonej z rurki szklanej; jeden koniec rurki opiera się o statyw, drugi może się poruszać wzdłuż skali (ryc. 29).

Samo stwierdzenie faktu, że ciała rozszerzają się, nie wystarczy technikowi; on musi wiedzieć, o ile ciała się rozszerzają, i od czego zależy wielkość rozszerzenia. Inaczej mówiąc, musi znać **prawo rozszerzalności**. Pozwólą mu one przewidzieć, jak zmienia się w każdym poszczególnym wypadku rozmiary prętów, blach, słupów, ścian, których używa do swoich konstrukcji; uniknie przez to poważnych niebezpieczeństw, które groziłyby zbudowanym przez niego przedmiotom, gdyby nie uwzględniono ich rozszerzalności cieplnej.

Ponieważ ciecze rozszerzają się silniej, niż ciała stałe, na nich łatwiej nam będzie zbadać obchodzące nas w tej chwili prawa. Rzecz prosta, że w tym wypadku możemy mówić tylko o zmianie objętości, czyli o **rozszerzalności objętościowej**.

W fizyce wciąż będziemy się spotykali z potrzebą ustalenia pewnych praw, t. j. wskazania zależności, w jakiej pozostają dwie lub więcej z mierzonych wielkości. Poznaliśmy już prawo, które stwierdza, że ciężar ciała jest proporcjonalny do jego objętości. Skorzystaliśmy z tego prawa, by wprowadzić do naszych rozważań nowe pojęcie, które nazwalimy ciężarem właściwym. Będziemy i nadal postępowali w podobny sposób; ustalimy najpierw, od czego zależą zmiany obchodzącej nas wielkości fizycznej; potem będziemy się starali zbadać przy pomocy doświadczenia, jaka jest ta zależność; wreszcie będziemy próbowali wprowadzić jakieś nowe pojęcie, które nam pomoże krótko i jasno wypowiedzieć znalezione prawo.

ROZSZERZALNOŚĆ CIECZY.

W obecnym wypadku szukamy, od czego i jak zależy przyrost objętości cieczy. Nasuwają się tu pytania: czy i jak przyrost ten zależy od rodzaju cieczy; jak zależy od jej objętości pierwotnej; jak zależy od zmian temperatury.

23. Prawa rozszerzalności objętościowej cieczy.

Ćwiczenie 10. Małe, jednakowe kolbki szklane, jak na ryc. 30, napełniamy różnymi cieczami: wodą, gliceryną, naftą, rtęcią; zamykamy kolbki korkami, przez które przechodzą rurki szklane o jednakowej średnicy wewnątrz. Zaznaczamy zapomocą nitki lub pierścieni gumowych poziom cieczy w każdej kolbce i wstawiamy je do wspólnego naczynia z gorącą wodą. Obserwujemy przyrost objętości cieczy.

a) Różne ciecze rozszerzają się niejednakowo.

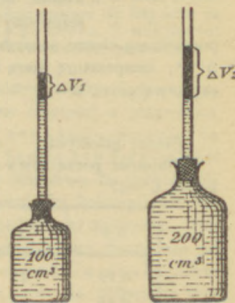
Ćwiczenie 11. Dwie kolbki, jak w ćwic. 10, z których jedna ma pojemność dwa lub trzy razy większą od drugiej, napełniamy tą samą cieczą i postępujemy z nimi tak, jak w poprzednim ćwiczeniu (ryc. 30).

Ile razy większa jest objętość początkowa cieczy, tyle razy większy jest też jej przyrost wskutek ogrzania o tę samą liczbę stopni. Jeśli np. ciecz o objętości 50 cm³ podniesie się w rurce o 10 mm, to objętość 100 cm³ wywoła podniesienie się o 20 mm, a 200 cm³ o 40 mm.

b) Przyrosty objętości są proporcjonalne do objętości początkowych. Jest to pierwsze prawo rozszerzalności. Na jego podstawie wprowadzimy nowe, a dogodne dla nas pojęcie.

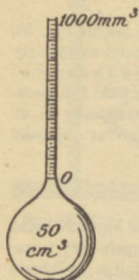
Na każdą jednostkę objętości przypada we wszystkich przypadkach taki sam przyrost, odpowiada on podniesieniu się cieczy w rurce o

$$\frac{10}{50} = \frac{20}{100} = \frac{40}{200} = 0,2 \text{ mm};$$



Ryc. 30 Przyrost objętości cieczy jest proporcjonalny do jej objętości początkowej.

nazywamy go **przyrostem jednostkowym**. Jest on dla nas najważniejszy; jeśli bowiem znamy jego wartość, to możemy już obliczyć przyrost każdej dowolnej objętości. Nasz prymitywny przyrząd nie wystarczy jednak do wyznaczenia liczbowego tego przyrostu, gdyż nie wiemy, jakiej zmiany objętości odpowiada podniesienie się cieczy w rurce. Do ilościowego badania będziemy się posługiwali **dylatometrem** (ryc. 31). Jest to naczynko szklane o dokładnie wyznaczonej pojemności; przytopiona rurka ma podziałkę, na której można odczytać objętość tej cieczy, która z bańki przechodzi do rurki. Zapo-



Ryc. 31. Dylatometr do mierzenia zmian objętości cieczy.

mocą tego przyrządu zmierzmy zależność przyrostu jednostkowego objętości cieczy od zwiększenia temperatury.

Cwiczenie 12. Napelniamy dylatometr jakąkolwiek zimną cieczą (byle nie wodą¹) aż po zerową kreskę skali. Ogrzewamy stopniowo dylatometr, wstawiając go do coraz to gorętszej wody tak, by po każdym ogrzaniu temperatura jego wzrastała o 8 do 10°. Za każdym razem odczytujemy na podziale przyrost objętości cieczy.

Liczby, otrzymane z pomiaru, musimy uporządkować; do tego celu będziemy się posługiwali tabelką, w której kolumnach zapiszemy wyniki pomiaru. Aby nie powtarzać ciągle, co która liczba oznacza, będziemy się posługiwali, tak jak przy pomiarze ciężaru właściwego, pewnymi literami, symbolami, którymi oznaczmy mierzone wielkości. Postępujemy tu podobnie, jak w algebrze. Więc objętość

początkową cieczy oznaczamy literą V_0 , a przyrost objętości znakiem ΔV ; temperaturę literą t , jej przyrost przez Δt , a jej wartość początkową przez t_0 .

Tabela

Ciecz; gliceryna.

Objętość początkowa cieczy $V_0 = 50 \text{ cm}^3$ w temperaturze początkowej $t_0 = 17^\circ$.

ΔV	t	Δt	$\frac{\Delta V}{V_0}$	$\frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$
0,19	25	8	0,0038	0,00047
0,41	34	17	0,0082	0,00048
.....

Pierwsze dwie kolumny obejmują bezpośrednie wyniki pomiarów: przyrost objętości i temperaturę; Δt obliczamy jako różnicę $t - t_0$. Następnie obliczamy przyrosty jednostkowe objętości; w tym celu każdy przyrost ΔV dzielimy przez objętość początkową V_0 i oznaczamy

to przez ułamek $\frac{\Delta V}{V_0}$.

Z wyników starannie przeprowadzonego pomiaru można dostrzec,

¹ Woda, jak zobaczymy niebawem, zachowuje się odmiennie od innych cieczy.

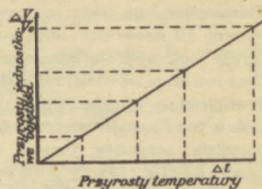
² Δ jest to grecka litera (delta); tego znaku używa się często w matematyce i fizyce, gdy chodzi o oznaczenie przyrostu pewnej wielkości.

że: ile razy są większe przyrosty temperatur, tyle razy są większe przyrosty jednostkowe objętości.

c) Znaleźliśmy drugie prawo rozszerzalności; przyrosty jednostkowe objętości są proporcjonalne do przyrostów temperatury.

Do tego samego wniosku dojdziemy, posługując się wykresem.

Wzdłuż dwóch osi (ryc. 32) odkładamy odcinki, odpowiadające: przyrostom temperatury Δt (wzdłuż osi poziomej), i przyrostom jednostkowym objętości $\frac{\Delta V}{V_0}$ (wzdłuż osi pionowej). Zaznaczamy punkty, odpowiadające poszczególnym, wziętym z tabelki, parom wartości Δt i $\frac{\Delta V}{V_0}$. Punkty te leżą mniej więcej



Ryc. 32. Przyrosty objętości są proporcjonalne do przyrostów temperatury.

na jednej prostej, przechodzącej przez punkt przecięcia osi. Wiadomo z matematyki, że taki prostoliniowy wykres wskazuje, iż odkładane wzdłuż osi wielkości są do siebie proporcjonalne. Jeśli punkty, nakreślone na podstawie wyników pomiaru nie leżą ściśle na jednej prostej, to przyczyną tego są najczęściej błędy pomiaru. Z wielkości odchyleń można wnioskować o dokładności pomiaru.

24. Spółczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy. Z proporcjonalności pomiędzy jednostkowym przyrostem objętości, a przyrostem temperatury wynika, że na każdy stopień ogrzania przypada taki sam przyrost jednostkowy objętości. Możemy to sprawdzić, wykonawszy obliczenie dla poszczególnych pomiarów; wyniki umieszczamy w ostatniej kolumnie tabelki. Drobne różnice są niewątpliwie spowodowane błędami mierzenia. Tak obliczona liczba nie jest już zależna ani od objętości cieczy, ani od wielkości zmiany temperatury, jest więc wielkością stałą, charakterystyczną dla badanej cieczy. Na podstawie znalezionej prawa tworzymy nowe pojęcie. Przyrost jednostkowy objętości cieczy, przypadający na 1 stopień ogrzania, nazywamy współczynnikiem rozszerzalności objętościowej tej cieczy. Oznaczamy go literą γ .

Jego określenie możemy wyrazić wzorem, który wskazuje, w jaki sposób można obliczyć tę wielkość, znając objętość początkową V_0 , przyrost objętości ΔV i przyrost temperatury Δt :

$$\gamma = \frac{\Delta V}{V_0} : \Delta t \text{ albo } \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \quad (1)$$

Gdybyśmy według tego wzoru obliczyli współczynnik rozszerzalności

¹ Greckie „gamma”

z naszych pomiarów, popełnilibyśmy pewien błąd; nie uwzględnilibyśmy, że rozszerza się nie tylko ciecz, ale i szkło dylatometru. Łatwo zauważyć, gdy wstawia się do gorącej wody dylatometr lub korbę z cieczą, jakiej używaliśmy w ćw. 11, że w pierwszej chwili ciecz w rurce opada. Tłumaczenie tego faktu jest proste: szkło ogrzało się i rozszerzyło pierwszej, niż ciecz; ciecz więc musiała zająć zwiększoną pojemność naczynia i obniżyła się cokolwiek w rurce. Przy dalszym ogrzewaniu ciecz rozszerza się silniej niż szkło, ale przyrost jej objętości musi przewyższającym wypełnić przyrost pojemności naczynia, a dopiero pozostała część zostaje wtłoczona do rurki. My mierzymy tę właśnie część pozostałą przyrostu, czyli różnicę pomiędzy rozszerzalnością cieczy a rozszerzalnością naczynia. Obliczony z tego współczynnik γ jest współczynnikiem rozszerzalności pozornej. Musielibyśmy znać współczynnik rozszerzalności objętościowej szkła, by móc obliczyć dla cieczy współczynnik rozszerzalności prawdziwej. Podana poniżej tablica zawiera tak poprawione wartości współczynnika dla różnych cieczy.

Później poznamy sposoby wyznaczania rozszerzalności ciał stałych. Różne gatunki szkła mają współczynniki dość różne. O ile chodzi o szkło, użyte do danego naczynia pomiarowego, to najdogodniej wyznaczyć z jego pomocą rozszerzalność pozorną rtęci. Współczynnik prawdziwej rozszerzalności rtęci znaleziono w inny sposób, niezależnie od rozszerzalności naczynia¹. Wynosi on 0,000182. Jeśli np. zapomocą danego dylatometru znajdziemy współczynnik rozszerzalności pozornej dla rtęci 0,000156, to łatwo się domyślić, że różnica pomiędzy współczynnikiem prawdziwym a pozornym czyli 0,000182—0,000156=0,000026 jest spowodowana rozszerzalnością szkła i równa się współczynnikowi rozszerzalności objętościowej tego materiału. Można dowieść tego ściśle, zapomocą rozumowania matematycznego. Jeśli teraz zapomocą tego samego dylatometru znajdziemy współczynnik pozorny np. dla gliceryny 0,000474, to obliczymy współczynnik rozszerzalności prawdziwej, dodając do tego wyniku współczynnik rozszerzalności szkła; otrzymamy: 0,000474+0,000026=0,00050.

Czytelnik sam sprawdzi, że rozszerzalność rtęci jest 7 razy większa od rozszerzalności szkła.

Tablica IV

SPÓŁCZYNNIKI ROZSZERZALNOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ

Eter	0,00163	Oliwa	0,00072
Alkohol	0,00110	Gliceryna	0,00050
Terpentyna	0,00094	Rtęć	0,000182
Nafta	0,00092	Szkło	0,000026

25. Zastosowanie znajomości współczynnika rozszerzalności. Dla lepszego zrozumienia, co wyraża ten współczynnik, rozpatrzmy przykład: Współczynnik rozszerzalności alkoholu wynosi około $\frac{1}{1000}$,

¹ Poznamy go w Cz. III, rozdz. 1

to znaczy, że alkohol, ogrzany o 1°, zwiększa swą objętość mniej więcej o $\frac{1}{1000}$; a więc litr alkoholu rozszerzy się o 1 cm³. Przy ogrzaniu o 10° rozszerzenie będzie 10 razy większe, a więc wyniesie około 10 cm³.

Znajomość współczynników rozszerzalności pozwala przeprowadzić różne potrzebne nam obliczenia. Weźmy parę przykładów:

a) Bańka termometru ma pojemność 150 mm³. Jaka powinna być pojemność rurki, jeśli termometr, napełniony rtęcią, ma wskazywać temperatury od —10° do 110° (rozszerzalności szkła nie bierzemy pod uwagę)?

W temperaturze —10° rtęć wypełnia tylko bańkę i sięga do nasady rurki; jej objętość jest wtedy równa 150 mm³. Po ogrzaniu od —10° do +110°, czyli o 120°, ma wypełnić całą rurkę.

Każdy milimetr sześcienny rozszerza się o 0,00018 mm³ przy ogrzaniu o 1°. Przy ogrzaniu o 120° objętość jego wzrośnie o 0,00018×120=0,0216 mm³. Cała objętość 150 mm³ wzrośnie 150 razy więcej, czyli 0,0216×150=3,24 mm³.

Taka co najmniej musi być pojemność rurki. Jeśli znamy jej przekrój, możemy obliczyć, jaką długość musimy jej nadać.

To samo zadanie można rozwiązać, posługując się znalezionym wzorem algebraicznym dla współczynnika rozszerzalności:

$$1) \quad \gamma = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$$

Wiemy, że objętość początkowa rtęci wynosi $V_0=150$ mm³, przyrost temperatury $\Delta t=120^\circ$; prócz tego wiemy, że dla rtęci współczynnik $\gamma=0,00018$.

Nieznana, a poszukiwana przez nas wartość ΔV ma przyrost objętości ΔV . W takich zadaniach musimy zawsze rozwiązać zadanie względem wielkości nieznannej, czyli tak przekształcić równanie, by wielkość nieznaną znalazła się po jednej, a wszystkie wielkości znane po drugiej stronie znaku równości. W naszym wypadku rozwiązujemy równanie względem ΔV :

$$2) \quad \Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta t$$

Podstawiamy po prawej stronie znane nam wartości:

$$\Delta V = 0,00018 \cdot 150 \cdot 120 = 3,24 \text{ (mm}^3\text{)}.$$

b) Maszynista napełnił bańkę dwoma litrami oliwy w temperaturze 12°. Nad cieczą pozostała jeszcze wolna przestrzeń o objętości 18 cm³. W jakiej temperaturze oliwa zaczęłaby się wylewać z bańki? (Pojemność bańki uważamy za niezmienną).

Przy ogrzaniu o 1° każdy cm³ oliwy rozszerza się o 0,00072 cm³, a że w bańce było 2 l czyli 2000 cm³, więc cała zawartość bańki rozszerzy się przy ogrzaniu o 1° o 0,00072×2000=1,44 cm³. Jeżeli obliczymy, ile razy ten przyrost mieści się w 18 cm³ wolnej objętości, to znajdziemy liczbę stopni, przy której, ciecz całkowicie wypełni bańkę: 18 cm³:1,44 cm³=12,5.

Możemy ogrzewać oliwę o 12,5°, czyli od 12° do 24,5° bez obawy, by zaczęła wyciekać z bańki.

Z pomocą wzoru obliczamy to w następujący sposób: wzór 2) przekształcamy jeszcze dalej, by go rozwiązać względem niewiadomej Δt :

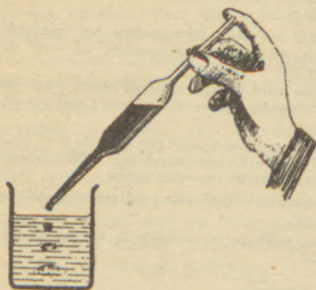
$$3) \quad \Delta t = \frac{\Delta V}{V_0 \gamma}$$

i podstawiamy $\Delta V=18$ cm³, $V_0=2000$ cm³, $\gamma=0,00072$

$$\Delta t = \frac{18}{2000 \cdot 0,00072} = 12,5$$

Już w cz. I poznaliśmy pożytek używania wzorów przy rozwiązywaniu zadań; w powyższych przykładach, gdy obliczenie jest trochę więcej skomplikowane, wygodą i prędkością rozwiązywania algebraicznego występuje jeszcze wyraźniej.

26. Skutki rozszerzania się cieczy przy ogrzewaniu. Jeśli ciecz wypelni całkowicie pojemność zamkniętego naczynia, a temperatura



Ryc. 33. Ciecz zimna tonie w ciepłej.

njanem potasu; puszczamy ostrożnie kroplę tej cieczy do zlewki z ciepłą czystą wodą.

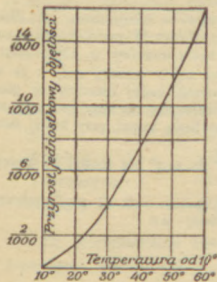
b) Krople ciepłej, zabarwionej wody puszczamy do zlewki z wodą zimną i czystą.

Krople wody zimnej toną w wodzie ciepłej; krople wody ciepłej nie toną w wodzie zimnej i tworzą na jej powierzchni barwną warstewkę.

Czytelnik przypomni sobie, co wie o tonięciu jednej cieczy w drugiej (str. 25) i sam wytłumaczy to zjawisko.

27. Rozszerzalność cieplna wody.

Uważny czytelnik, spojrzawszy na tabelicę IV, zdziwi się niezawodnie, nie znalazłszy w niej współczynnika rozszerzalności tak ważnej, znanej, pospolitej cieczy jak woda. Nie jest to bynajmniej przeoczenie, ale umyślne opuszczenie. Zrozumielibyśmy jego przyczynę, gdybyśmy zbadali dylatometrem rozszerzalność wody, poczynając od 10°. Przyrosty objętości nie byłyby proporcjonalne do przyrostu temperatur, a wykres tej zależności nie byłby wcale linią prostą (patrz ryc. 34).



Ryc. 34. Wykres ten ilustruje, jak przyrasta objętość wody przy ogrzewaniu od 10 do 60°.

Trudno tu mówić o jakimś stałym współczynniku rozszerzalności; zmienia się on od punktu do punktu; mówimy, że woda rozszerza się nierównomiernie. W temperaturze pokojowej jej rozszerzalność jest mniej więcej taka, jak rtęci, ale maleje coraz bardziej w niższych temperaturach. Jeszcze ciekawsze jest zachowanie się wody w temperaturach niższych od 10°.

Cwiczenie 14. Krople wody zabarwionej, ochłodzonej do 4°, puszczamy do zlewki z wodą czystą o temperaturze pomiędzy 0° a 1°.

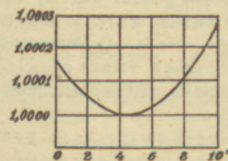
Krople wody zabarwionej o temperaturze bliskiej 0° puszczamy do zlewki z wodą czystą o temperaturze 4°.

Zachodzi tu coś niespodziewanego; krople wody cieplejszej toną, a krople wody zimniejszej wypływają na powierzchnię i tworzą na niej warstewkę zabarwioną; a więc w tych temperaturach woda zachowuje się zupełnie odwrotnie, niż w temperaturach wyższych. Ciężar właściwy wody nie zmniejszył się przy ogrzaniu od 0° do 4°, jak się to dzieje normalnie, lecz przeciwnie — zwiększył się. Objętość wody ulega zmniejszeniu, gdy temperatura jej podnosi się od 0° do 4°.

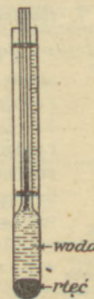
Przy dalszym ogrzewaniu objętość wody znów rośnie — najpierw powoli, potem coraz prędzej. W temperaturze 4° objętość wody ma wartość najmniejszą, a jej ciężar właściwy — największą.

Ryc. 35 wskazuje, jak przebiegają zmiany objętości wody pomiędzy 0° i 10° temperatury.

Do dokładnego zbadania rozszerzalności wody w tych temperaturach nie nadają się zwykle dylatometry, ponieważ zmiany pojemności samego naczynia są prawie



Ryc. 35. Zmiany objętości wody w temperaturze od 0° do 10°.



Ryc. 36. Dylatometr o stałej pojemności.

takie, jak zmiany objętości cieczy. Trzeba tu wziąć dylatometr o stałej pojemności (ryc. 36). W bańce jego znajduje się rtęć, która zajmuje $\frac{1}{10}$ pojemności bańki. Wiemy, że rtęć rozszerza się 7 razy więcej niż szkło, o ile więc powiększy się pojemność bańki, o tyle właśnie powiększy się objętość rtęci. Pojemność pozostałej części bańki nie ulega więc zmianie przy ogrzewaniu. Jeśli napchnąć tę część wodą, to można zauważyć nawet drobne zmiany jej objętości. Takim przyrządem przeprowadzone były pomiary, których wynik widzimy na ryc. 35.

Z ryc. 35 widać, że zmiany objętości wody w bliskości temperatury 4° są bardzo małe. To skłoniło fizyków, że początkowo za jednostkę ciężaru przyjęli ciężar 1 cm^3 wody w tej właśnie temperaturze; drobne błędy przy pomiarze temperatury najmniej wtedy wpływają na ilość wody, mieszczącej się w centymetrze sześciennym.

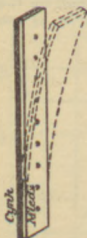
ROZSZERZALNOŚĆ CIAŁ STAŁYCH.

28. Zmiany wymiarów ciał stałych przy ogrzewaniu. Ciała stałe zachowują przy ogrzewaniu swój kształt; zwiększanie ich objętości jest



Ryc. 37. Wszystkie wymiary ciała stałego wydłużają się w jednakowym stosunku.

wynikiem tego, że zwiększają się ich rozmiary: długość, szerokość, grubość. Każda linia prosta, przeprowadzona na powierzchni lub wewnątrz takiego ciała, ulega wydłużeniu (ryc. 37). Możemy więc mówić o rozszerzalności linijowej ciał stałych; nie moglibyśmy tego uczynić przy cieczach, gdyż nie mają one własnej postaci, a przybierają kształt naczyń, w którym się chwilowo znajdują.



Ryc. 38. Wyginięcie się dwóch spójnych ze sobą blaszek o niejednakowej rozszerzalności.

Cwiczenie 15. Dwie spójne z sobą blaszki z różnych metali ogrzewamy nad palnikiem (ryc. 38).

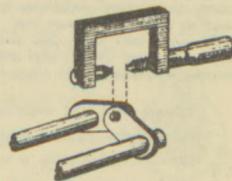
Z wygięcia blaszki możemy wywnioskować, że użyte metale rozszerzają się niejednakowo. Pierwsze prawo rozszerzalności linijowej mówi więc: a) wydłużenie przy ogrzewaniu zależy od materiału ogrzewanego ciała. Dokładne pomiary przekonają, że i dalsze prawa rozszerzalności linijowej są zupełnie podobne do praw rozszerzalności objętościowej cieczy; a więc:

- b) wydłużenie całkowite jest proporcjonalne do długości początkowej,
- c) wydłużenie jest proporcjonalne do przyrostu temperatury.

Dla zbadania rozszerzalności metali używamy długich

pretów albo rurek. Rzecz jasna, że im większa długość, tem wydłużenie większe i łatwiejsze do zmierzenia.

Cwiczenie 16. Dwie jednakowe rury, sporządzone z tego samego metalu, są umocowane jednemi końcami w drewnianym kločku; drugie końce są zaopatrzone w metalowe nasadki (ryc. 39). Ustawiamy nasadki wprost naprzeciw siebie; możemy teraz za pomocą mikrometru zmierzyć odległość, zajmowaną przez grubość obu nasadek i odstęp pomiędzy nimi. Jedną z rur ogrzewamy strumieniem przepuszczanej przez nią pary wodnej. Ponowny pomiar śrubą przekona nas, że mierzona odległość wzrosła wskutek zwiększenia się odstępu pomiędzy nasadkami. Jest to wynikiem wydłużenia się ogrzanej rury: o ile musieliśmy zwiększyć odległość między końcówkami śruby, tyle wynosi przyrost długości rury; oznaczamy go przez Δl .



Ryc. 39. Sposób mierzenia wydłużenia rurki metalowej.

Wymierzmy długość początkową rury (od środka drewnianego kločka do końca nasadki) i oznaczmy ją przez l_0 . Wreszcie odczytajmy temperaturę t rurki nieogrzewanej. Taką samą temperaturę miała pierwotnie rurka ogrzewana; temperatura jej wzrosła więc od t do temperatury pary, czyli do 100° . Przyrost temperatury Δt obliczymy jako różnicę: $\Delta t = 100^{\circ} - t$.

Z otrzymanymi z pomiaru wielkościami postąpimy tak, jak przy doświadczeniu z cieczami; obliczymy najpierw wydłużenie jednostkowe, dzieląc wydłużenie całkowite Δl przez długość rury l_0 : $\frac{\Delta l}{l_0}$. Następnie obliczymy wydłużenie jednostkowe, przypadające na jeden stopień ogrzania. Tę nową wielkość nazwiemy współczynnikiem rozszerzalności linijowej i oznaczmy literą α . Zamiast powyższego określenia możemy użyć wzoru:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot \Delta t \text{ albo } \alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t} \quad (4)$$

Przykład obliczania. Rurka żelazna o długości początkowej $l_0 = 710 \text{ mm}$.

Rozstawienie nasadek przed ogrzaniem: $10,26 \text{ mm}$.

„ „ „ po ogrzaniu: $10,89 \text{ mm}$.

Rurka wydłużyła się o $\Delta l = 10,89 - 10,26 = 0,63 \text{ (mm)}$.

Temperatura wzrosła o $\Delta t = 100^{\circ} - 25^{\circ} = 75^{\circ}$.

1. Greckie „alfa”.

Wydlużenie jednostkowe rurki: $\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{0,63}{710} = 0,00089$.

Na 1° przypada: $\frac{\Delta l}{l_0} \cdot \Delta t = 0,00089 : 75 = 0,000012$.

Wartość rozstawienia 10,26 została obliczona jako średnia z kilku pomiarów, wahających się pomiędzy 10,21 i 10,30 mm. Mamy tu do czynienia z błędem przypadkowym, zależnym nie od małej czułości przyrządu mierniczego, lecz od okoliczności przypadkowych, jak niepełna równoległość powierzchni, których odstęp był mierzony, lub niezawsze jednakowe ściśnięcie nasadek śrub. Biorąc wartość 10,26, możemy się mylić o jakie 0,05 mm¹. Również i w ocenie odstepu 10,89 mogliśmy pomylić się o tyleż samo. Jeśli pierwsza wartość (10,26) została np. oceniona zbyt wysoko, a druga (10,89) zbyt nisko, to ich różnica będzie mniejsza od rzeczywistej wartości wydlużenia rurki o 0,05 + 0,05 = 0,1 mm.

Obliczmy teraz błąd względny pomiaru wydlużenia: $\frac{0,1}{0,63} \cdot 100 = 16\%$.

Błąd względny pomiaru długości, dokonanego z dokładnością 1 cm, wynosi $\frac{10}{710} \cdot 100 = 1,4\%$. Myląc się w wyznaczeniu każdej z temperatur o 1°, możemy popełnić błąd najwyżej 2° w obliczeniu różnicy; błąd względny tej różnicy wynosi $\frac{2}{75} \cdot 100 = 2,7\%$. Widzimy, że błąd względny w wyznaczeniu wydlużenia znacznie przewyższa inne błędy. On też wpływa decydująco na błąd względny ostatecznego obliczenia, który może osiągnąć: $16 + 1,4 + 2,7 = 20\%$.

Tablica V zawiera wartości współczynnika dla różnych ciał stałych.

Tablica V

SPOŁCZYNNIKI ROZSZERZALNOŚCI LINJOWEJ

Cynk	0,000029	Granit	0,000090
Mosiądz	0,000019	Szkło	0,000087
Miedź	0,000017	Inwar (stal z niklem)	0,000016
Nikiel	0,000013	Diament	0,000013
Stal	0,000011	Kwarc topiony (szkło	
Platyna	0,000090	kwarcowe)	0,000005

Wskutek rozszerzalności cieplnej wymiary wszystkich ciał ulegają pewnemu wydlużeniu przy zmianach temperatury. Gdy chodzi o wielką dokładność w podaniu jakiejś długości, trzeba zawsze wymienić temperaturę, w jakiej była mierzona. Tak np. określamy długość metra jako długość wzorca międzynarodowego w temperaturze 0°; w każdej innej temperaturze wzorec ma długość różną od metra. Tak samo inne wzorce długości oraz wszystkie przyrządy, t. j. pręty, lub taśmy z podziałkami, wtedy tylko mają prawidłową długość, gdy są w 0°. Błędy, które popełniamy, używając przyrządów w innej tempe-

¹ Mierząc pewną wielkość wiele razy i obliczając średnią, zmniejszamy prawdopodobieństwo błędu; nie możemy jednak w tej książce zajmować się bliżej tą sprawą.

raturze, są tem mniejsze, im mniejszy jest współczynnik rozszerzalności przyrządu. Z tego powodu używa się obecnie do tego celu stopu stali (64%) z niklem (36%); współczynnik jego jest 12 razy mniejszy niż dla mosiądzu. Z powodu bardzo małych zmian stop ten nazwano inwarem¹.

29. Rozszerzalność objętościowa ciał stałych. Ciało stałe przy ogrzewaniu powiększa swą objętość i możemy równie dobrze mówić o współczynniku rozszerzalności objętościowej ciał stałych, jak i cieczy. Ale że zmiany objętości ciała stałego są wynikiem zmian jego rozmiarów linjowych, więc współczynnik ten jest ściśle zależny od współczynnika rozszerzalności linjowej.

Można dowiedzieć, że współczynnik objętościowy (γ) jest trzykrotnie większy od współczynnika linjowego (α): $\gamma = 3\alpha$.



Ryc. 40. Pojemność naczynia różnie tak, jak objętość pełnej bryły.

Tym samym prawom, jakie rządzą zmianami objętości ciała stałego, podlegają też pojemności sporządzonych z niego naczyń. Ryc. 40 najlepiej to wyjaśni. Wyobraźmy sobie, że wewnątrz naczynia np. szklanego jest wypełnione bryłą z tego samego materiału (szkła); przy ogrzewaniu bryła ta rozszerza się tak samo, jak ścianki naczynia, tak, że wypełnia wciół całkowicie jego wnętrze. To samo byłoby, gdyby wewnątrz to nie było zajęte przez bryłę, a pozostało puste, lub napełnione przez jakąś ciecz.

30. Siły, powstające przy ogrzewaniu i ochładzaniu ciał. Nietylko ogrzewaniem można zwiększać rozmiary ciał; ten sam skutek można osiągnąć przez rozciąganie. Długość kawałka gumy możemy zmienić niewielkim wysiłkiem. Nawet tak sztywne ciała, jak stal lub szkło, ulegają wydlużeniu, ale wymagają do tego bardzo dużych sił. Tak np. znaleziono, że drut stalowy o przekroju 1 mm² i długości 1 m trzeba obciążyć 20 Kg, by wydlużył się o 1 mm. Takiego samego wydlużenia doznałby ten drut, gdyby go ogrzało o 100°.

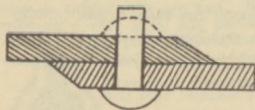
Gdybyśmy tak ogrzany drut znów ochłodzili, ale jednocześnie nie pozwolili mu się kurczyć, rozpinając go np. w mocnej ramie, to rama, by zachować drut w powiększonej długości, musiałaby wywierać na niego siłę, wynoszącą 20 Kg. Taką samą siłą drut ciągnąłby boki ramy ku sobie. Gruby drut, albo pręt, wywieraby siłę tyle razy większą, ile razy jego przekrój jest większy od 1 mm². Silniejsze ogrzanie zwiększyłoby jeszcze bardziej tę siłę.

W ten sposób można wywierać potężne siły użyteczne dla człowieka. Wie o tem każdy kowal, gdy nakłada silnie rozgrzaną ob-

¹ Inwariel — niezmienny.

ręcz z blachy na koło, by je mocno ścisnęła po ochłodzeniu. Podobnie postępuje majster fabryczny, gdy nakłada obręcz żelazną na koło od wagonu.

Lufy współczesnych wielkich dział morskich wytwarza się z kilku nakładanych na siebie rur; wewnętrzna średnica każdej rury jest cokolwiek mniejsza od zewnętrznej średnicy następnej mniejszej. Na zimno nie można wsunąć mniejszej rury w większą, dopiero rozgrzana rura zewnętrzna może objąć wewnętrzną, a po ostygnięciu ścisła ją potężnie. W lufie, utworzonej z kilku warstw, panują więc wielkie siły, cisnące do środka; przeciwdziałają one ciśnieniom od środka, wytwarzanym w lufie przez spalanie prochu a przez to czynią ją mocniejszą i wytrzymałą.



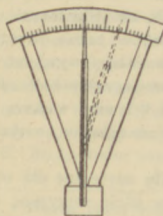
Ryc. 41. Złączenie blach zapomoć nitów (przekrój).

Kotły parowe, zbiorniki nafty, gazometry są budowane z grubych blach; by zbiornik był szczelny, brzegi blach w miejscach złączenia muszą być silnie do siebie przyciskane. W tym celu wierce się w zachodzących na siebie blachach otwory i wsuwa przez nie rozgrzane do czerwoności żelazne nity. Każdy nit jest zakończony główką; drugi koniec rozpląszcza się młotkiem lub prasą i wytwarza przez to drugą główkę. Po ostygnięciu nita, główki przyciskają mocno blachy do siebie.

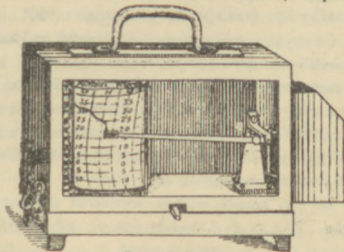
Groźące zawaleniem mury budynku można wzmocnić, nakładając na nie płyty stalowe, łączone rozgrzanymi prętami stalowymi; po ostygnięciu pręty ściągają płyty i zapobiegają wyginaniu się i rozpadowi muru.

Skutki wielkich napięć przy zmianie temperatury mogą być często szkodliwe. Druty, zbyt silnie rozpięte na słupach, pękają podczas mrozów. Gdy nalewamy gorącą wodę do szklanki, może ona pęknąć wskutek niejednakowego ogrzania warstwy wewnętrznej i zewnętrznej szkła. Jeśli obwinimy butelkę sznurkiem, namoczonym w spirytusie i spalimy go, możemy wywołać pęknięcie butelki wzdłuż płonącego sznurka.

Zastosowanie różnic w współczynnikach rozszerzalności. Wyginanie się przy ogrzewaniu płytki, spójonej z dwóch różnych metali, jakie widzieliśmy w ćwic. 15, może być wykorzystane do skonstruowania termometru metalowego. Wystarczy w tym celu jeden koniec płytki zamocować, a drugi zaopatrzyć we wskazówkę, poruszającą się wzdłuż skali; trzeba jeszcze wycechować ten przyrząd, t. j. porównać jego wskazania ze wskazaniami zwykłego termometru i na skali zaznaczyć odpowiednie temperatury.

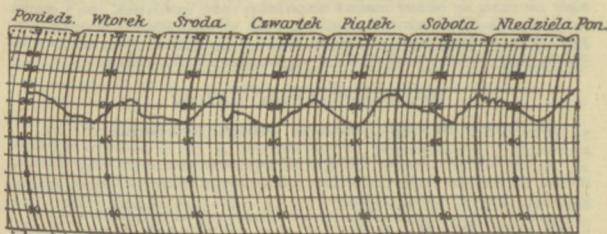


Ryc. 42. Termometr metalowy.



Ryc. 43. Termograf.

Termometr metalowy znajduje zastosowanie praktyczne w przyrządzie, zapisującym samoczynnie zmiany temperatury; przyrząd ten nazywa się termografem (ryc. 43); jest on używany na stacjach meteorologicznych oraz podczas wlotów balonów i samolotów. Płytkę termometru kończy się piórem, którego ostrze dotyka wstęgi pa-



Ryc. 44. Wykres zmian temperatury powietrza w ciągu tygodnia (termogram).

pirowej, nawiniętej na bęben. W miarę zmian temperatury pióro porusza się wprzek wstęgę; wstęga jest przesuwana ruchem miarowym zapomoć mechanizmu zegarowego; pióro kreśli więc na niej krzywą, która odzwierca zachodzące zmiany temperatury. Ryc. 44 przedstawia taki wykres, zwany termogramem.

W dokładnych zegarach są używane wahadła skompensowane, których długość powinna być niezależna od temperatury; w ten sposób zapewnia się zegarowi jednostajny chód, niezależny od warunków cieplnych. W takim wahadle mamy zawsze dwie części: o ile rozszerzanie jednej przedłuża wahadło, o tyle drugie je kurczy. Gdy pręty A, A i C wydłużają się, cewka W wahadła (ryc. 45) opuszcza się; wydłużenie prętów B, B powoduje podniesienie się cewki. Łączna długość prętów A i C, jak widać z rysunku, jest większa niż B, ale A i C są zrobione z materiału o mniejszym współczynniku rozszerzalności niż B. Długości prętów są tak dobrane, by oba wydłużenia były równe, wtedy wahadło utrzymuje długość niezmienną a (ryc. 46).

Ze wzoru na współczynnik rozszerzalności (ust. 28) wynika, że wydłużenie jest równe iloczynowi długości pierwotnej przez współczynnik rozszerzalności i przez przyrost temperatury:

$$\Delta l = l_0 \alpha \Delta t$$

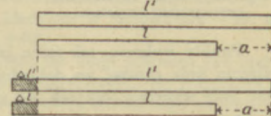
Przy ogrzaniu o t° to wydłużenie wyniesie $l_0 \alpha t$; drugi pręt, o długości l_1 i współczynniku α' , wydłuży się jednocześnie o $l_1 \alpha' t$. Te przyrosty mają być równe:

$$l_0 \alpha = l_1 \alpha' \quad (5)$$

Wiemy, że jeśli iloczyn dwóch wielkości ma pozostać stałym, to ile razy zwiększymy jeden czynnik, tyle razy musimy zmniejszyć drugi. Ile razy współczynnik rozszerzalności α jest większy od α' , tyle razy długość pręta l_0 ma być mniejsza od l_1 .



Ryc. 45. Wahadło skompensowane.



Ryc. 46. Wyrównywanie wydłużeń prętów z różnych materiałów.

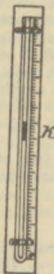
Czytelnik, mieszający w wielkim mieście, może być zdziwiony, że szyny tramwajowe są ze sobą spajane bezpośrednio, bez pozostawienia odstępów, jak przy szynach kolejowych. Różnica w obu wypadkach polega na tem, że szyny kolejowe, wystawione na działanie powietrza, zmieniają temperaturę prędzej, niż wielka masa nawierzchni. Tymczasem szyny tramwajowe, wpuszczone w głąb jezdnii granitowej, nigdy nie różnią się od niej znacznie temperaturą; nadto spłuczyniki stali i granitu są bliskie sobie. Gdyby mimo to powstały napiecia wskutek różnicy w zmianach długości, mocne osadzenie szyny w kamieniu zapobiega jej wygięciu. Szyna kolejowa nie ma tak mocnej oprawy, nie powinna być więc narażona na silne ściskanie.

ROZSZERZALNOŚĆ GAZÓW

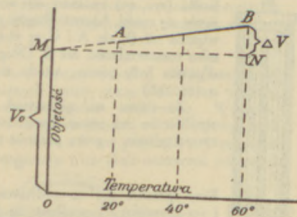
32. Zmiany objętości powietrza wskutek ogrzewania.

Ćwiczenie 17. W cienkiej rurce, zatopionej z jednego końca, mieści się pewna ilość powietrza, zamkniętego w rurce przez kroplę stężonego kwasu siarkowego K¹. Rurka jest przymocowana do liniiki z podziałką (ryc. 47); możemy na niej odczytywać długość słupka powietrza, zamkniętego w rurce; ta długość będzie dla nas miarą objętości tego powietrza.

Do zlewki z zimną wodą wstawiamy opisany przyrząd oraz termometr; ogrzewamy wodę mniej więcej do 60°, od czasu do czasu odczytując temperaturę wody i objętość powietrza. Zestawiamy tabelkę pomiarów. Robimy wykres, wyobrażający zmiany objętości w zależności od zmian temperatury.



Ryc. 47. Przyrząd do mierzenia rozszerzalności powietrza.



Ryc. 48. Przyrosty objętości powietrza są proporcjonalne do przyrostów temperatury.

Punkty wykresu, tak samo jak w ćwiczeniu 12 tworzą w przybliżeniu linię prostą; im dokładniejsze pomiary, tem bardziej prosta jest linia wykresu (odcinek AB na ryc. 48). To dowodzi, że przyrosty objętości powietrza są proporcjonalne do

¹ Kwas siarkowy silnie pochłania parę wodną i osusza przez to zawarte w rurce powietrze.

przyrostów temperatury. Musimy ograniczyć to wtrudzenie do wypadku, gdy ciśnienie powietrza jest niezmiennie; jeśli ciśnienie się zmienia, to objętość zmienia się nawet bez zmian temperatury (porównaj ust. 15: termometr Galileusza).

Jeśli dziecinny balonik gumowy umieścić w ciepłym miejscu, to najczęściej pęka. Rozgrzany gaz wywierał na ścianki balonika ciśnienie tak duże, że guma tego nie wytrzymała. Jeśli gaz ogrzewamy bez zmiany objętości, to rośnie wywierane przez gaz ciśnienie.

33. Spółczynnik rozszerzalności objętościowej powietrza. Przyjmiemy się dokładnie wykresowi na ryc. 48. Przyrosty objętości, przypadające na 1° ogrzania są jednakowe, czy temperatura jest niska, czy wysoka, czy wynosi np. 10° czy 50°. Ale przyrost jednostkowy będzie różny: przy ogrzaniu od 10 do 11° trzeba dzielić przyrost przez objętość, jaką powietrze ma w 10°, a przy ogrzaniu od 50° do 51° przez objętość w 50°, znacznie większą od poprzedniej. Wartość współczynnika, obliczonego w ten sposób, byłaby różna dla różnych temperatur. By tego uniknąć, umówiono się obliczać przyrost objętości gazu w stosunku zawsze do jednej i tej samej objętości, tej mianowicie, jaką gaz ma w 0°.

W naszym doświadczeniu nie zmierzaliśmy wprawdzie tej objętości, ale możemy ją wyznaczyć z wykresu, przedłużając jego linię wstecz aż do przecięcia z osią objętości: odetnie na niej odcinek OM, który odpowiada objętości V₀ w temperaturze 0°. Odcinek NB wyobraża przyrost, jakiego doznało powietrze przy ogrzaniu od 0° do t. Z tych danych można już obliczyć współczynnik rozszerzalności powietrza. Według pomiarów Charles'a i Gay Lussac'a współczynnik ten wynosi około $\frac{1}{273}$.

Na przełomie XVIII i XIX wieku dwaj francuscy fizycy CHARLES (czyt. Szarl) i GAY LUSSAC (czyt. Gej Liussak) stwierdzili zaskakującą jednostajność we własnościach gazów: okazało się, że wszystkie gazy rozszerzają się jednakowo (pod stałym ciśnieniem).

Pytania.

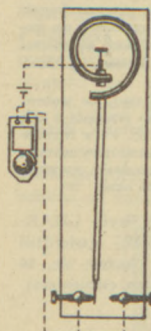
- 1) Rurka termometru ma zwykle na końcu, już poza skalą, małeńkie rozdzienie. Wytłumacz, w jakim celu?
- 2) Z jakiego materiału należałoby zrobić dylatometr, by zmierzona nim rozszerzalność cieczy najmniej różniła się od jej rozszerzalności rzeczywistej?
- 3) Jaką część naczynia szklanego należałoby napełnić gliceryną, by wolna część naczynia miała pojemność niezależną od temperatury?
- 4) Oblicz, jakie odstępy trzeba pozostawić pomiędzy szynami o długości 10 m = 10000 mm, jeśli są one kładzione w temperaturę -10°, a trzeba liczyć się z rozgrzaniem ich do +40°.
- 5) Pręt stalowy ma długość 150 cm; jak długi powinien być pręt cynkowy, by wydłużenia obu prętów przy ogrzewaniu były jednakowe?
- 6) Dlaczego szklanki z grubego szkła pękają łatwiej niż z cienkiego, gdy nalać do nich gorącej wody?
- 7) Dlaczego naczynia z topionego żwiru nie pękają nawet przy silnym ogrzewaniu?
- 8) W żarówkach prąd elektryczny jest doprowadzony do wnętrza

opróżnionej z powietrza bańki przez cienkie druty, wtopione w szkło bańki. Do niedawna druty te robiono z platyny. Spojrzawszy na tablicę V, odpowiedz, dlaczego? Co by się stało, gdyby druty były z niklu, a co, gdyby były z inwaru? (Obecnie używa się w tym celu stopów, o odpowiednio dobranym współczynniku rozszerzalności).

9) Notuj któregoś dnia co godzinę temperaturę powietrza i zrób wykres zmian temperatury w tym dniu.

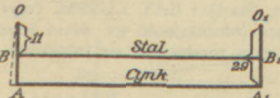
10) Z termogramu (ryc. 44) odczytaj i wynotuj, ile wynosiła temperatura w kolejnych godzinach w ciągu jednej doby.

11) Ryc. 49 wyobraża przyrząd, który sygnalizuje, jeśli temperatura podnosi się lub obniża za bardzo. Przyrządy takie są używane w t. zw. termostatach t. j. pomieszczeniach, w których chcemy utrzymać stałą temperaturę. Objaśnij działanie przyrządu.



Ryc. 49.

12) Ryc. 50 wyobraża schemat urządzenia do utrzymania stałej niezależnej od temperatury odległości punktów 0 i 0₁. Składa się ono z dwóch prętów jednakowej długości: stalowego BB₁ i cynkowego AA₁ oraz z poprzecznych prętów A0 i A₀₁. Odległości 0 B i 0₁ B₁ wynoszą po 11 jednostek, 0A i 0₁A₁ po 29 jednostek. Udowodnij na podstawie rysunku, że odległość 00₁ nie zmienia się wskutek zmian temperatury. Takie przyrządy są używane przy niektórych pomiarach na powierzchni ziemi, wymagających dużej dokładności, a wykonywanych w zmiennej temperaturze atmosfery.



Ryc. 50.

Do wykonania w warsztacie.

- 1) Sporządź termometr metalowy, jak na ryc. 42 i wycechuj go.
- 2) Sporządź urządzenie alarmujące na wypadek pożaru, według ryc. 49. Możesz użyć też listewki prostej, jak na ryc. 42.
- 3) Sporządź wahadło skompensowane jak na ryc. 45.

Rozdział III

RUCH CIEPŁA

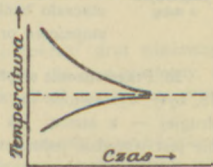
PRZEWODZENIE CIEPŁA.

34. Ogrzewanie i stygnięcie ciał. Staramy się, by nasze ciało nie podlegało zmianom temperatury, pomimo że stykamy się z powietrzem i różnymi przedmiotami to gorącymi, to zimnymi. Chronimy więc ciało odzieżą, dążymy do tego, by w mieszkaniu mieć temperaturę

mniej więcej jednakową. Jeśli np. w zimie ściany stygną w zetknięciu z zimnym powietrzem, to staramy się zmniejszyć stygnięcie różnymi sposobami, a jednocześnie ogrzewamy mieszkanie, paląc ogień pod kuchnią lub w piecu. Piec ogrzewa się od płomienia, potem stygnie stopniowo, a jednocześnie ogrzewa się otaczające go powietrze; to samo dzieje się z butelką, zawierającą gorącą wodę, gdy ją wkładamy do zimnej pościeli: woda stygnie, a pościel ogrzewa się. Na każdym niemal kroku spotykamy zjawiska obniżania i podnoszenia się temperatury; wywołujemy je sami, lub bronimy się przed ich niepożądanymi skutkami. Chcemy to robić celowo i skutecznie, a w tym celu musimy lepiej poznać zjawiska, towarzyszące zetknięciu się ciał o niejednakowej temperaturze.

Cwiczenie 18. Do kubka blaszanego lub zlewki nalewamy gorącej wody (albo innej cieczy) i wstawiamy do większego naczynia z zimną wodą. Mierzmy co pół minuty temperaturę wody w obu naczyniach.

Na ryc. 51 mamy wykres, wyobrażający wynik takiego pomiaru: na osi poziomej są odłożone odcinki, wyrażające czas, liczony od początku pomiaru; na osi pionowej — temperatury wody w obu naczyniach. Z wykresu widać, jak temperatura niższa rośnie, a wyższa maleje, zbliżając się do siebie coraz bardziej. Po pewnym czasie nie znajdziemy różnicy pomiędzy nimi.

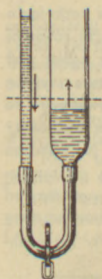


Ryc. 51. Stopniowe wyrównywanie się temperatur ciał stykających się z sobą.

To wyrównywanie się temperatur zachodzi zawsze, niezależnie od tego, czy stykają się z sobą ciała jednakowe, czy też różne. W naszych doświadczeniach odbywało się to za pośrednictwem ścianek wewnętrznego naczynia. Gdybyśmy mierzili i jego temperaturę, przekonalibyśmy się, że staje się ona w końcu taka sama, jak temperatura obu cieczy. Temperatury ciał stykających się z sobą wyrównują się stopniowo.

