rozdział 7

Przemiany energii w zjawiskach cieplnych

Dlaczego po wyjściu z wanny, basenu lub rzeki jest nam zimno?

Dlaczego nawet podczas upałów w wysokich partiach Tatr leży śnieg?

W jakim celu w naszych mieszkaniach pod sufitem są otwory osłonięte kratką?

W poprzednim rozdziale zajmowaliśmy się rodzajami energii mechanicznej ciał. Mówiliśmy, że jeden rodzaj energii może ulegać zamianie na inny. Na przykład podczas spadania ciała jego energia potencjalna grawitacji maleje, a jej kosztem rośnie energia kinetyczna. Jeśli spadanie odbywa się w próżni, to przyrost energii kinetycznej wynosi dokładnie tyle, ile ubytek energii potencjalnej, a suma obu tych energii (czyli całkowita energia mechaniczna ciała) jest w każdej chwili taka sama. Jednak gdy ciało uderzy w podłoże i nie ulegnie odbiciu, to traci energię kinetyczną uzyskaną podczas spadania. Co staje się z tą energią? Czy znika, czy zmienia się jeszcze w inny, nieznany wam dotąd rodzaj energii? Podobne pytania możemy zadać w przypadku, gdy ciało spada w powietrzu. Wówczas przyrost energii kinetycznej jest mniejszy niż ubytek energii potencjalnej, zatem całkowita energia mechaniczna ciała podczas spadania maleje. Co się więc stało z częścią energii mechanicznej?

W tym rozdziale dowiemy się, że istnieje rodzaj energii zwany energią wewnętrzną ciała. Wyjaśnimy też tzw. zjawiska cieplne, w których zachodzą zmiany energii wewnętrznej lub przekazywanie jej pomiędzy ciałami.

7.1. Energia wewnętrzna i jej zmiana przez wykonanie pracy

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

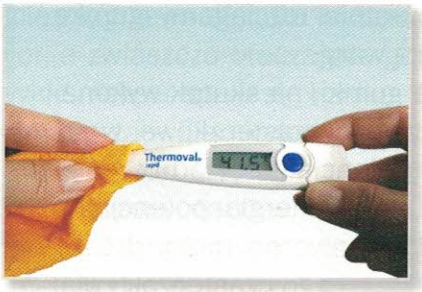
Opisać związek średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała z jego temperaturą.

Wyjaśnić, co nazywamy energią wewnętrzną ciała.

Podać przykłady wzrostu energii wewnętrznej ciała wskutek pracy wykonanej nad nim.

Pocieraj przez chwilę jedną dłoń o drugą, a następnie przyłóż dłonie do policzków. Poczujesz, że temperatura dłoni wzrosła.

Pocierając tkaniną końcówkę elektronicznego termometru lekarskiego (rys. 7.1), zwiększamy jej temperaturę. Termometr zmierzy przyrost temperatury. *Uwaga*: Nie rób tego z termometrem rtęciowym – jeśli przekroczysz jego temperaturę maksymalną, możesz go zniszczyć, a toksyczna rtęć może się wylać.



Rys. 7.1

W każdym z powyższych przypadków została wykonana praca związana z pokonywaniem siły tarcia. Skutkiem tej pracy nie był ani wzrost energii kinetycznej ciała, ani jego energii potencjalnej, a jedynie wzrost temperatury ciał trących o siebie. Co oznacza wzrost temperatury ciała? Spróbujmy odpowiedzieć na to pytanie.

Wiesz już, że wszystkie ciała składają się z cząsteczek lub atomów. Atomy (cząsteczki) ciała poruszają się chaotycznie, wykonując drgania wokół swoich położeń równowagi lub pędząc od zderzenia do zderzenia z innymi atomami lub cząsteczkami.

Podczas zderzeń, których w każdej sekundzie jest bardzo wiele, prędkość każdej cząsteczki ulega zmianie. Zmieniają się kierunki, zwroty i wartości prędkości (czyli szybkości) cząsteczek. W związku ze zmianą szybkości cząsteczek, zmieniają się także ich energie kinetyczne. Gdyby w pewnej chwili zsumować energie kinetyczne wszystkich cząsteczek ciała i tę sumę podzielić przez liczbę cząsteczek, otrzymamy **średnią energię kinetyczną cząsteczki**.