35. Przepływ ciepła. Gdy ciało stygnie, mówimy, że traci ciepło, gdy ogrzewa się — że pobiera ciepło. Wyrównywanie się temperatur ciał przy zetknięciu uważamy za przechodzenie ciepła z ciała cieplejszego do chłodniejszego. Treść poprzedniego ustępu możemy więc wyrazić: ciepło przepływa z ciała cieplejszego do chłodniejszego, póki temperatury tych ciał nie wyrównają się.

Zachodzi tu coś podobnego, jak z cieczą w połączonych z sobą rurkach (ryc. 52). Poziomy cieczy mogą być w nich nierówne tylko wtedy, gdy uniemożliwimy ich



Ryc. 52. Wyrównywanie się poziomów cieczy w rurkach połączonych z sobą.

wyrównanie się, zaciskając łączącą je rurkę. Skoro połączenie zostanie przywrócone, ciecz przepływa z rurki o poziomie wyższym do rurki o poziomie niższym, póki poziomy w obu nie wyrównają się. Dzieje się tak zawsze, niezależnie od tego, która rurka ma przekrój większy, a która mniejszy. Przy przepływie ciepła temperatura gra taką rolę, jak poziom cieczy przy przepływie cieczy.

Temperatura ciał rozstrzyga o tem, czy pomiędzy nimi zachodzi wymiana ciepła, oraz o tem, w jakim kierunku się odbywa. Jeśli temperatura jakiegoś ciała pozostaje niezmienniona, jest to zwykle dowodem, iż otaczające je ciała mają temperaturę taką samą, jak ono.

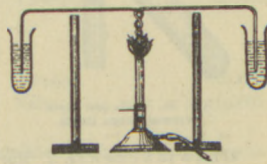
Rtęć w termometrze ma objętość większą lub mniejszą, zależnie od tego, jaka jest jej temperatura; termometr wskazuje więc przedewszystkiem swoją własną temperaturę. Gdy chcemy zmierzyć temperaturę powietrza, wody, naszego ciała i t. p., stykamy bańkę termometru z ciałem badanym, tak by otaczało bańkę ze wszystkich stron. Wtedy termometr stopniowo przyjmuje i wskazuje temperaturę ciała.

36. Przewodzenie ciepła. Ścianki kubka, którego użyliśmy w ćwic. 18, były wystawione na zetknięcie z jednej strony z wodą gorącą, a drugiej — z zimną. Jak zachowują się ciała, których temperatura nie jest wszędzie jednakowa?

Jeśli umieścimy na chwilę w płomieniu palnika lub w gorącej wodzie koniec pręta metalowego i takiego samego szklanego, poczem położymy oba pręty na podstawie ze szkła albo azbestu, to po niedługim czasie pręt metalowy okaże się jednakowo ciepły na całej długości, pręt szklany będzie gorący niemal tylko w tem miejscu, w którym stykał się z gorącym ciałem; długo trzeba czekać, aż się jego temperatura wyrówna. Zasada wyrównywania się temperatury stosuje się do różnych części jednego i tego samego ciała; ciepło przepływa w niem póty, póki całe ciało nie przybierze jednakowej temperatury. Ale to, co się dokonało w pręcie metalowym w ciągu kilkunastu sekund, w szkłe potrzebuje czasu, wynoszącego kilkadziesiąt minut; metal, jak mówimy, jest dobrym, a szkło złym przewodnikiem ciepła. Przepływ ciepła od miejsc cieplejszych do zimniejszych odbywa się i wtedy, gdy te miejsca utrzymujemy wciąż w wyższej i niższej temperaturze, jeśli np. umieścimy gruby drut miedziany jednym końcem w płomieniu, a drugim w probówce z zimną wodą (jak na ryc. 53), to woda będzie się stopniowo ogrzewała; metal przewodzi ciepło od ciała gorącego do zimnego.

Temperatura drutu jest podczas tego nierówna: najwyższa w płomieniu, najniższa w wodzie, inne punkty drutu mają temperatury pośrednie, malejące stopniowo od jednego końca do drugiego. Mówimy, że wzdłuż drutu utworzył się spadek temperatury. Ciało, które przewodzi ciepło, ogrzewa się samo nierównomiernie, przepływ ciepła jest w niem wywołany utworzonym spadkiem temperatury.

37. Przewodnictwo ciepłe.— Ćwiczenie 19. Druty jednakowej grubości z miedzi, mosiądzu, glinu, żelaza i t. p. splatamy końcami, a drugie końce zanurzamy w probówkach, zawierające jednakowe ilości zimnej wody (ryc. 53). Miejsce złączenia drutów ogrzewamy palnikiem. Po kilku minutach mierzymy przyrost temperatury wody w probówkach.



Ryc. 53. Różne metale przewodzą ciepło niejednakowo.

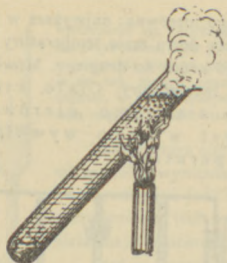
Różne metale przewodzą niejednakowo dobrze; drut miedziany przewodzi w tym samym czasie więcej ciepła, niż drut mosiężny, a glinowy więcej niż żelazny. Powiadamy, że miedź ma większe przewodnictwo ciepłe niż mosiądz.

Nie możemy tu ani opisywać sposobów mierzenia przewodnictwa, ani określić dokładnie tego pojęcia¹: Ograniczmy się do podania tablicy, której liczby wskazują przewodnictwo danego ciała w porównaniu z przewodnictwem miedzi, przyjętem za jednostkę; miedź jest najlepszym przewodnikiem z pośród ciał, używanych w przemyśle i w życiu domowem. (Obacz tablicę VI).

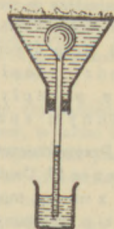
38. Przewodnictwo ciepłe wody i powietrza. Ćwiczenie 20. Do probówki nalewamy wody i ogrzewamy górną jej część małym płomieniem, póki woda nie zacznie wrzeć. Probówkę trzymamy w ręku za część dolną. Można też włożyć na dno probówki kawałek lodu i przycisnąć płatkami siatki drucianej (ryc. 54).

Pomimo dużej różnicy temperatur ogrzewanie dolnej części probówki odbywa się bardzo powoli: woda jest złym przewodnikiem ciepła. Pięknie to ilustruje następujące doświadczenie:

¹ Takie doświadczenie, jak tu opisane, nie nadaje się do dokładnych pomiarów, ponieważ dużo ciepła uchodzi; do takiego celu używa się cienkich płyt, oddzielających dwa zbiorniki ciepła o temperaturach stałych ale różnych. Jeśli płyta miedziana o grubości 1 cm ma na swych powierzchniach różnicę temperatur wynoszącą 1°, to przez każdy cm² powierzchni płyty przepływa w ciągu jednej sekundy ilość ciepła, mogąca ogrzać 1 g wody o 0,0°.

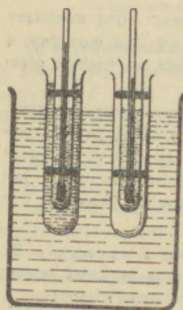


Ryc. 54. Woda jest złąm przewodnikiem ciepła.



Ryc. 55. Cienka warstwa wody dobrze chroni przed ogrzaniem.

Doświadczenie 2. Rurkę termometru powietrznego Galileusza przesuwamy przez szyjkę lejka (ryc. 55), napełnionego wodą; cienka warstwa wody pokrywa bankę termometru. Na wodę nalewamy eteru i zapalamy go. Temperatura powietrza wzrasta nieznacznie.



Ryc. 56. Powietrze przewodzi ciepło gorzej niż woda.

Ćwiczenie 21. Każdy z przyrządów na rycinie 56 składa się z wąskiej probówki, wsuniętej w szerszą i oddzielonej od niej dwoma pierścieniami gumowymi. Przeróżnie pomiędzy probówkami napełniamy w jednym przyrządzie wodą, w drugim zostawiamy ją pustą. Do wewnętrznych probówek nalewamy wody i wkładamy w nie termometry. Wstawiamy jednocześnie oba przyrządy do gorącej wody i obserwujemy wzrastanie temperatury w obu probówkach.

W tym samym czasie warstwa wody przewodzi więcej ciepła niż taka sama warstwa powietrza. Powietrze jest jeszcze gorszym przewodnikiem ciepła niż woda.

Tablica VI.

PRZEWODNICZNOŚĆ CIEPŁNE CIAŁ W PORÓWNANIU Z PRZEWODNICZNOŚCIĄ MIEDZI.

Dobre przewodniki

Srebro	1,12	Cyna	0,16
Miedź	1,00	Stal około	0,09
Glin	0,53	Opilki stalowe	0,0004
Mosiądz	0,30	Grafit	0,012

Złe przewodniki

Lód	0,005	Gips	0,0007
Śnieg	0,0005	Płyty torfowe	0,00016
Porcelana	0,0028	Płyty korkowe	0,00010
Mur z cegły	0,0022	Jedwab	0,00012
Szkło	0,0019	Wetna	0,00010
Drzewo około	0,0007	Piłsi	0,00010
Trociny	0,0002	Powietrze	0,00006

Ciecze

Rtęć	0,016	Alkohol	0,0005
Woda	0,0013	Nafta	0,0005

39. Zastosowania dobrych przewodników. Spalając węgiel, drewno lub naftę w płomieniach palenisk, wytwarzamy ciepło, potrzebne nam do ogrzewania różnych ciał. Ciała te nie stykają się zwykle bezpośrednio z płomieniem, lecz są oddzielone od niego innym ciałem; np. woda, którą chcemy zagotować, znajduje się w garnku; woda w kotle parowym przechodzi przez rury otoczone płomieniem i gorącymi gazami z paleniska (ob. ryc. 79). Zarówno garnek jak i rury kotła powinny być z dobrego przewodnika, by ciepło łatwiej przenikało od płomienia do wody.

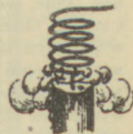
Najlepiej nadaje się do tego miedź, ale ze względu na jej wysoką cenę jest często zastępowana przez tańsze żelazo. Do użytku kuchennego nadaje się dobrze glin (aluminium), który przewodzi lepiej od mosiądzu i żelaza.

Ćwiczenie 22. Koniec pręta metalowego i pręta drewnianego obwinamy ciasno papierem i wsuwamy w płomień.

Dobry przewodnik szybko odprowadza ciepło i nie dopuszcza do zbytowego ogrzania się ciał, z którymi się styka. Papier, obwijający pręt metalowy, nie dochodzi do temperatury zapłonu.

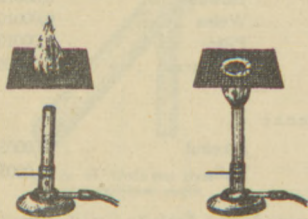
Ćwiczenie 23. Na płomień świecy nasuwamy drut miedziany, zwinięty w spiralę (ryc. 57).

Gazy palne, uchodzące z rozgrzanego knota, zostały ochłodzone poniżej temperatury zapłonu. Czytelnik sam objaśni ćwiczenie następujące:

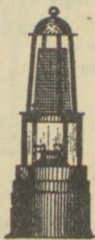


Ryc. 57. Spiralka z drutu miedzianego gasi świecę.

Cwiczenie 24. Nad palnikiem gazowym trzymamy kawałek siatki metalowej i zapalamy gaz nad siatką (ryc. 58 a). Po zgazowaniu płomienia powtarzamy doświadczenie, zapalając gaz pod siatką (ryc. 58 b). W obu razach płomień nie przedostaje się przez siatkę.



Ryc. 58. Płomień nie przedostaje się przez siatkę metalową.



Ryc. 59. Lampa bezpieczeństwa używana przez górników.

Na tej zasadzie chemik angielski DAVY (czyt. Dewi) zbudował na początku XIX wieku lampę bezpieczeństwa używaną powszechnie w kopalniach węgla (ryc. 59). Płomień jest w niej otoczony siatką metalową. Jeśli górnik wejdzie z taką lampą do miejsca, w którym gromadzą się palne gazy, to przenikają one w niewielkich ilościach przez siatkę i zapalają się od płomienia lampy; to powoduje drobne wybuchy w lampie. Są one ostrzeżeniem dla górnika, że znajduje się w miejscu niebezpiecznym. Ogień nie przedostaje się przytem przez siatkę, co usuwa możliwość zapalenia nagromadzonych gazów. Katastrofy wybuchów gazów palnych w kopalniach, których ofiarą padają setki istnień ludzkich, stały się o wiele rzadsze od czasu wynalazku Davy'ego.

40. Zastosowania złych przewodników. Rzut oka na tab. VI uczy nas, jak bardzo różne ciała różnią się od siebie przewodnictwem cieplnym. Piłsń, wełna lub korek przewodzą 1000 razy gorzej, niż miedź i srebro. Otaczając ciało takimi złymi przewodnikami, możemy je w znacznym stopniu uchronić od wymiany ciepła z otoczeniem; mówimy, że ciało jest cieplnie izolowane, a użyte do tego złe przewodniki nazywamy izolatorami cieplnymi. W tablicy VI znajdujemy wymienione różne izolatory. Zastosowanie niektórych z nich do wyrobu rączek, uchwyty, uszek, chroniących nasze ręce od sparzenia jest znane każdemu.

Cwiczenie 25. Jednakowe, wysokie, a wąskie naczynia blaszane objwamy warstwami materiałów izolujących różnej grubości: watą, tkaniną wełnianą lub bawełnianą; jedno z naczyń pozostawiamy nie-

1 Od „isola”, co po włosku znaczy wyspa. Ciało izolowane jest tak odgródzone od przewodników, jak wyspa od lądu.

osłonięte. Naczynia ustawiamy na korkowych podstawkach, nalewamy w nie gorącej wody i mierzymy jej temperaturę; po kilku minutach mierzymy powtórnie temperaturę w każdym z naczyń.

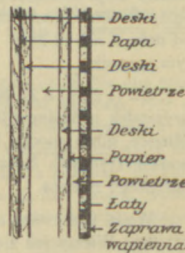
Oslonięcie przez warstwę izolatora ciała, cieplejszego niż jego otoczenie, chroni je od szybkiego stygnięcia i to tem lepiej, im grubsza jest warstwa izolująca. Dlatego na odzież zimową używamy materiałów źle przewodzących; rury pomp, wodociągów, przewody do pary wodnej osłaniamy słomą, korkiem, torfem, gipsem i t. p. W domach mieszkalnych i pomieszczeniach dla zwierząt ściany i dachy wykładamy słomą (gacenie chat), płytami korkowymi, mchem, sproszkowanym torfem. Na ryc. 60 widzimy dachy dwóch domów, jeden z dobrą izolacją, drugi źle izolowany; różnica w przenikaniu ciepła sprawiła, że na drugim dachu śnieg stopniał znacznie prędzej, niż na pierwszym. Również gdy chodzi o uchronienie przedmiotów zimnych od niepożądanego dopływu ciepła, otaczamy je izolatorami. Składy lodu wkopujemy głęboko w ziemię, ściany odgradzamy piaskiem, dach przykrywamy słomą. W urządzeniach chłodniczych otaczamy korkiem wszystkie silnie ziębione części.



Ryc. 60. Wpływ izolacji dachu na szybkość tajnia śniegu.

41. Powietrze jako izolator cieplny. Imbryk z gorącą wodą, ustawiony na desce lub porcelanowym talerzu, stygnie bardzo powoli. Jest on otoczony zewsząd powietrzem, a wiemy już, że jest ono, jak i inne gazy, bardzo złym przewodnikiem ciepła; tab. VI mówi, że nawet najgorszym z tych, które są w niej wymienione. To też powietrze używamy często, jako izolatora. Przykładami są: podwójne okna w mieszkaniach, podwójne ściany w lodowniach pokojowych, warstwy powietrza, oddzielające wewnętrzną część ściany od zewnętrznej. Na ryc. 61 widzimy przekrój ściany, dobrze zabezpieczającej od strat ciepła.

Powietrze staje się jeszcze lepszym izolatorem, jeśli je silnie rozrzedzić. Angielski fizyk DEWAR (czyt. Diuar) oparł na tem budowę naczyń izolujących; obmyślone dla celów naukowych, weszły później w powszechnie



Ryc. 61. Przekrój ściany drewnianej, dobrze izolującej. Przewodzi ona czterokrotnie mniej ciepła, niż pełna ściana drewniana tej samej grubości.



Sprężyna
Ryc. 62.
Termos.

użycie w dobrze znanych termosach (ryc. 62). Naczynie Dewara jest to flaszka o podwójnych ściankach z cienkiego szkła, z pomiędzy których wypompowano powietrze; utworzona warstwa próżni izoluje doskonale.

Ćwiczenie 26. Do termosu nalewamy wody gorącej, albo wody z lodem; mierzymy temperaturę. Po upływie doby mierzymy ją ponownie.

Rola powietrza jako izolatora nie ogranicza się do wymienionych wypadków. Spójrzmy raz jeszcze na tabelicę VI. Najlepsze izolatory to ciała włókniste albo ziarniste. Pomiędzy włóknami lub ziarnami, z których składają się te ciała, znajduje się powietrze — zły przewodnik. Ono to utrudnia ciepłu przechodzenie przez ciało.

O słuszności tego tłumaczenia przekonamy się, porównując przewodnictwo jakiegoś materiału w stanie zbitym i tego samego materiału, silnie rozdrobnionego, a więc lodu i śniegu, drzewa i trocin, stali i opilek.

UNOSZENIE CIEPŁA

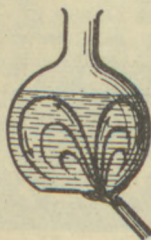
42. Prądy unoszenia. Doświadczenie, stwierdzające zły przewodnictwo wody (ćwic. 20), musi wzbudzić zdumienie w każdym, kto kiedykolwiek gotował wodę na ogniu; wie, jak prędko wtedy wyrównywa się jej temperatura i jak cała woda bierze udział we wrzeniu. Słabe przewodnictwo wody nie wystarczyłoby do tego; musimy szukać innej jeszcze współdziałającej przyczyny. Różnica w sposobie ogrzewania wody w obu wypadkach polega na tem, że wodę w garnku ogrzewamy od dołu, a nie od góry. Czy więc jakieś nowe zjawisko nie zachodzi w tym wypadku.

Ćwiczenie 27. Na dno kolby z zimną wodą puszczone niewielki kryształek nadmanganianu potasu lub innego silnie barwiącego ciała. Miejsce, gdzie spoczął kryształek, ogrzewamy małym płomieniem gazowym (ryc. 63). Śledzimy ruch zabarwionej cieczy, wznoszącej się z ogrzanego miejsca.

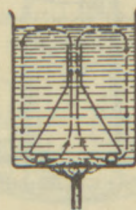
Woda, ogrzewana od dołu lub z boku, nie może pozostawać w spoczynku. Wiemy już z ustępu 26, że woda ciepła wypływa na wierzch, a zimna opada na dno. W naszym doświadczeniu woda, ogrzana w pobliżu dna, unosi się ku górze, natomiast woda zimniejsza przy ściankach zewnętrznych splywa ku dołowi; tworzą się zamknięte prądy; porwana niemi ciecz krąży niestannie. Te prądy przyspieszają ogrzewanie wody, ponieważ coraz to nowe porcje zimnej cieczy dochodzą do zetknięcia

z gorącym dnem. Ciepło, dostarczane przez palnik, jest unoszone prądem wody.

Mamy tu do czynienia z innym sposobem przekazywania ciepła, zasadniczo różnym od przewodzenia: nazywamy go unoszeniem ciepła albo z lacińska konwekcją. Prądy, które to spełniają, noszą



Ryc. 63. Prądy konwekcyjne przyspieszają wymianę ciepła.



Ryc. 64. Model naczynia do gotowania mleka.

nazwę prądów unoszenia albo prądów konwekcyjnych. Ilość ciepła, przekazywana przez unoszenie, zwykle wielokrotnie przewyższa ilość ciepła, przewodzonego przez wodę.

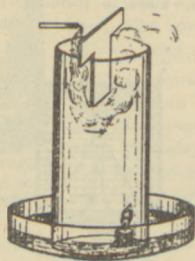
Prądy konwekcyjne wyraźnie występują w doświadczeniu, przedstawionem na ryc. 64. W szerokim naczyniu szklanem ustawiamy na dwóch preciskach lejek szklany. Pod lejkiem umieszczamy kryształki barwnika i podgrzewamy naczynie od spodu.

Podobne urządzenie mają rondle do gotowania mleka; ciągły przyływ mleka zapobiega przypaleniu, a pęcherzyki tworzącej się piany pękają na powietrzu i mleko nie może „wykipieć”.

43. Prądy unoszenia w powietrzu. Ćwiczenie 28. Na dno miski nalewamy nieco wody i ustawiamy w niej zapaloną świeczkę. Gdy na świeczkę nałożymy szklany walec (ryc. 65), płomień przygasa z powodu zbyt małego dopływu powietrza. Teraz wkładamy do walca tekturkę, wyciętą w kształt litery T, tak by jedna z połówek, na której tekturka dzieli powietrze w walcu, znajdowała się nad świecą. Świeca pali się jasno. Do wylotu walca, po drugiej stronie tekturki, zbliżamy dymiące łuczynko lub papieros. Dym wskazuje drogę, jaką powietrze dostaje się do płomienia.

Prądy konwekcyjne występują i w powietrzu. Spotykamy się z nimi na każdym kroku; powstają, gdy otworzymy w ziemie okno pokoju, unoszą się nad paleniskiem, piecem lub kaloryferem i przyspieszają ogrzewanie powietrza w pokoju. Gdy słońce ogrzeje silnie

ziemię, możemy je nawet dostrzec po drżeniu, migotaniu powietrza. Ryc. 66 jest zdjęciem prądów powietrza, ogrzewanego systemem rur płomiennych; aparat fotograficzny uchwycił ten ruch.



Ryc. 65. Prądy konwekcyjne w powietrzu.



Ryc. 66. Prądy w powietrzu, ogrzewanym gorącymi rurami.

Teraz możemy zrozumieć, dlaczego cienkie warstwy powietrza izolują lepiej, niż powietrze w dużej objętości. Powietrze pomiędzy szybami okien, w porach cegły, pomiędzy włóknami tkaniny jest jakgdyby uwięzione — nie ma swobody ruchu. Prądy powietrza nie mogą się utworzyć, a przynajmniej są utrudnione; ciepło przechodzi tylko dzięki przewodnictwu powietrza, jak wiemy, bardzo małemu. Dlatego to materiały porowate i włókniste lepiej izolują, niż warstwa powietrza tej samej grubości. Straty ciepła w ścianie, wyobrażonej na ryc. 61, obniżają się jeszcze o jakie 20%, jeśli grubszą warstwę powietrza wypełnimy trocinami.

Wpływ prądów unoszenia na wymianę ciepła możemy zilustrować doświadczeniem.

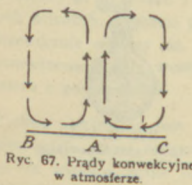
Cwiczenie 29. Dwie jednakowe próbówki z gorącą wodą umieszczamy w jednakowych szerokich rurkach szklanych. Dolny otwór jednej z rurek zatykamy. Po kilku minutach mierzymy temperaturę wody.

Czytelnik sam przewedzi i wyjaśni, która z próbek prędzej ostygnie.

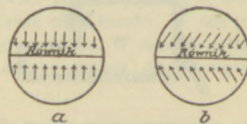
44. Prądy konwekcyjne w przyrodzie. Słońce ogrzewa ziemię bardzo nierównomiernie: silnie w pobliżu równika, a słabo w okolicach podbiegunowych; to powoduje różnice temperatur w wielkich zbiornikach wody i powietrza — w oceanach i atmosferze. Mamy więc tu warunki, w których muszą powstawać prądy konwekcyjne.

Prądy unoszone w powietrzu atmosferycznym — to wiatry. Powstają zawsze, gdy powietrze jest ogrzewane nierównomiernie. Powietrze cieplejsze w miejscu *A* (ryc. 67) unosi się wtedy ku górze, tworząc prąd wstępujący, a chłodniejsze w miejscach *D* i *C* opada w dół, jako prąd zstępujący. Te prądy pionowe są uzupełniane wiatrami poziomymi: nad ziemią wieje wiatr od miejsc chłodniejszych do cieplejszych, a w górnych warstwach natomiast — w kierunku odwrotnym.

Takie wiatry wieją rzeczywiście w pobliżu równika; geografowie nazywają je pasatami. Gdyby ziemia była nieruchoma, wiałby one



Ryc. 67. Prądy konwekcyjne w atmosferze.



Ryc. 68. Kierunki wiatrów równikowych (pasatów) a) Gdyby ziemia nie obracała się. b) Wpływ obrotu ziemi.

wprost z północy i południa ku równikowi (ryc. 68a); lecz wiemy, że ziemia obraca się z zachodu na wschód, a różne jej punkty poruszają się w tym kierunku z prędkością tem większą, im są bliższe równika. Wskutek tego wiatry zbacząją ze swej drogi, podobnie jak rzeki, płynące wzdłuż południków — ku zachodowi. Ryc. 68b przedstawia kierunek wiejących pasatów.

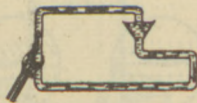
Prądy morskie są też wywoływane konwekcją; my obserwujemy je w górnej części masy wodnej, więc dostrzegamy ruch wody od miejsc cieplejszych do zimniejszych (od *A* do *B* i *C* na ryc. 67). Są to sprawy bardziej złożone od wiatrów, ponieważ na powstawanie i kierunek prądów wody wpływają, prócz różnic temperatury, także prądy powietrza oraz ukształtowanie brzegów i dna.

Takim prądem konwekcyjnym jest słynny Golfstream (czyt. Golfstrem). Bierze on początek na gorących wybrzeżach wschodnich Ameryki Środkowej, opływa brzegi zatoki Meksykańskiej, zostaje skierowany ku wschodowi przez cypel Florydy i płynie ku wybrzeżom Europy Zachodniej, niosąc w nagranych swych falach zapas ciepła, łagodzący klimat naszej części świata. Od północy woda powraca ku równikowi częściowo jako prąd, opływający brzegi Ameryki Północnej, częściowo jako prądy denne, płynące na wielkich głębokościach (sprawdź na mapie).

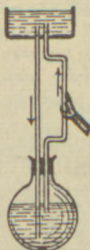
45. Zużytkowanie prądów konwekcyjnych wody do ogrzewania. Prądy konwekcyjne wyzyskujemy do rozprowadzania ciepła po naszych mieszkaniach za pomocą instalacji ogrzewania wodnego.

Cwiczenie 30. Rurkę szklaną, wygiętą tak, jak na ryc. 69, napełniamy wodą, wpuszczamy parę kryształków barwnika i ogrzewamy jedno z pionowych ramion. Obserwujemy tworzenie się prądu konwekcyjnego.

Lepiej jeszcze zasadę ogrzewania wodnego ilustruje przyrząd na ryc. 70.

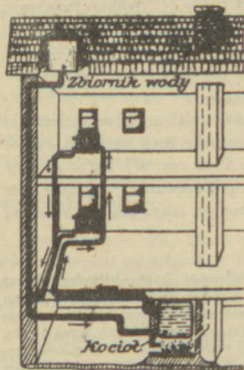


Ryc. 69. Prądy konwekcyjne w zamkniętym obwodzie z rur.



Ryc. 70. Model ogrzewania centralnego

W obu tych przyrządach woda gorąca unosi się w górę i przepływa przez rurę, której ciepło może być użytkowane do ogrzewania. Woda ostudzona powraca do zbiornika.



Ryc. 71. Sposób ogrzewania domu gorącą wodą. Woda grzana w kotle przepływa przez umieszczone w pokojach radiatory; część wody, rozszerzającej się wskutek ogrzania, uchodzi do zbiornika.

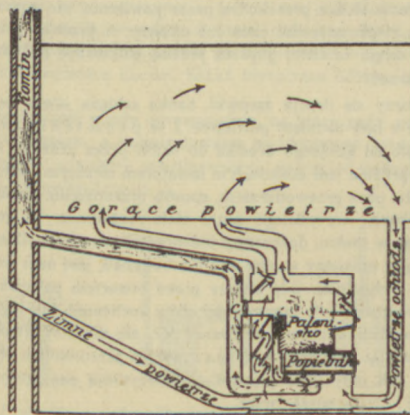
W prawdziwej instalacji ogrzewniczej woda jest grzana w kotle (ryc. 71) i wznosi się w górę jednym przewodem głównym, a ochłodzona powraca drugim. Droga od jednego przewodu do drugiego wiedzie przez ustawione w pokojach kaloryfery czyli radiatory. Są to szerokie płaskie rury łączone po kilka lub kilkanaście w poszczególne zespoły. Pobierają one ciepło od wody i oddają je powietrzu pokojowemu; duża powierzchnia radiatorów sprzyja prędkiej wymianie ciepła.

46. Jak użytkujemy prądy konwekcyjne powietrza? Gdy napalimy w piecu, oczekujemy niecierpliwie, aż ogień zacznie „huczeć”; niezawsze zdajemy sobie sprawę, że to huczy silny prąd powietrza, który wdziera się przez drzwiczki popielnika, przez ruszt, podtrzymuje palenie się węgla czy drzewa i uchodzi kominem w atmosferę. Jest to prąd konwekcyjny, wywołany różnicą temperatury powietrza w kominie

i nazewnątrz. Im wyższy słup tego powietrza, tem większa różnica w jego ciężarze wewnątrz i zewnątrz kominu. Dlatego wysoki komin lepiej „ciągnie”. Wpływa na to i różnica temperatur; każdemu wiadomo, że łatwiej rozpalic ogień w zimie, niż podczas upałów. Bez dopływu świeżego powietrza ogień w palenisku zagasłby, jak świeczka w ćwicz. 28.

Prąd powietrza, wywołany paleniem, pełni inną jeszcze ważną funkcję: porwane nim powietrze uchodzi przez komin, ale musi być zastąpione przez inne — świeże, nieużyte. Przeciska się ono z zewnątrz przez szpary w drzwiach i oknach, przez połączenie belek w drewnianych ścianach, wreszcie przez porowatą cegłę murów. W ten sposób mieszkanie wietrzy się. Ale to nie wystarczy. W murach domów są prowadzone kanały wentylacyjne, odprowadzające ciepłe, zepsute powietrze z pomieszczeń.

Dobra wentylacja jest szczególnie ważna przy ogrzewaniu centralnem, gdzie niema wietrzenia przez napalony piec, oraz tam, gdzie zbiera się większa liczba ludzi: w teatrach, kawiarniach, salach odczytowych i t. p. Wiatraczki, poruszane prądem elektrycznym, ustawione przy wylotach lub przy otworach, wiodących wprost nazewnątrz, pomagają usuwać zepsute powietrze.



Ryc. 72. Sposób ogrzewania i wietrzenia pomieszczeń zapomocą gorącego powietrza.

Ale pamiętajmy, że żadne urządzenie techniczne nie zastąpi wietrzenia pokoi przez otwarcie okien.

Prądy powietrza gorącego są też używane do ogrzewania gmachów publicznych. Palenisko znajduje się w korpusie żelaznym, umieszczonym w podziemiu (ryc. 72); zimne powietrze z zewnątrz opływa jego ściany, a ogrzane już dostaje się do sali. Po ochłodzeniu część jego powraca do podziemia i tam, zmieszana ze świeżym powietrzem, znów ogrzewa się od gorącego korpusu. Zawór C jest otwarty podczas rozpalania ognia; dym i gazy spalinowe idą wprost do komina. Gdy ogień płonie już dobrze, zawór zostaje zamknięty, a gazy spalinowe opływają wewnętrzne kanały i ogrzewają korpus.

Taka instalacja spełnia jednocześnie funkcje ogrzewania i wietrzenia. W Polsce podobne urządzenie posiada, pomiędzy innymi, gmach Tow. Zachęty Sztuk Pięknych w Warszawie i Teatr Wielki we Lwowie.

PROMIENIOWANIE

47. Wymiana ciepła drogą promieniowania. Przy przewodzeniu ciepło przechodzi przez ciało, które się samo przytem nagrzewa. Ale oto, w mroźny dzień, promienie słońca padają na naszą odzież lub skórę i ogrzewają ją; a jednak powietrze jest zimne, termometr wskazuje silny mróz. Działanie promieni słonecznych w górach jest tak silne, że narciarze nawpół nago oddają się sportowi, podczas mrozu (ob. ryc. 88). Promienie słońca przechodzą przez powietrze, nie ogrzewając go, a udzielają ciepła naszemu ciału lub odzieży. A przecież przebyły one olbrzymią drogę do ziemi poprzez próżną, całkowicie pozbawioną materji przestrzeń!

Gdy żarzy się drucik żarówki, bańka szklana silnie się ogrzewa, pomimo że z niej usunięto powietrze. I tu promienie światła przyniosły ciepło od gorącego druczika do bańki przez próżnię. A przecież wiemy, że próżnia jest doskonałym izolatorem cieplnym. Istnieje zatem inny jeszcze, poza przewodzeniem, sposób przenoszenia ciepła — drogą promieniowania, wysyłanego przez ciała rozżarzone. W gorący letni dzień, stojąc w słońcu, doznajemy jednocześnie wrażenia silnego światła i gorąca; gdy ujdziemy w cień lasu lub budynku, jest nam jednocześnie i ciemniej i chłodniej. Gdy stoimy przed otwartym paleniskiem pieca, w pobliżu rozpalonej od czerwoności płyty kuchennej, lub tygła z roztopionym metalem, czujemy na twarzy żar, ale możemy uwolnić się od tego, ustawiając pomiędzy twarzą a gorącym przedmiotem dłoń, zeszyt, deseczka, lub inny jakiś przedmiot. Zatrzymują one promieniowanie i rzucają cień na naszą twarz.

Promieniowanie, wysyłane przez ciało świecące, może ogrzewać przedmioty, na które pada.

Zczasem płyta kuchenna stygnie tak, że przestaje świecić; mimo to czujemy w dalszym ciągu gorąco od jej promieniowania, choć słabiej, niż podczas świecenia. Ciała rozgrzane wysyłają promieniowanie ogrzewające nawet wtedy, gdy nie świecą.

Ćwiczenie 31. Płomień palnika zakrywamy wygiętą blachą, okopconą, lub pokrytą czarnym matowym lakierem od strony zewnętrznej (ryc. 73). Przed blachą umieszczamy termometr, którego bańka jest również okopcona; przed termometrem ustawiamy wąską deseczkę, albo pasek blachy, czy też tekturki, tak by przesłaniał bańkę. Obserwujemy temperaturę, do której dochodzi termometr, gdy jest osłonięty deseczką oraz wtedy, gdy nic nie zasłania gorącej blachy.

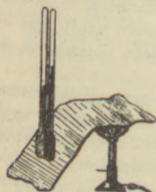
Gdy bańka termometru znajduje się w cieniu deseczki, jej temperatura podnosi się tylko przez zetknięcie z ogrzanym powietrzem. Po usunięciu przegrody pada na nią promieniowanie blachy i wywołuje jeszcze większe podniesienie temperatury.

48. Pochłanianie i wysyłanie promieniowania. Ćwiczenie 32. Nawprost gorącej blachy (jak w ćwic. 31, ryc. 73) umieszczamy tuż obok siebie dwa jednakowe termometry; bańka jednego z nich jest okopcona. Termometr okopcony ogrzewa się silniej, niż nieokopcony.

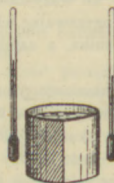
Rtęć błyszczą, bo odbija i rozsiewa promienie światła; kopeć nie odbija promieni, lecz je zatrzymuje, pochłania. Taksamo jak względem promieni światła, wysyłanych przez ciała rozżarzone, nasze termometry zachowują się względem promieniowania, wysyłanego przez gorącą, ale nieświecącą blachę; bańka błyszcząca odbija je, czarna je pochłania.

Promieniowanie wtedy ogrzewa ciało, na które pada, gdy zostanie przez nie pochłonięte; z promieniowania pochłoniętego powstaje ciepło.

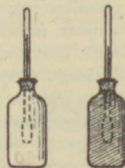
Czy może i wysyłanie promieniowania zależy od powierzchni? Zapytajmy o to doświadczenia.



Ryc. 73. Powierzchnia czarna silniej pochłania promieniowanie, niż świecąca.



Ryc. 74. Powierzchnia czarna silniej promieniuje, niż świecąca.



Ryc. 75. Ciało o powierzchni czarnej przedź stygnie, niż ciało o powierzchni świecącej.

Cwiczenie 33. a) Blisko końca rurki szklanej robimy płame atramentem lub czarną farbą. Ten koniec rurki rozżarzamy w płomieniu. Płama świeci jaśniej, niż pozostała część rurki.

b) Jedną połowę kubka z błyszczącej blachy pokrywamy kopcieniem albo czarnym lakierem. Do kubka nalewamy bardzo gorącej wody, a blisko niego ustawiamy w równych odległościach dwa jednakowe okopcone termometry. Jeden z nich znajduje się nawprost świecącej, drugi nawprost poczernionej połowy kubka (ryc. 74). Obserwujemy wzrost temperatury obu termometrów.

Powierzchnia czarna matowa promieniuje silniej w tej samej temperaturze, niż powierzchnia błyszcząca. Stosuje się to tak do promieniowania świetlnego, jak i do takiego, którego nie dostrzegamy wzrokiem.

Cwiczenie 34. Dwa jednakowe zamknięte naczynia blaszane (ryc. 75), z których jedno ma powierzchnię świecąca, drugie zacierzoną, napełniamy jednakową ilością gorącej wody i wstawiamy w nie termometry, przesunięte przez korki. Obserwujemy stygnięcie obu naczyni.

Oba naczynia tracą jednakowe ilości ciepła przez przewodzenie i unoszenie. Jeśli naczynie zacierzone stygnie prędzej, to dlatego, że traci więcej ciepła przez promieniowanie. Promieniowanie jest wysyłane na koszt ciepła ciała promieniującego.

Teraz możemy zdać sobie dokładnie sprawę z różnicy pomiędzy przewodzeniem ciepła, a promieniowaniem. Przy przewodzeniu lub unoszeniu ciała wymieniają ciepło bezpośrednio pomiędzy sobą; ciepło przechodzi z jednego ciała do drugiego, albo z jednej do drugiej części tego samego ciała.

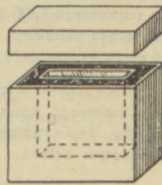
W drugim wypadku pomiędzy ciałami przechodzi nie ciepło, lecz promieniowanie. Jest ono wytwarzane przez ciało gorące na koszt jego ciepła, następnie rozchodzi się we wszystkich kierunkach, może przetransmitować różne ciała, nie ogrzewając ich. Dopiero wtedy, gdy coś je pochłonie, promieniowanie znika, a zamiast niego pojawia się odpowiednia ilość ciepła.

Z silnego wysyłania i pochłaniania promieni przez ciała ciemne i matowe, a słabego przez jasne i błyszczące korzystamy często w życiu. W lecie chętnie ubieramy się w tkaniny jasne, gdyż mniej pochłaniają promieniowanie słońca; w zimie zato byłoby racjonalniej nosić w dzień słoneczny ciemne ubrania. Piece żelazne są często zrobione z błyszczącej blachy niklowanej; stygną przez to wolniej, niż gdyby były zrobione z ciemnej blachy żelaznej. Z tego samego powodu piece zwykle układamy białymi kafłami.

Najważniejszym dla nas zjawiskiem jest ogrzewanie powierzchni ziemi. Pochłanianie promieniowania słońca jest jedynym źródłem otrzymania ciepła przez ziemię; powietrze pochłania go bardzo niewiele, a powierzchnia ziemi częściowo pochłania je, częściowo odbija. Promieniowanie pochłonięte ogrzewa powierzchnię ziemi; powietrze ogrzewa się dopiero przez zetknięcie z nią. Dlatego temperatura powietrza jest wyższa w pobliżu ziemi niż na dużych wysokościach. Prądy zstępujące i wstępujące ułatwiają wprawdzie ogrzewanie wyższych warstw, ale nie mogą wyrównać temperatury w całej atmosferze.

Pytania.

1. Dlaczego, mierząc gorączkę, trzymamy termometr pod pachą przez kilka minut?
 2. Dlaczego, chcąc zmierzyć temperaturę wody, mieszamy ją termometrem?
 3. Dlaczego temperatura ciała człowieka i zwierząt jest zawsze wyższa od otoczenia? Czy to przeczy zasadzie wyrównywania temperatur?
 4. Wylicz inne przykłady ciał, utrzymujących temperaturę wyższą od otoczenia. Jak należałoby ograniczyć wymienioną zasadę?
 5. Czy lód okryty „cieplą” (watowaną) kołdrą stopnieje w pokoju prędzej, czy wolniej niż nieokryty?
 6. Czy wyrażenia: „ubranie jest ciepłe”, „płaszcz grzeje” są trafne? Jak należałoby raczej mówić?
 7. Wylicz inne jeszcze zastosowania dobrych i złych przewodników.
 8. Jakie ubranie lepiej chroni od zimna: luźne czy obcisłe?
 9. Co lepiej chroni od mrozu: jedna warstwa grubej odzieży, czy kilka warstw cieńszej?
 10. Jaki piasek lepiej izoluje: suchy czy mokry?
 11. Jakie prądy powietrza powstają w izbie, gdy piec jest gorący? Jaki jest pożytek z tych prądów?
 12. W ścianach lub drzwiach pomieszczeń, gdzie przechowuje się jedzenie, robi się zwykle szereg otworów. Jaki jest ich cel? Czy lepiej, gdy są tylko u dołu lub u góry, czy też i u dołu i u góry.
 13. Dlaczego ścianki naczynia Dewara są pokrywane błyszcząca warstwą srebra?
 14. Jakiego koloru ubranie należałoby, ze względu na promieniowanie, mieć w mroźną noc?
 15. Słońce ogrzewa szmat powierzchnii ziemi, częściowo złożony ze złomów wapiennej skały, a częściowo z czarnej zaroanej ziemi. Jakie powstaną prądy unoszenia?
- Do wykonania w warsztacie.
- Ryc. 76 wyobraża tak zwaną „dowarkę” albo „dogrzewacz”; można w niej umieszczać garnek z zagotowaną potrawą, by się w niej „dogotowała” bez ognia. Wytlumacz działanie tego urządzenia. Zbuduj w warsztacie szkolnym dowarkę.



Ryc. 76.

Jej boczne ściany wycięli różnymi materiałami izolującymi. Po wstawieniu do gotowej dowarki naczynia z gorącą wodą, poczekaj godzinę lub dwie i zmierz temperaturę, jaka panuje wewnątrz przyrządu tuż koło każdej ze ścianek zewnętrznych. Wyciągnij stąd wniosek co do wartości izolacyjnej użytych materiałów.

Rozdział IV

O MIERZENIU CIEPŁA

49. Ilość ciepła. Spalając paliwo w piecu, podnosimy jego temperaturę. Im więcej spalimy w nim węgla, tem więcej dostarczymy mu ciepła, tem wyższa też będzie jego temperatura. I naodwrot, jeśli temperatura pieca bardzo wzrosła, to możemy wnosić, że pobral duży ilość ciepła. Przyrost temperatury mówi nam o ilości pobranego ciepła. Ale czy tylko przyrost temperatury?

Wiemy dobrze, że woda, wrząca w dużym kotle, posiada taką samą temperaturę, co woda, wrząca w niewielkim garnku. A przecież do zagotowania wody w kotle potrzeba znacznie więcej węgla. Więcej zużyjemy gazu, przygotowując ciepłą kąpiel, niż ogrzewając kubek wody nawet do temperatury wyższej, chociażby do wrzenia. Widzimy stąd, że oprócz przyrostu temperatury, o ilości pobranego ciepła decyduje także ilość ogrzanego ciała. Chcąc się dowiedzieć, jak można dokładnie obliczać ilości ciepła, musimy wykonać wpraw kilka doświadczeń.

Ćwiczenie 35. a) Odważamy w zlewce pewną ilość wody np. 400 g, mierzymy jej temperaturę i ogrzewamy nad płomieniem palnika. Mieszając wodę termometrem, odczytujemy temperaturę co ½ minuty. Po kilkunastu minutach notujemy temperaturę ostateczną. Obliczamy, o ile woda ogrzewała się co każde ½ minuty.

Podnoszenie się temperatury jest proporcjonalne do ilości otrzymanego ciepła.

Ćwiczenie 35. b) Do zlewki nalewamy połowę tej ilości wody co poprzednio (200 g) i stawiamy zlewkę nad tym samym i tak samo płonącym palnikiem. Mierzmy, ile czasu potrzeba, by woda osiągnęła tę samą temperaturę, co w ćwic. poprzednim.

Na ogrzanie większej ilości gramów ciała potrzebujemy odpowiednio większego czasu, a zatem ilość ciepła, pobrana przez ciało, jest proporcjonalna do liczby gramów ogrzewanego ciała.

50. Jednostka ilości ciepła. Wiedząc, jaka jest ilość gramów wody i ilość ogrzania, moglibyśmy obliczyć ilość ciepła pobranego,

gdybyśmy znali jednostkę, zapomoćą której mamy ją mierzyć. Zgodzono się powszechnie uważać za jednostkę tę ilość ciepła, która jest potrzebna do ogrzania 1 grama wody o 1 stopień; nazwano ją kalorją gramową, kalorją małą albo wprost kalorją (cal.).

Gdy chodzi o duże ilości ciepła, wygodniej jest posługiwać się kalorją wielką albo kalorją kilogramową (k cal.); jest to ilość ciepła, potrzebna do ogrzania 1 kilograma wody o 1 stopień. Kalorja wielka zawiera zatem 1000 kaloryj małych.

51. Obliczanie ilości ciepła. Możemy teraz obliczyć, ile kaloryj ciepła pochłonęła woda, np. przy wykonaniu jednego z poprzednich ćwiczeń. Jeśli 400 g wody ogrzało się od 18° do 30,5°, czyli o 30,5—18° = 12,5°, to rozumiemy, jak następuje:

do ogrzania 1 g wody o 1° potrzeba 1 cal.
 " " " " o 12,5° " 12,5 raza więcej, t. j. 12,5 cal.
 " " 400 g " o 12,5° " 400 razy więcej, t. j.
 400 × 12,5 = 5000 cal.

Otrzymaliśmy liczbę kaloryj, mnożąc liczbę gramów wody przez liczbę stopni ogrzania. Możemy to uogólnić, stosując znakowanie algebraiczne. Jeśli liczbę gramów ciała oznaczmy przez m ,¹ przyrost temperatury przez Δt , a ilość ciepła przez q (łac. quantitas = ilość), to otrzymamy liczbę q , mnożąc liczbę m przez liczbę Δt , albo:

$$q = m \cdot \Delta t \quad (6)$$

Tak jak przy obliczaniu rozszerzalności, możemy i tu zastosować wyprowadzony wzór do prędkiego i łatwego rozwiązywania różnych zadań. Należy jednak pamiętać, że stosuje się on tylko do wody. Jeśli np. chodzi o obliczenie, o ile stopni ogrzeje się $m = 350$ g wody, gdy doprowadzimy do niej $q = 10500$ kal. ciepła, to rozwiązujemy równanie względem Δt , gdyż tę wielkość chcemy obliczyć.

$$\Delta t = \frac{q}{m} \quad (7)$$

Podstawiamy podane w zadaniu wartości i znajdujemy

$$\Delta t = \frac{10500}{350} = 30^\circ$$

¹ Dlaczego liczbę gramów oznaczamy tu przez m , a gramy i kilogramy przez g i kg (zamiast przez G i Kg), czytelnik dowie się z rozdziału tomu II, gdzie będzie mowa o masie ciała.

52. Ciepło a temperatura. Jeśli zlewkę z wodą ogrzewamy przez minutę, a potem jeszcze raz przez minutę, to całkowite ciepło pobrane przez wodę równa się sumie tamtych dwóch ilości. Podobnie, jeśli do naczynia naleliśmy kolejno dwie porcje cieczy, to cała objętość cieczy w naczyniu równa się sumie objętości obu porcji. Jeśli do ogrzania kawałka żelaza do 500° użyliśmy pewnej ilości ciepła, a do ogrzania drugiego kawałka do tej samej temperatury innej ilości, to ilość ciepła, potrzebna do ogrzania obu kawałków do 500°, jest równa sumie tamtych dwóch ilości. Ilości ciepła dodają się do siebie.

Inaczej jest z temperaturą. Jeśli do litra wody o temperaturze 20° dodamy drugi litr o tej samej temperaturze, to otrzymamy 2 litry wody znów o temperaturze 20°. Jeśli jedna porcja wody ma 18°, a druga 25°, to po zmieszaniu będą miały temperaturę, leżącą pomiędzy 18 a 25° Temperatury nie dodają się do siebie.

Fizycy powiadają, że ciepło jest ilością, temperatura nie jest ilością.

Różnica pomiędzy obu pojęciami uwydatni się jeszcze lepiej w następującym szeregu doświadczeń.

Ćwiczenie 36. a) Do szklanki z niewielką ilością wody (np. 100 g) o temperaturze pokojowej wrzucamy rozgrzany do czerwoności krążek metalu (np. pięciogroszówkę). Stwierdzamy, o ile podniosła się temperatura wody.

b) Do takiej samej ilości wody wlewamy nieco (około 20 cm³) wody gorącej. Mierzymy podniesienie się temperatury.

Temperatura krążka była znacznie wyższa od temperatury gorącej wody, mimo to gorąca woda oddała znacznie więcej ciepła niż krążek.

c) Ogrzewamy znów krążek do czerwoności i wrzucamy do wody gorącej — takiej jak w poprzednim doświadczeniu.

Woda gorąca ogrzała się jeszcze bardziej przy zetknięciu z krążkiem, a przecież, jak widzieliśmy, dostarczyła ona wodzie chłodnej znacznie więcej ciepła niż krążek.

Przechodzenie ciepła nie zależy od ilości ciepła, jakie zawierają stykające się z sobą ciała; zależy wyłącznie od różnicy temperatury tych ciał. Ciepła woda w wannie zawiera bez porównania więcej ciepła, niż rozpalona do czerwoności igła, jednak igła wrzucona do wanny stygnie, co świadczy, że nie zabrała ona nic ciepła od wody, lecz jeszcze udzieliła jej ze swego skromnego zapasu.

Podobnie w naczyniach połączonych przepływ wody zależy nie od ilości wody w każdym z naczyń, lecz wyłącznie od różnicy poziomów wody w tych naczyniach (ob. ust. 35 i ryc. 52).