Jak pamiętasz, w wyższej temperaturze szybkości cząsteczek są większe, większa jest zatem średnia energia kinetyczna cząsteczek. Tak więc, gdy średnia energia kinetyczna cząsteczek ciała jest większa, to wyższa jest jego temperatura.

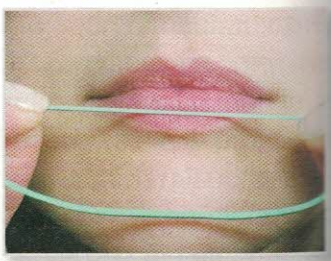
Łatwo się zatem domyślić, że **praca wykonana przy pokonywaniu tarcia spowodowała** w opisanych powyżej doświadczeniach **wzrost średniej energii kinetycznej cząsteczek** końcówki termometru i tkaniny. W sumie energia cząsteczek wzrosła o tyle, ile pracy wykonano.

Czy cząsteczki ciała posiadają tylko energię kinetyczną?

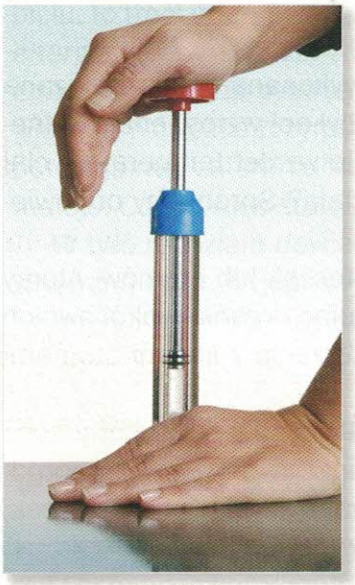
Jak wiesz, cząsteczki danego ciała działają na siebie siłami międzycząsteczkowymi. Wiesz także, że ze wzajemnym oddziaływaniem związana jest energia potencjalna zależna od odległości oddziałujących ciał, w naszym przypadku oddziałujących na siebie cząsteczek ciała. Jeśli cząsteczki ciała przyciągają się, to podczas zwiększania się odległości między nimi energia potencjalna rośnie. Możemy się o tym przekonać w następujący sposób: chwytamy palcami kawałek gumki recepturki, jak pokazano na rysunku 7.2, i dotykamy gumką

warg. Następnie wielokrotnie rozciągamy gumkę i ponownie dotykamy nią warg.

Podczas rozciągania gumki, na skutek wykonania pracy, odległości międzycząsteczkowe wzrastają i wzrasta energia potencjalna układu cząsteczek. Jeśli puścimy gumkę, energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną ruchu drgającego cząsteczek i dlatego wzrasta temperatura gumki. Zapamiętaj, że siły międzycząsteczkowe nie są siłami grawitacji. Są to siły elektryczne. Będziesz się o nich uczyć w trzeciej klasie.



Rys. 7.2



Rys. 7.3

Jeśli na dnie przedstawionego na zdjęciu (rys. 7.3) cylindra umieścimy odrobinę waty nasączonej denaturatem, zamkniemy cylinder i szybkim ruchem przesuniemy tłok w dół, wata zapali się. Wykonana przez nas praca powoduje zwiększenie energii kinetycznej cząsteczek powietrza i alkoholu, co wiąże się z gwałtownym wzrostem temperatury. W wyniku tego zachodzi reakcja chemiczna – spalanie.

Energie potencjalne wzajemnego oddziaływania cząsteczek i energie kinetyczne ich ruchu to składniki **energii wewnętrznej** ciała.

Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząsteczek oraz ich energii potencjalnych wynikających z wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego.

We wszelkich ruchach z tarciem energia wewnętrzna trących o siebie ciał wzrasta. Przyrost energii wewnętrznej jest równy pracy wykonanej przy pokonywaniu sił tarcia.

$$\Delta E_w = W$$

W doświadczeniu 5.7 kosztem energii kinetycznej kulki jest wykonywana praca na pokonanie siły tarcia o podłoże. Energia kinetyczna kulki zmienia się w energię chaotycznego ruchu cząsteczek trących o siebie ciał. Energie wewnętrzne kulki i podłoża wzrastają.

Niezwykle widowiskowym zjawiskiem, w którym obserwujemy wzrost energii wewnętrznej ciała są meteory. Bryła skalna wpadająca z kosmosu do atmos-

fery z ogromną szybkością rozgrzewa się „do białości" wskutek tarcia o powietrze. Rozgrzany meteor, a zwłaszcza otaczające go powietrze przez krótki czas świecą, po czym zwykle meteor spala się i znika. Jeśli bryła nie zdąży się spalić, to z wielką energią uderza w Ziemię (od tej chwili nazywa się meteorytem), tworząc często ogromny krater. Zdjęcie obok przedstawia krater utworzony na pustyni w amerykańskim stanie Arizona około 50 000 lat temu przez meteoryt o średnicy około 50 m. W chwili uderzenia energia kinetyczna meteorytu zmieniła się w energię wewnętrzną, więc temperatura otoczenia gwałtowanie wzrosła. Skutek można porównać ze skutkiem wybuchu 150 bomb atomowych, takich jak te, które zrzucono na Hiroszimę i Nagasaki podczas drugiej wojny światowej.

Podsumowanie

Wzrost średniej energii kinetycznej chaotycznego ruchu cząsteczek ciała objawia się wzrostem jego temperatury.

Najważniejsze składniki energii wewnętrznej ciała to: energia kinetyczna chaotycznego ruchu jego cząsteczek i energia potencjalna wynikająca z ich wzajemnego oddziaływania siłami międzycząsteczkowymi.

Energię wewnętrzną ciała można zwiększyć, wykonując pracę W, np. przy pokonywaniu tarcia lub przy odkształcaniu tego ciała. Wówczas jej przyrost jest równy tej pracy

$$\Delta E_w = W$$

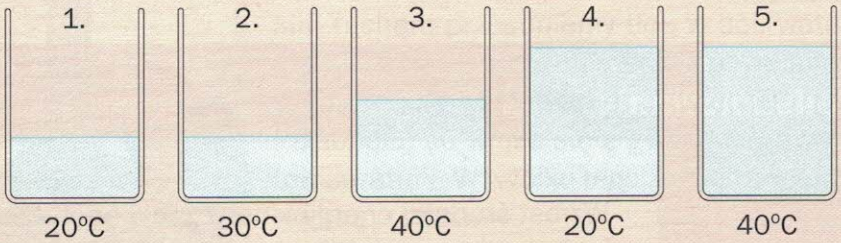
Zadania i doświadczenia

Zadania

1. Opisz przemiany energii, jakie zachodzą podczas hamowania roweru.

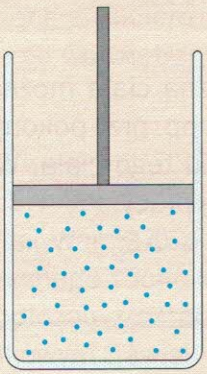
2. Wytłumacz, dlaczego podczas jazdy ciśnienie w oponach samochodu wzrasta.

3. W przedstawionych niżej naczyniach jest woda. Odpowiedz na pytania.



- W których naczyniach cząsteczki wody mają jednakowe średnie energie kinetyczne?
- W którym naczyniu woda ma najmniejszą, a w którym największą energię wewnętrzną?

4. Na podstawie poniższego rysunku odpowiedz, co się stało z energią wewnętrzną gazu.



gaz wykonuje pracę, podnosząc tłok

Dla tych, którzy chcą wiedzieć więcej

W poniższej tabeli zapisano wyznaczone przez chemików masy cząsteczek kilku gazów i średnie szybkości cząsteczek tych gazów w jednakowej temperaturze równej 0°C.