53. Zasada zachowania ciepła. Mówimy wciąż o tem, że przy zetknięciu się dwóch ciał o niejednakowej temperaturze ciepło przechodzi z ciała cieplejszego do chłodniejszego. Nie sprawdziliśmy jednak, czy słusznem jest takie wyrażenie. Teraz, gdy nauczyliśmy się mierzyć ilości ciepła, możemy to sprawdzić doświadczeniem. Jeśli istotnie ciepło przechodzi z ciała do ciała, to jedno z tych ciał powinno zyskać tyle ciepła, ile go drugie straciło.

Ze tak jest, świadczy znany dobrze fakt, że mieszając równe ilości wody zimnej i ciepłej, otrzymujemy temperaturę mieszaniny, która różni się jednakowo od obu temperatur początkowych. Teraz dopiero możemy zrozumieć należycie znaczenie tego faktu. Nie możemy jednak poprzestać na tem; musimy rozszerzyć nasze doświadczenie, biorąc nierówne ilości wody zimnej i gorącej.

Ćwiczenie 37. W dwóch zlewkach odważamy dwie porcje wody, jedną półtora do dwóch razy większą od drugiej; jedną z nich ogrzewamy, mierzymy temperaturę obu, wreszcie wlewamy wodę zimną do gorącej i mierzymy temperaturę mieszaniny. Możemy teraz obliczyć, ile ciepła straciła woda gorąca, a ile zyskała zimna.

Przykład obliczenia. Do 120 g wody o temperaturze 38° wiano 207 g wody o temperaturze 16°. Otrzymano mieszaninę o temperaturze 24°.

Gorąca woda straciła: 120 (38—24) = 120 · 14 = 1680 (cal.)

Zimna woda zyskała: 207 (24—16) = 207 · 8 = 1656 (cal.)

Uzweględniając nieuniknione straty ciepła podczas doświadczenia i niedokładność pomiarów, możemy stwierdzić, że doświadczenie potwierdziło nasze przewidywanie: strata i zysk ciepła są jednakowe.

Ciepło przechodzi z jednego ciała do drugiego bez zmiany ilości.

Dokładne pomiary uczonych wykazały, że ta zasada zachowania ilości ciepła jest ogólna i bardzo ściśła. Oczywiście nie sprawdza się ona wtedy, gdy powstają nowe ilości ciepła, np. przy spalaniu lub innych procesach chemicznych, wskutek tarcia, przy przepływanii prądu elektrycznego. Zawodzi również, gdy na koszt ciepła powstają inne zjawiska, np. gdy poruszają się maszyny parowe, lub gdy następuje rozkład związków chemicznych pod wpływem ciepła.

54. Ciepło właściwe.

Ćwiczenie 38. Odważamy w dwóch probówkach równe ilości gramów wody i terpentyny, mierzymy ich temperaturę i kładziemy jednocześnie na krótki czas próbówki do naczynia z gorącą wodą. Po wyjęciu z wody mierzymy ponownie temperaturę obu cieczy.

Obie próbówki otrzymały jednakowe w przybliżeniu ilości ciepła od gorącej wody; jednak temperatura terpentyny podniosła się wyraźnie

więcej niż temperatura wody. Aby ogrzać terpentynę o tę samą liczbę stopni, należałoby ogrzewać ją krócej, a więc doprowadzić mniej ciepła. Ilość ciepła, potrzebna do ogrzania jakiegoś ciała zależy więc nie tylko od jego ilości i od przyrostu temperatury, ale i od rodzaju ciała.

Z powyższego ćwiczenia możemy obliczyć w przybliżeniu, ile kaloryj ciepła potrzeba, by ogrzać 1 g terpentyny o 1 stopień. Tę ilość ciepła nazywamy **ciepłem właściwym** terpentyny.

Przykład obliczenia. Woda ogrzała się o $1,8^{\circ}$, zatem każdy jej gram pobrał 1,8 cal. Tyleż samo pobrał każdy gram terpentyny. Terpentyna ogrzała się o $4,5^{\circ}$, więc na ogrzanie jej grama o 1° potrzeba $1,8:4,5=0,4$ cal. Takie jest ciepło właściwe terpentyny.

Zaznaczyliśmy, że wzór, podany w ust. 51, może być stosowany tylko do wody; dla innych ciał musimy wyprowadzić inny wzór. Oznaczmy przez c ciepło właściwe jakiejś substancji; rozumiemy przez to, że

dla ogrzania 1 g tej substancji o 1° potrzeba	c cal.
„ „ m g „ „ o 1° „	c m cal.:
„ „ m g „ „ „ Δt „	c m Δt cal.:

Więc ilość pobranego lub oddanego przez dowolne ciało możemy obliczyć według wzoru

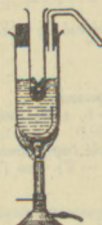
$$q = cm \Delta t \quad (8)$$

Ciepło właściwe wody, jak wynika z samego określenia, jest równo jednostki; jeśli w powyższym wzorze przyjmiemy c równo jednostki, to wzór przyjmie taką postać, jak w ust. 51: $q = m \Delta t$.

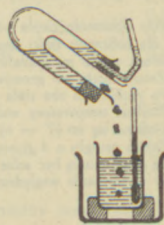
Porównajmy ze sobą te dwa wzory. Jeśli weźmiemy w obu jednokowe wartości dla m i dla Δt , to q w pierwszym wypadku będzie c razy większe niż w drugim. Wartość liczbowa ciepła właściwego wskazuje, ile razy więcej ciepła należy zużyć do ogrzania jakiegoś ciała, niż do ogrzania takiej samej liczby gramów wody o taką samą liczbę stopni.

55. Wyznaczanie ciepła właściwego. Sposób, w jaki znaleźliśmy ciepło właściwe terpentyny, jest bardzo niedokładny. Stosujemy, szczególnie do ciał stałych inny sposób, znacznie dokładniejszy. Ciało badane ogrzewamy do znanej temperatury, a następnie wrzucamy do chłodnej wody. Gorące ciało oddaje ciepło wodzie, póki nie wyrównają się ich temperatury. Możemy obliczyć, ile ciepła pobrała woda, a więc ile go oddało ciało badane, a stąd łatwo znajdziemy, ile ciepła oddał każdy gram ciała, stygnąc o 1° .

Sposób ten jest oparty na zasadzie zachowania ciepła: ile ciepła oddało ciało gorące, tyle pobrało go ciało zimne. Aby tak było naprawdę, musimy dbać, by podczas pomiaru ciało gorące nie oddawało ciepła innym ciałom, np. powietrzu, by również ciało zimne nie pobierało ciepła ani od powietrza, ani od stołu. To wymaga pewnych środków zapobiegawczych i pewnej ostrożności w przeprowadzeniu doświadczenia. Badaną substancję bierzemy w stanie rozdrobnionym (gwoździki, śrut, kawałki drutu), by przechodzenie ciepła odbywało się prędko, a wyrównanie temperatur nastąpiło w możliwie krótkim czasie. Ułamki ciała ogrzewamy w naczyniu (grzejniku), umieszczonym w pałce wrzącej wody (ryc. 77); tą drogą doprowadzamy je do 100° .



Ryc. 77. Naczynie do grzania w pałce.



Ryc. 78. Pomiar ciepła właściwego za pomocą kalorymetru.

Ciało ogrzane przenosimy możliwie prędko do naczynia blaszanego, zawierającego wodę. To naczynie, zwane *kalorymetrem wodnym*, jest tak zrobione, by jak najmniej ciepła mogło wymieniać ze swem otoczeniem (ryc. 78). Jest ono umieszczone wewnątrz drugiego naczynia z blachy, zwanego *osłonką*; dno spoczywa na kawałkach korka. Kalorymetr jest więc otoczony cienką warstwą powietrza, a wiemy, że jest to bardzo dobra warstwa izolacyjna. By zapobiec stygnięciu i ogrzewaniu się przez promieniowanie, zarówno kalorymetrowi jak i osłonie nadaje się powierzchnię błyszczącą. Druciane mieszadło służy do przypięszenia wymiany ciepła. Czuły termometr uzupełnia przyrządy, potrzebne do pomiaru.

Ćwiczenie 39. Odważoną ilość badanego ciała ogrzewamy w grzejniku do temperatury wrzącej wody. Do kalorymetru nalewamy odważoną liczbę gramów wody w temperaturze pokojowej, ustawiamy go wewnątrz płaszczu i dokładnie mierzymy temperaturę wody. Niezwłocznie potem szybko wrzucamy ogrzane ciało do kalorymetru (ryc. 78), mieszamy i obserwujemy najwyższą temperaturę, jaką osiągnie woda.

Przykład obliczenia. 22 g gwoździków żelaznych wrzucono do 58 g wody o temperaturze $17,4^{\circ}$. Po wyrównaniu temperatura wyniosła $20,5^{\circ}$.

Ilość ciepła, które uzyskała woda, równa się

$$q = 58 \times (20,5 - 17,4)^{\circ} = 179,8 \text{ (cal.)}$$

1 Od łac. calor = ciepło i grec. μέτρον = miara.

Tę ilość straciły 22 g żelaza, ostygając od 100 do 20,5°, czyli o 79,5°. Każdy gram, ostygając o 1°, oddał

$$\frac{179,8}{22 \cdot 79,5} = 0,11 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g. st.}} \right)$$

Takie jest ciepło właściwe żelaza.

Podobne zestawienie zysków i strat ciepła, jakie poniosły ciała, użyte do pomiaru, nazywamy bilansem ciepła.

Przy obliczaniu ciepła właściwego możemy posługiwać się wzorami, wyprowadzonymi dla obliczenia ilości ciepła.

Woda miała m_1 gramów i temperaturę t_1 .

Żelazo miało m_2 gramów i temperaturę t_2 .

Po zmieszaniu oba ciała osiągnęły wspólną temperaturę T .

Przyrost temperatury wody wyniósł $\Delta t = T - t_1$, a ilość pobranego przez nią ciepła równa się $m_1(T - t_1)$.

Żelazo ostygło o $\Delta t = T - t_2$ i oddało przytem ilość ciepła równą $m_2(t_2 - T)$.

Te ilości muszą być sobie równe, a zatem $m_1(T - t_1) = m_2(t_2 - T)$. Rozwiązujemy to równanie względem c

$$c = \frac{m_1(T - t_1)}{m_2(t_2 - T)} \quad (9)$$

W naszym zadaniu $m_1 = 58$ g, $m_2 = 22$ g, $t_1 = 17,4^\circ$, $t_2 = 100^\circ$, $T = 20,5^\circ$.

Podstawiając te wartości do wzoru, otrzymamy

$$c = \frac{58(20,5 - 17,4)}{22(100 - 20,5)} = 0,11 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g. stop.}} \right)$$

W podobny sposób wyznaczamy ciepło właściwe cieczy.

Cwiczenie 40. Odważoną liczbę gramów metalu o znanym ciepłe właściwym ogrzewamy w grzejniku do 100°. Do kalorymetru nalewamy odważoną liczbę gramów badanej cieczy. Dalej postępujemy tak, jak w ćwiczu. 39.

Przykład obliczenia. 18,1 g drutu miedzianego o temperaturze 100° wrzucono do 73,7 g terpentyny o temperaturze 18,2°. Temperatura ostateczna 22,0°.

Ciepło oddane przez mosiądz: $18,1(100 - 22) \cdot 0,093 = 131$ (cal.)

Ciepło właściwe terpentyny $c = \frac{131}{73,7(22 - 18,2)} = 0,47 \left(\frac{\text{cal}}{\text{g. stop.}} \right)$

Jaki jest błąd względny poszczególnych pomiarów? (liczby gramów, przyrostu i ubytku temperatury). Który z tych pomiarów jest najmniej dokładny? Jakim mniej więcej błędem jest obciążona znaleziona z tych pomiarów wartość ciepła właściwego?

Przy obliczaniu ciepła właściwego pomijaliśmy jeden, ale dość ważny szczegół; nie uwzględniliśmy, że ogrzewa się nie tylko ciecz w kalorymetrze, ale i sam kalorymetr. Ilość ciepła, oddanego przez ogrzany metal, jest więc w rzeczywistości nieco większa, niż przez nas obliczona. Otrzymane przez nas wyniki nie są bardzo dokładne.

Tablica VII

CIEPŁO WŁAŚCIWE
(w cal. na gram i na stopień)

Ciała stałe	
Glin	0,214
Stal	0,11
Mosiądz	0,093
Cynk	0,092
Miedź	0,091
Olów	0,031
Złoto	0,031
Lód	0,50
Piaskowiec	0,22
Wapień	0,20
Granit	0,19
Kwarc	0,19
Szkło	0,19
Diament	0,12
Ciecze	
Woda czysta 15°	1,00
Woda morska	0,90—0,98
Alkohol	0,58
Eter	0,56
Nafta	0,51
Oliwa	0,47
Terpentyna	0,42
Rtęć	0,033

56. Wzmianka historyczna. Różnica pomiędzy temperaturą a ilością ciepła niezawsze była zrozumiała; nawet znakomici uczeni aż do początku XIX w. oznaczali oba pojęcia jedną i tą samą nazwą „ciepło”. Wyrównywanie się temperatury ciała tłumaczono jako równomierne rozchodzenie się ciepła w przestrzeni, zajętej przez ciało. To właśnie miało zachodzić, gdy stykały się z sobą dwa różne ciała; przypuszczano np., że po zmieszaniu równych objętości wody i rtęci jednakowe ilości ciepła znajdują się w obu ciałach. W naszym rozumieniu znaczyłoby to, że do ogrzania równych objętości wody i rtęci potrzeba tej samej ilości ciepła. Łatwo sprawdzić rachunkiem, że tak nie jest (obacz pyt. 3).

Dopiero angielski fizyk BLACK (czyt. Blek) uporządkował chaotyczne spostrzeżenia i pojęcia poprzedników; odróżnił ilość ciepła od temperatury, czyli, jak się wyrażał, „siły ciepła”, stwierdził dokładnymi pomiarami, że ilość ciepła pobieranego przez ciało, jest proporcjonalna do liczby gramów i wprowadził pojęcie ciepła właściwego.

57. Ciepło spalania. Odpowiednio urządzony kalorymetr może służyć do mierzenia ilości ciepła, jakie powstają przy różnych procesach chemicznych. Najważniejszym z nich jest spalanie, gdyż ono stanowi dla nas najpospolitsze źródło ciepła.

W silnej bombie żelaznej umieszcza się odważoną ilość paliwa wraz z odpowiednią ilością tlenu, wstawia się to do dużego kalorymetru wodnego i wywołuje zapłon. Po wypaleniu się całego paliwa mierzy się ilość wywołanego ciepła i oblicza ilość ciepła, dostarczanego przez spalanie 1 kg paliwa. W ten sposób znaleziono liczby z tablicy VIII.

Tablica VIII
CIEPŁO SPALANIA
(w k cal. na kilogram)

Torf	3000—4800
Drewno okolo	4500
Węgiel brunatny	4000—5600
Koks	6700—7400
Węgiel kamienny (orzecz) 6400—7000	
„ „ w dużych bryłach 7000—7900	
Antracyt (czysty węgiel)	8800
Spirytus	6300
Nafta	10360
Ropa naftowa	11000

Gaz świetlny 'suchy' ok. 6300 na kg albo ok.	4050 na m ³
„ „ zwykły ok. 6000 „ „ „	3850 na m ³
Acetylen	11900 „ „ „ 13900 na m ³
Wodór	34200 „ „ „ 3075 na m ³

Oszczędzanie paliwa. Zakłady przemysłowe i hutnicze zużywają w Polsce rocznie 7½ miliona tonn węgla wartości około 270 milionów zł. W interesie Państwa leży, by tak ogromne ilości zostały należycie wyzyskane. W Polsce jest czynnych około 25000 kotłów, wytwarzających parę; nawet drobne ulepszenia, oszczędzające w nich paliwa, mogą spowodować duże zaoszczędzenie w całym kraju.

Różne są przyczyny niezupełnego wyzyskania paliwa w kotle. Wadą dawnych palenisk rusztowych było to, że niedopalone kawałki węgla spadały przez otwory rusztu do popielnika i tam spalały się bezużytecznie. W kotłach nowszej konstrukcji ruszt jest ruchomą wstęgą bez końca, złożoną z ogniw, które w palenisku zwierają się w jedną nieprzerwaną powierzchnię (ryc. 79). Wstęga ta przesuwa się zwolna przez palenisko, u wejścia sypie się na nią węgiel z odpowiedniego leja; zanim węgiel dojdzie do końca paleniska, ulega zupełnemu spaleni.

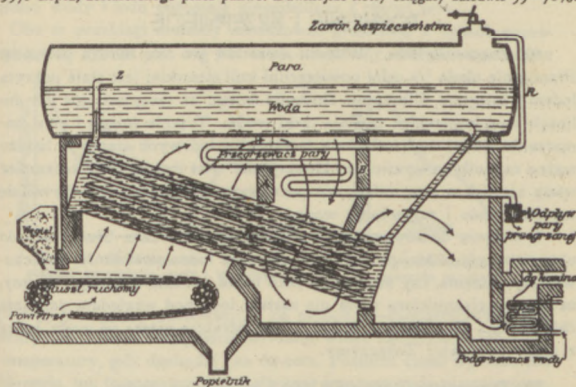
Ważnym czynnikiem jest także to, że gazy spalinowe nie oddają całego ciepła i uchodzą do kolumna osadzone zaledwie do 400—500°. Ryc 79 wskazuje urządzenie współczesnego kotła, mające na celu ułatwienie wymiany ciepła pomiędzy uchodzącymi gazami a wodą. Ogrzewanie wody odbywa się w układzie rur, połączonych ze zbiornikiem Z. Ponieważ ogrzewanie jest najsilniejsze we wzniezionej części rur, powstają w nich prądy konwekcyjne i wywołują ciągły przyływ wody ze zbiornika przez rury. Ścianki A i B zmuszają gazy paleniska, by trzykrotnie stykały się z rurami wodnemi; już to samo powoduje dokładniejszą wymianę ciepła.

Rura R para ze zbiornika przedostaje się do przegrzewacza, gdzie raz jeszcze styka się z gorącymi gazami; tu zostaje osuszona i nabiera jeszcze większej prężności. Dla jeszcze lepszego wyzyskania, gazy zostają skierowane do komory P, zawierającej rury z przepływającą zimną wodą. Podgrzana przez uchodzące gazy, zostaje przepompowana do zbiornika Z na miejsce tej wody, która została spotrzebowana w postaci pary.

W ten sposób gazy ochładzają się od 1200—1300°, które miały w palenisku, do

1 Z gazowni warszawskiej.

do kilku dziesiątych stopni. W dobrych współczesnych kotłach spożytkowuje się 85—95% ciepła, dostarczonego przez paliwo. Dawniejsze kotły osiągały zaledwie 55—70%.



Ryc. 79. Przekrój kotła parowego. Gorące gazy spalinowe trzykrotnie opływają układ rur, zawierających wodę, poczem podgrzewają jeszcze wodę, przeznaczoną do kotła. Para ze zbiornika, zanim pójdzie do maszyny parowej, podlega jeszcze przegrzaniu.

Pytania.

- 1) Co możesz powiedzieć o cieple właściwym wody na podstawie porównania go z ciepłem właściwym innych ciał?
- 2) Oblicz, jaką temperaturę powinno się otrzymać po zmieszaniu 80 g wody o 16° i 120 g wody o 60°. Sprawdź pomiarem trafność odpowiedzi.
- 3) Ile ciepła potrzeba na ogrzanie 1 cm³ wody, rtęci, oliwy, glinu, ciastowu?
- 4) W celu zahartowania ogrzano 2 kg kling stalowych do 800° i zanurzono w oliwie o temperaturze 15°. Ile oliwy należało wziąć, by jej temperatura po ogrzaniu nie przewyższała 60°.
- 5) Dlaczego ogrzany termometr prędzej stygnie w wodzie niż w powietrzu?
- 6) Dlaczego piec żelazny stygnie prędzej niż kaflowy?
- 7) Do cebrzyka z wodą wrzucono kamień granitowy, ważący 5 kg, rozgrzany w ogniu. Ile powinna ważyć bryłka żelaza, która doprowadzona w ogniu do tej samej temperatury, tak samo ogrzałaby wodę w cebrzyku?
- 8) Oblicz, ile kosztowałoby ogrzanie w kotle 1 kg wody od 15° do 100°, jeśli cena węgla wynosi 55 zł. za tonę, ciepło spalania wynosi 7000 k cal. na kilogram, a tylko 70% ciepła spalania idzie na ogrzanie wody.
- 9) Ile kosztuje przyrządzenie kąpieli o temperaturze 35°, zawierającej 400 l wody, przy cenie 27 gr. za 1 m³ gazu i przy 10% strat ciepła? Temperatura początkowa wody wynosi 17°.

TOPNIENIE I KRZEPNIĘCIE

59. Znaczenie lodu. W życiu ziemi lód gra rolę bardzo poważną. Przeciętnie około $\frac{1}{4}$ całej powierzchni kuli ziemskiej jest stale pokryta lodem i śniegiem. Olbrzymie zbiorniki śniegu na szczytach gór i w dolinach wysokogórskich zasilają rzeki wodą. Tajanie śniegu i lodu, zamarzanie wody, wędrowki mas śnieżnych i lodowych stanowią bardzo ważne czynniki geograficzne i klimatyczne. Nie moglibyśmy zrozumieć wielu zjawisk w przyrodzie, nie poznawszy dokładnie, jak odbywa się topnienie lodu i zamarzanie wody.

I w życiu domowym lód ma ważne zastosowanie. Służy nam do utrzymywania niskiej temperatury, czy to w lodowni, w której przechowujemy jedzenie, czy stosowany jako okład w razie choroby. Wiemy, że nawet najzimniejsza woda nie zastąpi lodu pod względem działania chłodzącego. Czy dlatego, że lód ma temperaturę niższą od wody, która z niego powstaje? Zobaczymy.

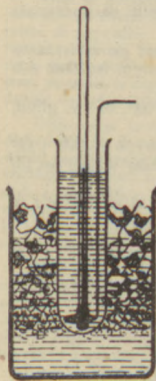
60. Temperatura topnienia lodu i krzepnięcia wody.

Ćwiczenie 41. a) Do próbki, napełnionej do połowy czystą wodą, wstawiamy termometr i druciane mieszadło. Probówkę zanurzamy w szklance z mieszaniną lodu i soli. Mieszamy wodę i odczytujemy jej temperaturę. Zwracamy uwagę, kiedy pojawią się w wodzie pierwsze kryształki lodu oraz kiedy zamarzną ostatnie resztki wody. Obserwacje temperatury prowadzimy dopóty, póki temperatura utworzonego lodu nie opadnie o kilka stopni poniżej zera.

b) Probówkę z oziębionym lodem przenosimy do szklanki z wodą w temperaturze pokojowej i znów obserwujemy temperaturę, chwilę gdy lód zaczyna topnieć, oraz chwilę, gdy cały lód zostanie stopiony. Czynimy to, póki temperatura wody nie podniesie się o kilka stopni powyżej zera.

Gdy ciepła woda oziębia się, temperatura jej opada stopniowo, aż osiągnie 0° . Przy dalszym chłodzeniu woda zaczyna krzepnąć czyli zstalać się; woda stopniowo przechodzi w lód. Przez cały czas krzepnięcia zarówno temperatura wody jak lodu pozostaje niezmienną i wynosi 0° .

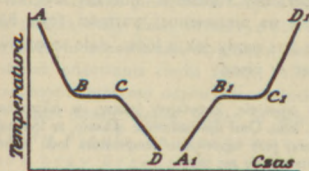
Gdy lód, oziębiony uprzednio poniżej 0° , zaczniemy ogrzewać, temperatura jego stopniowo ro-



Ryc. 80. Zamarzanie wody.

śnie, póki nie dojdzie do 0° . Przy dalszym ogrzewaniu lód zaczyna topnieć, t. j. przechodzi w stan ciekły. Przez cały czas topnienia temperatura wody i lodu pozostaje niezmienną i równa zeru.

Oba te przebiegi możemy zobrazować graficznie w sposób przedstawiony na ryc. 81. Na osi poziomej odkładamy odcinki, wyrażające



Ryc. 81. Przebieg zmian temperatury podczas krzepnięcia wody i topnienia lodu.



Ryc. 82. Krzywa topnienia parafiny.

w pewnej skali czasu obserwacji, a na pionowej—zaobserwowane temperatury. Na wykresie stygnięcia wyraźnie widać zatrzymanie się spadku temperatury, gdy dochodzi ona do zera. Pozioma część wykresu BC uwidocznia, jak temperatura przez dłuższy czas pozostaje niezmienną. Podobnie przy ogrzewaniu lodu podnoszenie się temperatury ustaje w 0° i znów mamy na tej samej wysokości poziomy odcinek wykresu B₁ C₁.

Z wykresu z łatwością możemy odczytać temperaturę krzepnięcia wody oraz temperaturę topnienia lodu; są one równe sobie.

Topnienie lodu lub śniegu nazywamy też tajaniem, krzepnięcie wody — zamarzaniem. Różne stany skupienia fizycy nazywają często fazami; tu mieliśmy do czynienia ze wzajemnymi przemianami dwóch faz wody: fazy stałej i ciekłej.

61. Temperatury topnienia i krzepnięcia innych ciał. Musimy teraz sprawdzić, czy inne ciała zachowują się podobnie jak woda przy zmianie fazy stałej na ciekłą.

Ćwiczenia 42. a) Probówkę z kryształkami naftaliny umieszczamy w kąpieli z gorącej wody; wkładamy do niej mieszadło i termometr. Po zupełnym stopnieniu i ogrzaniu jeszcze o kilkanaście stopni wyjmujemy probówkę i umieszczamy w łapie statywu. Mieszamy ciecz i obserwujemy temperaturę co $\frac{1}{4}$ minuty. Sporządzamy wykres stygnięcia.

b) W podobny sposób robimy obserwacje i sporządzamy wykresy dla wosku i parafiny.

Ciała takie, jak lód, naftalina i szereg innych, przeważnie o budowie krystalicznej, mają wyraźną temperaturę topnienia; należą tu, między

innymi, wszystkie metale. Dokładne pomiary wykazały, że ich temperatura krzepnięcia jest taka sama, jak temperatura topnienia. Dlatego mówimy zwykle prosto o temperaturze topnienia; nazywamy ją czasem punktem topnienia.

Inne ciała, jak wosk, parafina, szkło, różne tłuszcze roślinne i zwierzęce, nie mają wyraźnej temperatury topnienia. Podczas stygnięcia temperatura nie zatrzymuje się na niezmienniej wartości (ryc. 82). Także sam proces topnienia nie jest nagły jak u lodu: ciało stopniowo mięknie, nieznacznie przechodząc w ciecz.

62. Inne określenie temperatury topnienia. Zapytajmy jeszcze, w jakich temperaturach może istnieć faza stała, np. lodu. Otóż doświadczenie okazało, że lód może mieć różne temperatury niższe od zera; przy ogrzewaniu temperatura lodu podnosi się do punktu topnienia, ale wyżej wzniesić się nie może.

Z drugiej strony ciecz (woda) może mieć temperatury różne, ale wyższe lub równe zeru; może ostygnąć do punktu topnienia, ale nie niżej.

Istnieje więc jedna tylko temperatura wspólna dla obu faz — jest nią temperatura topnienia. Przy topnieniu obie fazy istnieją obok siebie. Lód o temp. 0° i woda o temp. 0° , chronione przed dopływem lub utratą ciepła, mogłyby trwać w zetrzęciu nieograniczenie długo.

63. Ciepło topnienia. Przekonałszy się, że topniący lód i zmieszana z nim woda mają jednakową temperaturę. Zatem nie temperatura jest przyczyną wielkiej skuteczności lodu, stosowanego jako środek chłodzenia. Zwróćmy uwagę, że lód, stosowany w tym celu, zawsze topnieje i to tem prędzej, im większe i cieplejsze są przedmioty chłodzone. A więc w samym zjawisku topnienia należy szukać rozwiązania zagadki.

Przypatrzmy się uważnie wykresowi topnienia (prawa strona ryc. 81). Zauważymy w nim trzy odcinki, wyraźnie różniące się od siebie: odcinek poziomy jest umieszczony pomiędzy dwoma ukośniami, wznoszącymi się od strony lewej ku prawej. Pierwszy z nich A, B , wskazuje, że temperatura lodu wzrasta; jest to uwarunkowane pobieraniem ciepła od wody. Ostatni odcinek C, D , wyraża podnoszenie się temperatury wody; i teraz trwa dopływ ciepła, ponieważ woda w szklance wciąż jest jeszcze cieplejsza od wody w probówce.

Zachodzi pytanie, jakie znaczenie ma odcinek środkowy B, C , w kształcie linii poziomej. Odpowiada on stopniowemu topnieniu lodu; temperatura lodu jest przez ten czas niezmienną, pomimo że dopływ ciepła od cieplejszej wody trwa nadal nieprzerwanie. Pobierane ciepło nie powoduje więc podniesienia się temperatury, lecz zato wywołuje topnienie. By ciało stopić, niedość doprowadzić go do określonej tem-

1 O możliwości chwilowego ochłodzenia cieczy poniżej temperatury topnienia, czyli o t. zw. przechłodzeniu, będzie mowa w ust. 64.

peratury, trzeba jeszcze udzielić mu pewnej ilości ciepła. Tę ilość ciepła, która jest potrzebna do stopnienia jednego grama ciała, doprowadzonego uprzednio do temperatury topnienia, nazywamy ciepłem topnienia tego ciała.

Czy ciepło to ginie, znika bezpowrotnie? Przyjrzyjmy się wykresowi krzepnięcia wody (lewa strona ryc. 81). I tu widzimy trzy odcinki: skrajne, pochyłe odpowiadają stygnięciu cieczy (AB) i ciała stałego (CD) wskutek oddawania ciepła zimnej mieszaninie lodu z solą. W czasie krzepnięcia, któremu odpowiada odcinek poziomy BC , zastygająca masa wciąż oddaje ciepło, mimo to jednak temperatura jej nie opada: straty ciepła są pokrywane przez ciepło, wydzielane przy krzepnięciu.

Dokładne pomiary stwierdziły, że ciało oddaje przy krzepnięciu ściśle tyle ciepła, ile go pobiera przy topnieniu. Ciepło zostaje jakgdyby zamagazynowane w cieczy; krzepnąc, ciecz zwraca to, co pobrała przy topnieniu.

64. Oddawanie ciepła topnienia przy przechłodzeniu.

Ćwiczenie 43. W probówce umieszczamy kryształki natronu¹ i termometr, wstawiamy ją do gorącej wody i obserwujemy temperaturę topnienia natronu. Po całkowitem stopnieniu kryształków wstawiamy probówkę do zimnej wody. Ciecz ostyga, przyciem termometr nie zatrzymuje się na temperaturze topnienia, lecz opada niżej; mimo to nie widzimy ani śladu krzepnięcia. Mówimy, że ciecz została *przechłodzona*.

Gdy temperatura cieczy obniży się o kilkanaście stopni, wrzucamy do probówki kryształek natronu. Natychmiast koło kryształka powstają nowe liczne kryształy, rosną, tworzy się ich coraz więcej i w krótkim czasie znaczna część cieczy krzepnie — tem większa, im silniej ciecz była przechłodzona. Jednocześnie temperatura podnosi się i dochodzi do punktu topnienia.

To doświadczenie wykazuje w sposób uderzający wydzielanie się ciepła przy krzepnięciu. Przy każdym doświadczeniu krystalizuje się tyle cieczy, by wydzielone ciepło wystarczyło w sam raz na doprowadzenie całej masy do temperatury topnienia. Dalsze krzepnięcie odbywa się już normalnie.

Inne ciecz dają się też przechłodzić, choć nie tak łatwo jak natron. Wodę można przechłodzić o kilka stopni, gdy jest w zupełnym spokoju. Również gwałtowny ruch przeszkadza tworzeniu się lodu. Dlatego woda w rwących górskich po. kach, podczas silnego wiatru, we wzburzonym morzu zostaje często przechłodzona; gdy jednak wypłyśnie na przemaznięty brzeg, zamara natychmiast, pokrywając go skorupą lodową.

65. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu.

Ćwiczenie 44. Duży kalorymetr napełniamy do połowy odważoną wodą. Wyznaczamy jej temperaturę i wrzucamy kawałek osuszonego bibuła lodu. Gdy lód stopnieje, mierzymy znów temperaturę wody w kalorymetrze oraz wyznaczamy zapomocą wagi, ile przybyło wody ze stopionego lodu.

Z tych danych można obliczyć ciepło topnienia lodu.

1 Znanego każdemu miłośnikowi fotografii, jako utrwalacz klisz.

Przykład obliczenia. 280 g wody miało początkowo temperaturę 18,3°, a wkońcu 11,5°; 21,4 g lodu zostało przytem stopione.

Woda ostygła o 18,3—11,5 = 6,8°, oddając przytem

$$280 \times 6,8 = 1904 \text{ (cal.)}$$

Pod wpływem tego ciepła lód najpierw zamienił się w wodę o temp. 0°. Ta woda ogrzała się następnie do 11,5°, ponieważ taka była wspólna temperatura całej zawartości kalorymetru; ten proces pochłonął

$$21,4 \times 11,5 = 246 \text{ (cal.)}$$

Zatem na samo stopienie lodu zostało zużyte

$$1904 - 246 = 1658 \text{ (cal.)}$$

Ponieważ lodu było 21,4 g, więc na stopienie jednego grama zostało zużyte 1658 : 21,4 = 77,5 (cal.).

Gdybyśmy uwzględnili ciepło, które oddało, stygnąc, naczynie kalorymetryczne, otrzymalibyśmy wartość trochę wyższą.

Nowsze, bardzo staranne pomiary pozwoliły wyznaczyć dokładnie wartość ciepła topnienia lodu. Wynosi ona 80,1 cal. na gram.

Tyleż samo ciepła oddaje każdy gram wody, gdy przechodzi w stan stały. Wyznaczanie ciepła topnienia innych ciał jest naogół trudne i wymaga odpowiednich przyrządów. W tablicy IX są podane znalezione przez uczonych wartości ciepłotytopnienia i ciepła topnienia różnych ciał.



Ryc. 83.
Kalorymetr lodowy Black'a.

Dokładna znajomość ciepła topnienia lodu jest dlatego ważna, że korzystamy z niej w celu mierzenia ilości ciepła. Pierwszym, który zastosował ten sposób, był Black. Ryc. 83 wskazuje proste urządzenie, którego użył do tego celu.

Tablica IX

TEMPERATURA TOPNIENIA (T) I CIEPŁO TOPNIENIA (L).

	T	L		T	L
Wolfram . . .	3400	—	Cyna	232	13,8
Platyna . . .	1770	27	Lut blacharski	185—270	—
Stal	1450	65	Stop Wooda	67	—
Miedź	1083	41	Rtęć	—38,9	2,08
Mosiądz . . .	900	—	Kwarc	1700	—
Bronz	800	—	Szkło	800—1400	—
Cynk	419	23	Oliwa	2,5	—
Olów	327	5,5	Woda	0	80,1
Kadm	321	10,8	Alkohol	— 114	—
Bismut	271	10,2	Eter	— 116,3	27

Z tej tablicy widać, w jak szerokich granicach wahają się temperatury krzepnięcia różnych ciał. Metale mają przeważnie wysoką temperaturę topnienia, choć rtęć np. krzepnie znacznie poniżej zera.

Trudność otrzymania wysokich temperatur, potrzebnych do topienia metali, najczęściej używanych w technice, sprawiła, że ludzkość dość późno nauczyła się wydobycić i obrabiać metale. Jak ważne były te wynalazki dla kultury, tego dowodzi fakt, że uczeni całej wielkiej epoki cywilizacji nazwali imieniem najbardziej rozpowszechnionego w każdej z nich metalu (epoka brązu, żelaza).

Wysoka temperatura topnienia metali sprawia, że są one odporne na ogień i mogą być używane jako ogniotrwałe części mostów, budynków i t. d.

Metale o bardzo wysokiej temperaturze topnienia (wolfram, molibden) są stosowane do wyrobu cieniutkich drucików w lampach żarowych. Drucik taki można ogrzać bardzo wysoko bez obawy stopienia; świeci wtedy bardzo jasno i zużywa stosunkowo mało prądu.

66. Zmiany objętości przy krzepnięciu i topieniu. Wiemy, że lód pływa po wodzie; korzystamy z tego, chodząc i ślizgając się po taflach lodowych, pokrywających w zimie stawy i rzeki. Czy inne ciała zachowują się tak samo?

Cwiczenie 45. W jednej probówce umieszczamy kawałek lodu, do innych kładziemy parafinę, naftalinę, natron i ogrzewamy tak, by je częściowo stopić (ryc. 84).



Woda Parafina
i lodem.

Wiemy już, że ciała tonące mają ciężar właściwy większy niż ciecz, a te które pływają w cieczy, mają mniejszy od niej ciężar właściwy. Lód jest więc lżejszy od wody, co dowodzi, że ma objętość większą niż woda, z której powstał. Przy zamrażaniu wody objętość jej powiększa się. Ciężar właściwy lodu wynosi 0,916. Tak jak woda zachowują się tylko nieliczne ciała: żelazo, bizmut oraz stop, używamy na czcionki drukarskie.

Wszystkie inne ciała stałe toną w cieczy, która z nich powstaje; zatem przy krzepnięciu objętość ich zmniejsza się.

O rozszerzaniu się wody przy krzepnięciu świadczą dobre znane fakty, jak pęknięcie zamrażniętych rur przy studniach i wodociągach, jak rozsadzanie butelek, zawierających wodę, a nieopatrznie wystawionych na mróz. Zamrażając w szczelinach skał, woda rozsadza je, rozkrusza i staje się przez to jednym z najważniejszych czynników wietrzenia i kru-

zzenia się skał. Na mniejszą skalę obserwujemy to przy pękaniu bruków, ułożonych z mało ścisłych, porowatych materiałów. Zamarzanie wody, zawartej w glebie, rozluźnia spójność jej składników, a przez to czyni ją bardziej pulchną, przepuszczalną dla powietrza i wody.

ROZPUSZCZANIE.

67. **Roztwory.** Ciało stałe można przeprowadzić w stan ciekły nie tylko przez topienie, ale także przez rozpuszczenie go w jakiejś cieczy; otrzymujemy wtedy **roztwór**; najważniejsze dla nas są **roztwory wodne**.

Wiadomo, że wiele ciał — różne sole, cukier — rozpuszczają się w wodzie; wiadomo też, że woda może w danej temperaturze rozpuścić tylko pewną ograniczoną ilość substancji stałej. Gdy roztwór staje się nasyconym, może stykać się z substancją stałą, nie rozpuszczając jej.

Cwiczenie 46. Przygotujemy roztwór nasycony niebieskich kryształów siarczanu miedziowego (sinego kamienia), zalewając wodą drobno potluczone kryształki i mieszając roztwór od czasu do czasu. Po jednym lub dwóch dniach roztwór jest nasycony. Nalewamy go do zlewki, na której dnie jest niewielka ilość siarczanu. Nie znika on pomimo mieszania.

Stawiamy zlewkę nad płomieniem palnika. Po niewielkiem nagrzanu kryształki znikają. Jeśli dodamy kryształków i ogrzejemy roztwór jeszcze bardziej, nowa ilość siarczanu zostanie rozpuszczona.

Gdy roztwór stygnie, wydzielają się zeń niebieskie kryształki.

Im wyższa temperatura, tem większe jest stężenie roztworu nasyconego.

Tablica X

ROZPUSZCZALNOŚĆ CIAŁ STAŁYCH W WODZIE (Liczba gramów ciała na 100 g wody, zawartej w roztworze nasyconym)

	w temperaturze		
	0°	18°	100°
Cukier	179	201	490
Sól kuchenna	35,5	36	39,6
Chlorek wapnia	50	71	155
Siarczan miedzi	32	40	203
Azotan potasu	13	29	250

Z tablicy widać, jak niejednakowo wpływa temperatura na rozpuszczalność różnych ciał. Sól kuchennej rozpuszcza się w 100° niewiele więcej jak w 0°. Rozpuszczalność azotanu potasu wzrasta w tych warunkach prawie dwudziestokrotnie.

68. Ciepło rozpuszczania.

Cwiczenie 47. Do próbki nalewamy wody i mierzymy temperaturę. Wypujemy do próbki soli kuchennej i wstrząsamy, póki sól się nie rozpuści. Mierzemy ponownie temperaturę.

Po rozpuszczeniu soli w wodzie temperatura wody obniża się; widocznie została przytem pochłonięta pewna ilość ciepła. Jest ona różna dla różnych ciał. Rozpuszczenie 1 g soli kuchennej w dużej ilości wody pochłania około 22 cal.; rozpuszczenie 1 g sialmiaku — około 80 cal.¹

69. **Zamarzanie roztworów.** Gdy w zimie śnieg pokrywa szyny tramwajowe, posypuje się je solą; śnieg znika wtedy z szyn, a powstaje ciekła warstwa, która nie przeszkadza ruchowi tramwajów. Jest to oczywiście roztwór soli. Widocznie roztwór nie zamarza, pomimo mrozu. Musimy to bliżej zbadać.

Cwiczenie 48. Przygotujemy kilka próbek z roztworami soli kuchennej o różnem, lecz niewielkiem stężeniu, umieszczamy w nich termometry i wstawiamy do naczyń z lodem i solą kuchenną. Obserwujemy, w jakiej temperaturze każdy z roztworów zaczyna krzepnąć.

Roztwory krzepną w temperaturze niższej niż czysta ciecz. Obniżenie temperatury krzepnięcia jest tem większe, im większe jest stężenie roztworu. Znalezione, że trzeba około 17 g soli kuchennej w litrze wody, by obniżyć jej temperaturę zamarzania o 1°, a 100 g soli obniża ją o 6°.

Rozpuszczalność soli jest ograniczona, więc i obniżanie temperatury topnienia musi mieć pewną granicę. Temperatury zamarzania roztworu soli kuchennej nie można obniżyć poza — 21,5°.

Poznajemy przy tej sposobności ciekawą własność lodu. Wiemy, że może on istnieć bez zmian w zetknięciu z czystą wodą tylko w temperaturze 0°; teraz widzimy, że nie topnieje ani nie zmienia temperatury, gdy styka się z roztworami soli w temperaturze niższej od 0°, a mianowicie w temperaturze zamarzania danego roztworu.

70. **Mieszaniny oziębiające.** Posypanie lodu lub śniegu solą nie tylko utrzymuje powstający roztwór soli w stanie ciekłym w temperaturze niższej od zera, ale powoduje też stopienie się części lodu. Pozostały lód i tworzący się roztwór muszą dostarczyć ciepła, potrzebnego do stopienia lodu i do rozpuszczenia soli; cała mieszanina ochładza się przeto, póki nie osiągnie temperatury krzepnięcia utworzonego roztworu. Takie mieszaniny nazywamy **mieszaninami oziębiającymi**. Stosujemy je często w laboratorjach, w chłodniach, a w życiu codziennem przy wyrobie lodów.

¹ Im większe rozcieńczenie, tem więcej ciepła potrzeba na rozpuszczenie grama soli.

Cwiczenie 49. Drobnopotłuczony lód lub śnieg posypujemy niewielkimi ilościami soli kuchennej; za każdym razem mieszamy całą masę i mierzymy jej temperaturę. To samo robimy, biorąc chlorek wapnia zamiast soli.

Mieszanki chłodzącej nie można osiągnąć poniżej pewnej granicy, zależnej od rodzaju użytej soli. Jest to granica, poniżej której nie można obniżyć temperatury krzepnięcia roztworu tej soli. Sól kuchenna daje zatem temperaturę nie niższą od $-21,5^{\circ}$; z chlorkiem wapnia można osiągnąć -42° .

71. Temperatura topnienia stopów. Prawo obniżania temperatury topnienia przez dodanie obcych ciał stosuje się też do metali. Jeśli w stopionym metalu rozpuścić nieco innego metalu, to powstały z tego stop zastyga najczęściej w temperaturze niższej, niż czysty metal.

Np. stop miedzi z cynkiem (mosiądz), lub z cyną (bronz) topi się w temperaturze niższej, niż czysta miedź (ob. tab. IX).

Stosunkowo niską temperaturę topnienia cyny (232°) można jeszcze obniżyć przez dodanie cynku lub ołowiu; dodanie 10% ołowiu obniża temperaturę topn. do 220° , a 30% — do 185° ; dalsze zwiększanie ilości ołowiu znów podnosi temperaturę topnienia. Korzystamy z tego obniżania, by otrzymać stopy o różnych, a niewysokich temperaturach topnienia, używane do lutowania.

Również stopami są metale, używane na bezpieczniki (stopki) w instalacjach elektrycznych; topią się one łatwo, gdy prąd w linii staje się zbyt silnym, i w ten sposób przerywają prąd.

Znany t. zw. metal Wooda, topniejący poniżej temperatury wrzenia wody, a mianowicie około 70° ; stop ten składa się z 2 części ołowiu, 1 cz. cyny, 1 cz. kadmu i 4 cz. bizmutu. Łyżeczką z takiego metalu nie możnaby zamieszać gorącej herbaty!



Ryc. 85.
Powietrze
rozpuszcza się
w wodzie.

72. Rozpuszczanie gazów. Znamy dobrze pęcherzyki powietrza, osiadające na ściankach szklanki napelnionej wodą z kranu, gdy postoi dłuższy czas w ciepłym pokoju. Czem są i skąd się biorą te pęcherzyki?

Cwiczenie 50. Napelniamy butelkę, mniej więcej do $\frac{4}{5}$ pojemności, świeżo przegotowaną i dobrze ochłodzoną wodą. Butelkę zatykamy korkiem gumowym z przetkniętą rurką szklaną; na koniec rurki nasuwamy kawałek rurki gumowej, którą zaciskamy ściskaczem (ryc. 85). Butelkę wstrząsamy energicznie przez jakieś dwie minuty, poczem w rurkę gumową wsuwamy mały lejek szklany, nalewamy do niego wody i otwieramy ściskacz.

Cwiczenie 51. Wodę z kranu, wodę z poprzedniego ćwiczenia oraz wodę świeżo przegotowaną i ochłodzoną ogrzewamy w zlewkach. Zwracamy uwagę na ścianki zlewek.

Cwiczenie 52. Do zlewki nalewamy wody sodowej, usuwamy mieszaniami nadmiar gazu, poczem ogrzewamy, jak w ćwiczeniu poprzednim.

Woda rozpuszcza powietrze i inne gazy, a ilość rozpuszczonego gazu zależy od temperatury, ale w sensie przeciwnym, niż przy rozpuszczaniu ciał stałych: zmniejsza się przy wzrastaniu temperatury. Jeśli wodę z rozpuszczonym w niej gazem ogrzewać, to nadmiar gazu wydziela się w postaci pęcherzyków. W zwykłej wodzie wodociągowej jest rozpuszczone powietrze. Woda przegotowana nie zawiera go już prawie wcale; jest wtedy bez smaku i nieprzyjemna do picia. Tablica XI wskazuje, w jakich ilościach różne gazy rozpuszczają się w wodzie.

Tablica XI

ROZPUSZCZALNOŚĆ GAZÓW W WODZIE
(Objętość gazu, rozpuszczona w jednostce objętości wody pod zwykłym ciśnieniem)

	w temperaturze		
	0°	20°	100°
Powietrze	0,025	0,018	0,011
Dwutlenek węgla	1,80	0,90	0,24
Amonjak	1176	738	—

Niezwykle wielką rozpuszczalnością w wodzie odznacza się amonjak.¹

Cwiczenie 53. Pod kłozs pompy powietrznej wstawiamy zlewki ze zwykłą wodą i rozrzedzamy pod kłozsem powietrze.

Rozpuszczalność gazów zmniejsza się, gdy maleje ciśnienie, pod którym się znajduje. Woda sodowa zawiera dwutlenek węgla rozpuszczony w niej pod wysokim ciśnieniem. To ciśnienie wyrzuca wodę z syfonu (ryc. 86). Na powietrzu, pod ciśnieniem normalnym, nadmiar gazu uchodzi w postaci pęcherzyków. Tak samo pieni się piwo i inne t. zw. napoje gazowe.

Rozpuszczanie się powietrza w wodzie ma ogromne znaczenie dla życia. Dzięki obecności tlenu w wodzie, żyjące w niej organizmy mogą oddychać. Przez zetknięcie z powietrzem woda rozpuszcza coraz to nowe jego ilości; przytem tlen rozpuszcza się łatwiej niż azot, tak że po-



Ryc. 86. Syfon
z wodą sodową.

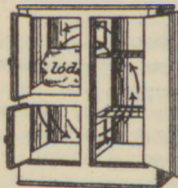
¹ Roztwór amonjaku w wodzie, czyli woda amonjakalna, jest sprzedawana w składach aptecznych pod nazwą „amonjaku”. W nauce amonjakiem nazywa się duszący, gęzyczny w oczy, o przykrym zapachu gaz, który ulatnia się z wody amonjakalnej.

wietrze rozpuszczone w wodzie, zawiera nie 21, lecz 35% tlenu. W zimie lód przerywa zetknięcie wody z powietrzem, więc w stawach zarybionych trzeba wyrąbywać w skorupie lodowej duże otwory t. zw. przerebły.

Woda, w której jest rozpuszczony dwutlenek węgla, rozpuszcza skały wapienne daleko łatwiej, niż woda nie zawierająca tego gazu. Odgrywa to dużą rolę w wymywaniu skał wapiennych.

73. *Lód i śnieg w życiu człowieka.* Lód i śnieg odgrywają ważną rolę w naszym życiu codziennym. Utworzone w zimie, służą nam, byśmy i wśród gorącego lata mogli korzystać z dobrodziejstw niskiej temperatury. W tym celu przechowujemy lód w lodowniach (obacz ust. 40).

Najważniejszym zastosowaniem lodu jest konserwowanie produktów spożywczych, głównie masła i mięsa, które się psują, oraz mleka, które kwaśnieje w temperaturze pokojowej. To też lodownia pokojowa (ryc. 87) jest sprzętem gospodarczym bardzo pożytecznym.



Ryc. 87. Nowoczesna lodownia pokojowa wysyskuje prądy unoszenia.

Wielkie zapotrzebowanie lodu w życiu współczesnym skłoniło ludzi do fabrykacji lodu sztucznego. W następnym rozdziale zapoznamy się z jego wytwarzaniem. Lód sztuczny z czystej wody nie zawiera bakterij chorobotwórczych, które często spotyka się w lodzie naturalnym, czerpanym z rzek, sadzawek, a nawet dołów i rowów. Z tego powodu do sporządzania napojów chłodzących wolno używać tylko lodu sztucznego. Dla odróżnienia od lodu naturalnego często barwi się go na różowo.

W przemyśle używają lodu tam, gdzie chodzi o utrzymanie stałej, niskiej temperatury, jak np. przy wyrobie piwa.

Lecz najdonioślejszy wpływ na życie wywiera lód i śnieg, gdy występują w olbrzymich masach jako zja-

wisko przyrodnicze, przejściowe w strefie umiarkowanej, stałe w okolicach podbiegunowych i na wysokich wzniesieniach. Grozę „białej pustyni”, bezlitośnie zimnej wyjątkowej niemal doszczętnie z wszelkich przejawów życia, opisali nam podróżnicy-badacze, którzy nie bacząc na straszliwe warunki, grożące na każdym kroku zdrowiu i życiu, wdzierali się i wdzierają do serca lodowej pustyni. Wśród tych badaczy nie brak polskich nazwisk: H. Arctowski i A. B. Dobrowoński brali udział w wyprawach podbiegunowych. B. Dybowski, zesłaniec na Syberję, zbadał wszechstronnie przyrodę okolic, do których los go zesłał. W ostatnich latach młodzi polscy badacze spędzili rok na Wyspie Niedźwiedziej, prowadząc spostrzeżenia, związane z badaniami „roku polarnego”, zorganizowanymi przez uczonych całego świata cywilizowanego.

W klimacie umiarkowanym skorupa śniegu i lodu pokrywa ziemię i skruwa wody tylko przez część roku. Spełnia ona wtedy bardzo ważne zadanie: chroni od zagłady zarodki życia, ukryte w ziemi. Wiemy przecież, że puszysty śnieg jest złym przewodnikiem ciepła, a lód przewodzi wprawdzie lepiej niż woda, ale nie powstają w nim prądy konwekcyjne, które znacznie więcej odbierają ciepła, niż przewodzenie wody. To też rolnicy troskają się bardzo o los oziminy, jeśli zaskoczy je mroźna zima bez pokrywy śnieżnej.

W zimie zmieniają się też warunki bytowania zwierząt; jedne z nich zapadają w sen zimowy, inne zakopane głęboko w ziemi, żywią się nagromadzonymi zapasami, inne wreszcie wygrzebują z pod śniegu skąpe pożywienie lub polują na inne zwierzęta. Człowiek, dzięki swej zapobiegliwości, może przeżyć przez zimę i siebie i swoje zwierzęta domowe.

Zasadniczo zmieniają się warunki komunikacji. Po miękkim śniegu lekko ciągnąć sanki na szerokich, drewnianych, albo na wąskich, lecz śliskich żelaznych płozach. Małe tarcie żelaza o śnieg przyko odczuwają podkutę konie; to też na zimę podkowy należy zaopatrzyć w ostre gwoździe, t. zw. hacel.



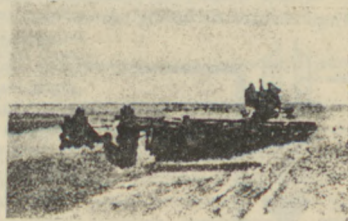
Ryc. 88. Narcissiarze na śniegu.

Piechur z trudnością brnie po świeżym śniegu, w którym zapadają się nogi; wdziewa więc *narty* (ryc. 88), których deski rozkładają jego ciężar na znacznie większą powierzchnię (ob. Cz. III, Rozdz. 1).

Sport też korzysta z warunków zimowych. Narciarstwo, górska turystyka, łyżwiarstwo, saneczki, łodzie na łyżwach dają możliwość zdrowego ruchu w świeżym, czystym powietrzu, ale pozwalają obcować z cudami zimowej przyrody, otulonej niepokalaną szatą śnieżnej pokrywy.

Lecz wiele współczesnych środków lokomocji cierpi w warunkach zlodowacenia i zaśnieżenia. Walka ze śniegiem i lodem wymaga wiele pracy i umiejętności. Widzieliśmy, jak usuwa się śnieg i lód z szyn tramwajowych. Lecz wielkie masy obficie spadłego śniegu trzeba odgarniać łopatami i szufłangami. W wąwozach i przepokach, przez które biegną drogi i tory kolejowe, tworzą się często zasy; do ich usunięcia siła rąk ludzkich może nie wystarczyć. Pracę tę wykonywują wówczas *plugi śniegowe*, które, pchane przez lokomotywę lub przez wóz motorowy, rozgarniają śnieg i oczyszczają drogę.

W komunikacji wodnej lód też tworzy częste przeszkody. Przy brzegach mórz i w portach woda zamraża i uniemożliwia dostępowi okrętom. Do usuwania lodu i podtrzymywania komunikacji służą *lamace lodów*. Dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu dzioba i mocnym silnikom, statek taki wślizguje się na powierzchnię lodu i łamie go swoim ciężarem.



Ryc. 89. Plug śniegowy, poruszany traktem.



Ryc. 90. Łamacz lodów.

własnościach wody i lodu to powoduje?

3) Do naczynia, zawierającego 500 g wody w temperaturze 18°, wrzucono 80 g suchego lodu w temperaturze 0°. Jaka będzie temperatura wody po stopnieniu lodu?

4) Cena węgla wynosi 57 zł. za tonnę, cena lodu 7 gr. za kilogram. Oblicz i porównaj koszt wytworzenia i odebrania jednej kalorii.

5) Wóz, obsługiwany przez 2 ludzi, może wywieźć za miasto dziennie 4 m³ śniegu. Koszt utrzymania pary koni wynosi 7 zł., a płaca robotnika 6 zł. dziennie. Wydajność maszyny do topienia śniegu wynosi 60%. cena węgla 55 zł. za tonnę. Ciężar właściwy śniegu 0,6 kg/dm³.

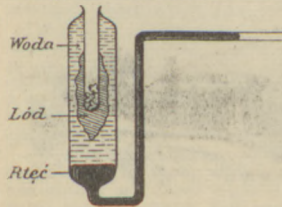
Porównaj koszt usunięcia 1 m³ śniegu wymienionymi dwoma sposobami. Czy przy obliczeniu ceny topienia uwzględniono wszystkie koszty?

6) Dlaczego do sprawdzania punktu zerowego termometru używamy czystej, destylowanej wody?

7) Jaka jest temperatura zamarzania wody w polskim Bałtyku (1% soli) i w oceanie (3,5% soli)?

8) Jeśli do mieszaniny lodu i wody doprowadzać ciepło, to jak zmienia się przy tem jej objętość? Czy na tem możnaby oprzeć sposób mierzenia ilości ciepła?

9) Ryc. 91 wyobraża kalometr lodowy, obmyślony przez niemieckiego chemika BUNSENA. Na szklanej probówce, wtopionej w szersze naczynie, utworzono skorupę lodu; reszta naczynia jest wypełniona wodą. Na dnie znajduje się rtęć, której część wchodzi w cienką rurkę szklaną.



Ryc. 91.

Objaśnij, jak taki przyrząd może służyć do mierzenia ilości ciepła, np. do mierzenia ciepła właściwego niewielkich ilości ciał?

10) W jakim klimacie: gorącym, umiarkowanym, czy podbiegunowym, skały są najbardziej wystawione na wietrzenie wskutek zamarzania?

Pytania.

1) Jeśli naczynie z lodem i wodą silnie ogrzewać, to termometr wskazuje w wodzie temperaturę trochę wyższą od zera. Dlaczego? Zastanów się, którądy ciepło przodostaje się do lodu.

2) W wykresach na ryc. 81 odcinki, odpowiadające zmianom temperatury lodu są bardziej strome niż te, które odpowiadają zmianom temperatury wody. Jaka różnica we

11) Objasnij, dlaczego do odlewu czcionek drukarskich używa się metalu, który rozszerza się przy krzepnięciu?

12) Gdy zamrozamy roztwór soli, temperatura krzepnięcia stopniowo się obniża. Dlaczego?

13) Dlaczego zimne piwo mniej się pieni, niż ciepłe?

Rozdział VI

PAROWANIE I SKRAPLANIE

74. Ulatnianie się cieczy. Parowanie wody i skraplanie się pary są zjawiskami powszechnie spotykanymi i bardzo dla nas ważnymi. Wysychanie wilgotnych przedmiotów, a wilgnienie suchych, gotowanie, ogrzewanie parą, użycie jej do poruszania maszyn, wreszcie zjawiska tworzenia się chmur, rosy i deszczu — to wszystko jest związane z przemianami wody w parę i pary w wodę. Nietylko zresztą woda paruje i skrapla się, ale i inne cieczce.

By dobrze zrozumieć znaczenie tych zjawisk w przyrodzie, w technice i w życiu codziennym, musimy bliżej zapoznać się z prawami parowania i skraplania.

Ćwiczenie 54. Na spodeczki nalewamy po łyżeczce od kawy: eteru, spirytusu, wody i oliwy. Obserwujemy, ile czasu potrzebuje każda z tych cieczy na wyschnięcie.

Wszystkie cieczce wysychają, lecz w prędkości ich wysychania zachodzą olbrzymie różnice. Jeśli dla zniknięcia pewnej objętości eteru potrzeba np. tylko 20 sekund, to taka sama objętość wody zniknie dopiero po paru godzinach, a na wyschnięcie oliwy trzeba by czekać całe miesiące.

Od jakich warunków może zależeć prędkość wysychania.

Ćwiczenie 55. a) Zwilżamy dwa kawałki bibuły jednakową ilością wody lub spirytusu i zawieszamy je: jeden w miejscu dobrze ogrzanem, np. w pobliżu pieca lub nad gorącą blachą, drugi — zdala od tych gorących przedmiotów.

b) Dwie równe ilości spirytusu lub wody nalewamy: jedną do probówki, drugą na płaski talerz.

c) Jeden z kawałków zwilżonej bibuły (jak pod a) zawieszamy wewnątrz zamkniętego słoja, zawierającego na dnie trochę wody czy też spirytusu, drugi w takim samym słoju, ale suchym.

d) Na jeden z dwóch kawałków zwilżonej bibuły skierowujemy prąd powietrza z mieszka albo z pompy powietrznej.

We wszystkich tych doświadczeniach porównujemy szybkość wysychania dwóch jednakowych porcji cieczy, umieszczonych tak,

by za każdym razem tylko jeden z warunków, w których odbywa się zjawisko, ulegał zmianie. Tak postępujemy zawsze w fizyce, gdy chodzi o zjawisko złożone, zależne od kilku warunków.

Ciecze ulatniają się tem prędzej, im wyższa jest ich temperatura, im większa powierzchnia parowania, wreszcie im mniej pary danej cieczy znajduje się w otoczeniu. Ruch powietrza, wiatr, dmuchanie sprzyjają ulatnianiu przez to tylko, że doprowadzają do schnącego ciała coraz to nowe ilości świeżego, suchego powietrza.

Rolnik wie dobrze o tem, że siano schnie tem lepiej, im powietrze jest suchsze i cieplejsze; w pogodny dzień rozruca je na łące albo rozpościera na rosochatych gałęziach. Wiatr pomaga mu skutecznie w suszeniu. Bieliznę suszymy najlepiej w ciepłych, przewiewnych miejscach; rozpościeramy ją, by zwiększyć powierzchnię ulatniania.

W technice używa się też często wysokich temperatur w celu suszenia. Rozgotowana papka ze szmat lub z tartego drewna, z której wyrabia się papier, jest wylewana cienką warstwą na gorące walce stalowe, na których wysycha. Z mleka z cukrem można też usunąć przez ogrzewanie dużo wody, póki nie pozostanie gęste t. zw. mleko skondensowane.

75. Para. Czy ciecze, ulatniając się, znikają naprawdę, czy też może istnieją nadal w zmienionej postaci, dla nas bezpośrednio niedostrzegalne?

Otwórzmy butelkę z benzyną, eterem lub terpentyną; nawet z odległości poznamy po zapachu zawartość butelki. Cząstki wonnej cieczy musiały poprzez powietrze dotrzeć do nas i podrażniły nasz zmysł powonienia. Ale wzrokiem ich nie odróżnimy — upodobniły się do powietrza. Ciecz przybrała postać lotną, nazywamy ją parą cieczy. Mówimy więc o p a r z e wodnej, p a r z e eteru, terpentyny i t. d.; zamiast „ciecz ulotniła się”, mówimy, że **wyparowała**. W butelkach zamkniętych z różnymi cieczami pomiędzy powierzchnią cieczy a korkiem gromadzi się para; nie dostrzegamy jej, lecz odkorkowawszy butelkę, poznajemy jej obecność po zapachu.

Wiemy, że para nawet nad wrzącą cieczą jest niedostrzegalna. Dopiero tam, gdzie ulatniająca się para styka się z zimnem powietrzem, pojawiają się kłęby mgły, złożone z mnóstwa niezmiernie drobnych kropelek wody. Niestusznie mówi się więc o „kłębach pary”, unoszącej się z imbryka lub z lokomotywy (ob. ryc. 21).

76. Para nasycona. Codzienne doświadczenie uczy nas, że ciecze ulatniają się, gdy stoją w otwartych naczyniach; w naczyniu zamkniętym ciecz może być utrzymana przez czas nieograniczenie długi. Stare wino w butelkach może przetrwać setki lat; w niedawno odkrytym gro-

bowcu jednego z faraonów egipskich znaleziono zamknięte naczynie, zawierające olej rycynowy; nie wysechł on w przeciągu kilku tysięcy lat!

Zatem w zamkniętej przestrzeni ciecz nie może ulatniać się bez ograniczenia. Poznamy to bliżej w następującem doświadczeniu.

Doświadczenie 3. Banieczkę z cienkiego szkła napelniamy eterem i wyciągnięty, cienki jej koniec zatopiamy lub zasklepiamy lakiem. Umieszczamy ją wraz z żelaznym ciężarkiem wewnątrz butelki. Butelkę zatykamy szczelnie korkiem gumowym; przez otwór w korku przechodzi wygięta rurka szklana z rtęcią (ryc. 92).

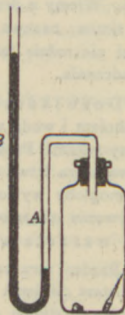
Rtęć w obu pionowych ramionach rurki znajduje się na tym samym poziomie.

Teraz wstrząsamy butelkę tak, by ciężarek rozbil banieczkę. Eter wylewa się na dno butelki i stopniowo ulega ulotnieniu. Jednocześnie rtęć zaczyna opadać w ramieniu A, a wznosić się w ramieniu B. Po kilkunastu minutach ruch rtęci ustaje: na dnie butelki pozostaje jeszcze ciekły eter, który już nie wysycha.

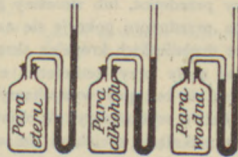
Póki banieczka była cała, powietrze zamknięte w butelce cisnęło na rtęć w rurce A z taką samą siłą, jak powietrze atmosferyczne na rtęć w rurce B. Gdy eter zaczął się ulatniać, powstająca z niego para też cisnęła na rtęć w A i wpełniła część jej do ramienia B¹. Im więcej pary tworzy się w butelce, tem większe jest wywierane przez nią ciśnienie. Wkońcu jednak ciśnienie przestaje wzrastać, ponieważ eter przestal parować: powietrze wypełniające butelkę zostało nasycone parą eteru. Tak samo powietrze w zamkniętych naczyniach, zawierających jakąkolwiek ciecz, jest nasycone parą danej cieczy. Czasem mówimy wprost, że to para stała się nasycona.

Jeśli wykonamy to samo doświadczenie z wodą, przekonamy się, że ciśnienie pary nasyconej eteru jest największe, bo przesuwą rtęć więcej niż o 30 cm, para alkoholu przesuwą rtęć tylko o kilka centymetrów, para wodna wywołuje ledwo dostrzegalne przesunięcie rtęci (ryc. 93).

Takie samo podniesienie się rtęci w ramieniu B można by wywołać, wdmuchując do butelki powietrze przez drugi otwór w korku.



Ryc. 92. Para eteru wywiera ciśnienie.



Ryc. 93. Pary różnych cieczy o tej samej temperaturze wywierają ciśnienia bardzo różniące się od siebie.

77. Od czego zależy ciśnienie pary nasyconej. Musi nas uderzyć fakt, że taka sama jest kolejność wymienionych cieczy, gdy chodzi o ich zdolność ulatniania się. Ciecz ulatnia się tem prędzej, im większe jest ciśnienie jej pary nasyconej. Wiemy z drugiej strony, że ciecie ogrzane ulatniają się łatwiej, niż zimne; nasuwa się więc przypuszczenie, czy ciśnienie pary nasyconej nie rośnie także i przy ogrzewaniu. Znow zapytamy o to doświadczenia.

Doświadczenie 4. Butelki z poprzedniego doświadczenia z alkoholem i wodą wstawiamy do naczyń z ogrzaną wodą lub ogrzewamy rękami. Para alkoholu ciśnię teraz o wiele silniej, a para wodna też wywiera łatwo dostrzegalne ciśnienie. Ogrzanie samego powietrza nie mogłoby wywołać tak znacznego przesunięcia rtęci. Nasze przewidywanie okazało się więc trafnem: ciśnienie pary nasyconej wzrasta z temperaturą.

Bardzo uważna obserwacja przekonałaby nas, że jednocześnie ze wzrostem ciśnienia ubywa cieczy w butelce; para ciśnię silniej dlatego przedewszystkiem, że zebrało jej się więcej w butelce. Im wyższa temperatura, tem więcej pary potrzeba do nasycaenia każdej jednostki objętości.

Mroźne powietrze zawiera przeto bardzo mało pary wodnej; przetnia ono przez szpary do mieszkań; z tego powodu w zimie powietrze w mieszkaniach bywa suche.

78. Skraplanie pary. Chuchnijmy na chłodny, metalowy, błyszczący przedmiot, lub wnieśmy go do izby, w której piora. Powierzchnia przedmiotu pokryje się natychmiast matową warstewką, złożoną, z drobnutkich kropelek skraplonej wody. Para z imbryka tworzy obłoki mgły przy zetknięciu z chłodnem powietrzem. Kłęby mgły tworzą się też, gdy wydychamy powietrze na mrozie.

Łatwo wytłumaczyć te objawy. Para nasycona ulega ochłodzeniu przez zetknięcie z ciałami zimnemi. Wskutek tego mniej pary może się pomieścić w przestrzeni przez nią zajętej; nadmiar skrapla się i bądź to osiada na chłodnych przedmiotach, bądź tworzy mgłę. Skraplanie pary nazywamy też kondensacją.

Chociaż w pokoju zamieszkanym powietrze jest zazwyczaj dalekie od nasycaenia parą wodną, to jednak w zimny dzień na szybach pokoju pojawiają się krople wody, a gdy otworzymy okno, w uchodzącym powietrzu powstają kłęby mgły. Wnosimy z tego, że nawet wtedy, gdy powietrze początkowo nie jest nasycone, może nastąpić skroplenie pary przy dostatecznie silnem ochłodzeniu. Obniżanie temperatury powoduje najpierw nasycaenie powietrza zawartą w niem parą, a dopiero

przy dalszem chłodzeniu pojawiają się kropelki skondensowanej cieczy. O skraplaniu się pary w przyrodzie, o tworzeniu się rosy, mgły, obłoków, deszczu pomówimy w rozdziale tej książki, poświęconym pogodzie.

Cwiczenie 56. Do dość długiej rurki zatopionej na jednym końcu wlewamy kroplę rtęci i lekko zatykamy wylot rurki korkiem z waty. Ogrzewamy rtęć, na chłodnych ściankach rurki pojawiają się blyszczące kropelki cieczy.

Pary wszelkich cieczy skraplają się, gdy zostaną odpowiednio ochłodzone.

79. Wrzenie wody. Cwiczenie 57. Do zlewki szklanej nalewamy wody, ustawiamy ją nad palnikiem, wstawiamy termometr i obserwujemy zachodzące w wodzie zjawiska.

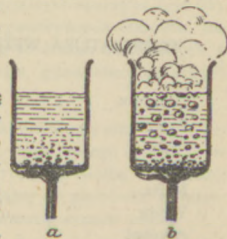
Tak pospolite zjawisko, jak gotowanie wody, nastęrcza przy obserwacji wiele ciekawych szczegółów. Z wody najpierw uchodzą pęcherzyki rozpuszczonego w niej powietrza. Gdy temperatura dolnej warstwy podniesie się dostatecznie, na dnie tworzą się inne już pęcherzyki.

Zrazu unoszą się niewysoko w górę i szybko zanikają (ryc. 94 a); towarzyszy temu charakterystyczny szum; zna go dobrze każdy, kto czekał na zagotowanie wody. Stopniowo pęcherzyki sięgają coraz wyżej, wkońcu dochodzą do powierzchni wody. Każdy pęcherzyk, mały, gdy odrywa się od dna, rośnie teraz w drodze ku powierzchni i tam pęka (ryc. 94 b); są to pęcherzyki pary wodnej.

Skraplają się one na każdym chłodniejszym przedmiocie. Cała ciecz burzy się i kotłuje; mówimy, że ciecz wrze albo gotuje się.

Rośnięcie pęcherzyków pary tłumaczy się tem, że drobny pęcherzyk, gdy oderwie się od dna, przechodzi przez wodę gorącą, która paruje na jego powierzchni i powiększa przez to objętość pary. Przemiana cieczy w parę przy wrzeniu odbywa się więc także i wewnątrz cieczy, w przeciwstawieniu do ulatniania się, przy którym ciecz paruje tylko na powierzchni.

Temperatura, która podczas ogrzewania nieustannie wzrastała, dochodzi przy wrzeniu do 100° i dalej już się nie podnosi. Podczas całego procesu wrzenia temperatura cieczy jest niezmienna. Wiemy już, że na tej własności wrzenia oparto wyznaczenie jednego z dwóch punktów stałych skali termometrycznej.



Ryc. 94. a) Wrzenie wody rozpoczynające się — b) Woda wrze.

Ćwiczenie 58. Do próbówki nalewamy niewielką ilość alkoholu i wkładamy do niej termometr; stawiamy próbówkę do naczynia z gorącą, dopiero co zagotowaną wodą. Do drugiej próbówki nalewamy eter, wstawiamy do wody o temperaturze 50°. Obserwujemy wrzenie obu cieczy i mierzymy temperaturę wrzenia.

Każda ciecz jest zdolna do wrzenia i ma właściwą sobie temperaturę wrzenia. Wiemy, jak wrze masło lub oliwa, nalana na gorącą patelnię. Z łatwością możemy doprowadzić do wrzenia rtęć. W tablicy XII są podane temperatury wrzenia różnych cieczy. Niektóre wrą poniżej 100°, natomiast różne metale wrą w temperaturze kilku tysięcy stopni. Ale spotykamy też ciała, wrzące w temperaturze niższej od zera, np. amonjak wrze w temperaturze — 34°. Łatwo zrozumieć, co to znaczy: w zwykłych warunkach amonjak jest gazem, ale chłodzony poniżej — 34°, staje się cieczą.

Tablica XII

TEMPERATURA WRZENIA (T) I CIEPŁO PAROWANIA (L)

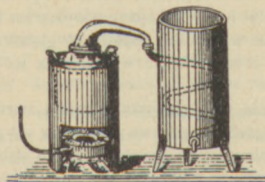
	T	L
Wolfram	4800	—
Zelazo	3000	—
Ołów	1525	5,5
Rtęć	356,7	68
Nafta	270	76
Woda	100	539
Alkohol	78,3	202
Eter	34,9	90
Amonjak	—34	320
Chlor	—34,5	67,5

80. Wrzenie roztworów. Poznaliśmy wpływ ciał rozpuszczonych na temperaturę zamarzania wody. Musimy się przekonać, czy wpływają one też na temperaturę wrzenia.

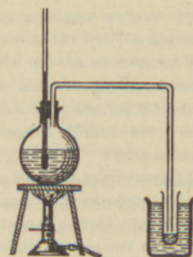
Ćwiczenie 59. Przygotowujemy roztwory soli kuchennej o różnym stężeniu i wyznaczamy ich temperatury wrzenia.

Roztwory soli i innych ciał rozpuszczalnych w wodzie wrą w temperaturach wyższych niż czysta woda. Im większe stężenie roztworu, tem wyższa temperatura wrzenia.

Wiemy, że gdy roztwór ulatnia się, albo wrze, paruje tylko sama woda. Po skropleniu pary, otrzymujemy czystą wodę, pozbawioną rozpuszczonych składników. Takie oczyszczenie nazywa się *dystylacją*,



Ryc. 95. Aparat do dystalowania wody.



Ryc. 96. Sposób oddzielenia alkoholu od wody.

a otrzymana ciecz — *cieczą dystalowaną*. Do otrzymania wody dystalowanej w większych ilościach używa się specjalnych aparatów (ryc. 95). Woda dystalowana jest używana do przygotowywania lekarstw, napełniania akumulatorów oraz przy różnych procesach chemicznych w pracowniach lub fabrykach — wszędzie tam, gdzie obecność obcych ciał rozpuszczonych byłaby szkodliwą.

Doświadczenie 5. Do małej kolbki nalewamy alkoholu, zmieszanego z wodą, zatykamy kolbkę korkiem, przez którego otwór przechodzi termometr i długa zagięta rurka (ryc. 96). Kolbkę wstawiamy do naczynia z wrzącą wodą, rurkę wpuszczamy do próbówki, zanurzonej w zimnej wodzie. Obserwujemy temperaturę wrzenia cieczy.

Temperatura wrzenia dwóch zmieszanych cieczy podnosi się stopniowo. Najpierw paruje ciecz o niższej temperaturze wrzenia (alkohol) i zbiera się w chłodnicy jako ciecz czysta. W miarę jak cieczy tej ubywa w kolbie, temperatura wrzenia mieszaniny podnosi się, a do pary dołącza się w coraz większej ilości para cieczy trudniej wrzącej (wody). Wkońcu pozostaje sam tylko drugi składnik (woda) i wrze już w normalnej temperaturze. Ten sposób oddzielania zmieszanych cieczy jest często używany w laboratorjach i w przemyśle chemicznym, np. przy wydobyciu benzyny z ropy naftowej przy wyrobie spirytusu i t. d.

Dla sprawdzenia punktu wrzenia termometru używamy wody zwykłej, nie dystalowanej, choć wiemy, że obecność w niej ciał rozpuszczonych może wpłynąć na temperaturę wrzenia. Powód wyjaśni następujące doświadczenie.

Ćwiczenie 60. W kolbce z wrzącym roztworem soli umieszczamy termometr tak, by bańka znajdowała się w parze. Obserwujemy wskazania termometru.

Trzymając bańkę termometru nie w wodzie, lecz w parze, otrzymujemy zawsze temperaturę 100°. Dzieje się tak dlatego, że bańka pokrywa się warstwą czystej, przedystalowanej wody, a ta w zetknięciu z parą przyjmuje normalną, niepodwyższoną temperaturę wrzenia.

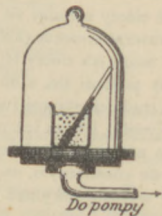
81. Wpływ ciśnienia na temperaturę wrzenia. Turyści podczas wycieczek w góry zwrócili uwagę na to, że woda niezawsze wrze w tej samej temperaturze: im większe wzniesienie, tem niższa temperatura wystarcza do zagotowania wody. Np. już w Zakopanem wystarcza 97°, na szczycie Świnnicy 92°; natomiast w szybach kopalni na głębokości 300 m woda wrze w temperaturze o cały stopień wyższej, niż na powierzchni ziemi.

Zastanawiając się nad przyczyną tego zjawiska, musimy zwrócić uwagę, że nad nizinami wznosi się grubsza warstwa powietrza, niż nad szczytami górskimi; powietrze ciśnie więc na wysokich górach słabiej, w dolinach mocniej, a jeszcze mocniej w głębokich szybach. (Ob. cz. III, rozdz. IV).

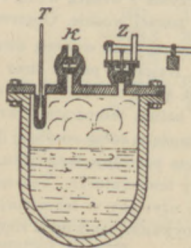
Budzi się przypuszczenie, że może to właśnie zmiana ciśnienia wywołuje zmianę temperatury wrzenia. Chcąc się o tem przekonać, wykonamy następujące:

Doświadczenie 6. Wstawiamy zlewkę z gorącą wodą pod kloz pomp powietrznej i rozrzedzamy pod klozsem powietrze (ryc. 97). Powietrze wywiera ciśnienie mniejsze. Rozrzedzając je odpowiednio, możemy doprowadzić wodę w zlewce do wrzenia. Pompując ciągle, można obniżyć temperaturę wrzenia wody do kilkunastu, a nawet kilku stopni.

Przypuszczenie nasze okazało się słusznem: w miarę zmniejszania się ciśnienia ciecze wrą przy coraz to niższej temperaturze.



Ryc. 97. Pod zmniejszaniem ciśnieniem temperatura wrzenia wody zmniejsza się



Ryc. 98. W kociołku Papin'a woda wrze pod wysokim ciśnieniem w temperaturze wyższej od 100°.

Zwiększanie się temperatury wrzenia przy rosnącym ciśnieniu można sprawdzić zapomocą t. zw. kociołka Papina, zbudowanego w końcu XVII w. przez francuskiego fizyka nazwiskiem PAPIN (czyt. Papę). Gdy ogrzewamy wodę w takim kociołku (ryc. 98), gromadzi się w nim

coraz więcej pary; wywiera ona rosnące wciąż ciśnienie na ścianki kotła i na umieszczony na nim wentyl (zawór) t. zw. zawór bezpieczeństwa Z. Gdy ciśnienie pary jest już w stanie unieść bełeczkę zaworu, para toruje sobie drogę i zaczyna uchodzić do atmosfery. Im silniej obciążamy bełeczkę, tem większe jest ciśnienie pary w kotle; jednocześnie termometr T wskazuje, że również tem większa jest temperatura wrzenia wody. Zapomocą kurka K można parę wypuszczać z kociołka.

W ten sposób można otrzymywać ciśnienie kilka, kilkadziesiąt, a nawet kilkaset razy większe od ciśnienia atmosfery. Kotły, które wytwarzają parę tak gorącą i o tak wielkiem ciśnieniu, muszą być odpowiednio mocno zbudowane.

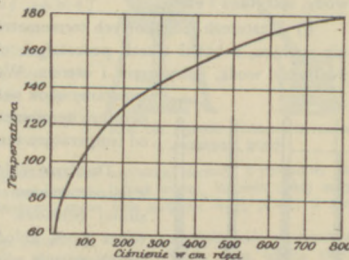
Rycina 99 pozwala odczytać, w jakiej temperaturze woda wrze pod danem ciśnieniem. Np. pod ciśnieniem przewyższającym dziesięciokrotnie ciśnienie atmosfery, temperatura wrzenia wody wynosi około 180°.

Wysokie ciśnienia pary są stosowane do poruszania maszyn i turbin parowych. Można je otrzymywać pod ciśnieniem wody o bardzo wysokiej temperaturze wyzyskano, by rozgotowywać przedmioty, które w zwykłej temperaturze rozgotować się nie dadzą, np. kości dla wydobycia z nich kleju, lub szmaty i rozrżnięte drewno do wyrobu papieru.

W stosunkowo niskich temperaturach, w jakich woda wrze na wysokich górach, nawet mięso ugotować się nie daje.

Jeśli w różnych miejscach ziemi panują różne ciśnienia, to i temperatura wrzenia wody jest w nich różna. Którą więc z nich mamy przyjąć za punkt stały termometru? Ponieważ na poziomie morza ciśnienie powietrza jest wszędzie jednakowe, umówiono się oznaczyć przez 100° temperaturę wrzenia wody, jaką obserwujemy na tym poziomie. Bliżej o tem w części III tej książki.

82. Ciepło parowania. Przypomnijmy sobie szereg faktów, znanych z życia codziennego. Zwilżywszy skórę albo ubranie wodą, doznajemy uczucia chłodu; jeśli nawet woda jest gorąca, to tylko z początku odczuwamy ciepło, a niebawem doznajemy wyraźnego uczucia ziębienia. Po polaniu ulic wodą w upalny dzień, powietrze staje się chłodniejsze.



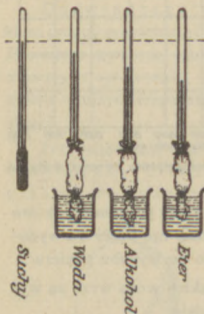
Ryc. 99. Zależność temperatury wrzenia wody od

Nad rzeką lub stawem jest chłodniej, niż w polu, zdaleka od wody. Woda w glinianem, otwartem naczyniu porowatym pozostaje chłodną nawet w czasie upału, jak wiedza o tem kosiarze i żeńcy, pracujący w polu.

Mówimy często, że „woda chłodzi”. Ale oto nakładamy choremu okład — zwilżoną szmatkę, którą nakrywamy ceratką, chusteczka jest wilgotna i ciepła. Woda, która nie może swobodnie wyparować, nie działa bynajmniej chłodząco. Nawet duże ilości wody w zamkniętych beczkach nie obniżają temperatury, póki nie rozlejemy wody i nie pozwolimy jej ulatniać się swobodnie.

Cwiczenie 61. a) Nalewamy kolejno na dłoń po kilka kropel wody, spirytusu i eteru.

b) Z czterech jednakowych termometrów jeden zawieszamy w stanie suchym, a bańki trzech pozostałych obwijamy kawałkami gazy i zwilżamy wodą, spirytusem i eterem. Wszystkie cztery termometry wieszamy obok siebie i obserwujemy, o ile temperatura termometrów wilgotnych jest niższa od temperatury termometru suchego (ryc. 100).



Ryc. 100. Szybko parujące ciecze silnie chłodzą bańkę termometru.

nadmiar ciepła przez wywieszanie zawsze wilgotnego języka; szybki oddech (zianie) przyspiesza parowanie i oddawanie ciepła.

Skierujmy strumień pary z wrzącej wody na bańkę termometru — bańka pokrywa się kropelkami wody, a temperatura wzrasta bardzo szybko. Podobnie jak przy topnieniu, ciepło z użyte na wyparowanie cieczy, jest zwracane przy skraplaniu się pary.

Oddawanie ciepła przy skraplaniu możemy wyznaczyć w celu wyznaczenia ciepła parowania, t. j. tej ilości ciepła, która jest

Działanie chłodzące cieczy jest związane z jej parowaniem: im prędzej ciecz paruje, tem silniej ochładza. W lecie chętnie zwilżamy twarz wodą kolońską. Bardzo lotnego eteru używamy gdy chodzi o szybkie i silne chłodzenie.

Ciecze, parując, pochłaniają ciepło z otoczenia. Dlatego to woda wrząca, choć ustawicznie otrzymuje ciepło z paleniska, nie podnosi swej temperatury; całe dostarczone jej ciepło zostaje zużyte na wyparowanie.

Przykładem chłodzenia przez parowanie jest pocenie się. Gdy temperatura ciała zbytnio się podnosi (w upały, przy gorączce, podczas pracy fizycznej), gruczoły potowe wydzielają wodnistą ciecz; parowanie jej obniża temperaturę skóry. Psy, które się nie pocią, oddają

potrzebna do zamiany 1 grama cieczy w parę (ryc. 101). Para, wpuszczona do zimnego kalorymetru, skrapla się w nim i ogrzewa zawartą w nim wodę. Tym sposobem można obliczyć, ile kaloryj ciepła oddała skraplająca się para. Dokładne pomiary wykazały, że każdy gram pary w temperaturze 100° skraplając się w wodę o tej samej temperaturze, oddaje 539 kaloryj. Tyleż samo ciepła należy doprowadzić do każdego grama wody w 100°, by ją przemienić w parę o tej samej temperaturze.

Oparzenie parą jest dlatego tak ciężkie i bolesne, że skóra pobiera nie tylko ciepło, oddawane przy stygnięciu, ale i ogromną ilość ciepła, wydzielanego przy skraplaniu pary.



Ryc. 101. Sposób wyznaczenia ciepła parowania wody.

83. *Skraplanie gazów.* Wodę, alkohol, eter nazywamy cieczami, a powietrze, gaz świetlny, dwutlenek węgla — ciałami lotnymi. Jednak wiemy, że ciała ciekłe mogą istnieć w stanie lotnym; czy, naodwrot, znane nam gazy nie mogą przejść w stan ciekły?

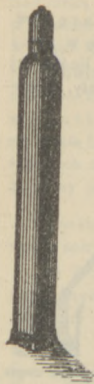
Wyobraźmy sobie, że istnieje planeta, na której panowałaby stałe temperatura, nie opadająca nigdy poniżej 100°, a ciśnienie atmosfery byłoby takie, jak na ziemi. Na takiej planecie ani woda, ani alkohol, ani eter nie mogłyby istnieć jako ciecze, lecz ulotniłyby się jako pary w tamtejszej atmosferze. Gdyby na takiej planecie możliwym było życie i gdyby znaleźli się tam mieszkańcy, obdarzeni inteligencją podobną do naszej, uważaliby niewątpliwie wodę za ciało lotne.

Gdyby chcieli zapoznać się z ciekłą wodą, wiemy, co byśmy im doradzili. Musieliby oni albo wytworzyć sztucznie temperaturę niższą od 100°, albo też poddać parę ciśnieniu tak wysokiemu, by temperatura jej wrzenia stała się wyższą od temperatury otoczenia. W obu wypadkach mieszkańcy tej planety otrzymaliby nową dla siebie cieć: ciekłą wodę. Mogliby też użyć obu sposobów jednocześnie, t. j. ścisnąć ochłodzoną parę.

Takich właśnie sposobów używali ludzie na ziemi, chcąc się przekonać, czy ciała, znane im jako gazy, dają się skroplić. Największe zasługi położył tu genjalny angielski badacz-samouk, Michał FARADAY, któremu w pierwszej połowie XIX wieku udało się skroplić szereg gazów: chlor, amonjak, dwutlenek węgla, dwutlenek siarki i wiele innych. Jednakże niektóre gazy, między nimi i powietrze, opierały się wszelkim próbom skroplenia. Dziś wiemy, że dla każdego gazu istnieje pewna temperatura, powyżej której nie można go skroplić pod żadnym ciśnieniem. Ta temperatura dla powietrza jest tak niska (−141°), że w owych czasach nie umiano jej jeszcze osiągnąć. Dopiero w roku 1883 dwaj profesorowie uniwersytetu Jagiellońskiego, Zygmunt WRÓBLEWSKI i Karol OLSZEWSKI, przezwyciężyli ogromne trudności i otrzymali po raz pierwszy ciekłe powietrze w takiej ilości, że mogli zbadać jego własności.

Jest to cieć bezbarwna, ruchliwa, prędko ulatniająca się. Wrze w bardzo niskiej temperaturze −191°; pod niskim ciśnieniem można temperaturę wrzenia powietrza doprowadzić do dwustu kilkunastu stopni poniżej zera.

Tak niskie temperatury obrócono na skroplenie innych jeszcze gazów (wodoru, helu) i dziś nie znamy ani jednego gazu, którego nie umianoby skroplić.



Ryc. 102.
Butla stalowa
ze sprężonym
tlenem.

Pomiędzy gazami a parami niema zasadniczej różnicy. Przywykliśmy nazywać gazami takie ciała lotne, które trzeba silnie oziębic, by móc osiągnąć ich skroplenie.

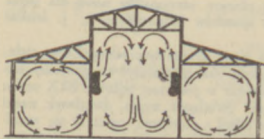
Dziś ciekłe powietrze otrzymuje się drogą fabryczną w wielkich ilościach. Przechowywa się je w naczyniach Dewara (obacz ust. 41). Używa się go do produkowania bardzo niskich temperatur oraz do otrzymywania tlenu. Z dwóch składników skroplonego powietrza azot jest bardziej lotny, gdyż ma niższą temperaturę wrzenia, to też paruje szybciej od tlenu. Powietrze ciekłe, które pierwotnie zawiera $4/5$ azotu, staje się przez to coraz uboższe w azot, a bogatsze w tlen; wkońcu pozostaje prawie sam tlen, podobnie jak przy gotowaniu mieszaniny alkoholu z wodą pozostaje wkońcu prawie sama woda.

Tlen jest następnie ładowany w mocne żelazne butle, w których staje się znów gazem, ale pod bardzo wysokim ciśnieniem (ryc. 102); znajduje on ważne zastosowanie w płomieniu acetylenowym (obacz ust. 21).

84. Ogrzewanie centralne parą. Najbardziej rozpowszechnionem zastosowaniem ciepła, wydzielanego przy skraplaniu, jest ogrzewanie centralne zapomocą pary wodnej. Woda zostaje w kotle doprowadzona do wrzenia; powstawanie pary pochłania ciepło, dostarczane przez palenisko. Para wędruje rurami do radiatorów i tu skrapla się, oddając ciepło parowania. Tem ciepłem ogrzewają się radiatorzy, a od nich powietrze. Skroplona woda powraca innemi rurami do kotła.

Pary używa się do ogrzewania wielkich pomieszczeń, biur, kościołów, gmachów szkolnych lub też tam, gdzie już są kotły, wytwarzające parę, a więc w fabrykach, pociągach kolei żelaznych i t. p.

W ostatnich latach wchodzi w użycie system ogrzewania, w którym para ogrzewa żelazne grzejniki, umieszczone dość wysoko w środku budynku (ryc. 103); od nich ogrzewa się powietrze i powstają prądy konwekcyjne, rozprowadzające ciepło powietrze po całym pomieszczeniu.



Ryc. 103. Ogrzewanie dużych pomieszczeń parą wodną.

85. Chłodziarki. Oddawanie ciepła przy skraplaniu wykorzystujemy do ogrzewania, natomiast pochłanianie ciepła przy parowaniu stosujemy do chłodzenia. Chłodziarstwo odgrywa dziś tak ważną rolę w życiu gospodarzem, że niepodobna pominąć tego zagadnienia.

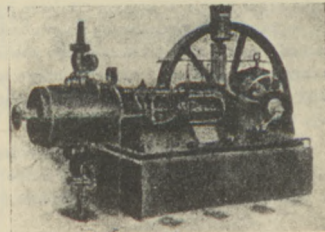
Do celów chłodziarskich najlepiej nadaje się amoniak, wrzący pod normalnym ciśnieniem w temperaturze -34° ; pochłania on przytem około 320 kaloryj wielkich na kilogram tworzącej się pary (porównaj

tabl. XII), jednak już pod ciśnieniem $4\frac{1}{2}$ razy większem od ciśnienia atmosfery temperatura wrzenia podnosi się do zera, a przy ciśnieniu dziesięciokrotnie większem — do 24° .

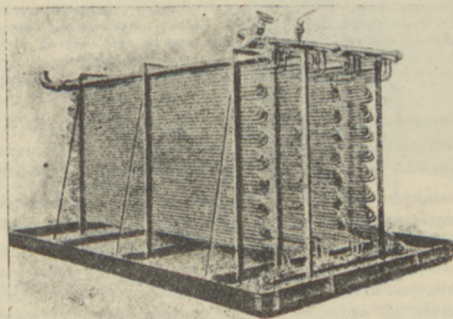
Amoniak daje się więc bez trudu skroplić, gdy zostanie odpowiednio sprężony. Wydziela przytem dużą ilość ciepła, którą należy usunąć przez chłodzenie zimną wodą. W stosunkowo

wysokiej temperaturze amoniak utrzymuje się w stanie ciekłym tylko dzięki wysokiemu ciśnieniu; gdy to zmniejszy się, ciecz paruje, pochłaniając przytem duże ilości ciepła ze swego otoczenia, ochładzając je przez to silnie. Ulatniający się amoniak może być znów poddany ciśnieniu i skroplony; odbywa więc t. zw. obieg chłodziarski, który może być powtarzany nieograniczoną liczbę razy.

Techniczne wykonanie takich obiegów wymaga specjalnych maszyn; zespół ich nosi nazwę chłodziarki. Do sprężania amoniaku służą sprężarki, t. j. pompy sprężające gaz, a poruszane przez maszyny parowe lub silniki elektryczne (ryc. 104). Skraplanie odbywa się w skraplaczu: jest to układ rur, przez które przepływa sprężony amoniak, chłodzony prądem zimnej wody (ryc. 105). Skroplony w amoniak prze-



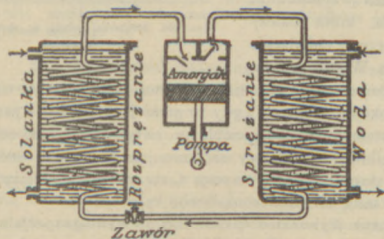
Ryc. 104. Sprężarka, pompa do sprężania lotnego amoniaku.



Ryc. 105. W takim układzie rur amoniak zostaje skroplony pod wysokim ciśnieniem.

chodzi przez zawór, w którym ciśnienie jego ulega nagłemu zmniejszeniu; wskutek tego ciecz ulatnia się gwałtownie. Potrzebne do tego ciepło amonjak czerpie albo z otaczającego powietrza, albo z solanki t. j. mocnego roztworu soli, pomieszczonego w obszernym naczyniu. Oziębiona solanka zostaje doprowadzona systemem rur do miejsc, które mają być ochłodzone.

Ryc. 106 wskazuje schematycznie obieg amonjaku. Zamiast zaworu umieszcza się czasem drugą pompę, która wypompowuje pary amonjaku, zmniejsza tem ciśnienie i wywołuje gwałtowne parowanie cieczy.



Ryc. 106. Schemat obiegu amonjaku w chłodzarni. Ciepło przy rozprężaniu jest odbierane solance, a przy sprężaniu oddawane wodzie. Obieg wymaga pracy, potrzebnej do poruszania pompy (sprężarki).

Gdy rozpatrujemy działanie chłodzarki, nasuwa się jedna bardzo ważna uwaga. By osiągnąć i podtrzymać różnicę temperatur pomiędzy chłodzonym przedmiotem, a otoczeniem, trzeba pędzić pompy silnikami. Różnicy temperatur nie otrzymuje się, ani nie utrzymuje zadatkiem. Wiemy, że same przez się ciała dążą do wyrównania temperatur. Za przebieg, idący wbrew tendencjom przyrody, trzeba czemś zapłacić; w naszym wypadku odbywa się to za cenę pracy silnika.

86. Chłodnictwo. Przez chłodnictwo rozumiemy cały, dziś już szeroko rozwinięty dział techniki, obejmujący sposoby wytwarzania i utrzymania niskich temperatur dla celów technicznych i gospodarczych.

Najważniejsze zastosowanie chłodnictwa polega na konserwowaniu środków żywności, np. mięsa, ryb, jaj, mleka. Te produkty w zwykłej temperaturze ulegają zepsuciu pod działaniem mnożących się w nich bakterij. Niska temperatura hamuje rozwój bakterij i przez to zapobiega gniciu. Jest to lepszy sposób konserwowania żywności, niż gotowanie, solenie lub wędzenie, gdyż nie zmienia smaku pożywienia ani jego wartości odżywczych. Produkty chłodzone do temperatury około 0°, mogą być przetrzymywane przez kilka dni; zamrażane do tempera-

tury kilkunastu stopni poniżej zera, utrzymują się bez zepsucia w ciągu kilku miesięcy, a nawet lat.

Mieszkańcy miast, okręgów przemysłowych, a nawet całych wysoce uprzemysłowionych państw, są dziś zmuszeni do zaopatrywania



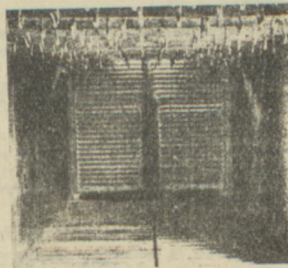
Ryc. 107. Mapa, wyobrażająca rozmieszczenie chłodziń w Polsce.



Ryc. 110. Mapa Polski, wyobrażająca produkcję trzody chlewnej w poszczególnych województwach. Każda kropka odpowiada 25 000 sztuk.

się w żywność, sprowadzaną z miejscowości lub krajów rolniczych, często bardzo odległych. Od chwili wytworzenia towaru aż do chwili jego spożycia upływa tyle czasu, że bez chłodzenia uległby on zepsuciu. Chłodnictwo umożliwia wymianę psujących się towarów na ogromne nawet odległości. Pozwala nadto przechowywać przez dłuższy czas produkty t. zw. sezonowe, czyli wytwarzane w pewnej porze roku (np. ogrodnictwo, jaja) dla spożycia w innej porze.

Nowoczesny handel produktami spożywczymi wymaga zorganizowania całego łańcucha urządzeń chłodniczych, tak by towar był nieustannie chłodzony od chwili wyprodukowania aż do chwili dostania się do rąk konsumenta. Pierwsze ogniwa tego łańcucha muszą być rozsiane po całym kraju; są to albo zwykłe lodownie, albo chłodzarki maszynowe. Ryc. 107 wskazuje nam rozmieszczenie chłodziarek w Polsce.

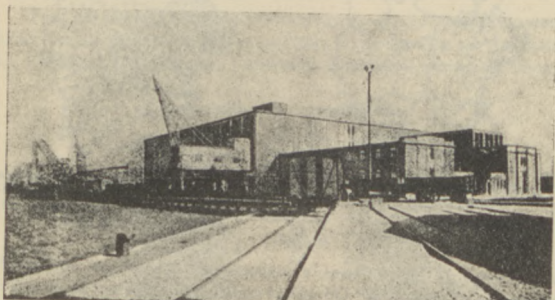


Ryc. 108. Wnętrze wagonu-łodowni. Polska ma około 300 takich wagonów.

Drugie ogniwo — to odpowiednio urządzone środki transportu: wagony-łodownie (ryc. 108), wagony-chłodziń, oraz statki i okręty, zaopatrzone w maszyny chłodnicze. Środkami temi odbywa się dowóz produktów do wielkich magazynów-chłodziń, gdzie przechowywane są aż do chwili wysłania w dalszą drogę do miejsca

przeznaczenia. Polska posiada wielką chłodnię w Gdyni (ryc. 109), obsługującą wymianę środków żywności z krajami, położonymi za morzem.

Przyjrzyjmy się jeszcze mapce na ryc. 107 i porównajmy ją z mapką na ryc. 110, przedstawiającą graficznie produkcję trzody chlewnej w Polsce. Z porównania tego widać, że w województwach zachodnich, gdzie istnieje gęsta sieć chłodni, ułatwiających przechowywanie mięsa na eksport, produkcja trzody chlewnej, obliczona na 1 ha uprawnej ziemi, jest prawie trzy razy większa, niż w województwach wschodnich. Świadczy to wymownie, jak urządzenia chłodnicze sprzyjają racjonalnej gospodarce żywnościowej.



Ryc. 109. Widok chłodni portowej w Gdyni. Można w niej przechowywać jednocześnie 7000 ton produktów. Chłodziarki pochłaniają w niej około miliona wielkich kalorii na godzinę.