Pierwiastek	Masa cząsteczki (kg)	Średnia szybkość (m/s)	Średnia energia kinetyczna cząsteczki $E = \frac{mv^2}{2}$ (J)
wodór	$3{,}35 \cdot 10^{-27}$	1839,7	$566{,}9 \cdot 10^{-23}$
azot	$46{,}51 \cdot 10^{-27}$	493,5	$566{,}4 \cdot 10^{-23}$
tlen	$53{,}12 \cdot 10^{-27}$	461,8	$566{,}4 \cdot 10^{-23}$
dwutlenek węgla	$73{,}06 \cdot 10^{-27}$	393,8	$566{,}5 \cdot 10^{-23}$
para rtęci	$330 \cdot 10^{-27}$	184,4	$561{,}1 \cdot 10^{-23}$

Jak widzisz, średnie energie kinetyczne cząsteczek w tej samej temperaturze są prawie jednakowe (mamy tu na myśli energię związaną z ruchem postępowym a nie obrotowym). Ta prawidłowość obowiązuje dla wszystkich gazów. W każdej innej temperaturze średnie energie kinetyczne cząsteczek różnych gazów są także jednakowe, ale mają inną wartość.

Ogólnie

$$E_{k\acute{s}r} \sim T$$

gdzie T jest temperaturą w skali Kelvina.

Analizując dane w powyższej tabeli, widzimy, że np. masy cząsteczki azotu, tlenu i dwutlenku węgla są tego samego rzędu wielkości, ich średnie szybkości są także tego samego rzędu wielkości. Natomiast masa cząsteczki pary rtęci jest o dwa rzędy wielkości większa od masy cząsteczki wodoru, a jej średnia szybkość jest mniejsza od średniej szybkości cząsteczki wodoru tylko o jeden rząd wielkości.

7.2. Cieplny przepływ energii

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

Wyjaśnić, na czym polega przewodzenie ciepła.

Objaśnić różnice między pojęciami: temperatura, energia wewnętrzna, ciepło.

Wymienić dobre i złe przewodniki ciepła oraz wyjaśnić rolę izolacji cieplnej.

Wymienić sposoby zmieniania energii wewnętrznej ciała.

Wykonywanie pracy nie jest jedynym sposobem zmieniania energii wewnętrznej ciała. Wykonajmy następujące doświadczenie.

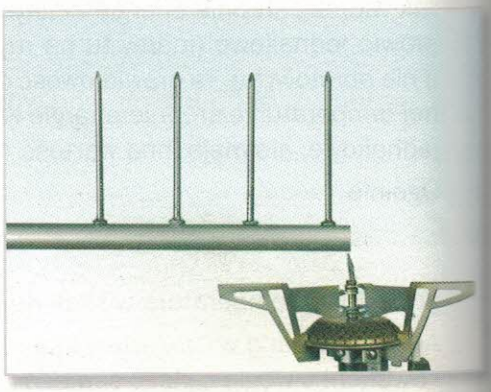
Doświadczenie 7.1

Cel: Obserwacja przewodzenia ciepła.

Konieczne przedmioty: ceownik, którego używaliśmy już do kilku doświadczeń, lub metalowy pręt, świeca (parafina), kilka gwoździ, palnik spirytusowy lub palnik gazowy.

Kolejne czynności:

- ✓ Parafiną przymocuj gwoździe do metalowego pręta.
- ✓ Jeden koniec pręta zamocuj w statywie, drugi ogrzewaj.
- ✓ Obserwuj zachowanie się gwoździ.



Wynik: Gwoździe kolejno (od strony ogrzewanego końca) odpadają od pręta.

Wniosek: W miarę upływu czasu wzrasta temperatura części pręta coraz bardziej oddalonych od palnika. Wyjaśnijmy to zjawisko.

Cząsteczki płomienia o wysokiej temperaturze poruszają się z dużymi szybkościami i zderzając się z atomami umieszczonego w płomieniu metalowego pręta, przekazują im część swojej energii. Wzrasta więc średnia energia kinetyczna drgających atomów w części pręta umieszczonej w płomieniu. Energia drgań tych atomów przekazywana jest przez zderzenia kolejnym, sąsiednim atomom. Oznacza to, że stopniowo wzrasta energia wewnętrzna całego pręta.