Pod tym względem stoimy daleko za innymi krajami rolniczymi. W Polsce na milion mieszkańców przypada zaledwie 9 urządzeń chłodniczych, gdy w Niemczech — 89, w Stanach Zjednoczonych — 183, a w Danii — 294. Danja produkuje też, w stosunku do swego obszaru, siedem razy więcej trzody chlewnej, niż Polska. Niedostateczny rozwój chłodnictwa jest jednym z najważniejszych powodów, które utrudniają Polsce konkurencję z duńską produkcją mięsa, masła i sera na rynkach Anglii i Niemiec.

Prócz konserwowania żywności, chłodnictwo jest stosowane w przemyśle chemicznym i żywnościowym, głównie w piwowarstwie. Chłodziarki są też używane do produkcji sztucznego lodu (ob. ust. 73), który wyrabia się z wody dystylowanej przez zamrażanie jej w formach blaszanych; formy umieszcza się w solance, chłodzonej maszyną chłodniczą.

Pytania.

- 1) Jakie są dodatnie i ujemne strony suszenia bielizny na wolnym powietrzu i na poddaszu?
- 2) W dwóch pokojach o jednakowej temperaturze otwarto okna podczas mrozu. W jednym oknie utworzyła się mgła gęstsza niż w drugim. Czemu to można przypisać?
- 3) Wykonaj następujące doświadczenie. Do kolby szklanej z okrągłym dnem nalej niewielką ilość wody i gotuj ją przez kilka minut na silnym płomieniu; natychmiast po zestawieniu kolby z nad palnika zatkaj szyjkę korkiem gumowym z przetkniętą szklaną zatyczką. Odwróć

kolbę dnem do góry i polewaj zimną wodą (ryc. 111): woda w kolbie wrze, za każdym polaniem wrzenie wznawia się. Po dłuższym polewaniu wyjmij zatyczkę; słychać wtedy świst wpadającego do kolby powietrza. Zmierzona temperatura wody wynosi 20 do 30°.

Objasnij te zjawiska.

4) Jaka istnieje zależność pomiędzy temperaturą wrzenia różnych cieczy, a prędkością ich ulatniania się?

5) Oblicz koszt wytworzenia kilograma pary wodnej w kotle parowym, w którym 85% wytworzonego w palenisku ciepła zostaje pożytecznie zużytkowane. Cena węgla wynosi 5½ gr. za kilogram.

6) Ile pary wodnej musi się skroplić w radiatorach, by ogrzać o 5° salę fabryczną o wymiarach 10×18 m, o wysokości 5 m, otoczoną murem ceglany grubości 30 cm. Ciepło właściwe muru wynosi 0,2, na ogrzanie 1 m³ powietrza o 1° potrzeba 0,3 wielkich kaloryj (ciepło potrzebne do ogrzania podłogi i pułapu pomijamy).

7) Jakimi sposobami można parę nasyconą przetworzyć w nienasyconą?

8) Jeśli przepuszczać prąd powietrza przez eter, umieszczony w probówce to można zamrozić wodę naokoło próbówki (ryc. 112). Ile lodu możnaby utworzyć z wody o temperaturze 20°, wyparowując 10 g eteru, gdyby całe ciepło parowania było pobierane od wody?

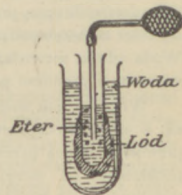
9) Ile ciepła potrzeba, aby 1 g lodu o temperaturze 0° przeprowadzić w parę o temperaturze 100°?

10) Termometr z bańką, zwilżaną wodą (jak na ryc. 100), jest używany do mierzenia stopnia wilgotności powietrza (jako higrometr). Wy tłumacz, na jakiej zasadzie?

11) Gotujemy słaby roztwór soli kuchennej. Czy temperatura wrzącej cieczy pozostanie niezmienna?



Ryc. 111.



Ryc. 112.

Rozdział VII

WŁASNOŚCI CIEPLNE WODY I ICH ZNACZENIE DLA ŻYCIA NA ZIEMI

87. Woda w życiu człowieka. Oceany, morza i jeziora pokrywają blisko ¾ całej powierzchni ziemi. Pozostała część, zajęta przez ląd stały, jest zwilżana deszczami, mniej lub więcej nasiąknięta wodą, a duże jej obszary albo stałe, albo przynajmniej przez część roku są pokryte warstwą wody zakrzepłej: skorupą lodową lub śniegiem.

Woda gra zatem ogromną rolę w zjawiskach, zachodzących na powierzchni ziemi; szczególnie wydatny jest jej wpływ na temperaturę

powietrza oraz na jego wilgotność. A od temperatury i wilgotności zależy klimat, a od klimatu — życie człowieka, jego sposób bytowania, jego kultura i jego dzieje. To, że ogniska kultury tworzyły się w klimacie umiarkowanym, wystarczająco wilgotnym, nad brzegami mórz lub wielkich rzek, wskazuje na niezwykle wielką rolę, jaką w życiu ludzkości odgrywa woda (ob. także ust. 100).

Musimy zdać sobie sprawę, w jaki sposób obfitość lub skąpy przydział wody wpływają na warunki klimatyczne.

88. W jaki sposób ogrzewa się powierzchnia ziemi? Ląd stały, czy morze, ośnieżone pole, czy piaszczysta pustynia, las, czy łąka — otrzymują jednakowe ilości promieniowania słonecznego. Lecz ich zachowanie względem tego promieniowania nie jest jednakowe. Wprawdzie wszystkie spotykane w przyrodzie rodzaje powierzchni odbijają i rozpraszają część promieniowania; wprawdzie wszystkie pochłaniają część nieodbita i przetwarzają ją na ciepło — lecz zarówno sposób pochłaniania, jak i wielkość pochłoniętej części są bardzo różne. Rozpatrzmy dwa krańcowe wypadki: skalisty lub piaszczysty ląd i wodę.

Piasek, oświetlony słońcem, wydaje się nam jasnym, a głęboka woda jest zawsze ciemna, prawie czarna. Piasek odbija znaczną część promieni, które na niego padają, a tylko resztę pochłania i przetwarza na ciepło. Woda odbija niewiele, natomiast znaczną część padających na jej powierzchnię promieni przenika w jej głąb.

Widzimy, jak wielka różnica zachodzi pomiędzy przezroczystą wodą, a nieprzezroczystym piaskiem, skalą, glebą i t. p. W tych ciałach promienie słońca przenikają tylko na bardzo małą głębokość; są one pochłaniane na samej niemal powierzchni, więc też tylko cieniutka warstewka jest przez nie bezpośrednio ogrzewana. Wskutek małego przewodnictwa ciepła powoli tylko przenika w głąb tych ciał. Ogrzewają się one wprawdzie w dzień do wysokiej temperatury, ale wskutek tego właśnie silnie stygną w nocy, gdy słońce ich nie ogrzewa, wypromieniowując swe ciepło w otaczające chłodne powietrze.

Inaczej woda. Wiemy wprawdzie, że jest ona przezroczysta, to znaczy, że słabo pochłania przenikające do niej promienie. Tak jest istotnie, póki mamy do czynienia z cienkimi warstwami. Nie dostrzegamy co prawda, by światło, padające na ściankę wody, przechodziło przez nią osłabione, ale wystarczy w kąpielni zanurzyć głowę na metr, czy kilka metrów pod powierzchnię wody, by spostrzec, że światło jest przecięzione i to tem bardziej, im głębiej się znajdujemy. Widocznie przezroczystość wody nie jest zupełna; każda jej warstewka pochłania niewielką tylko część promieniowania, ale po przebieżeniu grubej war-

stwy osłabienie jest już znaczne. Na głębokości 1000 m w morzu panuje zupełna ciemność. Woda pochłania więc i zamienia stopniowo na ciepło całe to promieniowanie, którego nie odbija jej powierzchnia. Ląd stały pochłania o wiele mniej, gdyż znaczną część promieniowania odbija. Wskutek tego nad wielkimi zbiornikami wody powinna panować wyższa temperatura, niż nad łąkami na tej samej szerokości geograficznej, choć, z drugiej strony, parowanie wody obniża tę temperaturę.

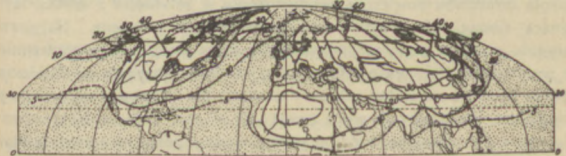


Ryc. 113. Linje, łączące miejscowości Eurazji i Ameryki Północnej o jednakowej średniej temperaturze rocznej (izotermie roczne).

Ze tak jest, wskazuje to załączona mapa (ryc. 113), na której widzimy przebieg t. zw. **izoterm**, t. j. linii, łączących punkty powierzchni półkuli północnej, które mają jednakową temperaturę średnią.

Liczby, umieszczone przy tych liniach, wskazują wysokość tej temperatury. Łatwo sprawdzić, że izoterm nad oceanami oddalają się od równika, sięgając do większych szerokości geograficznych, niż nad łąkami. Na tej samej szerokości geograficznej temperatura średnia jest więc wyższa na oceanach niż na łądzie stałym.

89. **Klimat kontynentalny i morski.** O charakterze klimatu mówią uietyle średnia temperatura, obliczona dla pewnej miejscowości, ile raczej jej mniejsza lub większa zmienność. Charakterystyczną dla danego klimatu jest t. zw. **amplituda roczna temperatur**, czyli różnica pomiędzy średnią temperaturą najzimniejszego i najcieplejszego miesiąca roku. Przyjrzyjmy się mapce na ryc. 114; nakreślone na niej linie łączą miejscowości, w których amplitudy roczne są jednakowe. Widać, że największe wartości tych amplitud występują w centralnych częściach



Ryc. 114. Linje, łączące miejscowości półkuli północnej o jednakowej różnicy pomiędzy temperaturą średnią najcieplejszego i najzimniejszego miesiąca (o jednakowej amplitudzie rocznej).

wielkich kontynentów, a najmniejsze — nad oceanami. Najmniejszą amplitudę w Eurazji obserwowano w irlandzkim mieście Valentia, a najwyższą w Wierchojańsku na Syberji (zajmij te miejscowości na mapie). Pierwsza wartość wynosi 9°, a druga przeszło 66°. Bliskość morza łagodzi więc klimat, zmniejszając różnice pomiędzy najwyższymi i najniższymi temperaturami. Przyczyny tego leżą w następujących różnicach pomiędzy wodą a lądem stałym:

a) Słońce ogrzewa tylko cienką powierzchniową warstwę lądu, natomiast woda gromadzi ciepło w grubej, kilkumetrowej warstwie. Stygnięcie też ogranicza się do cienkiej warstwy lądu, natomiast sięga daleko w głąb wody.

b) Ciepło właściwe wody, jak widać z tablicy VII, jest znacznie większe od ciepła właściwego ciał, występujących na powierzchni lądów stałych (granitu, wapienia, piaskowca).

Obie te przyczyny sprawiają, że pojemność cieplna ogrzewanej warstwy jest o wiele większa w wodzie, niż na lądzie; te same ilości ciepła pobieranego lub traconego wywołują więc w wodzie znacznie mniejsze zmiany temperatury.

c) Gdy morze jest pokryte częściowo lodem, ciepło dostarczane wywołuje topnienie, ale nie zmienia temperatury. Tak samo oddawanie ciepła nie wpływa wówczas na temperaturę, lecz tylko zwiększa ilość lodu.

Te przyczyny tłumaczą nam różnice wahań temperatury w pobliżu i zdalek od wielkich zbiorników wody.

90. Wpływ nienormalnej rozszerzalności wody na życie w wodzie. Wiemy, że woda tem różni się od innych ciał, że przy ogrzewaniu od 0° do 4° kurczy się zamiast rozszerzać. Pociąga to bardzo doniosłe skutki dla życia w zbiornikach wody w porze zimowej.

Woda w stawie lub jeziorze stygnie i zamarza na skutek oddawania ciepła mroźnemu powietrzu, ochłodzonemu w zetknięciu z szybko stygnącą ziemią, lub przywianemu przez wiatry północne. Najpierw stygnie warstwa powierzchniowa wody która styka się bezpośrednio z powietrzem. Póki temperatura wody jest jeszcze wyższa od 4°, zimna górna warstwa ma ciężar właściwy większy, niż leżące pod nią warstwy cieplejsze. Wskutek tego woda zimna „tonie” w wodzie cieplej i powstają prądy konwekcyjne, które mieszają wodę i przez to sprzyjają stygnięciu całego zbiornika. Przewodnictwo cieplne wody jest bardzo małe, więc w procesie stygnięcia zbiorników wody prądom unoszenia przypada najważniejsza rola.

Warunki zmieniają się, gdy woda w zbiorniku ochłodzi się już do 4°. Jeśli teraz temperatura warstwy górnej opadnie jeszcze niżej, to jej ciężar właściwy zmniejszy się; woda chłodniejsza będzie pływała po powierzchni wody cieplejszej, ale cięższej (patrz ćwiczenie 14). Teraz ustają prądy, wyrównujące temperaturę. Woda układa się warstwami: na dnie zbiera się woda o 4°, jako najcięższa, wyżej idą warstwy coraz to zimniejsze i lżejsze. Nic się nie zmienia nawet wtedy, gdy wskutek dalszego chłodzenia górna warstwa, oziębła do 0° i zacznie zamarzać. Tworzy się wtedy lód, ale ten jest lżejszy od wody i pływa po jej powierzchni. Przewodzi on wprawdzie ciepło lepiej od wody, ale zato nie tworzą się w nim prądy unoszenia. Jego obecność nie wpływa na rozkład temperatury w głębszych warstwach.

Załączona tablica zawiera temperatury wody, mierzone na różnych głębokościach w jednym z jezior Gostyńskich (pomiędzy Gostyninem, Płockiem i Włocławkiem) w zimie, gdy jezioro było pokryte lodem:

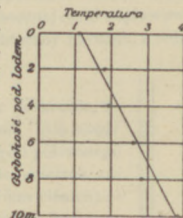
Głębokość:	pod lodem	2 m	4 m	6 m	8 m	10 m	
Temperatura:		1,1	1,8	1,9	2,6	2,8	3,8

Oczywiście przy takim uwarunkowaniu w wodzie niema prądów konwekcyjnych, a wymiana ciepła odbywa się wyłącznie drogą słabego przewodzenia przez lód i wodę. Wymiana ciepła jest tak mała, że nawet w ostre zimy warstwa utworzonego lodu nie przekracza zazwyczaj kilkudziesięciu centymetrów. Właściwości cieplne wody chronią więc jej zbiorniki od zupełnego wymarznienia.

Ma to ważne znaczenie dla przebywających w wodzie ryb i zwierząt ziemnowodnych, gdyż mogą one przepędzić zimę w temperaturze wyższej od zera. Powietrze, rozpuszczające się obficie w zimnej wodzie (szczególnie tlen), daje możliwość oddychania zwierzętom, zaopatrzonemu w skrzel.

Pytania.

- 1) Wymień obszary lądów, niezamieszkałe przez człowieka, oraz te, w których człowiek utrzymuje się tylko z wielkim trudem. Jakie są tego przyczyny?
- 2) Jakie zaszły z historii wielkie ogniska cywilizacji? Co możesz powiedzieć o ich położeniu względem wielkich zbiorników wody (mórz i rzek)?
- 3) Dlaczego w dzień jest ciepło, a w nocy chłodno? W jakich okolicach różnica temperatury dziennej i nocnej jest mała, a w jakich duża?



Ryc. 115. Rozkład temperatury wody w zamarniętym jeziorze w zależności od głębokości.

4) W lecie również tworzą się w jeziorach warstwy wody o różnej temperaturze, jak to mówią wyniki pomiaru w jednym z jezior:

Głębokość	0	2 m	4 m	6 m	10 m	13 m
Temperatura:	18,5	17,5	11,7	9,6	8,6	7,7

Wytlumacz, jak mogło powstać takie uwarstwienie?

5) Jaki wpływ na warunki klimatyczne wywiera duża wartość ciepła topnienia lodu?

Część III

NAUKA O CIECZACH I GAZACH

Rozdział I

RÓWNOWAGA CIECZY

91. Naczynia połączone. Uprzytomnijmy sobie, w jaki to sposób czerpiemy wodę np. z czajnika lub wodociągu.

Oto przechylamy czajnik... POCO? W jakim celu? Czy zastanawiałeś się kiedy nad tem?

Zanalizujmy przynajmniej pobieżnie to zjawisko: Czajnik składa się z obszernego zbiornika i połączonej z nim bocznej rurki odpływowej. Przechylając czajnik, **p o d n o s i m y** w górę obszerny zbiornik, a jednocześnie **o b n i ż a m y** wylot rurki bocznej.

A wodociąg?

Kto ma w mieszkaniu wodociąg, ten wie doskonale, że woda napływa do kranu rurami podziemnymi. Ale skąd? Oczywiście z jakiegoś zbiornika, bardzo dużego i położonego gdzieś **w y s o k o**. Obojętne, czy będzie to zbiornik naturalny (źródła górskie), czy sztuczny (t.zw. wieża ciśnień)—zbiornik znajduje się zawsze **w y ż e j**, niż kran. Pod tym względem wodociąg możemy porównać z pochylonym stale czajnikiem, którego rurka wylotowa zaopatrzona jest w kran lub zatkana koreczkiem.

Tego rodzaju zbiorniki cieczy, jak wodociąg, czajnik i t. p., nazywamy ogólnie **naczyniami połączonymi**. Zajmijmy się nimi bliżej, aby zbadać dokładniej warunki równowagi znajdujących się tam cieczy.

Ćwiczenie 62. Dwie rury szklane, połączone wężem gumowym, napełniamy wodą. Stwierdzamy, że woda sięga w obu ramionach do jednakowego poziomu (ryc. 116). Podnosimy jedno z ramion nieco w górę. Woda przepływa natych-



Ryc. 116.
Najprostsze
naczynia
połączone.

miast do drugiego ramienia tak długo, dopóki poziomy w obu ramionach znów się nie zrównają.

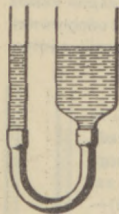
Ścisnąwszy palcami przewód gumowy, nalewamy do jednego z ramion pewien nadmiar wody i zluźniamy palce. Znow rozpoczyna się przepływ wody z naczynia o wyższym poziomie do naczynia, gdzie poziom był niższy. Równowaga następuje dopiero po wyrównaniu się poziomów cieczy w obu ramionach.

Doświadczenia takie możemy powtórzyć z inną cieczą, np. oliwą, rtęcią lub t. p. Wynik doświadczeń jest zawsze taki sam.

Na pytanie, co sprawia, że przebieg zjawiska był taki, a nie inny, otrzymalibyśmy od obserwatorów tego zjawiska niewątpliwie rozmaite odpowiedzi. Między innymi padłaby zapewne i taka: „Woda może dlatego przepływała z ramienia np. prawego do lewego, że w prawem było więcej wody, niż w lewym, że w prawem woda ważyła więcej...”

Zobaczymy, co odpowie na to następujące doświadczenie:

Cwiczenie 63. Powtórzmy te same próby, co poprzednio, ale ze zbiornikami, nie o jednakowych, lecz różnych przekrojach (ryc. 117); np. niech przekrój jednego ramienia wynosi 4 cm², drugiego 5 razy więcej, t. j. 20 cm².



Ryc. 117. Równowaga cieczy jednolitej w naczyniach połączonych.

Doświadczenie przeprowadzone z takimi zbiornikami, wykazuje, że gdy poziomy wody w obu ramionach są równe, woda nie przepływa z naczynia większego do mniejszego, pomimo, że ciężar wody w naczyniu szerokim jest 5 razy większy, niż w wąskim. Co więcej, podnosząc nieznacznie w górę naczynie węższe stwierdzamy że woda z naczynia węższego przepływa nawet do szerszego i trwa to tak długo dopóki nie ustali się równowaga na nowym poziomie.

Zatem o równowadze cieczy decyduje nie równość ciężarów, lecz równość jakichś innych czynników. Spróbujmy odnaleźć te czynniki.

92. Ciężar a ciśnienie. W naszym doświadczeniu mieliśmy przekroje ramion: 4 cm² i 20 cm². W wypadku równowagi, t. j. gdy ciecz w obu ramionach sięga do jednakowego poziomu, woda w ramieniu szerokim waży 5 razy tyle, co w wąskim. Przypuścimy, że ciężar wody w naczyniu wąskim wynosił 60 G; w takim razie woda w naczyniu szerokim musiała ważyć: 5 · 60 = 300 (G). Mamy tu więc:

Wąski słup cieczy: Ciężar — 60 G i podstawa — 4 cm²
Szeroki „ „ Ciężar — 300 G i podstawa — 20 cm²

Obliczmy dla każdego z obu tych słupów stosunek jego ciężaru do podstawy. Otrzymamy wtedy:

W pierwszym wypadku $\frac{60}{4} = 15$.
W drugim wypadku $\frac{300}{20} = 15$.

Jak widzimy, stosunki te są równe; one więc decydowały o równowadze cieczy.

Możemy również wyrazić to ogólnie: Jeśli słup cieczy w naczyniu wąskim posiadał ciężar P_1 i podstawę a_1 , a w szerokim — ciężar P_2 i podstawę a_2 , to w wypadku równowagi spełniała się równość

$$\frac{P_1}{a_1} = \frac{P_2}{a_2}$$

Ow stosunek ciężaru słupa cieczy do jego podstawy czyli ciężar, przypadający na jednostkę powierzchni, nazywamy ciśnieniem.

$$p = \frac{P}{a} \quad (10)$$

Możemy więc teraz o naszych naczyniach połączonych powiedzieć tak: równowaga istnieje tam wtedy, kiedy ciśnienia, wywierane przez oba słupy wody, są jednakowe.

Jeśli ciężar „P” będziemy mierzili w Kilogramach, a powierzchnię „a” w centymetrach kwadratowych, wtedy naszą jednostką ciśnienia będzie 1 Kg/cm² (Czytaj Kilogram na centymetr kwadratowy). Możemy też ciężar P wyrazić w Gramach; wtedy naszą jednostką ciśnienia będzie 1 G/cm².

W naszym przypadku mieliśmy ciśnienie $p = 15 \text{ G/cm}^2$ czyli 0,015 Kg/cm².

Pojęcie ciśnienia jest bardzo ważne dlatego omówimy je jeszcze na paru przykładach.



Ryc. 118. Ciśnienie cieczy na dno naczynia.

Niech w naczyniach A i B (ryc. 118) znajdują się jednakowe ilości wody, np. po 60 G. Wysokości słupów wody nie są tu równe, ponieważ jedno z naczyń posiada inny przekrój, niż drugie. Niech przekrój naczynia A wynosi np. 5 cm², naczynia B — 10 cm². Obliczmy na podstawie poznanego wzoru ciśnienie na dno w każdym z tych naczyń; otrzymamy

$$\text{dla wąskiego naczynia } p_1 = \frac{P}{a_1} = \frac{60}{5} = 12 \text{ (G/cm}^2\text{)}$$

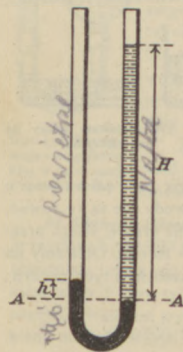
$$\text{dla szerokiego „ } p_2 = \frac{P}{a_2} = \frac{60}{10} = 6 \text{ (G/cm}^2\text{).}$$

A zatem, pomimo równych ilości cieczy, ciśnienie na dno w naczyniu wąskim jest 2 razy większe, niż w szerokim. W przykładzie tym, jak również w ćwic. 62 i 63, ograniczyliśmy się do rozpatrzenia przypadków najprostszych, mianowicie do ciśnienia na dno jedynie w naczyniach cylindrycznych, ustawionych pionowo. Inne przypadki omówimy niebawem (ob. ryc. 121 i 129).

W fizyce rozszerzamy pojęcie ciśnienia również i na te wypadki, kiedy na ciało działa jakakolwiek siła, np. siła naszych mięśni, sprężyny, wiatru i t. p. Mówimy więc o ciśnieniu wiatru na żagle, ciśnieniu pary na ściany kotła i t. d. Wogóle pojęciem ciśnienia posługujemy się tam, gdzie wynik działania siły zależy nie tylko od wielkości siły, ale i od wielkości powierzchni, na którą ona działa. Np. ściskając gwoździak palcami, wywieramy na oba jego końce (główną i ostrą) jednakową siłę; lecz o tem, który koniec wbije się w palec, decyduje ciśnienie. To samo spotykamy w wielu innych zjawiskach, np. niejednakowe zanurzenie się cegły w piasku lub w śniegu, zależnie od tego, czy położymy ją wąską czy szeroką stroną i t. p. (Jaka rolę w związku z tem odgrywają narty?).

Wróćmy teraz do naczyń połączonych i zróbmy jeszcze jedno doświadczenie.

Ćwiczenie 64. Naczynia połączone, jak na ryc. 119, napełniamy najpierw częściowo



Ryc. 119. Równowaga dwu różnych cieczy w naczyniach połączonych.

Co to znaczy? Poprowadźmy przez granicę zetknięcia się nafty z rtęcią poziom AA i rozumujmy tak: Gdybyśmy z prawego ramienia usunęli zupełnie naftę, to dla dalszego utrzymania rtęci w tem ramieniu na poziomie AA należałoby usunąć z drugiego ramienia niewielki słupek rtęci o wysokości h mm. Skoro jednak pozostawimy ten słupek na miejscu, to dla utrzymania równowagi na tym nowym, wyższym o h poziomie, musielibyśmy dolać do prawego naczynia dodatkowo rtęci również na wysokość h mm. Jednakże, jak wykazuje nasze doświadczenie, możemy taki sam skutek osiągnąć, dolewając nie rtęci, lecz nafty, ale już nie na wys. h mm, lecz znacznie wyższą H cm.

Porównawszy zapomocą miarki milimetrowej te dwie wysokości, stwierdzamy rzecz charakterystyczną: Oto H jest dokładnie tyle razy większe od h , ile razy ciężar właściwy rtęci D_2 jest większy od ciężaru właściwego nafty D_1 :

$$\frac{H}{h} = \frac{D_1}{D_2}$$

Innymi słowy o równowadze decyduje tu równość iloczynów

$$D_2 h = D_1 H \quad (11)$$

Ale cóż oznacza iloczyn Dh ?

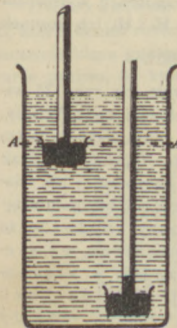
Nietrudno wykazać, że Dh oznacza to samo, co znane już nam określenie ciśnienia $\frac{P}{a}$. Podstawiając bowiem $P = DV$ (gdzie V = objętość cieczy), a następnie $V = ah$ (gdzie a = przekrój słupa cieczy), otrzymano

$$p = \frac{P}{a} = \frac{DV}{a} = \frac{Dah}{a} = Dh \quad (12)$$

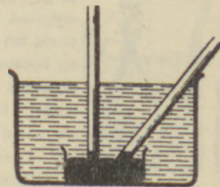
Identyczność obu tych wyrażeń oznacza, że i w tym wypadku warunkiem równowagi cieczy jest **równość ciśnień** w obu ramionach. Jeśli ciśnienia są różne, wtedy ciecz przepływa z miejsc o ciśnieniu większem do miejsc o ciśnieniu mniejszem.

Wyrażenie Dh ułatwia nam rozważanie ciśnienia cieczy nie tylko na dnie naczynia, ale i powyżej dna w obrębie całej objętości cieczy.

Tak więc możemy przekroić w myśli słup wody wpoprzek na dowolnym poziomie AA (ryc. 120). Umieszczając naczynko, zawierające rtęć i zanurzoną w rtęci rurkę, kolejno, najpierw na poziomie AA, potem nieco głębiej, stwierdzamy, że im głębiej zanurzamy nasz przyrządek kontrolny, tem słupek rtęci h jest wyższy.

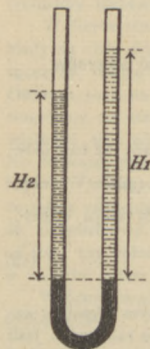


Ryc. 120. Ciśnienie wody w różnych głębokościach.



Ryc. 121. Rtęć w obu rurkach sięga do jednakowego poziomu.

Nic dziwnego. Odcięty (w myśli) słup wody nad poziomem **AA** posiada wysokość H_1 , mniejszą od wysokości, H_2 całego słupa; wywierane więc przezeń ciśnienie na poziomie **AA** jest mniejsze, niż ciśnienie całego słupa na dno lub w pobliżu dna. Pomiar wysokości h słupka rtęci, dokonane na różnych głębokościach, wykazują, że ciśnienie rośnie proporcjonalnie do głębokości cieczy.



Ryc. 122. Porównywanie ciężarów właściwych cieczy za pomocą naczyń połączonych.

Jeszcze inne doświadczenia, jak na rycinie 121, pouczają nas, że w wyrażeniu Dh wysokość h oznacza różnicę poziomów (mierzoną pionowo), gdyż jak widać, pochylenie rurki nie ma tu żadnego wpływu. Z zależności $D_1 h_1 = D_2 h_2$ korzystamy nieraz w celu porównania ciężarów właściwych dwóch różnych cieczy.

Cwiczenie 65. a) Do rurki, zgiętej w kształcie litery U i przymocowanej do statywu ze skalą milimetrową, nalewamy najpierw rtęci, następnie jedno z ramion napelniamy badaną cieczą (jak na ryc. 119). Odczytawszy na skali wysokości słupów h rtęci i H (badanej cieczy), obliczamy iloraz $\frac{H}{h}$, który podaje, ile razy badana ciecz jest lżejsza od rtęci.

b) Możemy też postąpić inaczej. Nalewamy do naczynia najpierw trochę rtęci; następnie do jednego ramienia nalewamy np. oliwę, do drugiego zaś odpowiednią ilość np. nafty, bacząc, by rtęć w obu ramionach wyrównała swoje poziomy (ryc. 122). Potem mierzymy słupy H_1 i H_2 . Ich stosunek $\frac{H_1}{H_2}$ podaje, ile razy jedna ciecz jest lżejsza od drugiej.

93. Ciśnienie cieczy na ściany boczne naczynia. Na ryc. 123 widzimy wiaderko płócienne i gumowy worek, napelnione wodą. Wiemy,

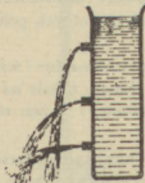


Ryc. 123. Ciśnienie cieczy na ściany boczne wiadra płóciennego i worka gumowego.

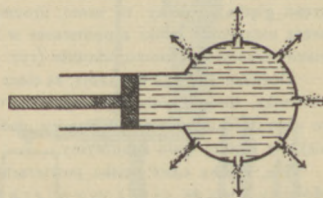
że gdy naczynia te są puste, dają się łatwo wyginać, zmiąć i t. p. Napelnione jednak wodą lub inną cieczą, sztywnieją; ich ściany boczne wyprężają się pod naporem znajdujących się w nich cieczy. Świadczy to, że woda, a także każda inna ciecz, wywiera ciśnienie nie tylko w kierunku z góry na dół, ale i na boki.

Nietrudno przytem zauważyć, chociażby po kształcie worka gumowego lub przez naciskanie ścianki wiaderka palcem, że ci-

śnienie jest u dołu większe niż u góry. Wymownym tego dowodem jest także niejednakowy zasięg wytrysku wody z otworów, porobionych na różnych wysokościach naczynia. Jak widać bowiem na ryc. 124, ciecz wytryska z naczynia tem dalej, im bliżej dna znajduje się otwór.



Ryc. 124. Zasięg wytrysku cieczy zależy od wielkości ciśnienia na poziomie otworu.

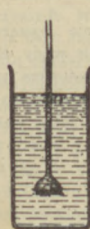


Ryc. 125. Ciśnienie, wywierane na ciecz za pomocą tłoka.

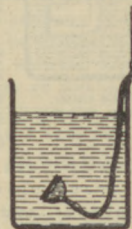
W przykładach powyższych ciśnienie było wywierane przez ciężar własny cieczy. Ale ciała mogą wywierać ciśnienie nie tylko przez swój ciężar. Oto, jak widzimy na ryc. 125, naciskając mocno na tłoczek siłą naszych mięśni, otrzymamy bardzo intensywny wytrysk wody ze wszystkich otworów naczynia. W tym wypadku ciecz, naciskana siłą naszych mięśni, przenosi to ciśnienie na ścianki naczynia we wszystkich kierunkach.

94. Ciśnienie wewnątrz cieczy. Parcie na ciała zanurzone.

Cwiczenie 66. a) Nalewamy zabarwionej cieczy do wąskiej rurki, której koniec rozszerzony jest w rodzaj kulistego lejka i zawiązany szczelnie błoną gumową albo pęcherzem (ryc. 126). Zaznaczywszy na rurce poziom, do którego sięga zabarwiona ciecz (przez nałożenie w-



Ryc. 126. Parcie cieczy na dno lejka.



Ryc. 127. Parcie cieczy na ciała w niej zanurzone jest wywierane we wszystkich kierunkach.

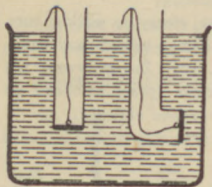
tem miejscu pierścionka gumowego), zanurzamy ją w zbiorniku stopniowo coraz głębiej, śledząc jednocześnie stopniowe wznoszenie się słupa cieczy w rurce.

b) Zapomocą podobnego przyrządu (z rurką dłuższą, w środkowej części giętką) robimy to samo, urozmaicając jeszcze doświadczenie przez ustawianie bańki z pęcherzem w rozmaitych dowolnych położeniach: pionowo, poziomo, ukośnie (ryc. 127).

Doświadczenia te wskazują, że ciecz ciśnie nie tylko na dno i ściany zbiornika, ale i na ciała, znajdujące się wewnątrz cieczy. Ciśnienie na nie ze wszystkich stron: zdołu i zgóry, poziomo i ukośnie, i to tem mocniej, im głębiej ciało zanurzamy.

Silę, z jaką ciecz uciska powierzchnię ciała, nazywamy **parciem**. Mówimy więc, że ciecz wywiera parcie na ciała w niej zanurzone. Chcąc obliczyć parcie, wywierane w pewnej głębokości na błonę naszego przyrządu, musielibyśmy wiedzieć, jak wielka jest powierzchnia błony i jakie było ciśnienie w danej głębokości. Gdyby np. powierzchnia błony wynosiła $a = 10 \text{ cm}^2$, a ciśnienie wody w danej głębokości $p = 8 \text{ G/cm}^2$, wtedy parcie na błonę wynosiłoby $P = pa = 8 \cdot 10 = 80 \text{ (G)}$.

Ćwiczenie 67. Zróbmy jeszcze jedno podobne doświadczenie przy użyciu przyrządów, jak na ryc. 128. Mamy tu rury szklane (jedna prosta, druga zgięta) oraz metalowe krążki, zaopatrzone w haczyki i długie nitki. Gdy zapomocą nitki docisniemy krążek do rury i zanurzymy rurę w wodzie, stwierdzimy, iż krążek nie opada pomimo, że nitkę puścimy z ręki. To parcie dociska krążek do rury i to tem mocniej, im głębiej ją zanurzamy. Chcąc zmierzyć wielkość tego parcia na pewnej głębokości, nalewamy do rury odpowiednią ilość wody, mianowicie tyle, aby jej ciężar zrównoważył parcie.



Ryc. 128. Parcie cieczy przyciska krążki do rur.

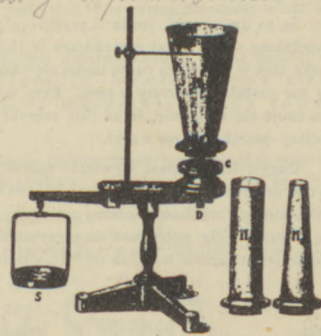
Otóż doświadczenie wykazuje, że do rury trzeba nalać tyle wody, aby jej poziom zrównał się z poziomem wody w naczyniu. (W rzeczywistości nieco mniej, bo wchodzi tu w rachubę także ciężar własny denka). Zatem parcie cieczy na denko jest równe ciężarowi słupa wody o przekroju równym przekrojowi denka, i o wysokości, równej głębokości zanurzenia denka.

Pięknie i efektownie doświadczenie, ilustrujące wzrost parcia ze wzrostem głębokości cieczy, wykonał jeszcze w XVII w. uczony francuski PASCAL w sposób, przedstawiony na ryc. 129a. Wbił on do gór-

*Twarci jest ciśnienie na całą powierzchnię
Ciśnienie jest to waga na jednostkę powierzchni
Ciężar jest to waga na jednostkę powierzchni*



Ryc. 129 a. Doświadczenie Pascala z beczką.



Ryc. 129 b. Ciśnienie i parcie cieczy na dno nie zależy od kształtu naczynia.

nego dna mocnej beczki wąską, lecz wysoką rurę, której pojemność była znikoma w porównaniu z pojemnością beczki. Gdy napelnił wodą samą tylko beczkę, beczka wytrzymała doskonale parcie wody na jej ściany. Po napelnieniu jednak także i rury (do czego wystarczyła niewielka ilość wody) parcie tak wzrosło, że beczka pękła.

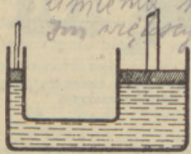
Inne doświadczenie Pascala daje piękny dowód, że parcie cieczy na dno naczynia zależy tylko od wielkości dna i od wysokości słupa cieczy, a nie zależy od kształtu naczynia. Obciążając szalkę S przyrządu, wyobrażonego na ryc. 129 b, przyciskamy ruchome dno D do krótkiego cylindereka C; na ten cylinderek możemy nakrecać różnego kształtu naczynia N, N₁, N₂. Gdy do naczynia nalewamy wody, wywiera ona parcie na dno; skoro tylko parcie staje się większe od siły przyciskającej, dno opuszcza się i woda zaczyna wyciekać. Występuje to przy tym samym poziomie wody (zaznaczamy go ruchomą strzałką), niezależnie od kształtu naczynia, i to przy poziomie tem wyższym, im bardziej obciążyliśmy szalkę. Zatem parcie, a tem samem i ciśnienie cieczy na dno nie zależy od kształtu naczynia.

95. Prasa hydrauliczna. Możliwość wywierania znacznych parć zapomocą niewielkiego ciężaru, jaką nasuwa opisane doświadczenie Pascala, została urzeczywistniona w cokolwiek inny sposób w tak zwa-

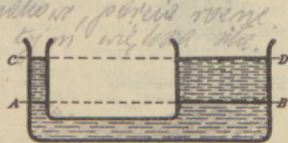
nych prasach hydraulicznych. Rycina 130 wyobraża model takiej prasy.

Są to dwie rurki, jedna o przekroju znacznie większym niż druga, napełnione wodą aż po zamykające je tłoki. Jeśli naciskać tłok cieńszego rurki, tłok w szerokiej rurze unosi się i wymaga przytrzymania go ręką, by nie został wyrzucony z rurki. Przy wykonywaniu tego doświadczenia czuje się wyraźnie, że na tłok szeroki trzeba wywierać znacznie silniejszy nacisk, niż na wąski.

Oczywiście zamiast wywierać nacisk na tłoki rękami, można obciążyć je odpowiednimi ciężarkami i w ten sposób mieć do czynienia z siłami, których wielkość możemy mierzyć. Po nałożeniu ciężarków okaże się to samo: Siła, potrzebna do utrzymania w równowadze tłoka szerokiego, jest znacznie większa od siły, działającej na tłok wąski.



Ryc. 130. Najprostszy model prasy hydraulicznej.



Ryc. 131. Wyjaśnienie zasady prasy hydraulicznej.

Jest to zastanawiające i wymaga wyjaśnienia.

Znajdziemy je łatwo, gdy się zorientujemy, że zasadniczą częścią prasy są dwa, połączone z sobą naczynia. Usuńmy z nich tłoki i zauważmy, że znajdująca się tam woda sięga w obu naczyniach do jednakowego poziomu AB (ryc. 131). Dolejmy wody: poziomy podniosą się do CD . W rurce wąskiej woda tworzy słupek o wysokości AC , w szerokiej — słupek o takiej samej wysokości BD . Oba te słupki cisną na pierwotną powierzchnię w A i B i utrzymują się w równowadze. Ich wysokości są wprawdzie równe, ale ciężary nie: Słup BD jest przecież tyle razy cięższy od słupa AC , ile razy jego przekrój jest większy od tamtego. Widać więc, że ciężary, których działanie równoważy się w naczyniach połączonych, są proporcjonalne do przekrojów tych naczyń.

To samo odnosi się oczywiście i do ciężarów innych ciał (stałych lub ciekłych), które możemy zastąpić oba słupy wody. Ciężary te nie poruszają się, ponieważ od dołu działa na nie parcie ściśniętej wody i równoważy siły, które pchają tłoki w dół. Parcie wody na oba tłoki jest tu proporcjonalne do powierzchni tłoków. Gdybyśmy obliczyli

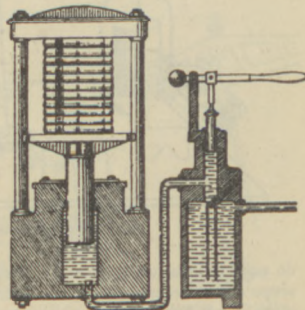
parcie, przypadające na 1 cm^2 tłoka, czyli ciśnienie, wywierane przez wodę, okazałoby się, że ciśnienia są jednakowe dla obu tłoków. Takie samo ciśnienie, jakie tłok A wywiera na wodę, woda wywiera na tłok B .

To prawo prasy hydraulicznej ilustruje bardzo ważną zasadę, odkrytą przez Pascala: Ciśnienie, wywierane na ciecz, rozchodzi się w niej na wszystkie strony równomiernie.

Przykład. Niech przekroje tłoków prasy hydraulicznej wynoszą $a = 2 \text{ cm}^2$ i $a' = 100 \text{ cm}^2$. Naciskając na tłok mniejszy siłą np. $P_1 = 40 \text{ Kg}$, wywieramy na ciecz ciśnienie $p = \frac{P_1}{a} = \frac{40}{2} = 20 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$. Parcie na tłok większy będzie tu wynosić $P_2 = p a' = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ (Kg)}$.

Jak widzimy, zapomocą prasy hydraulicznej można podnosić niewielkim wysiłkiem olbrzymie ciężary. To też prasy takie znajdują szerokie zastosowanie przy podnoszeniu dużych ciężarów, przy prasowaniu wielkich bloków bawełny, siana, przy wytłaczaniu olejów, soków z owoców, przy nitowaniu blach i t. p.

Zwyczaj nacisk na tłok mniejszy wywiera się za pośrednictwem dźwigni nierównoramiennej, co zmniejsza jeszcze w znacznym stopniu wysiłek człowieka (ryc. 132). Ponadto po każdorazowym wtłoczeniu cieczy z cylindra mniejszego do większego napełnia się cylinder mniejszy nową dawką cieczy, czerpaną ze zbiornika automatycznie zapomocą pompy.



Ryc. 132. Prasa hydrauliczna.

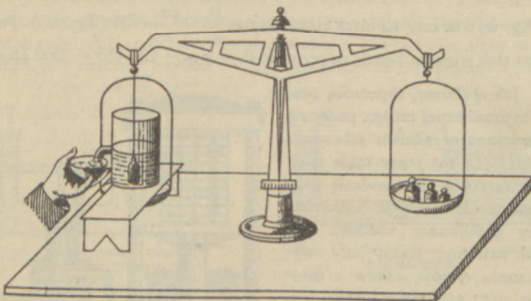
96. Prawo Archimedesza. Gdy kąpiemy się w rzece lub wannie, czujemy wyraźnie, jak mało potrzeba wysiłku, aby podnieść nogę lub rękę zanurzoną w wodzie. To samo stwierdzamy przy wyciąganiu wiadra ze studni, kamienia z rzeki i t. p. Wogóle ciała, zanurzone w wodzie, a także w innych cieczach, wydają się nam lżejsze, niż wtedy, gdy są w powietrzu. Niektóre z nich, jak drzewo lub korek, zanurzone przemocą w wodzie i puszczane tam swobodnie, wypływają same na wierzch,

w tych wypadkach nie toną, ale jeszcze mają zdolność utrzymania na sobie innych ciał ciężkich (np. pasy ratunkowe).

Celem wyjaśnienia tych zjawisk, a przede wszystkim celem zbada-
nia, ile zdają się ważyć ciała zanurzone w cieczy, robimy następujące
doświadczenie.

Ćwiczenie 68. Zawieszamy na nitce u jednego ramienia wagi
ciężarek metalowy i równoważymy go odważnikami na szalce drugiego
ramienia.

Następnie unosimy ciężarek z nitką nieco w górę, ustawiamy pod
nim laweczkę z naczynkiem, zaopatrzonem w boczną rurkę odpływową
(ryc. 133) i nalewamy do naczynka tyle wody, aż nadmiar jej odpłynie



Ryc. 133. Sprawdzenie prawa Archimedeasa.

do podstawionej obok miseczki. Usunąwszy miseczkę na bok (do dal-
szego doświadczenia już jej nie potrzeba), podstawiamy w jej miejsce
pustą i zważoną uprzednio zlewkę, poczem upuszczamy ostrożnie
ciężarek do naczynia, chwytając jednocześnie wypieraną wodę do zlewki.

Stwierdziwszy pochylenie się belki wagowej, doprowadzamy ją
napowrót do równowagi bądź przez dolożenie odpowiedniej ilości od-
ważników na szalkę pod laweczką, bądź przez ujęcie z szalki przeciw-
nej. Dzięki takiemu zabiegowi dowiadujemy się, że nasz ciężarek,
zanurzony w wodzie, waży o P gramów mniej niż w powietrzu.

Nasuwa się teraz pytanie, z czym wiązać tę wartość P . Od jakich
czynników ona zależy?

Ćwiczenie 69. Powtarzamy to samo:

- a) z ciałami o jednakowej objętości, lecz z różnych materiałów.
- b) z ciałami z tego samego materiału, lecz o różnych objętościach,
- c) z jednym i tem samym ciałem kolejno w różnych cieczach.

Poszukiwania takie doprowadzają nas do wniosku, że owo zmniej-
szanie się ciężaru, jakiego doznaje ciało zanurzone w cieczy, zależy je-

dynie od objętości ciała i od ciężaru właściwego cie-
czy, w której je zanurzamy. Potwierdza to następujące doświadczenie.

Ćwiczenie 70. Ważymy zlewkę, zawierającą wodę wypartą z
naczyńki i przekonywamy się, że ciężar tej wody wynosi właśnie P G.

Moglibyśmy też wylać ją na szalkę (zamiast dokładać odważniki)
a okazałoby się, że belka wraca natychmiast do równowagi.

Doświadczenia takie, robione z rozmaitemi ciałami w rozmaitych
cieczach, wykazują zawsze, iż każde ciało, zanurzone w cieczy, waży
o tyle mniej, ile wynosi ciężar cieczy przez to ciało wypartej.

Na pytanie wreszcie, na czyją korzyść przypada ta strata, daje
nam odpowiedź znowu doświadczenie, jak na ryc 134

Ćwiczenie 71. Ustawiamy na szalce wagi zlewkę, napelnioną
częściowo wodą, i równoważymy ją odważnikami na drugiej szalce.

Następnie zanurzamy w niej ostroż-
nie jeden z użytych przedtem
ciężarków, trzymając nitkę w ręce.

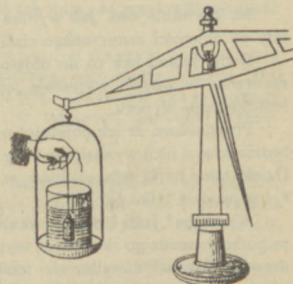
Stwierdzamy przytem, że rów-
nowaga belki przechyla się w stron-
ę zlewki, a do ponownego zrów-
noważenia jej trzeba dolożyć na
drugiej szalce PG , t. j. dokładnie
tyle, o ile zanurzony ciężarek wy-
daje się lżejszy.

Zatem w ogólnym bilansie
strata jest tylko pozorna: naczy-
nie z cieczą zyskuje tyle
na ciężarze, ile traci z za-
purzone tam ciało.

Związek, jaki zachodzi pomiędzy ilością
wypartej cieczy a pozorną stratą ciężaru za-
nurzonego w niej ciała, wykrył już w III w. przed Chr. słynny ówczesny uczoney
ARCHIMEDES, żyjący w Syrakuzach.

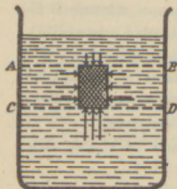
Ciekawa zachowała się legenda o okolicznościach, w jakich Archimedes miał
odkryć to prawo. Oto współczesny Archimedesowi król Hieron dał raz złotnikowi
odważoną ilość złota z poleceniem wykonania z niego korony, którą zamierzał ofio-
wać pewnej świątyni. Gdy złotnik wykonał koronę, król chciał się przekonać, czy
nie został oszukany. Albowiem, choć korona ważyła tyle samo, co przeznaczone na
nią złoto, król podejrzewał złotnika, iż ten zabrał sobie część złota, a do korony
domieszał odpowiednią ilość srebra. Wobec tego zwrócił się do Archimedeasa o
wyjaśnienie tej sprawy.

Zadanie było niełatwe. Archimedes przez długi czas rozmyślał, jakby tę sprawę
wyjaśnić. Aż wreszcie zagadkę rozwiązał... podczas kąpeli w wannie. Tam to bowiem
miał zrozumieć (czując lekkość własnego ciała) związek między stratą ciężaru
zanurzonego ciała a wypartą przez nie cieczą (później uzasadnił ten związek
rozumowaniem). Archimedes, rozumiawszy tę zależność, miał wyskoczyć z wanny
i wybiec nago na ulicę z radosnym okrzykiem: „*heureka!*” (znalazłem).



Ryc. 134. Doświadczenie w związku
z prawem Archimedeasa.

Istotnie, wykryte przezeń prawo pozwoliło mu już zadanie gładko rozwiązać: Korona, dostarczona przez złotnika, wypierała więcej wody, niż równoważna jej ilość czystego złota. Jak na szczerze złoto jej objętość była za duża. Korona musiała więc mieć domieszkę metalu lżejszego od złota. Porównawszy dalej koronę z równoważną ilością srebra, Archimedes nie tylko zdemaskował oszustwo, ale wyliczył nawet dokładnie, ile złota skradł złotnik.



Ryc. 135. Uzasadnienie prawa Archimedesia.

97. Uzasadnienie prawa Archimedesia. Nietrudno wykazać, że strata na ciężarze, jakiej doznaje ciało, zanurzone w cieczy, jest wynikiem wszechstronnego, ale nie wszędzie jednakowego parcia cieczy na to ciało (ryc. 135). Oto wiadomo nam, że parcie rośnie z głębokością. Najbardziej silnie ciecz na ciało od dołu na poziomie CD , najslabiej zgóry na poziomie AB ; pozostaje więc w rezultacie nadwyżka, usiłująca wyprzeć ciało do góry. Nazywamy ją *wyporem*, jakiego doznaje ciało zanurzone ze strony cieczy. (Parcia boczne znoszą się tu wzajemnie).

98. Pływanie ciał. Jak wynika z naszych doświadczeń, wypór zależy od objętości zanurzonego ciała, a nie od jego rodzaju.

Dwie, jednakowe co do objętości bryły, np. żelazna i drewniana, zanurzone w wodzie, wypierają jednakowe ilości wody; doznają więc jednakowego wyporu.

Przypuśćmy, że ich objętości wynoszą po 1 dm^3 ; strata na ciężarze będzie więc u nich wynosić po 1 Kg (bo 1 l wypartej wody waży 1 Kg). Dzięki temu bryła żelazna, która w powietrzu waży $7,6 \text{ Kg}$, będzie ważyła w wodzie tylko $6,6 \text{ Kg}$.

A drewno? Jeśli 1 dm^3 drewna waży w powietrzu zaledwie $0,6 \text{ Kg}$, to po zanurzeniu go w wodzie, wypór posiada przewagę nad ciężarem drewna. Drewno nie tylko nie tonie, ale wypływa na powierzchnię i wynurza się częściowo z wody. Równowaga ustali się dopiero wtedy gdy ciężar cieczy, wypartej przez zanurzoną część drewna, stanie się równy ciężarowi całej bryły drewnianej. W naszym przykładzie wynurzałoby się z wody $1/10$ bryły.

Tak samo dzieje się z innymi ciałami, których ciężar właściwy jest mniejszy od ciężaru właściwego cieczy.

Pytanie: Jak zachowa się ciało, zanurzone w cieczy, gdy jego ciężar właściwy jest równy ciężarowi właściwemu cieczy? Sprawdź to, zanurzając kurcze jajko w wodnym roztworze soli kuchennej.

Aby umożliwić pływaniu ciałom cięższym od danej cieczy, nadajemy im celowo kształty wydłużone (np. kadłuby statków). Wtedy objętość wydłużonego przedmiotu wzrasta wielokrotnie, wskutek czego ciało wypiera większą ilość cieczy, a ponieważ ciężar jego pozostaje niezmienny, więc ciało zanurza się tylko częściowo. Jeśli ciało takie

obciążymy dodatkowo np. nasypimy węgla do kadłuba statku, to i jego zanurzenie odpowiednio wzrośnie. Aby zapobiec przeciążeniu statku, maluje się zwykle na jego kadłubie poziomy pas kolorowy, który jest wskaźnikiem dopuszczalnego zanurzenia.

99. Zastosowanie prawa Archimedesia do wyznaczania ciężarów właściwych ciał. Jak wiemy, do wyznaczenia ciężaru właściwego D jakiegoś ciała potrzebna jest znajomość całkowitego ciężaru P danego ciała oraz jego objętości V .

O ile chodzi o możliwie dokładne, znalezienie wartości P , czyli prosto o dokładne zważenie ciała, to mamy do dyspozycji wagi o tak wysokiej czułości, że tu nie grożą nam zbyt duże błędy pomiarowe.

Gorzej natomiast przedstawia się sprawa pomiarów objętości, zwłaszcza ciał o nieregularnych kształtach. Pomiar objętości zapomocą mensurki jest naogół mało dokładny. Błąd pomiarowy, popełniony przy takiej metodzie, może być tak duży, że przekreśli celowość precyzyjnego ważenia.

Pożądana więc jest metoda, która pozwoli zmierzyć objętość ciała z taką samą dokładnością, z jaką zmierzono jego ciężar. Metoda taka opiera się właśnie na prawie Archimedesia. Umożliwia ona wyznaczenie objętości ciała zapomocą wagi, i to tej samej, na której wyznaczamy jego ciężar.

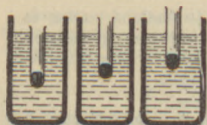
Cwiczenie 72. a) Ważymy ciężarek metalowy, np. żelazny, najpierw w powietrzu, później w wodzie. Niech ciężar jego w powietrzu wynosi np. $P = 78 \text{ G}$, w wodzie $P_1 = 68 \text{ G}$. W myśl prawa Archimedesia strata $P - P_1 = 10 \text{ G}$ dowodzi, że wyparta przezeń woda waży 10 G . Ponieważ ciężar właściwy wody wynosi 1 G/cm^3 , wynika stąd, że wyparta woda posiada objętość 10 cm^3 . Ale objętość wypartej wody jest równa objętości zanurzonego w niej ciężarka, czyli poszukiwana objętość ciężarka wynosi $V = 10 \text{ cm}^3$. Mamy więc w naszym przykładzie

$$D \text{ żelaza} = \frac{78}{10} = 7,8 \text{ (G/cm}^3\text{)}.$$

Cwiczenie 72. b) Posługując się tym samym ciężarkiem, możemy wyznaczyć także ciężar właściwy dowolnej cieczy, np. nafty. Ciężarek, który w powietrzu ważył 78 G , zanurzony w nafcie, waży 70 G . Strata ciężaru 8 G świadczy, że ciężar wypartej nafty wynosi $P = 8 \text{ G}$. Objętość wypartej nafty jest równa oczywiście objętości ciężarka, t. z. wynosi $V = 10 \text{ cm}^3$. Mamy więc

$$D \text{ nafty} = \frac{P}{V} = \frac{8}{10} = 0,8 \text{ (G/cm}^3\text{)}.$$

Jak widać, prawo Archimedesia daje nam znakomitą metodę wyznaczania ciężarów właściwych, zarówno ciał stałych jak i cieczy, opartą wyłącznie na ważeniu. Metoda ta jest w technice laboratoryjnej nie-



alkohol woda roztwór soli
kuchennej

Ryc. 136. Zasada areometru.

Inny, wprawdzie nie tak dokładny, ale bardzo wygodny i praktyczny sposób wyznaczania ciężarów wł. ciepy, umożliwiają t. zw. areometry.

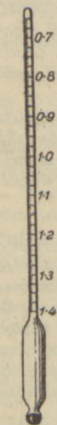
Cwiczenie 73. Probówkę, obciążoną na dnie, np. śrutem lub rtęcią, zanurzamy kolejno w rozmaitych cieczach o znanych nam ciężarach właściwych, np. w alkoholu, potem w wodzie, w końcu w roztworze soli kuchennej.

Stwierdzamy, że — zgodnie z prawem Archimedesasa — probówka zanurza się w każdej cieczy do innej głębokości: najgłębiej w alkoholu, jako cieczy z tych trzech najlżejszej, najmniej w roztworze soli kuchennej, jako cieczy najcięższej (ryc. 136).

Głębokość zanurzenia w każdej z tych cieczy zaznaczamy na probówce poziomą kreską. Możemy teraz na tej podstawie probówkę wycechować, wypisując cyfrę 1 przy tej kresce, do której sięgała woda, a przy obu sąsiednich kreskach cyfry, odpowiadające ciężarom właściwym obu pozostałych cieczy. W końcu dzielimy odstęp między kreskami na odpowiednią liczbę działek.

Zanurzwszy następnie probówkę do innej dowolnej cieczy, np. do mieszaniny alkoholu z wodą lub do słabego roztworu soli, możemy odczytać bezpośrednio jej ciężar właściwy na sporządzonej w ten sposób podziałce.

Wycechowana w powyższy sposób probówka jest prymitywną formą t. zw. areometru, którego wykończoną postacią widzimy na ryc. 137. Niektóre areometry są tak wycechowane, że odczytuje się na nich nie ciężar właściwy, lecz skład procentowy domieszki zawartej w cieczy albo stopień rozcieńczenia według jakiejś umownej skali. Naprzykład t. zw. alkohometry podają stopień rozcieńczenia alkoholu w wodzie, laktometry — zawartość tłuszczu w mleku i t. p.



Ryc. 137. Areometr.

Rozdział II

NIEKTÓRE URZĄDZENIA WODNE I ICH ZNACZENIE DLA CYWILIZACJI

100. Woda jest tym żywiołem, bez którego życie człowieka byłoby niemożliwe.

Zdobycie stałego i obfitego zbiornika dobrej wody jest jedną z pierwszych inwestycji przy budowie domu.

Duże miastałożą znaczne sumy na kosztowne urządzenia wodociągowe, wiedząc, że dobra woda jest niezbędnym warunkiem higieny i zdrowia mieszkańców. Statystyka wykazuje, że w miastach, gdzie założono wodociągi, zdrowotność mieszkańców wybitnie się poprawiła, a grasujące dawniej epidemie należą do rzadkości.

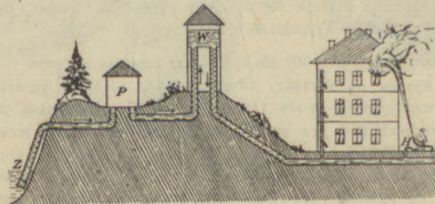
Naturalne zbiorniki wody w postaci rzek, jezior i mórz stanowiły zawsze ośrodki, dokoła których tworzyły się ogniska kultury i cywilizacji, a więc duże miasta, a nawet całe państwa (zwłaszcza w starożytności). Szlaki bowiem wodne były dawniej, wobec braku kolei żelaznych i małej liczby dróg bitych, głównymi, niekiedy nawet jedy-nymi arterjami, które transportowano rozmaite towary.

Ale jeszcze i dziś drogi wodne odgrywają doniosłą rolę, gdyż transport towarów temi drogami kalkuluje się najtaniej. Dla przykładu podajemy, że gdy dowóz koleją Tonna węgla z Zagłębia śląskiego do Warszawy kosztuje prawie tyle samo, ile wynosi cena węgla w kopalni, to transport węgla drogami wodnymi oplaca się drogą okólną, nawet wielokrotnie dłuższą od linii kolejowej.

To też nie dziwne, że w krajach, gdzie brak naturalnych dróg wodnych, buduje się drogi sztuczne w postaci kanałów wodnych.

Wszystkie te urządzenia, traktowane ze stanowiska fizyki, są w większości wypadków naczyniami połączonymi. Oto zasady budowy i działania niektórych z tych urządzeń:

Wodociąg składa się z systemu naczyni połączonych, z których najwyższem jest t. zw. wieża ciśnień *W* (ryc. 138). Maszyny, znajdujące się na stacji pomp *P*, czerpią wodę ze źródła *Z* i wtłaczają przemocą do dużego zbiornika na wieży *W*. Ponieważ poziom wody w zbiorniku *W* jest wyższy, niż w połączonych z nim rurach przewodowych,

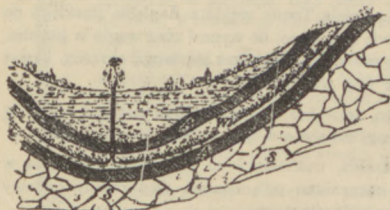


Ryc. 138 Schemat urządzeń wodociągowych: *Z* = zbiornik wody, *P* = stacja pomp, *W* = wieża ciśnień, *H* = hydrant.

przeto woda dopływa temi rurami do kranów mieszkaniowych oraz do t. zw. hydrantów *H*, umieszczonych zwykle pod jezdnią, a służących do polewania ulic i gaszenia pożarów. Z pośród miast Polski zaledwie kilkadziesiąt posiada wodociągi. Pod tym względem, w porównaniu z państwami zachodnimi, jesteśmy jeszcze daleko w tyle.

Studnia podlega również prawom naczyń połączonych. Poziom wody w studni, jako w jednym z ramion rozgałęzionych w ziemi naczyń połączonych, nie może być oczywiście wyższy od najwyższego poziomu w pozostałych ramionach podziemnego zbiornika wody.

Przy kopaniu studni baczyc tylko należy, aby uniknąć zbiornika z wodą nieczystą t. zw. zaskorną. Aby się upewnić, czy woda jest dobra, należy próbkę wody poddać analizie chemicznej. To samo



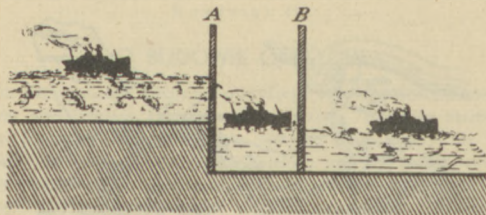
Ryc. 139. Studnia artezyska: *W* = warstwa wodonośna, *AA* = warstwy nieprzepuszczające wody, *SS* = skały.

leży czynić od czasu do czasu z wodą ze studzien starych, długo używanych.

Inny rodzaj studni, t. zw. studnię artezyską, przedstawia ryc. 139. Wzbijanie się wody w górę, jest tu wynikiem nadwyżki ciśnienia, pochodzącego od górnych części zbiornika. Strumień wody usiłuje więc wznieść się do tego samego poziomu, co woda w najwyższej gałęzi zbiornika. W rzeczywistości nie wzbija się nigdy tak wysoko z powodu hamującego działania tarcia w przewodach i oporu powietrza atmosferycznego. Na podobnej zasadzie buduje się niekiedy sztuczne fontanny. Fontanna jest np. każdy hydrant wodociągowy.

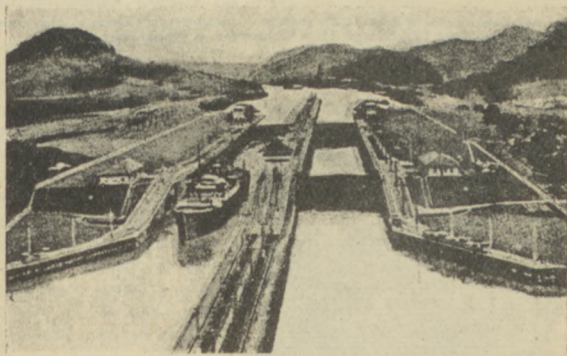
Śluzy wodne (ryc. 140) służą do przenoszenia okrętów z niższego poziomu kanału na wyższy, albo naodwrot. Kanały bowiem łączą zwykle dwa zbiorniki wody (rzeki, jeziora) o nierównym poziomie: są więc budowane w ten sposób, że pewne ich odcinki leżą na poziomie wyższym, inne na niższym. Gdyby cały kanał wybudowano pochyło, to woda przepływałaby nieustannie z jednego zbiornika do drugiego, co mogłoby wywołać niepożądane zmiany ich poziomów.

Celem przeniesienia okrętu z poziomu niższego na wyższy, otwiera się najpierw zastawę *B* w kanale dolnym, poczem, gdy okręt wjedzie



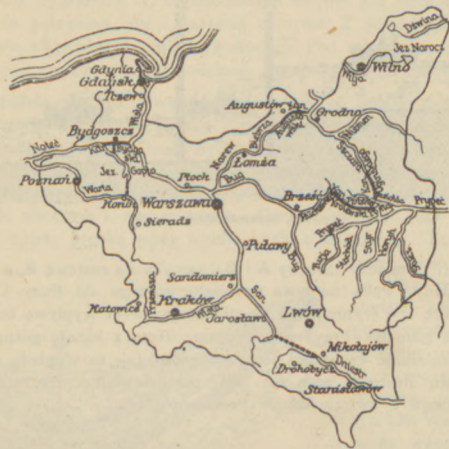
Ryc. 140. Schemat śluzy wodnej.

do śluzy (t. j. między zastawy *A* i *B*), zamyka się zastawę *B*, a otwiera *A*. Wtedy woda napływa z kanału górnego do śluzy i unosi okręt w górę. Po wyrównaniu się poziomów okręt wypływa ze śluzy do kanału górnego. Przy sprowadzaniu okrętu z kanału górnego do dolnego kolejność czynności jest odwrotna. Jak to wygląda w rzeczywistości, ilustruje nam ryc. 141, przedstawiająca fragment najwspanialszego w świecie kanału Panamskiego.



Ryc. 141. Fragment kanału Panamskiego.

W Polsce mamy tylko 4 kanały żeglowne (ryc. 142), o łącznej długości zaledwie 264 km. Jest to również, w porównaniu z innymi państwami, stan daleki od zadowalającego, gdyż w Niemczech jest



Ryc. 142. Drogi wodne w Polsce. Linje grubsze = kanały czynne: Bydgoski, Augustowski, Królewski i Ogińskiego. Linje kropkowane = projektowane kanały.

ich przeszło 2000 km, w małej Holandji 3600 km, a we Francji ponad 5000 km. Polska, jako kraj równinny, nadaje się szczególnie do rozpowszechnienia tego rodzaju sieci komunikacyjnej. Dotychczas nasze śródlądowe drogi wodne obsługują zaledwie 1% ogółu naszych przewozów towarowych, gdy np. we Francji 20%, a w Niemczech 25%.

Jest to sprawa gospodarcza bardzo doniosła. Główne produkty naszego eksportu (węgiel, drzewo, nafta, produkty hodowlane i t. d.) wywozimy przez Gdynię i Gdańsk, a więc pory, odległe o setki kilometrów od ośrodków, gdzie się te rzeczy produkuje. (Sprawdź to na mapie). Jest to sytuacja w porównaniu z innymi państwami nader niekorzystna, gdyż dowóz tych towarów koleją na tak wielkie odległości z natury rzeczy podraża je i utrudnia naszemu handlowi konkurencję na rynkach zagranicznych.

Rozbudowa naszych dróg wodnych, t. j. budowa kanałów i uszlachetnienie rzek przez ich regulację, jest więc rzeczą konieczną. Zaniedbanie, jakie zostawili nam na tem polu nasi zaborcy, musimy rychło naprawić.

O BUDOWIE OKRĘTÓW

101. Już wzmianka biblijna o arce Noego świadczy dostatecznie, jak dawnym wynalazkiem człowieka były okręty. Niektóre starożytne narody, jak np. Fenicjanie i Grecy, nietylko znały okręty, ale miały ich taką ilość i używały ich do tak dalekich podróży, że już wówczas zyskały przydomek narodów żeglarskich. Budowano również już w starożytności okręty różnych typów, zależnie od tego, czy były przeznaczone do celów handlowych, czy wojennych.

Sposób budowy i poruszania okrętów był przez długie wieki naogół jednakowy. Okręty były budowane z drewna, a sposób ich poruszania po wodzie bywał dwojaki: zapomocą wiosel lub żagli. Wiosłami poruszali niewolnicy i jeńcy wojenni, żagle popychał wiatr. Taki stan rzeczy trwał jeszcze do niedawna, bo aż do XIX wieku. Dopiero w XIX w. zaczęto budować okręty o kadłubach żelaznych, poruszane zapomocą śrub okrętowych o napędzie maszynowym. Ze ów postęp nastąpił tak późno, nie można się dziwić. Dopiero bowiem w XIX w. wynaleziono użyteczną technicznie maszynę parową oraz nauczone się wytwarzać odpowiednie gatunki żelaza (blachy ciagnione, płyty prasowane i t. d.).

Nowoczesne okręty buduje się w t. zw. dokach okrętowych t. j. w specjalnych warsztatach, położonych tuż nad brzegiem morza, lub nad brzegami dużych rzek. Miejsce, gdzie rozpoczyna się montowanie okrętu z przygotowanych uprzednio części składowych, nazywa się stocznią. Jest to rodzaj olbrzymiej stalowej budowli bez dachu, o podłodze pochylonej



Ryc. 143. Transatlantyk polski „Pilsudski” bezpośrednio przed spuszczeniem go na wodę w stoczni włoskiej w Monfalcone. Długość statku wynosi 160,4 m, szerokość — 21,5 m; miejsc dla pasażerów — 773.

w kierunku morza. Główne wyposażenie stoczni stanowią potężne rusztowania, dźwigi i inne urządzenia, niezbędne do budowy kadłuba i utrzymania go na miejscu, aby przedwcześnie nie zsunął się do morza (ryc. 143). Na zewnątrz poza niemi znajdują się rozmaite budynki fabryczne, w których przygotowuje się części składowe okrętu, zwłaszcza te, które ze względu na swój ciężar i wielkie wymiary nie mogą być transportowane koleją, lecz muszą być wykonane na miejscu. Równocześnie szereg innych fabryk w kraju, a nawet zagranicą, przygotowuje tysiące innych części, które z kolei będą potrzebne do wykończenia okrętu. Bo nowoczesny okręt, zwłaszcza statek pasażerski¹ to jakby pływające miasto, wyposażone bogato w najrozmaitsze urządzenia.

Budowa statku rozpoczyna się od montowania szkieletu kadłuba. Gdy szkielet gotów, okłada się go od spodu i po bokach grubą blachą o podwójnych ścianach. Przestrzeń pustą pomiędzy ścianami dzieli się poprzecznymi blachami na liczne oddzielne komory. Zabieg ten ma na celu ochronę statku przed zatonięciem na wypadek przedziurawienia ściany zewnętrznej; wtedy woda wedrze się tylko do jednej lub dwóch komór, a to nie grozi jeszcze zatonięciu.

Po wykończeniu kadłuba wprowadza się do jego wnętrza najcięższe części jego wyposażenia, a więc kotły, maszyny i t. d. Maszyny, poruszające nowoczesne statki, są to olbrzymie, zastępujące pracę kilkudziesięciu tysięcy koni, czy też setek tysięcy średniowiecznych galerników. Aby dać czytelnikowi pojęcie, jak duże są te maszyny, nadmieniamy, że sam główny wał maszyny waży niekiedy ponad 100 Tonn.

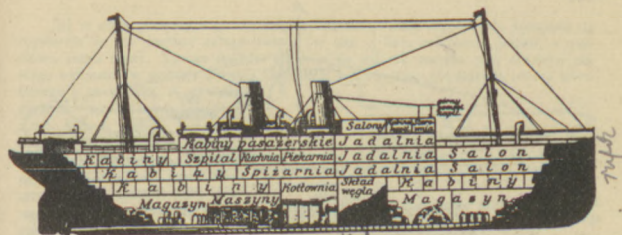
Po zmontowaniu maszyn, oraz przymocowaniu steru i śruby okrętowej, następuje spuszczenie tego napół wykończonego okrętu na wodę. Spuszczanie wykonywa się bardzo ostrożnie i powoli na drewnianych podkładach, wysmarowanych tłuszczem. Akt ten odbywa się z wielką uroczystością w obecności dygnitarzy i tłumów widzów; jest on zazwyczaj połączony z aktem „chrztu” t. j. nadania imienia okrętowi. Resztę pozostałych robót wykończy się już na statku pływającym.

Wielkość okrętu ocenia się zwykle na podstawie tego, ile Tonn wody wypiera dany okręt, gdy pływa po wodzie. Jeśli więc jakiś okręt wypiera np. 50.000 Tonn wody, mówimy, że jest to okręt o wyporności 50.000 Tonn.

Rycina 144 przedstawia w przekroju wnętrze statku pasażerskiego. Jak widać na niej, cała maszynerya statku jest umieszczona na dnie w środkowej części kadłuba. Jest to zrobione celowo. Takie bowiem rozmieszczenie przedmiotów najcięższych zapewnia kadłubowi trwałą równowagę. Inne ważniejsze urządzenia wewnętrzne statku ilustruje rycina. Dodamy tylko, że przód okrętu nazywa się „dziób”, tył — „rufa”, boki — „burty”, a spodnia zewnętrzna krawędź — „stepka” albo „kil”.

Statki pasażerskie i towarowe stanowią razem flotę handlową. Okręty wojenne budowane są w szczególny sposób, aby sprostały swojemu zadaniu. Mają one oprócz komór wodoszczelnych, ściany boczne opancerzone płytami stalowymi, które chronią je przed skutkami uderzenia pocisków nieprzyjacielskich. Na okręcie znajduje się załoga żołnierzy-marynarzy i wszelkiego rodzaju sprzęt wojenny, jak artyleria, karabiny maszynowe, torpedy, miny i t. d. Niektóre jednostki posiadają urządzenia specjalne, jak np. katapulty do wyrzucania samolotów, obszerne platformy do lądowania samolotów (t. zw. lotniskowce) i t. p. Zespół wszystkich okrętów razem stanowi flotę wojenną.

¹ W terminologii polskiej ustalili się nazwy: okręt = jednostka wojenna, statek = jednostka handlowa (do przewozu pasażerów i towarów).



Ryc. 144. Schematyczny przekrój statku pasażerskiego. Celem zachowania przejrzystości na rysunku tym nie uwidoczniiono szeregu innych urządzeń i pomieszczeń, jak dodatkowe składy węgla opałowego (czyli t. zw. bunkry), fryzjerznie, kabina z urządzeniami radiowymi i t. d.

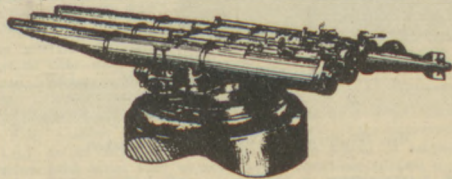
Oto niektóre najpospolitsze jednostki wojenne:

Pancerniki, czyli okręty linjowe, są to największe jednostki bojowe (o wyporności do 35.000 Tonn), posiadające najcięższe działa dalekonośne oraz najodporniejsze pancerze ochronne, których grubość dochodzi do 30, a nawet więcej centymetrów.

Krażownikami to jednostki lżejsze i szybsze od pancerników, spełniające na morzu analogiczne zadanie, co konnica na lądzie (wywiad, utarczki z lżejszymi okrętami).

Torpedowce i kontrtorpedowce są to okręty najszybsze i jeszcze lżejsze od poprzednich, o wyporności od paruset do 2.000 Tonn. Ich główną bronią zaczepną są najgroźniejsze dla statków pociski — torpedy.

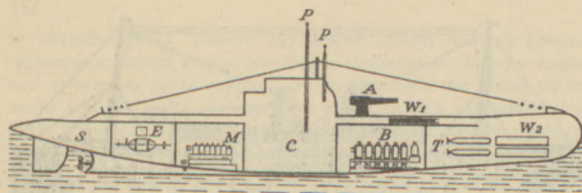
Torpeda jest to pocisk w kształcie cygara, napełniony materiałem wybuchowym i zaopatrzony we własny motor, poruszany zgęszczonym powietrzem. Torpeda, wyrzucana w kierunku nieprzyjacielskiego okrętu, zanurza się nieco pod wodę i porusza się dalej tuż pod powierzchnią wody, dopóki nie trafi do celu, albo, jeśli chybi,



Ryc. 145. Wyrzutnie torpedowe.

dopóki nie wyczerpie się zapas zgęszczonego powietrza. Zazwyczaj na okręcie takim znajdują się 2—3 wyrzutnie torpedowe (podobne do luf armatnich — ryc. 145), z których wyrzuca się równocześnie 2—3 torpedy, aby upewnić się, że przynajmniej jedna z nich trafi do celu.

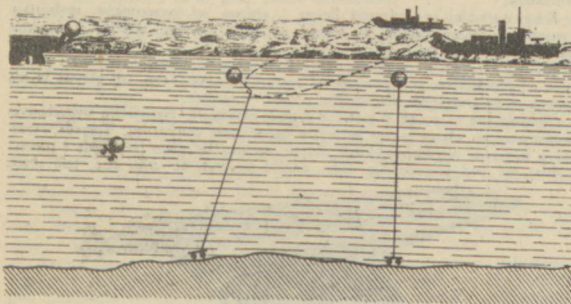
Łodzie podwodne (ryc. 146) to najgroźniejsze jednostki bojowe nowoczesnej floty. Główną ich bronią zaczepną są również torpedy. Groza ich polega jednak na tym, że okręty te mogą zanurzyć się całkowicie w wodzie i stamtąd zaatakować nieprzyjaciela niepostrzeżenie i z niewielkiej odległości. Celowanie do nieprzyjacielskiego statku i wogóle obserwowanie powierzchni morza, gdy łódź jest pod wodą,



Ryc. 146. Schemat łodzi podwodnej: S = sterownia, E = elektromotor, M = motor spalinowy, C = centrala, B = bateria akumulatorów, T = torpedy, W₁ i W₂ = wyreultnie torpedowe, A = armatka, PP = periskopy.

umożliwia wysunięta w górę długa rura z lusterkami, zwana peryskopem. (Jakbyś to zrobił? — Przypomnij sobie ze szkoły powszechnej). Sposób, w jaki łódź podwodna zanurza się i wynurza z wody, wyjaśnia ryc. 179.

Oprócz tych okrętów, mających charakter wybitnie bojowy, w skład floty wojennej wchodzi jeszcze liczne statki pomocnicze, jak stawiacze min, traulery (służące do wylławiania min — ryc. 147) i inne. Ponadto należą tu jeszcze rozmaite jednostki flotylli rzecznej, jak monitory, motorówki i t. d.



Ryc. 147. Stawianie i wylławianie min morskich.

Szybkość, z jaką porusza się okręt, jest naogół niewielka. Pod tym względem najszybszy okręt wojenny, czy statek handlowy, zaledwie dorówna zwykłemu pociągowi osobowemu. Szybkość okrętów podaje się zwykle w „milach morskich na godzinę”, czyli w t. zw. „węzłach”; 1 mila morska = 1,852 km, a więc szybkość 1 węzła = 1,852 km/godź.

102. Polska flota handlowa i wojenna.

Po odzyskaniu niepodległości, a z nią dostępu do morza, państwo polskie, chcąc naprawić błędy przodków, przystąpiło do wykorzystania wybrzeża morskiego, budując tam własny nowoczesny port Gdynię oraz zaczątki własnej floty handlowej i wojennej. Mądra ta akcja wydała rychło bogaty plon.

Już w ciągu pierwszych 10 lat zyskała Gdynia 40 linii okrętowych, łączących ją regularnie ze 120 portami całego świata (w tem 4 linie całkowicie polskie, 2 częściowo, reszta obce). Tysiące statków przewija się już rok rocznie przy skrawku naszego wybrzeża (w portach Gdyni i Gdańska), zaspokajając 3/4 naszego obrotu towarowego z za granicą. A przecież skrawek ten stanowi zaledwie 2,6% granic całego państwa! Przez każdy kilometr brzegu morskiego przewożymy 45 razy więcej towarów, niż przez kilometr granicy lądowej. Ileż pieniędzy wpływa tedy do kraju, ile rąk roboczych znajduje tu zatrudnienie!

Nasza własna flota handlowa liczyła do 1934 r. 39 statków o łącznej pojemności 66.000 Tonn, (Pojemność — w przeciwieństwie do wyporności — oznacza, ile Tonn ładunku można naładować na statek). Po doliczeniu dwu, będących własnie na ukończeniu, najnowszych statków „Piłsudski” i „Batory” (ob. ryc. 143) tonaż naszej floty wzrosła o dalsze 30.000 Tonn.

Mimo to flota nasza nie dorównywa jeszcze nawet flocie gdańskiej, której tonaż wynosi 274.000 Tonn. Jakkolwiek więc możemy być dumni z dotychczasowych rezultatów, winniśmy zdawać sobie sprawę, że trzeba tu jeszcze dalszego wysiłku i wytrwałej pracy.

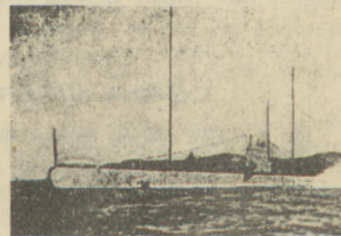
Także wojenna flota polska jest na razie uboga. Jej trzodem są właściwie tylko 2 nowoczesne kontrotorpedowce („Burza” i „Wicher” — ryc. 148a), oraz 3 łodzie podwodne („Rys”, „Wilk” i „Zbik” — ryc. 148b). Inne jednostki (kilka torpedowców, kanonierek i t. d.), to już okręty przestarzałe, nadające się jedynie do szkolenia marynarzy. Ogółem tonaż naszej floty wojennej wynosi dotychczas zaledwie 6.000 Tonn, co w porównaniu np. z Niemcami (150.000 Tonn), czy Rosją (200.000 Tonn), jest znikomą małą.

Nie mamy także wielkich doków okrętowych (stocznii). Zaczątek takich doków istnieje już w Gdyni, gdzie buduje się na razie jednostki mniejsze, jak traulery, kutry rybackie i t. p.

Na zakończenie podajemy parę cyfr, wyrażających wydatki, jakie przypadają na flotę w różnych państwach na głowę mieszkańca: Anglja — 50,5 zł., Francja — 22 zł., Włochy — 19 zł., Niemcy — 9 zł., Polska — 1,20 zł. Jak widać, stoimy tu na szarym końcu. Aby ten stan rzeczy polepszyć, potrzeba na to, obok wysiłku rządu, także ofiarności społeczeństwa.



Ryc. 148a). Polaki kontrotorpedowiec „Wicher”.



Ryc. 148b). Polaka łódź podwodna „Rys”.

Pytania.

- 1) Odczytaj na mapie głębokość Bałtyku w kilku miejscach i oblicz, jakie panuje tam ciśnienie.
- 2) Czy statek zanurza się w wodzie rzecznej i morskiej na jednakową głębokość?
- 3) Jaką rolę odgrywają pęcherze pławne w organizmach ryb?
- 4) Z blachy żelaznej o grubości 2 mm wykonano łódkę w kształcie, wskazanym na ryc. 149. Wymiary łódki: $AB=20\text{ cm}$, $BC=CD=BD=10\text{ cm}$



Ryc. 149.

Jak głęboko zanurzy się ona w wodzie? Jakie jest największe dopuszczalne jej obciążenie, aby nie utonęła w wodzie? Jakie — aby nie utonęła w rtęci? (Ciężary wł. żelaza i rtęci odczytaj z tablic).

Rozdział IV

CIŚNIENIE ATMOSFERYCZNE

103. Z dziejów odkrycia ciśnienia atmosferycznego.

Pewien znakomity badacz przyrody, charakteryzując genezę niektórych swoich odkryć fizycznych, porównał się z wędrowcem, który, wspiąwszy się na szczyt góry ścieżkami krętymi i uciążliwymi, ze szczytu dopiero spostrzega, iż wiodła tam niezauważona przezeń także inna droga, wygodna i prosta.

Trafne to porównanie odnosi się do bardzo wielu odkryć, dokonanych także przez innych uczonych. Przykładem odkrycia, dokonanego taką właśnie „drogą okrężną”, było między innymi odkrycie ciśnienia atmosferycznego.

Początek całej historii dała pewna niefortunna studnia, jaką zbudowano we Florencji w XVII wieku. Ponieważ chodziło tam o studnię z pompą ssącą, dlatego przypomniemy sobie najpierw budowę takiej pompy.

Jak wiadomo, najważniejszą częścią składową pompy ssącej jest rura z tłokiem oraz dwa zawory: dolny wbudowany w rurze, i górny w tłoku. Oba zawory mogą otwierać się tylko do góry (ryc. 150). Gdy zapomocą dźwigni podnosimy tłok do góry, woda wpływa ze zbiornika przez sitko ochronne do dolnej części rury, a dotarłszy do

zaworu dolnego, otwiera go i wznosi się w ślad za tłokiem do góry. Przy powrotnym ruchu tłoka zawór zamyka się, a znajdująca się nad nim woda przedostaje się przez zawór tłokowy ponad tłok. Następny z kolei ruch tłoka podciąga ją w górę aż do kolanka odpływowego, podczas gdy przez sitko napływa równocześnie nowa dawka wody.

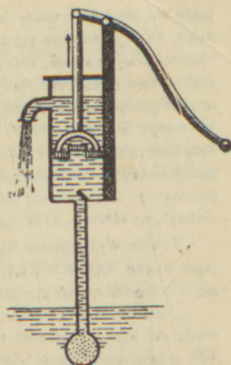
Pompy takie znane były od bardzo dawnych czasów, budowano je bowiem już w starożytności. Nie wiedziano atoli rzeczy najważniejszej, mianowicie nie rozumiano, dlaczego to woda podnosi się w rurze tłokowej, gdy tłok ciągniemy do góry.

Zjawisko to usiłował wytłumaczyć już w IV wieku przed Chrystusem wielki ówczesny filozof grecki ARYSTOTELES. Wyraził on pogląd, że przyroda nie znosi próżni (horror vacui — wstręt do próżni). Zdaniem więc Arystotelesa woda musi wypełnić rurę, bo gdyby tego nie uczyniła, to pod tłokiem powstałaby próżnia, a przecież — jak sądził — próżnia w przyrodzie nie może istnieć.

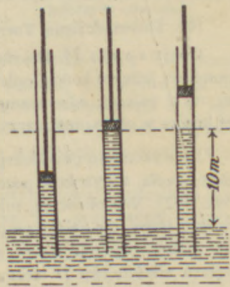
Pogląd o rzekomym wstręcie przyrody do próżni przetrwał przez długie wieki dzięki wielkiej powadze Arystotelesa. A mógł on przetrwać dlatego tak długo, że aż do XVII wieku uczeni nie zanotowali wypadku, któryby temu pogładowi zaprzeczył.

Momentem zwrotnym stał się dopiero wspomniany wyżej wypadek we Florencji. Zbudowano tam wówczas pompę ssącą, której rura była bardzo długa, mianowicie o długości większej, niż 10 m. Gdy po wykończeniu pompy puszczone ją w ruch, okazało się, że woda podnosi się w rurze tylko do wysokości około 10 m. Mimo wszelkich wysiłków nie zdołano wody podnieść ani trochę wyżej. Pomiędzy wodą a tłokiem tworzyła się próżnia (ryc. 151).

Głośny ten wypadek wywołał u ówczesnych uczonych niemalże zdumienie, albowiem zaprzeczal wyraźnie poglądom.



Ryc. 150. Pompa wodna ssąca.



Ryc. 151. W rurze, opróżnionej z powietrza, woda wznosi się tylko do wysokości 10 m.

jakie od dwóch tysięcy lat powszechnie panowały. To też nie dziwnego, że wyjaśnienie tej zagadki poruczono słynnemu uczonemu włoskiemu Galileuszowi, który dzięki swym kilku znakomitym odkryciom stał wtedy u szczytu sławy. Galileusz jednak rozwiązania nie znalazł!

Wprawdzie Galileusz wiedział, że ziemię naszą otacza ocean powietrzny, wiedział także, że powietrze jest ciężkie, gdyż sam je ważył, lecz nie domyślił się, iż między ciężarem powietrza a działaniem pomp ssących zachodzi jakiś związek. (W jaki sposób można zważyć powietrze? Przypomnij sobie, jak to robiliście w szkole powszechnej. Zobacz w tablicy XIII na str. 152, ile waży 1 cm^3 powietrza).

Trafne wyjaśnienie tego zjawiska dał dopiero po śmierci Galileusza jego uczeń TORRICELLI. Nie znamy przesłanek, jakimi kierował się Torricelli w swem rozumowaniu. Mógł on jednak rozumować tak:

„Powietrze jest ciężkie, więc ciśnię na wodę; ono ta zapewne wypcha wodę do rury. Zachodzi tu widocznie zjawisko podobne, jak na ryc. 120, gdzie wznoszenie się rtęci w rurze jest wynikiem ciśnienia, wywieranego przez wodę. Mianowicie — jak tam wysokość słupka rtęci jest miarą ciśnienia, wywieranego na rtęć przez wodę — tak tu wysokość, na jaką woda może się wznieść w pompie, jest miarą ciśnienia, wywieranego na zbiornik z wodą przez powietrze atmosferyczne”.

„Gdyby wodę w pompie czy innej rurze zastąpić cięższą cieczą, np. rtęcią, — rozumował dalej Torricelli — to do zrównoważenia ciśnienia powietrza powinienby wystarczyć słup rtęci tyle razy niższy od słupa wody, ile razy rtęć jest cięższa od wody”.

Ten ostatni wniosek sprawdził Torricelli doświadczalnie, przyczem okazało się, że przewidywania jego były całkowicie słuszne.

104. Doświadczenie Torricellego.

Cwiczenie 74. Do rurki szklanej o długości około 80 cm. zasklepionej na jednym końcu, nalewamy pełno rtęci, poczem, zatkawszy wyłot rurki palcem, odwracamy rurkę dnem do góry, zanurzamy dolny jej koniec w obszernym naczyniu, wypełnionem rtęcią, i usuwamy palec.

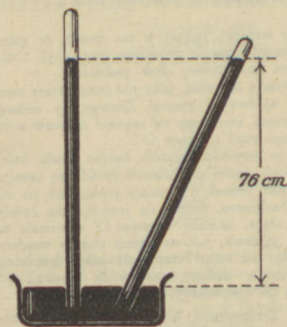
Po wykonaniu powyższego doświadczenia okaże się, że rtęć w rurce nieco opadła, a wysokość pozostałego w niej słupa h wynosi około 76 cm (ryc. 152). Wysokość ta, mierzona pionowo od powierzchni rtęci do szczytu słupa, nie zależy od pochylenia rurki. Jest to zrozumiałe, gdyż, jak wiemy, ciśnienie cieczy zależy tylko od różnicy poziomów h i od ciężaru właściwego D cieczy.

Znając ciężar właściwy rtęci $D = 13,59 \text{ G/cm}^3$ (w temp. 0°), oraz wysokość słupa $h = 76 \text{ cm}$, łatwo wyliczyć ciśnienie, wywierane przez ten słup rtęci.

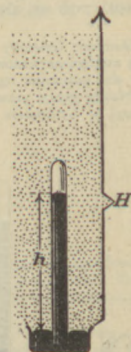
Wynosi ono:

$$p = D \cdot h = 13,59 \cdot 76 = 1033 \text{ (G/cm}^2\text{)} \text{ czyli } 1,033 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}.$$

Tyle samo oczywiście wynosi ciśnienie powietrza atmosferycznego, którego ciężar właściwy jest wprawdzie niewielki, ale za to słup H sięga do bardzo wielkiej wysokości (ryc. 153). Ciśnienie to jest więc dość duże: Słup powietrza, unoszący się pionowo nad każdym cm^2 powierzchni ziemi i sięgający aż do najwyższych szczytów atmosfery, waży 1,033 Kg



Ryc. 152. Doświadczenie Torricellego.



Ryc. 153. Olbrzymi słup powietrza H i mały słupek rtęci h wywierają jednakowe ciśnienia.

Znalezioną wyżej wielkość $1,033 \text{ Kg/cm}^2$ nazywamy ciśnieniem jednej atmosfery normalnej. Biską jej wartość, bo wyrównaną do 1 Kg/cm^2 , posiada ciśnienia jednej atmosfery technicznej, t. j. jednostki, używanej w technice do mierzenia ciśnień, wywieranych przez gazy w silnikach spalinowych, przez parę w kotłach parowych i t. p.

105. Barometry rtęciowe. Przyrząd, użyty przez Torricellego, był niczem innym, jak pierwszym barometrem, t. j. przyrządem, używanym dziś powszechnie do mierzenia ciśnienia atmosferycznego. (Po grecku: barys = ciężki).

Rozpowszechnił się nawet zwyczaj wyrażania ciśnienia atmosferycznego nie w Kg/cm^2 , lecz w „milimetrach słupka rtęci”, albo krótko w „milimetrach rtęci”. Np. czytając w gazecie komunikat, że w danym dniu ciśnienie wynosi 760 mm rtęci, rozumiemy, że w dniu tym słup

rtęci w barometrze miał wysokość 760 mm, czyli — co na jedno wychodzi — ciśnienie powietrza wynosiło 1,033 Kg/cm².

Dzisiejsze barometry opierają się na tej samej zasadzie, co przyrząd Torricellego, lecz są wykonywane w rozmaitych postaciach. Oto dwa najczęściej spotykane typy barometrów rtęciowych:

Barometr naczyniowy (ryc. 154) różni się tem od pierwowzoru Torricellego, że dno naczynka można podnosić lub obniżać zapomocą śruby S. Przed odczytaniem barometru należy zapomocą tej śruby ustawić poziom rtęci na poziomie zerowej kreski podziałki, czyli tak, aby powierzchnia rtęci zetknęła się z ostrzem kolca K.

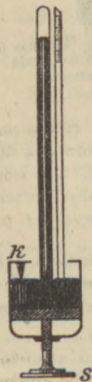
Barometr lewarowy składa się z rury szklanej, zgiętej w ten sposób, że górne ramię zamknięte stanowi przedłużenie dolnego ramienia otwartego (ryc. 155). Odległość obu poziomów rtęci odczytuje się na umieszczonej obok podziałce.

Należy jeszcze zauważyć, że nie jest rzeczą obojętną, jaka jest temperatura rtęci, zawartej w barometrze. Rtgęć ciepła jest rzadsza od zimnej. Dlatego, by uniknąć nieporozumień, umówiono się mierzyc ciśnienie wysokości słupa rtęci o temp. 0°.

Jest to oczywiście różnica bardzo mała, którą w pomiarach mniej dokładnych zwykle się pomija. Gdzie chodzi jednak o pomiary ścisłe, tam po odczytaniu barometru, oblicza się jeszcze, jaka byłaby wysokość słupa, któraby w temp. 0° wywierała takie samo ciśnienie, jak zmierzony słup w temperaturze różnej od zera. Przeliczenie takie (ułatwiają je odpowiednie tablice) nazywa się redukcją barometru do temperatury zerowej.

106. Zmienność ciśnienia atmosferycznego z wysokością.

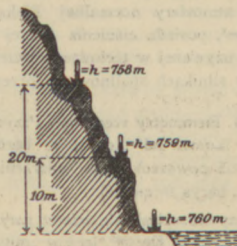
Cwiczenie 75. Zmierzymy zapomocą barometru ciśnienie atmosferyczne w możliwie krótkim odstepie czasu, raz na niższym poziomie, drugi raz na wyższym, np. w piw-



Ryc. 154.
Barometr
naczyniowy.



Ryc. 155.
Barometr
lewarowy.



Ryc. 156. Spadek
ciśnienia atmosferycznego
z wysokością.

taicy i na strychu wysokiego budynku, albo jeszcze lepiej u podnóża góry i na jej szczycie.

O ile różnica poziomów jest dostatecznie wielka, stwierdzimy bez trudności, że w górze ciśnienie atmosferyczne jest zawsze mniejsze, niż u dołu: Na każde mniej więcej 10 m wzniesienia słup rtęci w barometrze kręca się o 1 mm (ryc. 156); w wyższych warstwach atmosfery, gdzie powietrze jest coraz rzadsze, skróceniom słupka rtęci o każdy dalszy milimetr odpowiadają wzniesienia odpowiednio większe.

ROZKŁAD PIONOWY CIŚNIENIA W ATMOSFERZE W TEMP 0°

Wysokość nad poziomem morza:	Ciśnienie:
0 m	760 mm rt.
100 „	750,5 „ „
200 „	741,1 „ „
300 „	731,9 „ „
1000 „	679,6 „ „
5000 „	406,5 „ „
10000 „	217,4 „ „
20000 „	62,2 „ „
30000 „	17,8 „ „

Spadek ciśnienia barometrycznego z wysokością jest ostatecznym dowodem, potwierdzającym słuszność przypuszczenia Torricellego o ciśnieniu powietrza. Dowód ten przeprowadził po raz pierwszy w kilka lat po słynnym doświadczeniu Torricellego uczony francuski Pascal na górze Puy-de-Dome we Francji.

Jeśli powietrze rzeczywiście ciśnie, — rozumował Pascal — to, podobnie jak w oceanie wodnym, ciśnienie to powinno być w górnych warstwach mniejsze, niż w dolnych. Gdyby doświadczenie tego wniosku nie potwierdziło, przypuszczenie Torricellego musiałoby upaść.

Niestety, w okolicy, gdzie mieszkał Pascal, nie było góry, na której mógłby sprawdzić doświadczalnie swoje rozumowanie. Zwrócił się więc listownie do swego szwagra Periera, mieszkającego w górskiej okolicy, z prośbą o wykonanie tego doświadczenia. Oto urywki listów, jakie ze sobą wymienili:

List Pascala do Periera.
15 XI 1647

To, co Panu dziś zakomunikuję, będzie tylko ciągiem dalszym naszych rozmów o próżni.

...Chodzi o wykonanie znanego doświadczenia (Torricellego) kilkakrotnie tego samego dnia, w tej samej rurce, z tą samą rtęcią, raz po raz to u podnóża, to na szczycie góry...

...Żywię nadzieję, iż Pan zechce sam to doświadczenie wykonać...

Odpowiedź Periera.

22 IX 1648

Nareszcie wykonałem doświadczenie, którego od tak dawna Pan sobie życzył.

Powiadomiłem o tem kilku obywateli... Zebraliśmy się wszyscy i rozpoczęliśmy doświadczenie.

...Wziąwszy dwie rurki (Torricellego)... pozostawiłem jedną (u stóp góry)... z drugą zaś, udałem się na szczyt Puy-de-Dome. Okazało się, że pomiędzy poziomem rtęci (barometru dolnego i górnego) zachodzi różnica 3 cali i 1/2 linii.

Napelniono tas to zachwytem...

107. Zmienność ciśnienia atmosferycznego w zależności od stanu powietrza. Obserwując barometr, zawieszony w jednym i tem samym miejscu, przez dłuższy okres czasu, np. przez kilka lub kilkanaście dni, zauważymy, że wysokość jego słupka rtęci naogół ulega zmianom. Raz wysokość słupka zwiększa się (mówimy, że jest *wyższa* barometru), to znowu zmniejsza (*niższa* barometru); czasem te zmiany są gwałtowne, czasem powolne i nieznaczne, niekiedy słupek pozostaje przez czereg godzin, a nawet dni, niezmienny.

Świadczy to, że nawet w jednym i tem samym miejscu ciśnienie atmosferyczne się zmienia. Zmiany te wahają się w granicach mniej więcej od 740 mm do 780 mm rtęci. Notując codziennie stan barometru, możemy po pewnym czasie, np. po roku, obliczyć *średnie ciśnienie* atmosferyczne dla danego miejsca. Wartość 760 mm rt. jest właśnie takim średnim ciśnieniem, panującym nad poziomem morza.

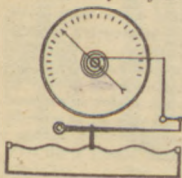
Uczeni zbadali, że owe zmiany zależą od każdorazowego stanu powietrza, mianowicie od jego temperatury, od wilgotności, od rozmaitych prądów powietrznych, oraz że zmiany te pozostają w związku z pogodą. Stąd cenny pożytek z barometru, jako przyrządu, pozwalającego do pewnego stopnia przewidywać pogodę w najbliższym czasie.

Bliższe wiadomości na ten temat znajdzie czytelnik w rozdziale "O pogodzie".

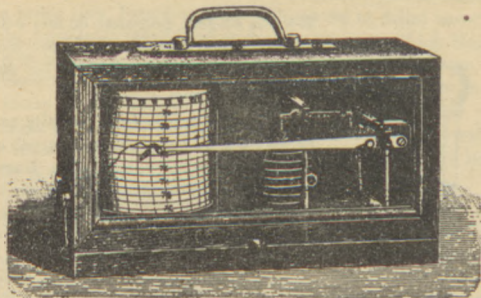
108. Inne typy barometrów. Oprócz barometrów rtęciowych używa się także innych barometrów, metalowych, zwanych *aneroidami*.