Ten sposób zmiany energii wewnętrznej ciała nazywamy **cieplnym przepływem energii**. Jest on możliwy jedynie wtedy, gdy stykają się ze sobą dwa ciała (lub części tego samego ciała) o różnych temperaturach. Energia przekazywana jest od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Cieplny przepływ energii trwa do chwili wyrównania się temperatur obu ciał.

Ilość tak przekazanej energii oznaczamy literą Q i nazywamy **ciepłem**. Jak można się domyślić, ilość energii uzyskanej przez jedno ciało jest równa ilości energii oddanej przez drugie. Inaczej możemy powiedzieć, że ciało „gorące" (tzn. o wysokiej temperaturze) **straciło ciepło**, a ciało „zimne" (tzn. o temperaturze niskiej) je zyskało.

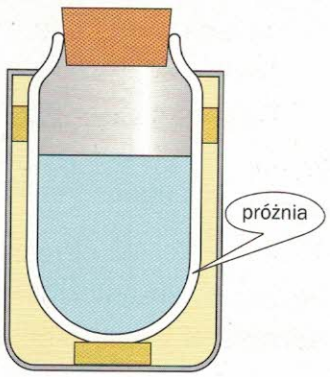
Przyrost energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ciepło Q, zapisujemy następująco

$$\Delta E_w = Q$$

Nie wszystkie substancje jednakowo przewodzą ciepło.

Gazy są złymi przewodnikami ciepła. Do złych przewodników ciepła należy także większość cieczy, szkło, drewno, plastiki, słoma, styropian, futro, wełna, śnieg, wata szklana. Wymienionych substancji używamy, gdy chcemy zapobiec przepływowi ciepła np. przez ściany i okna budynków. Mówimy, że stanowią one **izolację cieplną**. Tę właściwość wykorzystujemy, konstruując okna z podwójnymi szybami, a także nowoczesne materiały budowlane, które w swojej strukturze mają wolne przestrzenie wypełnione powietrzem.

O tym, że substancje różnią się przewodnictwem cieplnym, możesz się przekonać, stając jedną stopą (bosą) na parkiecie lub desce, a drugą na płytce ceramicznej. Płytka jest dobrym przewodnikiem ciepła, więc szybko pobiera ciepło od stopy i czujemy chłód.



Rys. 7.4

Przykładem praktycznego zastosowania próżni jako izolacji cieplnej jest termos (rys. 7.4). Termos to pojemnik o dwóch szklanych ściankach, między którymi panuje próżnia. Uniemożliwia ona wymianę ciepła między wnętrzem termosu a jego otoczeniem. Dlatego termos może mieć zastosowanie

do utrzymywania stałej temperatury zarówno gorących cieczy, jak i zimnych lodów.

Dobrymi przewodnikami ciepła są metale, dlatego metalowa łyżeczka włożona do gorącej herbaty po chwili nas parzy, a plastikowa nie.

Łącząc wnioski wynikające z doświadczeń opisanych w paragrafach – niniejszym i poprzednim, możemy stwierdzić, że:

Energię wewnętrzną ciała możemy zmienić albo przez wykonanie pracy (W), albo przez przekazanie ciepła (Q). Oczywiście może także nastąpić równoczesne wykonanie pracy i przekazanie ciepła.

$$\Delta E_w = W + Q$$

Stwierdzenie to nosi nazwę **pierwszej zasady termodynamiki**.

Zauważ, że energię wewnętrzną, pracę i ciepło wyrażamy w tych samych jednostkach – dżulach.

Podsumowanie

Innym sposobem zmiany energii wewnętrznej ciała, poza wykonaniem pracy, jest przekazywanie ciepła Q ciału o niższej temperaturze przez ciało o temperaturze wyższej.

$$\Delta E_w = Q$$

Pierwsza zasada termodynamiki informuje nas o tym, jak można zmienić energię wewnętrzną ciała i czemu jest równa ta zmiana:

$$\Delta E_w = W + Q$$

Próżnia, gazy, ciecze, drewno, szkło i plastik są złymi przewodnikami ciepła. Dobrymi przewodnikami ciepła są metale.