Zasadę budowy aneroidu przedstawia ryc. 157. Jest to puszka metalowa, hermetycznie zamknięta, zawierająca wewnątrz rozrzedzone powietrze. Górne denko puszkki jest wykonane z cienkiej, falistej pociętej blachy. Gdy ciśnienie atmosferyczne wzrasta, denko to ugina się do wnętrza puszkki, gdy maleje—odpręża się nazewnątrz. Owe ruchy denka przenoszą się za pośrednictwem układu dźwigni na wskazówkę przyrządu. Podziałkę aneroidu sporządza się przez porównanie z barometrem rtęciowym. Jeśli więc wskazówka aneroidu pokrywa się z kreską, oznaczoną liczbą np. 752, znaczy to, że ciśnienie atmosferyczne, zmierzone barometrem rtęciowym, wyraża się wysokością 752 mm sł. rt.

Można też aneroid wycelować inaczej, mianowicie zamiast liczb, wyrażających ciśnienia, można wypisać na tarczy odrazu wysokości, na jakich takie właśnie ciśnienia panują. Lotnik, posługujący się takim przyrządem, wie z jego wskazań, na jakiej wysokości



Ryc. 157. Aneroid.



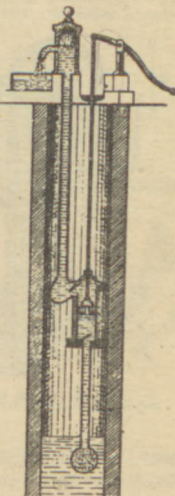
Ryc. 158. Barograf.

znajduje się w każdej chwili swego lotu. Wycelowany w ten sposób aneroid nazywa się *wysokościomierzem* albo z łacińska *altimetrem*.

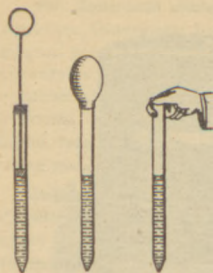
Na ryc. 158 widzimy t. zw. *barograf*, t. j. barometr samopiszący, zbudowany na tej samej zasadzie, co aneroid. Automatyczne zapisywanie ciśnienia odbywa się tak samo, jak w termografie (ob. ust. 31). Otrzymana zygzakowata linja odpowiada zmianom ciśnienia atmosferycznego.

109. Ciśnienie atmosferyczne na usługach człowieka. Z ciśnienia powietrza korzystają ludzie przy- bardzo wielu urządzeniach, nie zdając sobie nieraz sprawy z zasady działania tych przyrządów. Wymownym tego przykładem były chociażby pompy wodne; budowę ich znano już w starożytności, lecz naukowe wyjaśnienie ich działania dał dopiero Torricelli.

Obecnie już rozumiemy, dlaczego to do pompowania wody z głębokości większej, niż 10 m, używa się pomp ssąco-tłoczących, jak na ryc. 159. Pompa taka, jak widzimy, składa się z dwóch części: pompy ssącej połączonej z nią z boku pompy tłoczącej. Pierwsza musi być zawsze krótsza, niż 10 m, gdyż do niej wpycha wodę powietrze. Druga może mieć



Ryc. 159. Pompa wodna ssąco-tłocząca.

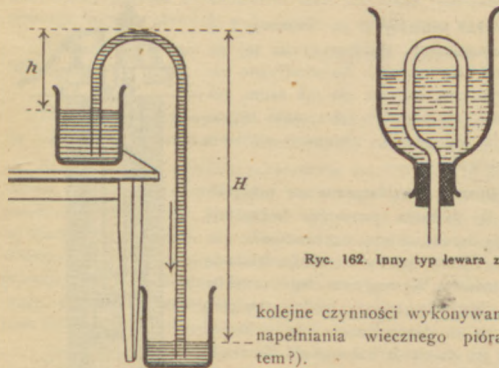


Ryc. 160. Najpospolitsze typy lewarów prostych.

dowolną długość, ponieważ do niej wtłaczamy wodę siłą naszych mięśni lub motoru. (Dziś są w użyciu także inne pompy, oparte na innych zasadach).

Ryc. 160 przedstawia rozmaite rodzaje lewarów prostych, działających na tej samej zasadzie, co pompy ssące. Usuwanie powietrza z ich wnętrza odbywa się u niektórych lewarów zapomocą tłoczka u innych przez ściśnięcie ręką balonika gumowego, jeszcze u innych przez zanurzenie rurki w płynie i zatkanie palcem jej górnego wylotu.

Służą nam one do wielorakich celów, jak np. do robienia zastrzyków chorym, do czerpania kwasu siarkowego i napełniania nim akumulatorów i t. p. Znajdują się one także wewnątrz t. zw. wiecznych piór w postaci długich zbiorników gumowych, zawierających zapas atramentu. (Jakie



Ryc. 162. Inny typ lewara zgiętego.

kolejne czynności wykonywamy podczas napełniania wiecznego pióra atramentem?).

Na tej samej również zasadzie polega picie płynów przez człowieka: Płyn tak długo nie wchodzi ze szklanki do ust, dopóki nie opróżnimy jamy ustnej, wciągając powietrze do płuc; dopiero wtedy ciśnienie atmosferyczne wypycha nam płyn do ust.

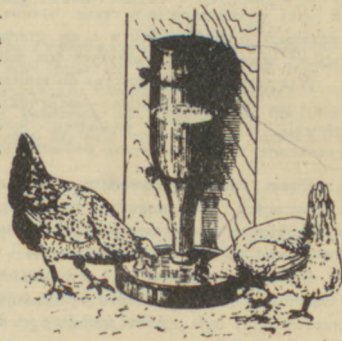
Na ryc. 161 widzimy t. zw. lewar zgięty, służący do przelewania cieczy z poziomu wyższego na niższy, np. do spuszczenia wina z beczki do flaszek i t. p. Aby taki lewar zaczął działać, trzeba go najpierw

opróżnić z powietrza, co czynimy zwykle przez wysśanie ustami u dolnego końca rury. Przepływ cieczy odbywa się tu dzięki nadwyżce ciśnienia, wywołanej różnicą wysokości słupów cieczy H i h . Rozzerwaniu się tych słupów w najwyższym punkcie kolanka lewarowego zapobiega ciśnienie, wywierane przez powietrze atmosferyczne na powierzchni cieczy w obu naczyniach, zmniejszone z jednej strony o ciśnienie słupa wody h , a z drugiej — słupa H . (Czy przepływ wody przez taki lewar byłby możliwy, gdyby h było większe niż 10 m ? A jak byłoby z rtęcią?).

Ciekawą postać lewara przedstawia rycina 162. Zrób taki przyrząd (z flaszki bez dna, korka i rurki zgiętej), następnie nalewaj do flaszki powoli wodę, a przekonasz się, że woda tak długo nie wypływa z flaszki, dopóki poziom wody nie wzniesie się ponad kolanko rurki; gdy to nastąpi, wtedy wypłynie odrazu cała zawartość flaszki. Wyjaśnij, dlaczego tak jest.

Z przyrządu takiego, ustawionego na stałe pod otwartym kranem wodociągu, będą wyrzucane w równych odstępach czasu duże dawki wody, które można wykorzystać do różnych celów, np. do samoczynnego splókiwania muszli w miejscach ustępowych. Nieco odmienne urządzenie lewarowe, służące do tego samego celu, jest wykonane w ten sposób, że woda wypływa ze zbiornika dopiero po podniesieniu metalowego dzwonu na skutek pociągnięcia za zwisający łańcuszek. Zbadaj to urządzenie).

Z pośród licznych urządzeń, opartych na ciśnieniu powietrza, zasługuje jeszcze na uwagę poidelko dla drobiu lub pszczół, jak na ryc. 163. Jest to przyrząd łatwy do wykonania, a za razem bardzo pożyteczny w gospodarstwie domowym. Składa się on z dużej odwróconej flaszki, napełnionej wodą i zanurzonej szyjką w płytkiej wanience z wodą. Urządzenie takie wyrecza gospodyni domu, zapewniając dla drobiu na dłuższy czas zapas czystej wody. Wyjaśnij działanie tego przyrządu.



Ryc. 163. Praktyczne poidelko dla drobiu.

PARCIE NA CIAŁA ZANURZONE W GAZIE

110. Zjawiska „pływania” i „tonięcia” gazów w powietrzu.

Któż dziś nie słyszał o balonach, zwłaszcza po tak świetnych niedawno zwycięstwach balonowego lotnictwa polskiego. Balony, w przeciwieństwie do samolotów, nie mają żadnych motorów, a mimo to wznoszą się w górę. Warunkiem niezbędnym jest tylko napełnienie ich odpowiednim gazem, a wtedy balon „wypływa” sam do góry — podobnie jak korek z wody.

Nie załoga więc, ani powłoka balonowa, decydują tu o nośności balonu, lecz gaz, wypełniający powłokę. W razie przedarcia powłoki, gaz uchodzi z niej do góry, a wtedy balon spada na ziemię. Że niektóre gazy są zdolne unosić się w górę, mamy na to liczne inne dowody, chociażby unoszenie się dymu z kolumny.

Znamy również wypadki przeciwnie, mianowicie zjawiska „tonięcia” gazów w powietrzu. Gazy takie, zwykle trujące i niebezpieczne dla życia, znajdują się niekiedy na dnie głębokich studni, wypełniają niektóre nisko położone pieczary (np. znana jest z tego t. zw. Psia Grot w pobliżu wulkanu Wezuwjusza), a także kanały, kloaki i t. p. Dla tej ich cechy wytwarzano je w czasie ostatniej wojny masowo fabrycznie i puszczano z wiatrem, lub w t. zw. granatach, do okopów nieprzyjacielskich w celu zatruć ukrytych tam żołnierzy.

Wszystko to upoważnia nas do mniemania, że różne gazy — podobnie jak ciecze i ciała stałe — mają różne ciężary właściwe i dlatego „pływają” lub „toną” w powietrzu. Sprawdźmy to doświadczalnie, wyznaczając ciężary właściwe powietrza oraz innych gazów.

Ciężar właściwy powietrza. Ćwiczenie 76. Kolbę szklaną o pojemności 1 litra zatykamy korkiem gumowym, zaopatrzoną w rurkę szklaną z dobrze uszczelnionym kranem. Z pomocą dobrej pompy powietrznej opróżniamy ją z powietrza i ważymy na czulej wadze.

Następnie otwieramy kran w celu wpuszczenia do kolby powietrza i ważymy ją ponownie. Kolba będzie teraz o P gramów cięższa, niż przedtem, gdy była próżna; świadczy to, że zawarte w niej powietrze waży P gramów.

Znając ciężar P powietrza, zawartego w kolbie, oraz jego objętość V (t. j. pojemność kolby), obliczymy łatwo ciężar właściwy

$$D = \frac{P}{V} \text{ (G/cm}^3\text{)}.$$

Dość trudną sprawą przy takim pomiarze jest dokładne opróżnienie kolby z powietrza. Jak bowiem wkrótce zobaczymy, (gdy zapozna-

my się z budową i działaniem pomp powietrznych), nawet najlepsza pompa nie zdoła usunąć całkowicie powietrza z kolby.

W braku dobrej pompy można usunąć powietrze z kolby (oczywiście również tylko częściowo) w następujący sposób: Nalać do kolby niewielką ilość wody i gotować ją energicznie nad silnym płomieniem palnika. Wtedy strumień pary porывa i unosi z sobą powietrze z kolby. W chwili usuwania palnika zatkać kolbę korkiem, zaopatrzoną w rurkę z kranem. Dalej postępujemy tak samo, jak wyżej, z tą tylko różnicą, że uwzględniamy jeszcze zmniejszenie się pojemności kolby o tyle cm^3 , ile wynosi objętość pozostałej w kolbie wody.

Pomiary, wykonane bardzo starannie i dokładnie przez fizyków, wykazały, że ciężar właściwy powietrza suchego o temperaturze 0° i pod ciśnieniem 76 cm rt. wynosi 0,001293 G/cm³.

Badania, przeprowadzone na wysokościach większych, wykazały, że w miarę wznoszenia się w górę ciężar właściwy powietrza jest coraz mniejszy, czyli że powietrze jest tam coraz rzadsze. Dla orientacji czytelnika podajemy, że już na wysokości 5 km ciężar właściwy powietrza jest około 2 razy mniejszy, niż na poziomie morza, a na wysokości 18 km około 10 razy mniejszy.

Poświęćmy chwilę uwagi liczbie 0,001293 G/cm³. Czegoż ona nas nauczy?

Oto, porównując ciężary właściwe powietrza i wody, widzimy, że powietrze jest prawie 800 razy lżejsze od wody. (Sprawdź to rachunkiem). Jest to więc w porównaniu z wodą substancja bardzo rzadka i nadzwyczaj lekka. Nic dziwnego, że bezpośrednio odczuwamy ją dopiero wtedy, gdy jest w szybkim ruchu, np. podczas silnego wiatru.

Widzimy jednak zarazem, że to „nadzwyczaj lekkie” powietrze jest w rzeczywistości „bardzo ciężkie”. Wszakże 1 m³ powietrza waży przeszło 1 Kg. Oblicz w przybliżeniu, ile waży powietrze, znajdujące się w pokoju, w budynku szkolnym. Otrzymane z rachunku cyfry zaskoczą zapewne niejednego człowieka; nie każdy bowiem zdaje sobie sprawę, że powietrze, wypełniające jego mieszkanie, waży niekiedy więcej, niż on sam i wszystkie jego ruchomości.

112. Ciężary właściwe innych gazów. Ćwiczenie 77. Zmierzmy w podobny sposób, jak w ćwiczeniu poprzednim, ciężary właściwe innych gazów, np. gazu świetlnego i dwutlenku węgla.

Pomiary takie wykazują, że gazy różnią się od siebie ciężarami właściwymi. Jak wskazuje zamieszczona niżej tablica XIII, różnice te są nawet dość znaczne.

Tablica XIII

CIĘŻARY WŁAŚCIWE GAZÓW W TEMP. 0° PRZY CIŚNIENIU 760 mm RTĘCI

Wodór	0,000898 G/cm ³
Hel	0,000179 "
Gaz świetlny ok.	0,00064 "
Azot	0,001250 "
Powietrze	0,001293 "
Tlen	0,001429 "
Argon	0,001783 "
Dwutlenek węgla	0,001977 "
Chlor	0,003220 "

Większość wymienionych tu gazów wchodzi w skład powietrza atmosferycznego. Powietrze, jak wiesz ze szkoły powszechnej, jest mieszaniną, która składa się głównie z azotu (około 78% objętości) i tlenu (około 21%). Ale oprócz tych dwóch głównych składników, powietrze zawiera jeszcze drobnie domieszki wielu innych gazów, jak: argon (około 0,9%), dwutlenek węgla (około 0,03%), wodór (0,01%) neon (0,001%). Ponadto w powietrzu znajduje się zawsze pewna ilość pary wodnej.

113. Prawo Archimedesesa dla gazów. Cwiczenie 78. Zabawmy się w puszczenie baniek mydlanych w warunkach następujących:

a) Wydmuchajmy ustami bańkę mydlaną i upuśćmy ją nad dużym stojem, zawierającym dwutlenek węgla. (Należy w tym celu umieścić na dnie słoja kilka okruszków kredy i połączyć je rozcieńczonym kwasem solnym).

b) Napelnijmy bańkę mydlaną gazem świetlnym i puśćmy ją w powietrze. Należy w tym celu połączyć z kranem przewodu gazowego (z pomocą krótkiego węża gumowego) grubościenną rurkę szklaną o wąskim otworze (1—2 mm), potem nabrać na koniec rurki nieco mydlin, odwrócić ją wylotem do góry, otworzyć na chwilę kran, a gdy uformuje się bańka, szarpnąć rurką w dół w celu oderwania jej od bańki.

Wyniki tych doświadczeń wskazują wyraźnie, że mamy tu do czynienia — podobnie, jak w cieczach — ze zjawiskiem wyporu, jakiego uoznają gazy lżejsze po zanurzeniu ich w gazach cięższych. W pierwszym wypadku bańka powietrza pływa w cięższym od powietrza dwutlenku węgla, w drugim wystrzela pionowo w górę, rozbijając się o sufit. Wypór jest tak duży, że wypierany w górę gaz unosi z sobą swoją powłokę mydlaną.

Jeszcze jedno poręczające doświadczenie można wykonać z pomocą przyrządu, wskazanego na ryc. 164.

Jest to waga, której ramię obciążone jest bańką szklaną, wewnątrz pustą; na drugim ramieniu znajduje się równoważący ją ciężarek mo-

sięjny. Gdy wagę ustawimy pod kloszem, z którego wypompowano powietrze, równowaga zostaje zaburzona: belka wagi przechyliła się w stronę bańki szklanej.

Nietrudno wytłumaczyć to zjawisko. Bańka szklana posiada, w porównaniu z ciężarkiem mosiężnym, bardzo dużą objętość. Zanurzona w powietrzu, wypiera więcej powietrza, niż ciężarek mosiężny. Bańka jest więc w rzeczywistości cięższa, niż równoważąca ją bryłka mosiężna. W próżni, gdzie niema strat na ciężarze, bańka przeważa. (Czy i w którą stronę przechyli się belka jeśli przyrząd ten nakryjemy kloszem, zawierającym gaz świetlny? Jak zachowałaby się belka, gdybyśmy cały przyrząd zanurzyli w wodzie?)

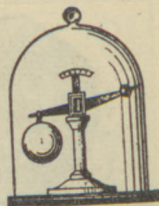
Dokładne pomiary oparte na ważeniu, wykazują, że pozorna strata ciężaru ciała, zanurzonego w powietrzu, czy w innym gazie, wynosi tyle, ile waży wyparty przez to ciało gaz. Innymi słowy, prawo Archimedesesa stosuje się w całej rozciągłości także i do gazów.

Bańka z gazem świetlnym uniosła się w górę, gdyż ważyła mniej, niż wyparte przez nią powietrze, zaś bańka powietrzna „pływała” na dwutlenku węgla, gdyż ważyła mniej, niż taka sama objętość gazu. Różnicę tych dwóch ciężarów (gazu w baloniku i wypartego przez balonik) nazywamy siłą nośną balonu.

Jak widzimy więc, zjawisko pływania i tonięcia ciał w gazach ma zasadniczo taki sam charakter, jak pływanie i tonięcie w cieczach. Różnica polega tylko na tem, że korek, wypuszczony z głębin wody, wypływa na wierzch i zatrzymuje się na jej powierzchni; natomiast balon wznosi się stopniowo do warstw powietrznych o coraz mniejszym ciężarze właściwym i zatrzymuje się dopiero na takiej wysokości, gdzie ciężar wypartego przez powietrze jest równy ciężarowi własnemu balonu.

Przykład. Jaki ciężar uniesie balon o pojemności 1 m³, skoro jego powłoka waży 0,25 Kg, a zawarty w niej gaz świetlny posiada ciężar 0,61 Kg?

Odpowiedź. Zakładając, że wzlot odbywa się w temp. 0°, obliczamy: Ciężar jednego metra sześciennego powietrza (wypartego przez ten balon) wynosi, jak wiemy, $P_1 = 1,293$ Kg. Suma ciężarów powłoki i zawartego w niej gazu wynosi $P_2 = 0,25 + 0,61 = 0,86$ (Kg.) Różnica $P - P_2 = 1,293 - 0,86 = 0,433$ (Kg.). A więc dodatkowy balast, jaki uniesie jeszcze balon, nie może ważyć więcej, niż 433 G.

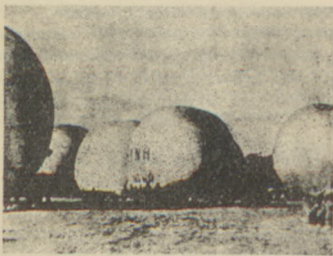


Ryc. 164. Doświadczenie to poucza, że prawo Archimedesesa stosuje się także i do gazów.



Ryc. 165. Balon braci Montgolfier w chwili wzięcia (dnia 21 listopada 1783 r.)

Gdy pierwsze wzloty się udały, zabrano się do udoskonalenia balonów, t. j. do zwiększenia ich siły nośnej i do nadania im większej trwałości. Zastąpiono więc gorące powietrze gazem lżejszym od

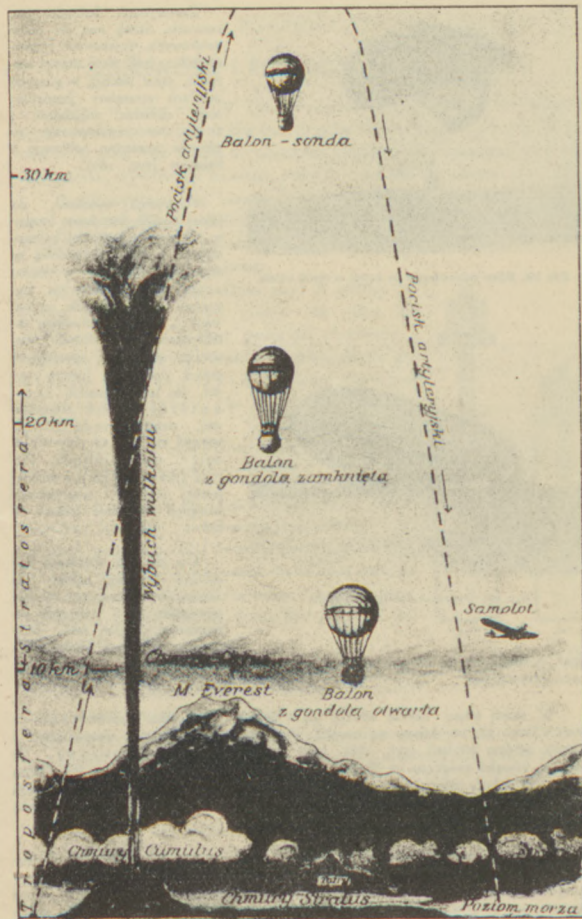


Ryc. 166. Przed startem. Fragment z międzynarodowych zawodów balonowych o puchar Gordon-Benneta w Warszawie 25 września 1934 r. (W zawodach tych, a także w poprzednich w 1933 r. w Ameryce, pierwsze nagrody zdobyli lotnicy polscy).

114. Balony i sterowce. Wy-
nalazcami pierwszego balonu,
napelnianego gorącym powietr-
zem (które, jak wiadomo, jest
rzadsze, a więc i lżejsze od po-
wietrza chłodnego) byli Francu-
zi, bracia Montgolfier, w końcu
XVIII stulecia. Jak wyglądał ich
balon, wskazuje rycina 165.

Prawie równocześnie, bo ty-
ko w pół roku po eksperymencie
francuskim, puszczano już takie
same balony także i w Polsce.
Z początku robiono z papieru ba-
lony mniejsze, niezdolne jeszcze
do udźwignięcia załogi (jak np.
w Warszawie w r. 1784 chemik
królewski Okraszewski, w Kra-
kowie profesorowie Śniadecki i
Jaśkiewicz, w Kamieńcu prof.
Kasprowicz), później większe,
zaopatrzone w gondolę dla pasa-
żerów.

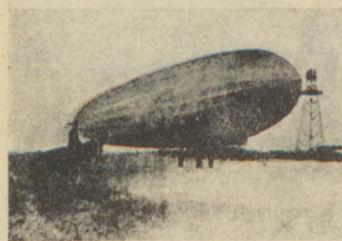
powietrza (wodór, hel, gaz
świetlny), a nietrwałą po-
włokę papierową — tkaniną
jedwabną (odpowiednio impregnowaną, aby zapobiec
ulatnianiu się gazu z balo-
nu). Tu wypada nadmienić,
że czołowe miejsce, jakie
zajmujemy obecnie w lot-
nictwie balonowym, za-
wdzięczamy nie tylko wybit-
nym zdolnościom naszych
pilotów balonowych, ale
także pierwszorzędnej ja-
kości produkowanych w
Polsce tkanin balonowych
(ryc. 166).



Ryc. 167. Gołcie ziemscy w przestworzach.



Ryc. 168. Balon obserwacyjny na uwięzi w chwili wzniosu.



Ryc. 169. Sterowiec niemiecki „Zeppelin”.

peka, a wtedy otwiera się spadochron i balon spada powoli na ziemię z nieszkodzonymi przyrządami.

W czasie wojny balony oddają cenne usługi, bądź jako placówki obserwacyjne (t. zw. balony na uwięzi), skąd oficer śledzi pozycje nieprzyjaciela i kieruje ogniem artylerji (ryc. 168), bądź jako t. zw. balony zaporowe. Te ostatnie, również uwięzione na długich linkach stalowych i rozmieszczone w niewielkich odstępach dokoła miasta, zabezpieczają je w dużym stopniu przed nieprzyjacielskim atakiem lotniczym. Samolot bowiem, natknąwszy się na niewidoczną prawie linkę balonu, ulega katastrofie.

Balony niewiązione zdane są na łaskę i niefaskę wiatru; z tego powodu nie nadają się do regularnej komunikacji. Aby uczynić je zdolnymi do poruszania się w pożądanym kierunku, należy zaopatrzyć je w motory, śmigła i stery. Zrobił to po raz pierwszy na początku XX wieku konstruktor niemiecki Zeppelin, nadając jednocześnie takiemu sterowcowi konstrukcję sztywną i kształt wydłużonego cygara (ryc. 169). Na tem polu przodują Niemcy do dnia dzisiejszego.

Zastosowanie balonów jest rozmaite. Służą one do celów naukowych, wojskowych i sportowych. Jeśli dziś znamy warunki, jakie panują w górnych strefach atmosfery (temperatura, ciśnienie, wilgotność i t. d.), to zawdzięczamy to głównie pomiarom, robionym z balonów (ryc. 167).

Najwyższą wysokość, do jakiej dotarli dotychczas lotnicy w otwartej gondoli balonu, wynosi 9 km. Rekordową tę wysokość osiągnęli w marcu 1935 r. dwaj Polacy kpt. Burzyński i por. Wysocki na balonie „Toruń”, używając do oddychania w górnych warstwach atmosfery specjalnych masek tlenowych. Jeszcze wyżej, ale już w gondoli zamkniętej (w kuli aluminiowej, uczepionej do balonu) wzniosł się po raz pierwszy w 1932 r. uczoney belgijski Piccard (prawie 16 km), a później lotnicy rosyjscy i amerykańscy osiągnęli wysokość ponad 18 km.

Do znacznie większych wysokości docierają balony bez załogi, wyposażone w t. zw. meteorografy czyli przyrządy samopiszące. Balon taki, osiągnąwszy najwyższe wzniesienie,

ŚCIŚLIWOŚĆ I ROZPRĘŻLIWOŚĆ GAZÓW

115. Ćwiczenie 79. Gdy wsuwamy szczelny tłok do cylindra, napelnionego powietrzem lub innym gazem, przekonywamy się, że gaz można ścisnąć bez trudu do objętości kilkakrotnie mniejszej, gdy taki sam nacisk, wywierany na ciecz, pozostaje prawie bez skutku (ryc. 170).

Przekonywamy się zarazem, że ściśnięty gaz, usiłuje się rozprężyć, przeciwdziałając naciskowi, wywieranemu przez tłok, i gdy tłok opuścimy wolno, gaz wypycha tłok z cylindra i powraca do pierwotnej objętości.

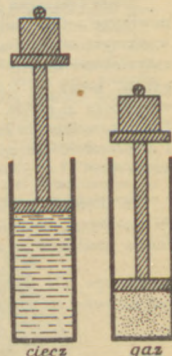
Czy tylko na tłok ciśnie gaz? A gdyby cylinder był z elastycznej gumy, jak piłka lub dętka rowerowa? Wiemy przecież, chociażby z obserwacji nadymania baniek mydlanych, że gaz ciśnie na wszystkie strony równomiernie. Mówimy, że powietrze ściśnięte posiada prężność.

A jak jest z powietrzem nieściśniętym? Niechaj na to odpowie doświadczenie.

Ćwiczenie 80. Balon, opróżniony z powietrza, łączymy ze zbiornikiem, którego powietrze zawiera trochę dymu. Otworzywszy na krótko kran, celem wprowadzenia do balonu niewielkiej ilości powietrza zadymionego, obserwujemy, jak rozchodzi się ono na wszystkie strony i wypełnia cały balon.

Owo rozprzestrzenianie się malej dawki powietrza w dużym balonie jest objawem prężności (co prawda zmniejszonej), jaką posiada także i gaz rozrzedzony. Gaz zajmuje każdą rozporządzalną objętość, wypełnia każdy, chociażby największy zbiornik; mówimy, że gaz jest rozprężliwy. Cechy tej nie posiadają, jak wiadomo, ani cieczy, ani ciała stałe.

Powyzsze własności gazów, t. j. łatwa ściśliwość i wszechstronna rozprężliwość, umożliwiają nam głębsze zrozumienie zjawisk związanych z powietrzem atmosferycznym. Oto np. gdybyśmy do balonu gumowego nabrali powietrza w wyższych warstwach atmosfery, a następnie opuścili go niżej, to rosnące ciśnienie atmosferyczne ściśnie balon oraz zawarty w nim gaz i spowoduje zmniejszenie jego objętości; jednocześnie jednak wzrośnie prężność gazu w balonie do war-



Ryc. 170. Gaz jest łatwo ściśliwy, ciecz nie.

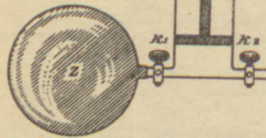
tości, jaka jest potrzebna do zrównoważenia zwiększonego ciśnienia atmosferycznego.

I naodwrot, balon napelniony powietrzem przy ziemi, rozdyma się w miarę wznoszenia się w górę, aż wreszcie pęka. To też piloci balonowi nie napelniają nigdy swych balonów do pełna, wiedząc, że w górze groziłoby to katastrofą. Na bardzo dużych wysokościach wypuszczają część gazu (przez t. zw. rękaw, zaopatrzony w zawór i sznur do ciągnięcia). Wprawdzie wtedy maleje siła nośna balonu, gdyż balon kurczy się i opada, ale pilot zapobiega temu, wyrzucając z gondoli część balastu (worki z piaskiem). Im umiejętniej i im oszczędniej manewruje pilot balastem i gazem, tem dłużej trwa jego lot.

Ciało człowieka jest również ściskane przez otaczające je zewsząd powietrze. Ciśnieniu temu przeciwstawia się jednak ciśnienie krwi w naszym organizmie. Na większych jednak wysokościach groziłaby człowiekowi śmierć. (Przeciskanie się krwi przez delikatną błonę gardła, nosa). — Podobnie, dzieje się z rybami morskimi, które, po wydobyciu z głębin morskich, nadymają się silnie, a nawet pękają. Dlatego wloty do bardzo wielkich wysokości (do t. zw. stratosfery t. j. ponad 10 km od ziemi) odbywają się w kabinach szczelnie zamkniętych.

16. Pompy powietrzne. Korzystając ze ściśliwości i rozprężliwości powietrza, możemy budować pompy do zgęszczania lub rozrzedzania powietrza w zamkniętych zbiornikach.

Na ryc. 171 widzimy uproszczony model pompy, która może służyć zarówno do zgęszczania, jak i rozrzedzania powietrza. Składa się ona z rury tłokowej, zaopatrzonej u dołu w dwie boczne rurki z kranami K_1 i K_2 .



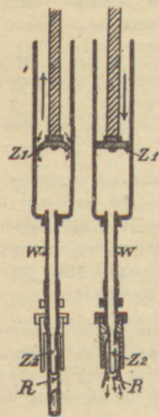
Ryc. 171. Najprostsz model pompy powietrznej.

Chcąc powietrze zagęścić w zbiorniku, wykonywamy czynności takie same, jak poprzednio, lecz w porządku odwrotnym. (Wymień ich kolejność).

Gdy chcemy rozrzedzić w zbiorniku powietrze, wykonywamy następujące czynności:

Cykl 1: Zamykamy K_1 , otwieramy K_2 i ciągniemy tłok do góry
Cykl 2: Zamykamy K_2 , otwieramy K_1 i opuszczamy tłok nadół. Potem powtarzamy cykl 1 i t. d. (Wyjaśnij, jak zachowuje się powietrze w pompie i w zbiorniku podczas tych czynności).

Pompa taka jest w praktyce niewygodna, gdyż działa bardzo powoli. Wymyślono więc i skonstruowano różne typy pomp o zaworach otwierających się automatycznie, podobnie jak w pompach wodnych. Zawory bywają gumowe, sprężynowe i inne. Nr ryc. 172 przedstawia budowę pompki rowerowej. Wyjaśnij jej działanie.



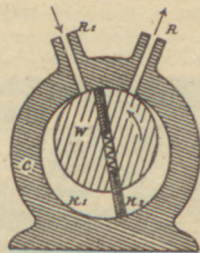
Ryc. 172. Pompa rowerowa. Z_1 = zawór tłokowy (krążek skórzany lub gumowy w postaci grzybka), W = węzyk gumowy, Z_2 = zawór wylotowy z rurką gumową R . Gdy tłok podnosimy do góry, powietrze atm. ciśn. na Z_1 , ugina jego brzegi i wpada do wnętrza pompki (lewy rysunek). Gdy tłok opuszczamy w dół, grzybek Z_1 wypręża się i przylega szczelnie do ścianek cylindra; ścisłkane zaś tłokiem powietrze uchodzi z pompki przez Z_2 , rozszerzając przytem rurkę R (prawy rysunek).

Jednakże wszelkie pompy tłokowe, nawet z zaworami samoczynnymi, działają z natury rzeczy zbyt wolno.

O wiele sprawniejsze są pompy rotacyjne, gdzie ruchome części pompy wykonywają bardzo szybkie ruchy obrotowe. Ryc. 173 wyjaśnia zasadę jednej z takich pomp.

Wewnątrz cylindra C wiruje wałek W (kierunek obrotu wskazuje strzałka). Wałek osadzony jest względem cylindra ekscentrycznie i styka się z nim u góry pomiędzy otworami R_1 i R_2 . W poprzek walca przebiega kanał, w którym znajdują się dwie łopatki, rozpychane nazewnątrz za pomocą uwiecznionej między niemi sprężyny i dociskane wskutek tego szczelnie do wewnętrznej powierzchni cylindra.

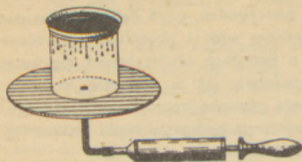
Gdy wałek wiruje, łopatki ślizgają się po powierzchni cylindra. Naczynie, z którego ma być wypompowane powietrze, łączymy z rurką R . Powietrze z naczynia wpływa



Ryc. 173. Pompa powietrzna rotacyjna. C = cylinder, R_1 = przewód wlotowy, R_2 = przewód wylotowy, W = wałek wirujący, K_1 komora ssąca, K_2 = komora sprężająca.

do komory K_1 (gdyż pojemność tej komory ciągle rośnie), po chwili zostaje w niej zamknięte łopatką górną; komora K_2 przesuwą się do pozycji K_2 , skąd powietrze zostaje wypchnięte przez rurkę R nazewnątrz.

Zapomocą takiej pompy można w ciągu paru minut obniżyć ciśnienie w kilkuli-trowym zbiorniku od 1 atmosfery do $\frac{1}{1000}$ mm rtęci. Istnieją również pompy, zapomocą których można obniżyć ciśnienie do milionowych, a nawet do dziesięciomilionowych części milimetra.



Ryc. 174. Deszcz rtęciowy.

Zapomocą pompy pneumatycznej można wykonać szereg pięknych doświadczeń.

1) Balon gumowy, umieszczony pod kloszem pompy pneumatycznej, nadyma się coraz gwałtowniej w miarę, jak usuwamy z pod klosza powietrze.

2) Jeśli zamiast zwyczajnego klosza użyjemy cylindra, którego górne dno jest wykonane z drewna w postaci miski (ryc. 174), spostrzeżemy, po napełnieniu miski rtęcią, „deszcz rtęciowy”. Jest on wynikiem przeciękania się kropelek tręci (pod działaniem ciśnienia atmosferycznego) przez pory drewna do wnętrza cylindra, z którego usuwamy powietrze.

3) Dwie półkule, zetknięte z sobą doszlifowanymi dokładnie brzegami, tworzą razem wydrążoną wewnątrz kulę, którą można opróżnić z powietrza, łącząc boczny jej otwór (zaopatrzony w kran) z pompą powietrzną. Półkule przylegają wówczas tak silnie do siebie, że do rozdzielenia ich potrzeba nieraz użyć olbrzymiej siły. (Czy zależy to od wielkości kuli?) Doświadczenie takie wykonał po raz pierwszy w połowie XVII W. Guericke w Magdeburgu (ryc. 175), stąd do dziś zachowana nazwa: półkule magdeburckie.

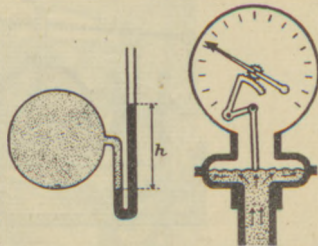


Ryc. 175. Doświadczenia Guericke'go w Magdeburgu w XVII w.

117. Manometry. Gaz, zamknięty w naczyniu, może mieć prężność równą lub inną, niż otaczające powietrze atmosferyczne. Do mierzenia tej prężności służą przyrządy zwane manometrami.

Manometry, podobnie jak barometry, mogą być rtęciowe lub puszkowe.

Manometr rtęciowy (ryc. 176) składa się z rury, zgiętej w kształcie litery U, napełnionej rtęcią. Krótsze ramię połączone jest z naczyniem, zawierającym badany gaz. Nadwyżkę ciśnienia (ponad ciśnienie atmosferyczne) wskazuje słupek rtęci h .



Ryc. 176. Manometr rtęciowy.

Ryc. 177. Manometr puszkowy.

Manometr puszkowy służy do pomiarów ciśnień większych np. w kotłach maszyn parowych. Jest on zbudowany, jak widać na ryc. 177, na podobnej zasadzie, co aneroid.

Rozdział VII

TECHNICZNE ZASTOSOWANIE SPRĘŻONEGO POWIETRZA

118. Ciężnienie powietrza, sprężonego w zamkniętym zbiorniku, oddaje cenne usługi w licznych urządzeniach z zakresu komunikacji, żeglugi podwodnej i budownictwa pod wodą, dalej w rozmaitych przyrządach, maszynach i t. d.

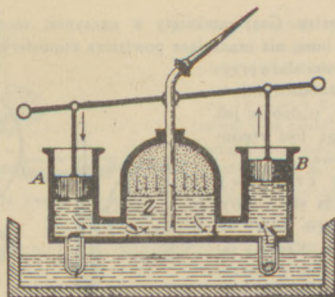
Oto kilka przykładów tych zastosowań:

Sikawki i syfony. Jak widać na ryc. 178, pompy A i B, znajdujące się w sikawce, nie wyrzucają wody ze swoich cylindrów bezpośrednio nazewnątrz, lecz wtłaczają ją najpierw do wspólnego zbiornika Z, sprężając przez to znajdujące się tam powietrze; stąd pod ciśnieniem sprężonego powietrza woda wytryska jednolitym strumieniem nazewnątrz.

Podobne urządzenie spotykamy w wielu innych zbiornikach cieczy, np. w syfonach z wodą sodową (ryc. 86), w kuchenkach naftowych (primusach) i t. p.

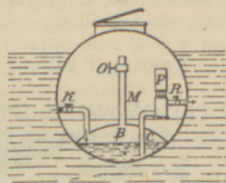
Łodzie podwodne. Zbiorniki z powietrzem, bardzo silnie zgeszczonem, znajdują się także w łodziach podwodnych. Gdy łódź przebywa przez dłuższy czas pod wodą, wtedy z zapasów tych załoga czerpie potrochu świeżego powietrza, gdyż nie miałaby czem oddychać.

Ponadto służy ono do wypychania torped z wyrzutni torpedowych. Woda morska, która wedrze się do wyrzutni w chwili wystąpienia torpedy, pozostaje już wewnątrz łodzi; jest ona dla łodzi nawet potrzebna, jako rekompensata ciężaru za straconą torpedę.



Ryc. 178. Sikawka. *A* i *B* — pompy, wciągające wodę do zbiornika *Z*. W górnej części zbiornika jest sprężone powietrze, które wypycha wodę przez rurę wylotową na zewnątrz.

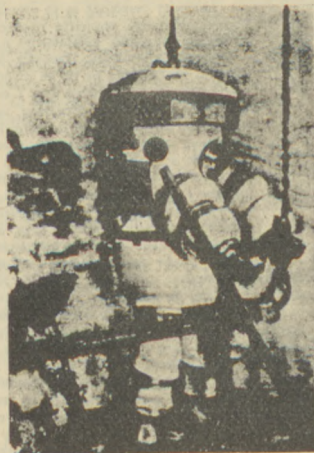
Manewr zanurzenia się i wynurzenia łodzi odbywa się za pośrednictwem komory balastowej (ryc. 179). Gdy załoga napelni komorę wodą, wtedy łódź zanurza się; gdy ją opróżni z wody — łódź wypływa na wierzch. Do napelniania i opróżniania komory służą widoczne na rycinie przewody i pompy. Ale zdarzyć się może wypadek, że gdy



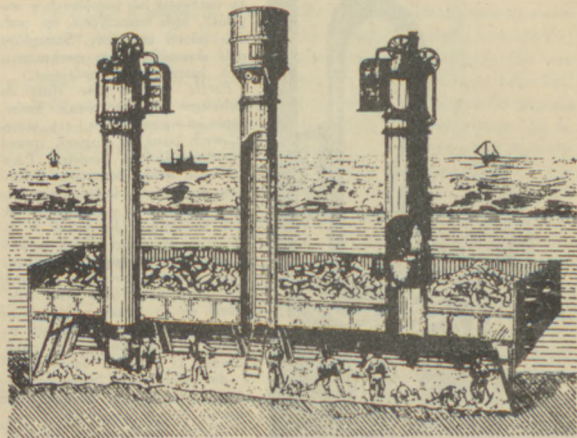
Ryc. 179. Schemat urządzeń do nurkowania łodzi podwodnej. Celem napelnienia wodą komory balastowej *B*, otwiera się zawór wpuszczkowy *K* oraz zawór odpowietrzający *O* u góry przewodu *M*, przez który uchodzi powietrze z *B*. Opróżnianie komory z wody odbywa się (w normalnych warunkach) zapomocą pompy *P* rurami *C* i *R*.

łódź jest zanurzona (a więc komora zapełniona wodą), pompy z tej czy owej przyczyny odmawiają posłuszeństwa, albo, co gorsza, komorę przedziurawił pocisk nieprzyjacielski. Co wtedy? Konstruktorzy pomyśleli i o tem. Wtedy cały zapas sprężonego powietrza skierowuje się do komory w celu wypchnięcia z niej wody. Sposób ten jest w takich wypadkach ostatnią deską ratunku dla łodzi.

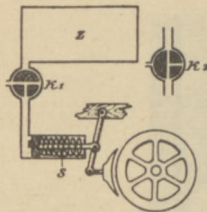
Skafandry i *kesony* są to urządzenia, umożliwiające wykonywanie robót pod wodą, bądź przez jednego tylko człowieka w skafandrze (ryc. 180), bądź zbiorowo w kesonie (ryc. 181). Wygląd tych urządzeń i sposób doprowadzenia do nich powietrza wyjaśniają dostatecznie ryciny. Praca nurka w skafandrze, czy robotników w kesonie, jest bardzo uciążliwa, gdyż powietrze, którem tam oddychają, jest dość silnie sprężone (by przeciwstawić się ciśnieniu zewnętrznemu wody). Po dłuższym pobycie w takich warunkach nurek, wzgl. robotnik, czuje się bardzo zmęczony, pomimo że do tego zawodu jest specjalnie trenowany.



Ryc. 180. Nurk w skafandrze.



Ryc. 181. Roboty podwodne w kesonach.



Ryc. 182. Schemat hamulca powietrznego.

Hamulce zespolone są to urządzenia, hamujące za pomocą sprężonego powietrza równocześnie wszystkie koła zespołu wagonów kolejowych, tramwajowych i t. p. Zasadę najprostszego hamulca powietrznego wyjaśnia ryc. 182. Składa się on ze zbiornika ze sprężonym powietrzem Z, połączonego rurą z cylindrem tłokowym. (W rzeczywistości rura rozgałęzia się i doprowadza powietrze do większej liczby cylindrów). Gdy orzy zbiorniku kran zajmuje pozycję K, wtedy zarówno w rurach, jak i w cylindrach, znajduje się powietrze, nie sprężone, lecz o ciśnieniu atmosferycznym. Tłoki cylindrów (wraz z klockami, mającymi ocierać się o koła) są wtedy odsunięte od kół działaniem sprężyn S. Gdy jednak maszynista przestawi kran do pozycji K, do cylindrów wpada sprężone powietrze, popycha tłoki i dociska klocki do kół. Zależnie od tego, czy maszynista da mniejszą czy większą dawkę powietrza, hamowanie może być słabsze lub mocniejsze. Po ponownym przestawieniu kranu do pozycji K, nadmiar powietrza z cylindrów i z rur uchodzi nazwewnątrz, a sprężyny odpychają tłoki i oddalają klocki od kół. Jednocześnie pompa zgęszczająca wlewa nowy zapas powietrza do zbiornika.

System powyższy zawodzi jednak, jeśli zbiornik lub któraś z rur ulegnie uszkodzeniu. To też nowsze hamulce, np. systemu Westinghouse'a, są zbudowane tak, że działają samoczynnie nawet w razie pęknięcia rury, np. z powodu przzerwania się połączenia. Zasadnicza różnica między temi systemami polega na tem, że tutaj rury, łączące cylindry ze zbiornikiem, są stale wypełnione sprężonym powietrzem. Hamowanie następuje dopiero po wypuszczeniu

powietrza z rur, co odbywa się bądź na skutek pociągnięcia za rączkę hamulca (przez maszynistę na parowozie lub podróżnych w wagonie), bądź samoczynnie, np. podczas jakiejś katastrofy. Szczegółów dość skomplikowanego mechanizmu, tych hamulców nie podajemy.

Poczta pneumatyczna służy do szybkiego transportowania listów, papierów wartościowych i t. p. w metalowych puszkach długimi rurami zapomocą ciśnienia powietrza. Puszka taka, zwana patronem, dopasowana szczelnie do średnicy rury, posuwa się narzód — podobnie jak tłok w cylindrze, lub pocisk w lufie — dzięki różnicy ciśnień po obu stronach puszki. Osiąga się to bądź przez usuwanie powietrza z przedniej części rury, bądź przez wleczanie go do tylnej, wobec czego nadwyżka ciśnienia, działająca na puszkę od tyłu, posuwa ją ciągle naprzód aż do stacji odbiorczej, t. j. do wylotu rury. Nadwyżkę ciśnienia podtrzymują pracujące bez przerwy pompy powietrzne.

Poczty pneumatyczne instaluje się najczęściej w obrębie jednego tylko gmachu jakiejś wielkiej insty-



Ryc. 183. Poczta pneumatyczna w P.K.O. w Warszawie.

tucji do wewnętrznej obsługi własnych biur, (np. w Polsce w gmachu Banku Gospodarstwa Krajowego, w centrali Pocztowej Kasy Oszczędności). Na ryc. 183 widzimy jedną z 38 stacji nadawczo-odbiorczych, zainstalowanych w centrali P.K.O. w Warszawie. Urzędnik, zamierzający wysłać korespondencję do któregoś z biur, wkłada ją do patronu, wrzuca patron przez otwór w stole do rury, zamyka otwór i naciska odpowiedni guzik elektryczny. Za chwilę patron wypadnie na żądanej stacji (z górnego otworu na stół). Za granicą istnieją poczty pneumatyczne z rurami podziemnymi w obrębie całego miasta.

Pytania.

- 1) Do jakiej wysokości sięgałaby atmosfera, gdyby ciężar właściwy powietrza był w górnych warstwach taki sam jak przy ziemi?
- 2) Wskaż poziomy, na których wewnętrzny rury barometrycznej panuje ciśnienie: 1 atm, zero, $\frac{1}{2}$ atm, $\frac{1}{4}$ atm, $\frac{3}{4}$ atmosfery.
- 3) Wyjaśnij, na czym polega działanie tryskawki szkolnej, miecha kowalskiego. Jakiego następstwa pociągnęłoby za sobą odwrócenie syfonu (ryc. 86) dnem do góry?
- 4) Jak wielka jest siła nośna balonu o pojemności 500 m³, namięnionego wodorem, skoro ciężar powłoki i gondoli wynosi 80 Kg? Ciężary właściwe wodoru i powietrza og. w tablicach).

Rozdział VIII.

O POGODZIE

119. Nauka o pogodzie. Życie człowieka w wieloraki sposób związane jest z pogodą: do niej dostosowujemy naszą odzież i mieszkanie; wpływa ona na nasze zdrowie i usposobienie; sprzyjając lub nie sprzyjając rozwojowi roślin uprawnych, ma wpływ na nasz dobrobyt.

Jeśli chcemy bliżej określić, jaka np. w tej chwili panuje pogoda w Warszawie, musimy podać t. zw. czynniki meteorologiczne. Są to 1) temperatura powietrza, 2) jego ciśnienie, 3) kierunek i prędkość wiatru, 4) Stopień wilgotności powietrza, 5) stan zachmurzenia, wyrażający, jaka część nieba jest pokryta chmurami i jakimi chmurami, 6) wskazówka, jakie były opady: deszcz, śnieg albo grad, czy pojawiła się rosa lub szron.

To zestawienie wskazuje, że chodzi nam o stany i zjawiska fizyczne w atmosferze: o temperaturę, ciśnienie i ruch powietrza, o parowanie, skraplanie i zamarzanie wody.

Nauka o pogodzie, zwana meteorologią, nie może się więc zadowolnić stwierdzeniem, że w jakiejś miejscowości w pewnej chwili panowała taka i taka pogoda; musi ona badać zjawiska fizyczne, zachodzące w atmosferze, musi starać się zrozumieć wzajemną zależność czynników pogody i poznać prawa tych zależności. Musi wreszcie

- 1) Potrzebę notowania wielkości ciśnienia zrozumiemy niebawem.

dążyć do tego, by, stosując te prawa, potrafiła przepowiadać pogodę.

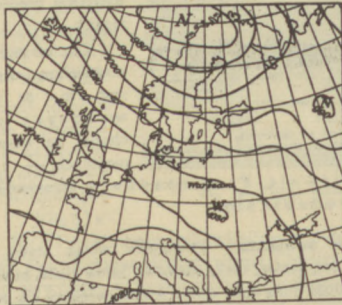
Meteorologowie, by móc spełnić te zadania, muszą rozporządzać licznymi spostrzeżeniami, wykonywanymi regularnie w wielu miejscowościach. W tym celu wszystkie kraje cywilizowane są pokryte siecią stacji meteorologicznych, których pracownicy wykonywają trzy razy dziennie obserwacje elementów meteorologicznych; otrzymane wyniki przesyła się, telegraficznie lub przez radio, do stacji centralnej, w której są one zbierane, porządkowane, a potem opracowywane przez specjalistów. W Polsce taką stacją centralną jest Państwowy Instytut Meteorologiczny w Warszawie, zwany w skróceniu P. I. M. Podlega mu około 300 stacji, rozsianych po całej Polsce.

120. Ogrzewanie się powietrza. Ostateczną przyczyną zjawisk meteorologicznych, jest nierównomierne ogrzewanie ziemi przez słońce. Będziemy się starali zrozumieć, jak z tej nierównomierności wynikają wszystkie wymienione zjawiska. Wiemy już z rozdziału III cz. II, że powietrze ogrzewa się od zetknięcia z ziemią lub wodą. Nierównomierne ogrzanie ziemi, zależne od szerokości geograficznej, od pory roku, od zachmurzenia, powoduje również nierównomierne ogrzanie powietrza. Prócz tego powietrze ma temperaturę najwyższą tam, gdzie się styka z ziemią, a więc w warstwach najniższych. Im wyżej, tem temperatura powietrza jest niższa; obliczono, że na 100 m wzniesienia obniża się ona prawie o 1°.

121. Ciśnienie barometryczne. Różnice temperatury powietrza w różnych miejscach ziemi wywołują, jak wiemy, powstawanie prądów konwekcyjnych. Spójrzmy na ryc. 67, która ilustruje to zjawisko. Rozpatrzmy bardziej szczegółowo, co dzieje się w pobliżu powierzchni ziemi. Nad miejscem A unosi się słup powietrza gorącego, jego ciężar właściwy jest więc mniejszy, niż ciężar właściwy powietrza chłodnego w B i w C. A zatem ciśnienie atmosfery jest mniejsze w A niż w B lub C. Ta właśnie różnica ciśnień powoduje ruch powietrza, czyli od B i C w stronę A. Wiatr wieje od miejsc, gdzie ciśnienie jest mniejsze. Można to sprawdzić, mierząc barometrem ciśnienie powietrza jednocześnie w różnych miejscowościach. Takie pomiary są rzeczywiście wykonywane codziennie na stacjach meteorologicznych. Ryc. 184 przedstawia przykład wyników takich pomiarów, dokonanych jednocześnie w całej Europie. Miejscowości, w których panowało jednakowe ciśnienie, są połączone linjami; linje takie nazywamy izobarami¹. Liczby wypisane przy każdej izobarse

¹ Po grecku: *isos*=równy, *barys*=ciężki.

wskazują wartości ciśnienia. Gdy w pewnej miejscowości ciśnienie jest niższe, niż we wszystkich miejscowościach otaczających, powstaje taki układ, jak oznaczony na ryc. 184 literą N. Mówimy, że wytworzył się niż barometryczny. Wiatry są skierowane ku środkowi



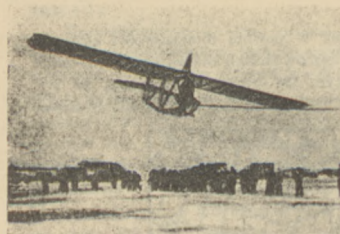
Ryc. 184. Rozkład ciśnień nad Europą dnia 23 stycznia 1935 r. g. 7 r., wyrażony przez linje jednakowego ciśnienia (izobary), wg mapy P. I. M. Na mapie widać dwa wyży (W) i dwa niży (N) barometryczne. Ciśnienie jest wyrażone w t. zw. milibarach. 1 milibar odpowiada ciśnieniu słupka rtęci o wysokości $\frac{1}{760}$ mm.

niżu. Jak przy powstawaniu pasatów, tak i tu ruch obrotowy ziemi sprawia, że wiatry te więcej nie wprost ku miejscu o najniższym ciśnieniu, lecz ukośnie do tego kierunku. W miejscach, oznaczonych literą W, panują stosunki odwrotne; tu wytworzył się wyż barometryczny. Wiatry wieją od środka ku krańcom wyżu (również ukośnie).

Staje nam się teraz jasne, dlaczego stacje meteorologiczne notują wskazania barometru. Od rozkładu ciśnień zależą wiatry, a od wiatrów zależy panująca pogoda.

122. Prądy wstępujące i zstępujące. Spójrzmy raz jeszcze na ryc. 67. Widzimy, że naogół prądy powietrza nie są poziome. W miejscowości ogarniętej niżem prąd jest skierowany ukośnie do góry, tam gdzie panuje wyż — ukośnie w dół. Te prądy wstępujące i zstępujące mają ważne znaczenie zarówno w meteorologii, jak i w żegludze powietrznej.

Pilot szybowca, czyli samolotu bez silnika (ryc. 185), ma za zadanie utrzymać się jak najdłużej w powietrzu; ciężar aparatu i jego własny ściągnąłby go odrazu na ziemię, gdyby nie napór prądów wstępujących na skrzydła. Pilot skierowuje swój aparat tam, gdzie spodziewa się tych prądów i oto unoszą one szybowiec i pozwalają dobremu lotnikowi utrzymywać się całymi godzinami w powietrzu. Naśladuje on

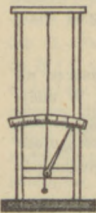


Ryc. 185. Lot na szybowcu.

tura jego obniża się. Przy opadaniu, przeciwnie, temperatura powietrza podnosi się.

123. Wilgotność powietrza. Powietrze wciąż styka się z powierzchnią wód: mórz, jezior, rzek, stawów. Sama gleba zawiera w sobie prawie zawsze dość dużą ilość wody, która zwiększa się po deszczu. Wszystkie te wody parują i dlatego w powietrzu jest zawsze obecna para wodna. Para, która tworzy się nad powierzchnią wód, przenika do dalszych obszarów atmosfery; wskutek tego w miejscowościach, nawet bardzo oddalonych od zbiorników wody, powietrze nie jest całkowicie pozbawione wilgoci, a nad zbiornikami para nie dochodzi do nasycenia. Wiatry współdziałają w tem wyrównywaniu wilgotności powietrza.

Do oceny wilgotności powietrza służą *higrometry*. Najprostszy z nich (ryc. 186) polega na tem, że włos odłuszczonej wchłania wilgoć i zmienia przytem swoją długość. Jeśli koniec włosa owinać około osi ze strzałką, to położenie strzałki będzie się zmieniało w zależności od wilgotności powietrza.



Ryc. 186. Higrometr, oparty na zmianie długości włosa wskutek zmian wilgotności powietrza.

Powietrze, zawierające nawet mało pary, może się nią nasycić, jeśli temperatura jego dostatecznie się obniży (ob. ust. 78). Wieczorem, gdy powietrze stygnie, nad rzekami, stawami i wilgotnymi łakami tworzą się mgły. Słupy, parkany, trawa, liście stygną prędzej niż powietrze; to też na nich osadza się nadmiar wilgoci w postaci rosy. Jeśli ich temperatura leży już poniżej zera, to zamiast rosy osiada szron. Bardzo obfity szron, pokrywający wszystko grubą warstwą śnieżnego puchu, nazywamy *sadzią*.

124. Chmury i opady. Ochłodzenie powietrza występuje jako skutek jego wznoszenia się w prądzie wstępującym. I wtedy obecna w niem para wodna może się skroplić. W ten sposób utworzoną w wyższych warstwach mgłę widzimy z ziemi jako obłok albo chmurę. Gdy podczas wycieczki górskiej wstępujemy w chmurę, widzimy, że jest to tylko gęsta mgła.



Ryc. 187. Chmury kłębiaste (Cumulus)

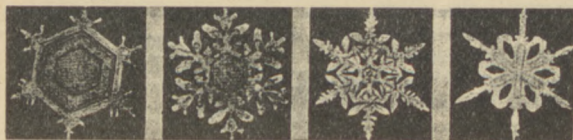
Obserwujemy niebo w gorące letnie południe. Widzimy, jak na niem powstają jasne obłoki, zwane przez meteorologów *chmurami kłębiastymi* (ryc. 187). Powstają one wskutek silnych prądów wstępujących, unoszących się nad rozgrzaną słońcem ziemią. Chmury kłębiaste tworzą się względnie niewysoko, najwyżej na wysokości ok. 1½ km (ob. ryc. 167); wędrowiec górski albo lotnik z łatwością dociera do tej granicy. Widać wtedy wyraźnie, że podstawy tych chmur leżą na wielkiej przestrzeni na jednej i tej samej wysokości. Przyczyna tego jest jasna: by w powietrzu o pewnej wilgotności nad powierzchnią ziemi powstała mgła, musi się ono ochłodzić o określoną liczbę stopni, a do tego jest potrzebne wzniesienie się na określoną wysokość.

Dokładna obserwacja wierzchołka rosnącej chmury kłębiastej potwierdza to, cośmy mówili o jej pochodzeniu: widać tam wyraźnie kłębiecie się chmury; jej pasma sięgają coraz wyżej, zdradzając swoim ruchem prądy wznoszące się powietrza.

Chmura kłębiasta składa się z niezmiernie drobnych kropelek wody; dzięki swym małym rozmiarom unoszą się one w powietrzu i nie opadają na ziemię. Gdy jednak ochłodzenie chmury posuwa się dalej, ilość skroplonej pary wzrasta, a drobne jej kropelki skupiają się w większe. Chmura ciemnieje, przybie-



Ryc. 188. Chmura deszczowa (Nimbus).



Ryc. 189. Fotografie kryształków śniegu.

ra postać chmury deszczowej (ryc. 188). Gdy wkońcu powstaną dość duże krople, spadają na ziemię w postaci deszczu.

Jeśli wydzielanie się nadmiaru pary następuje w temperaturze niższej od zera, zamiast kropelek powstają kryształki lodowe śniegu o przepięknych, regularnych kształtach (ryc. 189).



Ryc. 190. Chmura pierzasta (Cirrus).



Ryc. 191. Chmura burzowa.

W zimie śnieg spada na ziemię, ale i w lecie tworzy się na dużych wysokościach, lecz, natrafiając podczas spadania na cieplejsze warstwy powietrza, topnieje. Obecność śniegu w wysokich warstwach powietrza możemy jednak dostrzec: z kryształków jego są utworzone wysoko unoszące się (8 do 11 km) chmury pierzaste (ryc. 190), mlecznymi rozwaniami pasmami pokrywające niebo. Przeświecające przez nie słońce lub księżyc są często otoczone albo mglistą poświatą, t.zw. „lisią czapą”, albo świetlnymi kręgami, zwanymi „halo”.

Prądy wstępujące są czasem bardzo gwałtowne; masy powietrza wzbijają się wtedy bardzo wysoko, a skroplona w nich para tworzy ogromne, na kilka kilometrów w górę wznoszące się chmury burzowe (ryc. 191). Silne wiatry, potężne iskry elektryczne błyskawic i piorunów, ulewny deszcz, którego krople nieraz zamarzają w bryłki gradu — to wszystko stanowi obraz zjawisk, towarzyszących burzom.

Inne zupełnie warunki pogody panują tam, gdzie powietrze sphywa w dół prądami zstępującymi; ogrzewa się ono przytem, a jeśli nawet było nasycone parą i przeniknięte mgłą, to teraz nasycenie ustępuje, kropelki mgły parują; chmury giną, „rozplywają się” i nad ziemią nastaje piękna, słoneczna pogoda.

125. Przepowiadanie pogody. Teraz już możemy zrozumieć cały łańcuch powiązanych z sobą zjawisk. Nierównomierne nagrzewanie powierzchni ziemi wywołuje różnicę ciśnień, tworzą się niże i wyże barometryczne; w tych niżach i wyżach wieją wiatry, z których jedne unoszą powietrze ku górze, drugie spychają je w dół. W pierwszym wypadku powstają chmury i opady, w drugim — niebo jest jasne i słoneczne.

Znając rozkład ciśnień i kierunek wiatrów, można do pewnego stopnia przewidzieć, jaki będzie rozkład w bliskiej przyszłości — powiedzmy w ciągu najbliższych 24 godzin — gdzie będą niże, gdzie wyże i jaka będzie towarzysząca im pogoda.

P. I. M. spełnia to właśnie zadanie; jego przepowiednie pogody, czyli tak zwane prognozy, są komunikowane przez radio i za pośrednictwem gazet ludności całej Polski. Z przepowiedni tych korzysta turysta, lotnik, żeglarz, a przede wszystkim rolnik, którego praca tak ściśle jest uzależniona od pogody. W czasie wojny wskazania meteorologiczne są ważne dla artylerji, ponieważ napór wiatru może odchylić tor wystrzelonego pocisku, oraz przy stosowaniu gazów trujących.

Prognozy nie są dziś jeszcze zupełnie pewne; od czasu do czasu zdarzają się pomyłki trudne do uniknięcia w obecnym stanie nauki. Ciągły jej postęp porwala spodziewać się, że przepowiednie meteorologiczne będą nie tylko coraz ściślejsze, ale że będą sięgały w przyszłość dalej, niż na jedną dobę.

Pytania.

- 1) Jakie znasz przedmioty codziennego użytku, urządzenia i czynności, mające na celu uniezależnienie nas od wpływów pogody?
- 2) Jaka pogoda panuje w niżu, a jaka w wyżu barometrycznym?
- 3) Gdzie jest niższa podstawa chmur kłębiastych: w pobliżu mórz, czy w środku ładu stałego?
- 4) Gdy wiatr wieje z za grzbietu gór, powietrze, sphywa po ich zboczach w dolinę. Jaka wtedy panuje pogoda w dolinie? Co słyszałeś o „wiatrach halnych”?
- 5) Mówią, że będzie deszcz, jeśli mgły ranne idą w górę, a pogoda — jeśli opadają. Gdy mógłbyś znaleźć uzasadnienie tej reguły?

WŁOSKOWATOŚĆ, DYFUZJA I OSMOZA

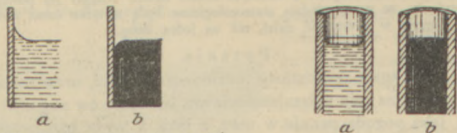
126. Zjawiska włoskowatości. Ileż razy dziennie bibuła służy nam do osuszenia pisma, lub do „wypicia” kleksa z zeszytu; ileż razy używamy ręcznika do osuszenia mokrych rąk; jak często patrzymy na knot płonącej lampy albo świecy, a jak rzadko zastanawiamy się nad tem, dlaczego atrament wsiąka w bibułę, a woda w ręcznik, dlaczego knot doprowadza naftę lub roztopioną stearynę do płomienia.

Co przedewszystkiem mają te sprawy wspólnego? Oto knot, bibuła, płótno mają budowę włóknistą, są złożone z cienkich, ciasno ułożonych nitok i włókien; są one też zwilżane przez ciecze, w które zostały zanurzone. Zanurzymy kawałek bibuły w rtęci, a wyjdzie z niej niezwilżona, rtęć nie wsiąknie w nią tak, jak wsiąka woda, nafta, lub spirytus.

Cwiczenie 81. a) Zanurzamy w wodzie paleczkę szklaną, obmytą spirytusem, i drugą — posmarowaną tłuszczem. Zanurzamy paleczkę szklaną w rtęci. Zauważmy, jaki był wygląd paleczek po wyjęciu z cieczy?

b) Do dwóch miseczek szklanych, obmytych spirytusem, nalewamy wody i rtęci. Do miseczki, wytłuszczonej od wewnątrz, nalewamy wody. Zwróćmy uwagę na powierzchnię cieczy w pobliżu ściany miseczek.

Jeśli ciecz zwilża ciało, z którego jest zrobione naczynie, to w n o si się ona przy jego ściankach (ryc. 192a). Powierzchnia cieczy, płaska w środku, staje się przy brzegach wklęsłą; taką powierzchnię nazywamy **meniskiem** (ryc. 193 a). Gdy patrzmy z boku na rurkę szkla-



Ryc. 192. Woda podnosi się, a rtęć obniża się przy szklanej ściance.

Ryc. 193. Meniski: a) wody, b) rtęci.

ną z wodą, to wydaje nam się, jak gdyby oddzielały ją od powietrza dwie powierzchnie poziome; dolna z tych powierzchni odpowiada poziomowi cieczy w środku rurki, górna — przy brzegach rurki.

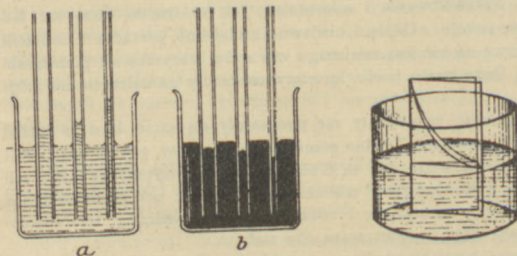
Jeśli ciecz nie zwilża ścianek, to jej powierzchnia obniża się przy ściankach (ryc. 192 b), a menisk jest wypukły (ryc. 193 b).

Nasuwa się pytanie, co będzie, jeśli ścianki naczyń tak zbliżą się do siebie, że wzniesienie, czy też obniżenie cieczy przy ściankach dosięgnie środka cieczy?

Cwiczenie 82. a) Kilka rurek włoskowatych o różnych średnicach wewnętrznych zanurzamy końcami w zabarwionej wodzie (ryc. 194).

b) Dwie czyste płytki szklane zestawiamy krawędziami, a przecięgle krawędzie oddzielamy cienkiem drewnkiem. Płytki zanurzamy w zabarwionej wodzie (ryc. 195).

W wąskich przerwach pomiędzy szklanymi ściankami woda wznosi się wyżej, niż w szerokim naczyniu. To samo dzieje się w cienkich



Ryc. 194. Poziom cieczy w rurkach włoskowatych: a) woda podnosi się, b) rtęć obniża się. Zmiana poziomu jest tem większa, im mniejsza średnica rurki.

Rurkach. Rurki takie ze względu na ich małą średnicę nazwano w sposób obrazowy, rurkami włoskowatemi. Z tej racji wszystkie opisane tu zjawiska noszą nazwę **zjawisk włoskowatych**, albo **kapilarnych**. Różnicę poziomów cieczy pomiędzy ściankami i w szerokim naczyniu nazywamy **wzniesieniem włoskowatym**. Już pobieżna obserwacja wystarcza do stwierdzenia, że jest ono tem większe, im mniejszy jest odstęp ścianek, czy też średnica wewnętrzna rurki.

Cwiczenie 83. a) Powtarzamy ćwic. 82, zatłuszczywszy rurkę szklaną wewnątrz oraz zatłuszczywszy płytki. b) Zanurzamy do rtęci rurki włoskowate różnej średnicy.

Gdy ciecz nie zwilża ścianek, poziom jej obniża się w wąskich przerwach pomiędzy ściankami oraz wewnątrz wąskich rurek (ryc. 194 b). To obniżenie włoskowate jest tem większe, im mniejszy jest odstęp pomiędzy płytkami, czy też średnica wewnętrzna rurki.

Wzniesienie włoskowate jest wspólną przyczyną zjawisk, o których mówiliśmy na początku tego rozdziału: w knocie, bibule, płótnie ciecz wypełnia wąziutkie kanaliki, jakie tworzą się pomiędzy włóknami; im węższe kanaliki, tem wyżej ciecz zostaje w nie wciągnięta.

Jednym z najważniejszych skutków włoskowatości w przyrodzie jest wznoszenie się soków roślinnych we włóknistych tkankach łądy, ziół i pni drzew. Łatwo jednak obliczyć, że nawet drobne bardzo wymiary włókien nie wystarczą do wytłumaczenia ogromnych wzniesień soków, jakie mają miejsce w wielkich drzewach, o wysokości, wynoszącej dziesiątki metrów. Inne jeszcze przyczyny, jakie tu są czynne, poznamy w dalszych ustępach.

127. Porządkowanie i mieszanie. Jak to trudno utrzymać łąd w swoim pokoju. Dopiero niedawno zrobiliśmy porządek i umieścili każdą rzecz na swoim miejscu, a oto znów wszystko się pomieszało z sobą. Dużo trzeba trudu, by utrzymać rzeczy na należnym im miejscu.

Oczywiście, przedmioty nie pomieszały się same, ktoś je musiał poruszyć i przenieść. Trudno pomieszać przedmioty, gdy są duże i jest ich niewiele, łatwo — gdy są drobne i liczne. Nасыpmy na talerz soli i pieprzu i wstrząsnijmy talerzem kilkakrotnie; poruszone ziarenka odrazu zaczęły mieszać się z sobą; im dłużej mieszamy, tem równomierniejsza staje się mieszanina obu ciał.

Jeszcze łatwiej wymieszać cząstki cieczy, herbata osłodzona łąd zupa, osolona w jednym miejscu, po zmieszaniu nabiorą natychmiast jednakowego smaku w całej swej objętości.

Czy wyrównanie się składu cieczy nastąpiłoby i wtedy, gdyby ciecz pozostawić w zupełnym spoczynku?

128. Dyfuzja cieczy. Chcąc odpowiedzieć na poprzednie pytanie, musimy tak rozmieścić badane cieczy, by różnice ich ciężaru właściwego nie wywoływały ruchu cieczy i ich mieszania się.

Cwiczenie 84. Szklankę lub słoć napełniamy do połowy stężonym roztworem siarczanu miedzi. Na to nalewamy ostrożnie wody dystylowanej tak, by utworzyły się dwie warstwy, odgraniczone dość ostrą powierzchnią. Tak samo postępujemy z alkoholem, nalewając go na zabarwioną wodę. Obie szklanki, przykryte płytkami, pozostawiamy w spokojnym miejscu dla dłuższej obserwacji. Stykające się z sobą cieczy stopniowo przenikają się wzajemnie. Z początku daje się to zauważyć tylko w pobliżu powierzchni zetknięcia, ale z czasem widel przenikanie coraz dalej i dalej; jednocześnie granica cieczy zaciera się coraz bardziej. Różnice w składzie obu cieczy wyrównują się powoli i po dłuższym czasie — po paru tygodniach a nawet miesiącach

— zamiast dwóch różnych ciał mamy jedną, jednolitą ciecz (ryc. 196).

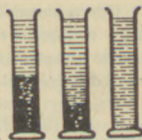
Takie samorzutne wyrównywanie się składu stykających się cieczy nazywamy dyfuzją. Przy dyfuzji cieczy mieszają się bez naszego udziału. Drobne cząstki siarczanu miedzi powędrowały z dolnej części naczynia poprzez całą warstwę wody; ruch ich odbył się wbrew sile ciężkości. Co spowodowało tę wędrowkę? Czy może jakiś ruch niedostrzegalny dla naszych zmysłów? Powróćmy niebawem do tego pytania.

Im większe powierzchnie cieczy stykają się z sobą i im cieńsze są ich warstwy, tem prędzej postępuje proces dyfuzji. Mieszając cieczy, przyspieszamy tylko wyrównywanie się ich składu. Po zamieszaniu widzimy, jak jedna ciecz przenika wgląd drugiej licznymi cienkimi pasmami; to zwiększa znakomicie powierzchnię, a zmniejsza grubość stykających się warstw; dyfuzja szybko już wykańcza proces wyrównywania.

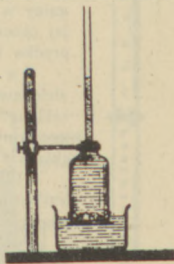
129. Osmoza. Jeszcze bardziej nieoczekiwane zjawiska występują, gdy cieczy o różnym składzie są oddzielone od siebie cienkimi błonami, np. pęcherzem lub papierem pergaminowym.

Cwiczenie 85. Małą flaszczykę, której dno stanowi dobrze naciągniętą i szczelnie zawiązaną błonę z pęcherza łąd papieru pergaminowego, napełniamy stężonym roztworem siarczanu miedzi, zatykamy szczelnym korkiem z przetkaną rurką szklaną i umieszczamy wszystko w naczyniu z wodą; błona powinna być zanurzona w wodzie na głębokość kilku milimetrów (ryc. 197).

Po upływie niedługiego czasu daje się zauważyć wzajemne przenikanie cieczy; woda nabiera lekkiego zabarwienia, a w rurce ciecz zaczyna podnosić się wgórę. Widocznie jednak czysta woda przenika przez błonę w ilościach większych, niż roztwór, gdyż zawartość flaszczyki wciąż wzrasta. Ciecz wznosi się w rurce i wywiera wskutek tego coraz to większe ciśnienie. Mimo to wody wciąż przybywa. Ciecz zachowuje się tu inaczej, niż w naczyniach połączonych: woda przenika tu przez błonę do naczynia, pomimo że w niem panuje ciśnienie większe. Zjawisko opisane nazywamy osmozą.



Ryc. 196. Wskutek dyfuzji różnice w składzie cieczy wyrównują się stopniowo.



Ryc. 197. Woda przenika przez błonę do roztworu (osmoza).

Gdy ciśnienie wrośnie dostatecznie, podnoszenie się poziomu cieczy w rurce wreszcie ustaje. Wysokość, na jaką woda może się wznieść wskutek osmozy, zależy od wielu okoliczności, przedewszystkiem od rodzaju błony oraz od rodzaju i stężenia roztworu. Zapomocą sztucznie wytworzonych, niezmiernie delikatnych błon otrzymano w naczyniu, zawierającym mocny roztwór cukru, ciśnienie, odpowiadające ciśnieniu słupa wody o wysokości 270 m!

Osmoza gra bardzo doniosłą rolę w życiu roślin i zwierząt. Komórki tkanek zawierają sok komórkowy, otoczony protoplazmą; sok ten jest wodnym roztworem różnych substancji. Poprzez błonę protoplazmy może odbywać się wymiana składników soku pomiędzy sąsiadującymi komórkami; tą drogą soki mogą wędrować poprzez tkanki organiczne. Najważniejszym dla rośliny jest pobieranie wody przez korzenie; woda gruntowa przenika poprzez tkanki komórek korzenia do zawartego w nich soku, zupełnie jak w naszym doświadczeniu. Jest to drugi z czynników, wywołujących wznoszenie się soków w roślinach.

Sok komórek buraka jest bogaty w cukier i zawarty w nim cukier, chociaż woda, zato trudno wydobyc z niego sok i zawarty w nim cukier. Należy wprawdzie zabić żywe komórki, poddając je wysokiej temperaturze. W cukrowniach ługują pokrajane buraki, t. j. wypłukują z nich zawartość cukru gorącą wodą. Wobec zabicia żywej tkanki roztwór cukru przenika swobodnie przez jej ścianki.

130. **Dyfuzja gazów.** Bukiet pachnących kwiatów, otwarty flakon perfum, albo gnijące odpadki dają znać o sobie zapachem na dużą odległość i w zadziwiająco krótkim czasie. W pokoju zapach rozchodzi się tak prędko, że w parę minut przenika do każdego kąta. Wonne ciało wytwarza parę, którą wciągamy w nozdrza, a nasz zmysł powonienia mówi nam o jej obecności. W jaki sposób pary te rozchodzą się tak prędko i tak daleko w powietrzu?

Ćwiczenie 86, a) Napelniamy probówkę ciężkim zielonawym gazem chlorem i zamykamy wylot płytką szklaną; nad nią umieszczamy drugą probówkę, poczem usuwamy płytkę i obserwujemy wzajemne przenikanie się chloru i powietrza.

b) Zamiast chloru bierzemy dwutlenek węgla; po kilku minutach do górnej probówki nalewamy wody wapiennej.

c) Górną probówkę napelniamy wodorem lub gazem świetlnym, a dolną powietrzem (ryc. 198). Mniej więcej w 1/2 minuty po usunięciu płytki rozłączamy probówki i szybko zbliżamy je do płomienia (przy użyciu gazu świetlnego potrzeba nieco dłuższego czasu).



Ryc. 198.
Gazy też dyfundują.

Te doświadczenia dowodzą, że gazy też przenikają się wzajemnie, czyli dyfundują, nawet wtedy, gdy cięższy gaz znajduje się u dołu, a lżejszy u góry. Dyfuzja w gazach odbywa się jednak bez porównania prędej, niż w cieczach.

131. Przenikanie i pochłanianie gazów przez ciała stałe.

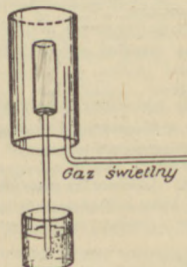
Ćwiczenie 87. Gliniane naczynie porowate, jakiego używają do ogniw galwanicznych, zamykamy korkiem z przetkniętą rurką i starannie zalewamy korkę lakiem. Koniec rurki zanurzamy w naczyniu z wodą. Naczynie porowate nakrywamy odwróconą dużą zlewką, do której wprowadzamy strumień gazu świetlnego (ryc. 199).

Obfity strumień gazu, wydobywający się z rurki, dowodzi, że przez porowate ścianki naczynia odbywa się przenikanie gazów, przycem wodór, zawarty w gazie świetlnym, przenika do naczynia daleko szybciej, niż powietrze z naczynia.

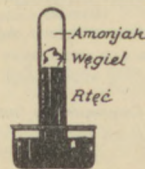
Doświadczenie 8. Do cylindra szklanego, zawierającego nad rtecą amonjak, wpuszczamy nieco t. zw. węgla aktywowanego (ryc. 200). Węgiel bardzo silnie pochłania lotny amonjak.

Węgiel aktywowany jest wytwarzany przez zwęglanie tkanek i włókien roślinnych; ma on budowę gąbczastą, wskutek czego delikatne włókienka węglowe mogą się stykać na bardzo dużej powierzchni z gazami. Przez to węgiel aktywowany może pochłaniać znacznie więcej gazów, niż inne rodzaje węgla, o grubszej strukturze.

Pomiędzy gazami, energicznie pochłanianymi przez węgiel, są niektóre z t. zw. gazów bojowych, używanych podczas wojny. Węgiel aktywowany jest z tej racji bardzo ważnym materiałem dla ochrony przeciwgazowej. Bliższe szczegóły czytelnik znajdzie w kursie chemii.



Ryc. 199. Gazy przenikają przez ścianki porowate.



Ryc. 200. Węgiel drzewny pochłania gaz (amonjak).

132. Porowatość ciał. Zjawiska przenikania cieczy przez błony zwierzęce i gazów przez naczynia z niepolewanej gliny nie powinny nas bardzo dziwić. Już gołem okiem, a lepiej jeszcze przez lupę można zobaczyć, że ścianki takich naczyń pełne są drobnymi otworami i kanałkami zwanych porami. W drewnie też widzimy kanaliki, więc nie dziwnego, że rtęć może przeniknąć przez deseczkę drewnianą pod działaniem ciśnienia atmosfery (obacz ryc. 174).

Niezmiernie ciekawe doświadczenie wykonał słynny filozof i polityk angielski z XVI i XVII wieku, Francis BACON (czyt. Bekon). Zamierzał on zamienić wodę w ciało stałe przez działanie bardzo dużego ciśnienia. Chcąc je wytworzyć, uciekł się do prostego sposobu: sporządził wydrążoną kulę z ołowiu, napelniał ją wodą, zaklepał otwór i bił kulę ciężkim młotem. Ciśnienie, wywołane uderzeniami, nie zestało wprawdzie wody, ale ją przcisnęło przez metalową ściankę. Użycie kuli srebrnej zamiast ołowianej, oraz grube wyzłocenie jej powierzchni nic nie zmieniło w tej ciekawej próbie: woda przenikała przez wszystkie użyte metale.

Znacznie później, około połowy XIX wieku, francuski fizyk AMAGAT (czytaj Amaga), używając ciśnienia 400 atmosfer, zdołał przcisnąć rtęć przez pięciocentymetrową płytę stalową.

Te doświadczenia dowodzą, że nawet tak jednolite dla naszego oka ciała, jak metale, nie wypełniają widocznie całkowicie zajmowanej przez siebie przestrzeni, lecz pomiędzy ich cząstkami pozostają niezmiernie drobne, nawet przez najsilniejsze szkła niedostrzegalne przerwy, przez które przeciska się woda.

Istnienie przerw pomiędzy drobnymi ułamkami, z jakich składają się ciała, można uwidocznnić następującym doświadczeniem.

Cwiczenie 88. Odmierzmy w cylindrze miarowym równą objętość (np. po 50 cm³) wody i spirytusu, zlejmy razem, wstrząśnijmy w celu dokładnego zmieszania i zmierzmy wspólną objętość. Okaże się ona mniejsza od 100 cm³.

A zatem spirytus i woda, póki były oddzielone, zajmowały więcej miejsca, niż po zmieszaniu. Widocznie w objętości tych cieczy są pewne cząstki, w które mogą się wcisnąć cząstki innej cieczy.

133. Cząsteczkowa budowa materji. Opisane tu zjawiska prowadzą do bardzo ważnych i ciekawych wniosków. Porowatość takich ciał, jak metale, oraz kurczenie się zmieszanych cieczy, zmuszają do przypuszczenia, że wszystkie te ciała są obdarzone pewną budową. Ciało nie jest widocznie jednolita masa, wypełniająca bez przerwy zajmowane przez siebie miejsce, jest raczej zbiorowiskiem drobnych, okiem niedo-

ostrzegalnych ułamków materji, oddzielonych od siebie pustą przestrzenią. Do tego samego wniosku prowadzą inne, dobrze nam znane zjawiska. Jak moglibyśmy wytłumaczyć sobie ściśliwość gazów, lub kurczenie się ciał przy oziębianiu, gdybyśmy nie przypuścili, że to cząstki ciał zbliżają się do siebie i powodują zmniejszenie objętości ciała.

Te i wiele innych faktów doprowadziły uczonych do przekonania, że każde ciało składa się z niezmiernie drobnych ułamków, których dalej nie możemy już dzielić żadnymi sposobami fizycznymi. Nazwano je cząsteczkami, drobinami, albo, z cudzoziemska — molekulami. My będziemy używali pierwszej z tych nazw.¹

Cząsteczki są niezmiernie drobne. Dowodzi tego między innymi fakt, że małe ziarenko barwnika, np. fuksyny, zabarwia kilka litrów wody wyraźnie i zupełnie jednolicie tak, że żadnymi dostępnymi nam sposobami nie możemy stwierdzić, że np. jedno miejsce w wodzie jest zabarwione, a inne nie.

Cząsteczki różnych ciał nie są jednakowo duże, jak tego dowodzą różnice w prędkości przenikania różnych gazów przez ścianki porowate. Wodór ma widocznie cząsteczki mniejsze od cząsteczek powietrza. Chemicy doszli do tego samego przekonania na podstawie faktów, o których uczymy chemja.

Cząsteczki różnych substancji różnią się pomiędzy sobą. Cząsteczka rtęci jest inna, niż cząsteczka wody, albo dwutlenku węgla; ale wszystkie cząsteczki rtęci są takie same i wszystkie cząsteczki dwutlenku węgla są takie same — niezależnie od tego, w jaki sposób otrzymaliśmy te ciała.

Istnienie cząsteczek tłumaczy nam wiele własności fizycznych ciał, a przede wszystkim różnice ich stanów skupienia.

a) W ciałach stałych cząsteczki są jak gdyby powiązane z sobą w mocną budowę, opierającą się działaniu sił zewnętrznych. Cząsteczki wapnia, jak ułożyły się setki tysięcy lat temu w szkieletach i muszlach dawno wymarłych organizmów, tak przetrwały do dziś w postaci skamielin; rysunek, wyrity ręką człowieka przed historycznym na ścianie groty, dotrwał bez zmian do naszych czasów. Istnieją widocznie jakieś siły spójności, które utrzymują cząsteczki ciał stałych w ustalonym porządku. Przy ścisnieniu, rozciąganiu lub zginaniu cząsteczki te trochę zbliżają lub oddalają się od siebie. Gdy odkształcamy ciało zbyt silnie, spójność cząsteczek zrywa się, ciało zostaje zmiażdżone lub złamane.

b) W ciekach cząsteczki mają pewną swobodę ruchów, mogą przesuwać się jedna względem drugiej, a dzięki temu ciecz z łatwością zmienia swój kształt. Cząsteczki cieczy też zachowują pewną spójność.

Cwiczenie 89. Pod szalką wagi zawieszamy płytkę szklaną i równowazymy ją. Podsuwamy pod nią naczynie z wodą tak, by woda zwilżyła jej dno powierzchni.

¹ Cząsteczki nie są najdrobniejszymi cegiełkami, z których jest zbudowana materja. Cząsteczki są złożone z jeszcze drobniejszych ciałek, zwanych atomami. Uczy o tem nauka chemji.

Na drugą szalkę musimy położyć pewną ilość odważników, aby płytkę oderwać od wody. Płytką jest przytem zwilżona woda (zyc. 201).

Na oderwanie jednej części wody od drugiej potrzeba dość znacznej siły, jeszcze większej trzeboby dla oderwania wody od szkła; cząsteczki wody tak przylgnęły do płytki, że zerwały spójność z innymi cząsteczkami wody, lecz nie oderwały się od szkła.

Na tem właśnie polega zwilżanie ciał przez ciecz. W cieczach nie zwilżających dzieje się przeciwnie: siły spójności przeważają nad siłami przylegania.



Ryc. 201. Woda, przylegająca do szkła, nie traci spójności z wodą w miseczce.

c) Stan lotny odznacza się ogromnem rozproszeniem cząsteczek. Z litra wrzącej wody otrzymuje się około 1450 litrów pary nasyconej, którą możemy przecież jeszcze bardziej rozrzedzić. Cząsteczki gazu są więc bardzo oddalone od siebie, wobec tego trudno w nich dostrzec objawy spójności.

Ze zjawiska dyfuzji cieczy i gazów w płynie jeden jeszcze ważny wniosek. Ciała stałe, nieruchome, same przez się nie mogą zmieniać swego położenia; nawet najdrobniejsze ich ziarenka, położone obok siebie, nie mogą się zmieszać bez pomocy zewnętrznej. Cząsteczki cieczy lub gazu nietylko mieszają się z sobą, ale przesuwiają się przytym wbrew siłom ciężkości. Dyfuzję i wiele innych zjawisk można wytłumaczyć tylko tem, że czą-

steczki ciał są obdarzone ruchem. Gromady cząsteczek ówcz różnych gazów, gdy spotkają się z sobą, przenikają się wzajemnie. Cząsteczka wodoru przeniknęłaby odrazu daleko w głąb gromady cząsteczek powietrza, gdyby po drodze nie napotykała tych właśnie cząsteczek; odbija się od nich, zawraca z drogi stopniowo tylko może przesuwać się wśród tłumu, wciąż dalej i dalej. Im gęstszy tłum, tem trudniej się przez niego przedzierać.

Czytelnik sam odpowie teraz na pytanie, dlaczego dyfuzja w gazach odbywa się prędzej niż w cieczach.

Cząsteczki ciał stałych też nie są pozbawione ruchu. Gdy położono płytkę złota na płycie ołowiu, stwierdzono po upływie wielu miesięcy, że nieco złota przedfundowało w głąb ołowiu, a nieco ołowiu przeniknęło w głąb złota.

To, czegoś się dowiedział, czytelniku, w zakończeniu tej książki, bardzo różni się od tego, co z niej dotąd poznawałeś. Zamiast opisu zjawisk i badania ich praw — napotkałeś próbę ich wytłumaczenia. Tym dwom rodzajom zdobytej przez ciebie wiedzy odpowiadają też dwa sposoby, jakich nauka używa w swoim dążeniu do zbadania świata zjawisk. Najpierw przyglądamy się samym zjawiskom, notujemy fakty, doświadczaniem badamy prawa, jakie niemi rządzą. Potem dopiero próbujemy wytłumaczyć poznane zjawiska.

Taką próbą w naszym wypadku było przypuszczenie, czyli hipoteza, że ciała składają się z ruchliwych cząsteczek; z jej pomocą staraliśmy się wytłumaczyć poznane fakty. Mało ich znamy i niedokładnie, ale uczeni poznali ich mnóstwo i zbadali

bardzo szczegółowo. Okazało się, że wszystkie zgadzają się bardzo dobrze z wnioskami, wysnutymi z hipotezy cząsteczkowej. Taką hipotezę, dotyczącą całego działu wiedzy, z której wyciągnięto wszelkie konsekwencje i sprawdzono ich słuszność doświadczeniem, nazywamy *teorią naukową*. Teoria pozwala nam lepiej zrozumieć poznane fakty, bo łączy je wszystkie w jedną całość; bez niej nauka byłaby zbiorem niepowiązanych z sobą obserwacji i praw. Teoria wskazuje też badaczowi, jakie jeszcze zagadnienia domagają się rozwiązania.

Ale z teoriami trzeba być ostrożnym; wiele z nich nauka odrzuciła lub zmieniła, gdyż wysnute z nich wnioski nie były zgodne z doświadczeniem. Lecz zbadane prawa doświadczalnie stały się trwałym dorobkiem nauki.

Pytania.

- 1) Dlaczego w ćwic. 81 należało szkło obmyć spirytusem?
- 2) Zrób wykres, odkładając na jednej osi odcinki proporcjonalne do liczb całkowitych: 1, 2, 3, 4,, a na drugiej — do odwrotności tych liczb: $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$,, Kształt otrzymanej linii jest zgodny z kształtem powierzchni wody, ściśniętej między płytkami (ćwic. 81). Jakie wynika z tego prawo zależności wzniesienia włoskowatego od odległości ścianek?
- 3) Objasnij znane ci z lekcji przyrody zjawisko pęcznienia lub chudnięcia komórki, w zależności od tego, czy jest ona umieszczona w wodzie, czy w mocnym roztworze cukru?
- 4) Jakie znasz czynności organizmu zwierzęcego, w których bierze udział osmoza?
- 5) Dlaczego ziemia w doniczce jest cała wilgotna, chociaż naleliśmy wody tylko na spodek?
- 6) W jaki sposób spulchnianie gleby sprzyja zaopatrzeniu jej w potrzebną wilgoć?
- 7) Dlaczego cienkim ręcznikiem łatwiej osuszyć skórę, niż grubym?
- 8) Dlaczego sportowcy nawet w lecie używają grubej, wełnianej bielizny?

Spis treści.

Przedmowa	Str.	3
CZĘŚĆ I. POMIARY WSTĘPNE		7
1. Pomiar w życiu codziennym, w nauce i technice. — Pomiar długości: 2. Przyrządy do mierzenia długości. — Dokładność pomiarów: 3. Błąd bezwzględny. — 4. Błąd względny. — 5. Z historii metra. — Pomiar powierzchni i objętości ciał: 6. Pomiar powierzchni. — 7. Pomiar objętości. — Ważenie ciał: 8. Jednostki ciężaru. — 9. Waga. — 10. Przygotowanie wagi. — 11. Ważenie. — 12. Zależność ciężaru od objętości ciała. — 13. Ciężar właściwy. — 14. Jednostki ciężaru właściwego. — 15. Wyznaczanie ciężaru właściwego. — Pytania.		27
CZĘŚĆ II. O CIEPLE		27
Rozdział I. O temperaturze i termometrach		27
16. Wstęp. — 17. Termometry. — 18. Skale termometryczne. — 19. Różne termometry współczesne. — 20. Zastosowanie termometrów. — 21. Wytwarzanie wysokich temperatur. — Pytania.		35
Rozdział II. Rozszerzalność cieplna ciał		35
22. Zmiany długości i objętości wskutek ogrzewania. — Rozszerzalność cieczy: 23. Prawa rozszerzalności objętościowej cieczy. — 24. Spółczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy. — 25. Zastosowanie znajomości współczynnika rozszerzalności. — 26. Skutki rozszerzania się cieczy przy ogrzewaniu. — 27. Rozszerzalność cieplna wody. — Rozszerzalność ciał stałych: 28. Zmiany wymiarów ciał stałych przy ogrzewaniu. — 29. Rozszerzalność objętościowa ciał stałych. — 30. Siły powstające przy ogrzewaniu i ochładzaniu ciał. — 31. Zastosowanie różnic w współczynnikach rozszerzalności. — Rozszerzalność gazów: 32. Zmiany objętości powietrza wskutek ogrzewania. — 33. Spółczynnik rozszerzalności objętościowej powietrza. — Pytania. — Do wykonania w warsztacie.		52
Rozdział III. Ruch ciepła		52
Przewodzenie ciepła: 34. Ogrzewanie i stygnięcie ciał. — 35. Przepływ ciepła. — 36. Przewodzenie ciepła. — 37. Przewodnictwo cieplne. — 38. Przewodnictwo cieplne wody i powietrza. — 39. Zastosowania dobrych przewodników. — 40. Zastosowania złych przewodników. — 41. Powietrze jako izolator cieplny. — Unoszenie ciepła: 42. Prądy unoszenia. 43. Prądy unoszenia w powietrzu. — 44. Prądy konwekcyjne w przyrodzie. — 45. Zużytkowanie prądów konwekcyjnych wody do ogrzewania. — 46. Jak użytkujemy prądy konwekcyjne powietrza? — Promieniowanie: 47. Wymiana ciepła drogą promieniowania. — 48. Pochłanianie i wysyłanie promieniowania. — Pytania. — Do wykonania w warsztacie.		

Rozdział IV. O mierzeniu ciepła		183
49. Ilość ciepła. — 50. Jednostka ilości ciepła. — 51. Obliczanie ilości ciepła. — 52. Ciepło a temperatura. — 53. Zasada zachowania ciepła. — 54. Ciepło właściwe. — 55. Wyznaczanie ciepła właściwego. — 56. Wzmianka historyczna. — 57. Ciepło spalania. — 58. Oszczędzanie paliwa. — Pytania.		Str. 7)
Rozdział V. Topnienie i krzepnięcie		80
59. Znaczenie lodu. — 60. Temperatura topnienia lodu i krzepnięcia wody. — 61. Temperatura topnienia i krzepnięcia innych ciał. — 62. Inne określenie temperatury topnienia. — 63. Ciepło topnienia. — 64. Oddawanie ciepła topnienia przy przechłodzeniu. — 65. Wyznaczanie ciepła topnienia lodu. — 66. Zmiany objętości przy krzepnięciu i topnieniu. — Rozpuszczanie: 67. Roztwory. — 68. Ciepło rozpuszczania. — 69. Zamarzanie roztworów. — 70. Mieszanki oziębiające. — 71. Temperatura topnienia stopów. — 72. Rozpuszczanie gazów. — 73. Lód i śnieg w życiu człowieka. — Pytania.		
Rozdział VI. Parowanie i skraplanie		93
74. Ulatnianie się cieczy. — 75. Para. — 76. Para nasycona. — 77. Od czego zależy ciśnienie pary nasyconej. — 78. Skraplanie pary. — 79. Wrzenie cieczy. — 80. Wrzenie roztworów. — 81. Wpływ ciśnienia na temperaturę wrzenia. — 82. Ciepło parowania. — 83. Skraplanie gazów. — 84. Ogrzewanie centralne parą. — 85. Chłodziarki. — 86. Chłodnictwo. — Pytania.		
Rozdział VII. Własności cieplne wody i ich znaczenie dla życia na ziemi		109
87. Woda w życiu człowieka. — 88. W jaki sposób ogrzewa się powierzchnia ziemi? — 89. Klimat kontynentalny i morski. — 90. Wpływ nienormalnej rozszerzalności wody na życie w wodzie. — Pytania.		
CZĘŚĆ III. NAUKA O CIECZACH I GAZACH		115
Rozdział I. Równowaga cieczy		115
91. Naczynia połączone. — 92. Ciężar a ciśnienie. — 93. Ciśnienie cieczy na ściany boczne naczynia. — 94. Ciśnienie wewnątrz cieczy. Parcie na ciała zanurzone. — 95. Prasa hydrauliczna. — 96. Prawo Archimedeasa. — 97. Uzasadnienie prawa Archimedeasa. — 98. Pływanie ciał. — 99. Zastosowanie prawa Archimedeasa do wyznaczania ciężarów właściwych ciał.		
Rozdział II. Niektóre urządzenia wodne i ich znaczenie dla cywilizacji		130
100. Wodociąg. Studnia. Służby wodne.		
Rozdział III. O budowie okrętów		135
101.—102. Polska flota handlowa i wojenna. — Pytania.		
Rozdział IV. Ciśnienie atmosferyczne		140
103. Z dziejów odkrycia ciśnienia atmosferycznego. — 104. Doświadczenie Torricellego. — 105. Barometry rtęciowe. — 106. Zmienność ciśnienia atmosferycznego z wysokością. — 107. Zmienność ciśnienia atmosferycznego w zależności od stanu powietrza. — 108. Inne typy barometrów. — 109. Ciśnienie powietrza na usługach człowieka.		

	Str.
Rozdział V. Parcie na ciała zanurzone w gazie	150
110. Zjawiska „pływania” i „tonięcia” gazów w powietrzu. — 111. Ciężar właściwy powietrza. — 112. Ciężar właściwy innych gazów. — 113. Prawo Archimedeasa dla gazów. — 114. Balony i sterowce.	
Rozdział VI. Ściśliwość i rozprężliwość gazów	157
115.—116. Pompy powietrzne. — 117. Manometry.	
Rozdział VII. Techniczne zastosowanie sprężonego powietrza	161
118. Pytania.	
Rozdział VIII. O pogodzie	165
119. Nauka o pogodzie. — 120. Ogrzewanie się powietrza. — 121. Ciśnienie barometryczne. — 122. Prądy wstępujące i zstępujące. — 123. Wilgotność powietrza. — 124. Chmury i opady. — 125. Przepowiadanie pogody. — Pytania.	
Rozdział IX. Właskowatość, dyfuzja i osmoza	172
126. Zjawiska właskowatości. — 127. Porządkowanie i mieszanie. — 128. Dyfuzja cieczy. — 129. Osmoza. — 130. Dyfuzja gazów. — 131. Przenikanie i pochłanianie gazów przez ciała stałe. — 132. Porowatość ciał. — Częsteczkowa budowa materji. — Pytania.	

Spis tablic.

Tablica		Str.
I.	Jednostki długości	15
II.	Jednostki ciężaru	18
III.	Ciężary właściwe ciał stałych i cieczy	23
IV.	Spółczynniki rozszerzalności objętości	40
V.	„ „ linijowej	46
VI.	Przewodnictwo cieplne ciał w porównaniu z przewodnictwem miedzi	56
VII.	Ciepło właściwe ciał stałych i cieczy	77
VIII.	Ciepło spalania	78
IX.	Temperatura topnienia i ciepło topnienia	84
X.	Rozpuszczalność ciał stałych w wodzie	86
XI.	Rozpuszczalność gazów w wodzie	89
XII.	Temperatura wrzenia i ciepło parowania	98
XIII.	Ciężary właściwe gazów	152



7 w
at wh
--- 114
--- 114
--- 114

Arch. Emigracji
Biblioteka

Główna
UMK Toruń

1394055

Biblioteka Główna UMK



300051197971