Zadania i doświadczenia

Zadania

1. Dlaczego wytworne pucharki na lody mają długą nóżkę?

2. Jeśli mieszkasz na wsi lub osiedlu domków jednorodzinnych, sprawdź zimową porą, obserwując ilość śniegu na dachach, który z twoich sąsiadów ma dobrze izolowany cieplnie dach, a który gorzej.

3. Pewien rodzaj cegły nosi nazwę „Porotherm". Jakie informacje chcieli przekazać użytkownikom twórcy tej nazwy?

4. Dlaczego ptaki zimą stroszą pióra?

5. Podaj znane ci przykłady zmiany energii wewnętrznej ciała przez wykonanie pracy i wymianę ciepła.

6. Wyszukaj w Internecie informację o tym, jak opisuje się właściwości izolacyjne materiałów budowlanych. Przygotuj prezentację na ten temat.

Doświadczenie

Cel: Badamy właściwości izolacyjne kołder i poduszek.

Konieczne przedmioty: dwa jednakowe słoiki z gorącą wodą, kołdry lub poduszki.

Kolejne czynności:

- ✓ Napełnij słoiki gorącą wodą i zakręć przykrywki.
- ✓ Jeden słoik postaw na stole, a drugi włóż między kołdry i poduszki.
- ✓ Po godzinie sprawdź temperaturę wody w słoikach.

Jeśli słoik wkładany między kołdry owiniesz w plastikowy woreczek, by ich nie zamoczyć, owiń takim woreczkiem także drugi słoik, by wszystkie parametry, oprócz badanego, były jednakowe.

Samodzielnie zapisz wynik doświadczenia i wniosek.

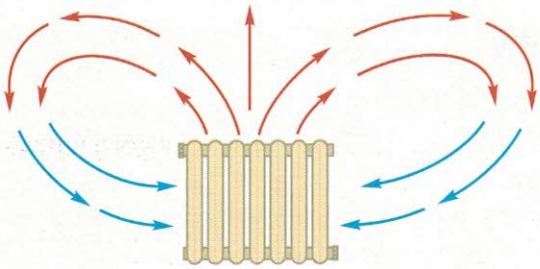
7.3. Zjawisko konwekcji

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

Wyjaśnić zjawisko konwekcji i podać przykłady jego występowania w przyrodzie.

Opisać znaczenie konwekcji w prawidłowym oczyszczaniu powietrza w mieszkaniach.

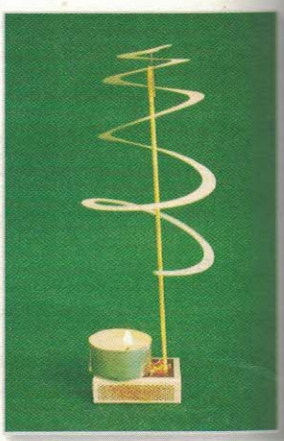
W ciałach stałych ciepło jest przekazywane głównie przez zderzenia drgających cząsteczek. Szybkie cząsteczki części ciała o wysokiej temperaturze przekazują podczas zderzeń część swojej energii kinetycznej chłodniejszej części ciała, w której cząsteczki poruszają się wolniej. Ten sposób transportu energii nazwaliśmy przewodnictwem cieplnym. W gazach i cieczach ciepło jest przenoszone głównie przez **konwekcję**. Przykładem może być ogrzewanie pokoju za pomocą kaloryfera (rys. 7.5).



Rys. 7.5

Najpierw ogrzewa się warstwa powietrza położonego blisko grzejnika. Średnie szybkości cząsteczek wzrastają, występuje zjawisko rozszerzalności temperaturowej, cząsteczki oddalają się od siebie, maleje gęstość powietrza. Zgodnie z prawem Archimedesa powietrze o mniejszej gęstości unosi się do góry. Na jego miejsce wchodzi powietrze chłodne, które także się ogrzewa i następnie unosi. Tak więc w pokoju odbywa się ciągła wędrówka prądów powietrza; noszą one nazwę prądów konwekcyjnych.

W sklepach z maskotkami można kupić ptaszki na nitkach przyczepionych do poziomej listewki, którą, także na nitce, wiesza się pod sufitem. Ogrzane powietrze, wznosząc się ku górze, powoduje nieustanny ruch ptaszków. Odmianą tej zabawki jest wisząca u sufitu (lub nad palącą się świeczką) papierowa sprężyna o wzrastającej średnicy. Łatwo ją samemu wykonać, przecinając kartkę wzdłuż linii spiralnej (rys. 7.6).



Rys. 7.6

Doświadczenie 7.2

Cel: Obserwacja zjawiska konwekcji.

Konieczne przedmioty: torebka z herbatą (np. Lipton lub Dilmah), talerzyk, zapałki.

Kolejne czynności:

- ✓ Od torebki z herbatą odetnij pasek równoległy do krawędzi, do której jest doczepiona nitka, i wysyp herbatę do szklanki.
- ✓ Pozostałą część torebki uformuj w postaci rurki i postaw ją pionowo na talerzyku.
- ✓ Podpal rurkę u góry i obserwuj zachowanie jej spopielonych resztek.

Wynik: Spopielone resztki torebki fruną w górę.

Wniosek: Powietrze wzdłuż palącej się rurki rozszerza się i unosi w górę (zjawisko konwekcji) wraz z resztkami torebki.

Zjawisko konwekcji możesz zaobserwować podczas wakacji nad morzem. W ciągu dnia woda morska (która ma bardzo duże ciepło właściwe; patrz następny paragraf) nagrzewa się o wiele wolniej niż piasek na plaży i nadmorskie skały. W nocy zaś wolniej się ochładza. Wskutek tego nad brzegiem zarówno w dzień, jak i w nocy wieje lekki wiatr zwany bryzą. Rozgrzane powietrze unosi się do góry (w dzień nad piaskiem, w nocy nad wodą), a jego miejsce zajmuje chłodniejsze powietrze; w dzień znad wody, w nocy znad lądu (rys. 7.7).

Rys. 7.7

Zasadnicza różnica między przewodzeniem ciepła i konwekcją polega na tym, że w przypadku przewodzenia energia jest przekazywana poprzez zderzenia cząsteczek – mamy więc transport energii bez transportu masy. W przypadku konwekcji energia jest przenoszona razem z cząsteczkami gazu lub cieczy. Transportowi energii towarzyszy transport masy.

Konwekcja odgrywa ważną rolę w wentylacji naszych mieszkań.

Na ogół w naszych domach mamy wentylację naturalną, zwaną także grawitacyjną. W ścianach domów pozostawia się kanały, których połączenie z pomieszczeniami w mieszkaniach jest zabezpieczone kratkami znajdującymi się pod sufitem. Powietrze dostające się do naszych mieszkań przez nieszczelne okna lub specjalne nawiewniki ogrzewa się, miesza się z powietrzem znajdującym się wewnątrz, na zasadzie konwekcji unosi się i przez kanał wentylacyjny, kominem wydostaje się na zewnątrz. Konwekcja zachodząca w kanale wentylacyjnym nosi nazwę **ciągu kominowego**. Wentylacja działa tym lepiej, im większa jest różnica temperatur na zewnątrz i wewnątrz budynku, dlatego najskuteczniejsza jest zimą. Wyjątek stanowią zimowe pogodne dni, gdy panuje bardzo wysokie ciśnienie atmosferyczne. Utrudnia ono konwekcję. To w takie dni najczęściej telewizja donosi o zatruciach tlenkiem węgla z pieców gazowych i węglowych. Latem należy po prostu szeroko otwierać okna. Aby wentylacja dobrze działała, do pomieszczeń musi stale napływać powietrze z zewnątrz. Dawniej nieszczelności okien zapewniały wystarczający dopływ świeżego powietrza. Obecnie produkowane okna są tak szczelne, że jeśli okno jest zamknięte, napływ powietrza jest praktycznie niemożliwy. Przebywanie w niewentylowanych pomieszczeniach jest bardzo niezdrowe. Oddychając i korzystając z kuchenek i term gazowych, zużywamy zawarty w powietrzu tlen. Jego niedobór może powodować zakłócenia snu, bóle głowy i wiele innych poważniejszych schorzeń. Dlatego producenci proponują okna, które można rozszczelnić dzięki ustawieniu klamki w odpowiedniej pozycji. Jeśli się takie okna posiada, należy z tego udogodnienia korzystać na co dzień! Zapominalscy powinni montować nawiewniki automatyczne. Na rynku znajduje się wiele różnych rodzajów nawiewników.

Zadania i doświadczenia

Zadania

1. Przyłóż kartkę papieru do kratki wentylacyjnej i sprawdź, czy kartka przywiera do kratki, czyli czy w twoim mieszkaniu wentylacja działa prawidłowo (czy jest „ciąg").

2. Odszukaj w Internecie informacje o prądach konwekcyjnych w płynnym wnętrzu Ziemi i zewnętrznych warstwach Słońca.

Doświadczenie

Cel: Obserwacja skutków występowania zjawiska konwekcji w cieczach.

Konieczne przedmioty: patyk lub rurka do napojów, której jeden koniec został zamrożony w kostce lodu, druga kostka lodu, 2 szklanki, mała grzałka elektryczna.

Kolejne czynności:

- ✓ Wlej do szklanki zimną wodę, zanurz w niej możliwie głęboko grzałkę.
- ✓ Wrzuć kostkę lodu i włącz grzałkę.
- ✓ Obserwuj lód oraz proces ogrzewania i wrzenia wody.
- ✓ Do drugiej szklanki włóż kostkę lodu z patyczkiem, nalej wody i za pomocą patyczka utrzymuj lód przy dnie szklanki.
- ✓ Grzałkę umieść w górnej części szklanki (rys. 7.8) i włącz ją.
- ✓ Doprowadź wodę do wrzenia i obserwuj kostkę lodu.

Rys. 7.8

Opisz przebieg obserwacji w obu przypadkach i wyjaśnij różnicę.

7.4. Ciepło właściwe

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

Objaśnić pojęcie ciepła właściwego.

Wymienić czynniki, od których zależy szybkość przekazywania ciepła, i uzasadnić sposób konstrukcji wymienników ciepła.

Posługiwać się wzorem $Q = c\,m\,\Delta T$ przy rozwiązywaniu zadań.

Zajmiemy się teraz takimi zjawiskami, w których następuje wzrost temperatury ciała (a więc także wzrost jego energii wewnętrznej) **tylko** na skutek pobierania ciepła Q. Wówczas: $W = 0$, a więc zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki

$$\Delta E_w = Q$$

Umówmy się, że przez **ogrzewanie** ciała będziemy zawsze rozumieli wzrost jego temperatury, a przez **oziębianie** – spadek temperatury. W tym paragrafie odpowiemy na pytanie: Jak obliczyć energię (ilość ciepła), którą należy dostarczyć ciału o masie m, aby ogrzać je o $\Delta t = \Delta T$?

Na co dzień obserwujemy ogrzewanie wody w czajniku stojącym na kuchennej płycie lub na palniku gazowym. Jeżeli płomień palnika jest ciągle tak samo intensywny, to ilość dostarczonego ciepła jest tym większa, im dłuższy jest czas ogrzewania. Tak więc ilości pobranego ciepła Q możemy porównać, porównując czasy ich dostarczania. Łatwo zauważyć, że czas ten będzie tym dłuższy, im większy jest przyrost temperatury ΔT, który chcemy osiągnąć. Mówiąc dokładniej: ilość ciepła potrzebnego do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do przyrostu jej temperatury.

Można to zapisać w postaci

$$Q \sim \Delta T$$

Gdybyśmy ogrzewali wodę o dwa razy większej masie, chcąc uzyskać ten sam przyrost temperatury ΔT, musielibyśmy jej dostarczyć dwa razy więcej ciepła, czyli

$$Q \sim m$$

Te dwie zależności można zapisać razem:

$$Q \sim m \cdot \Delta T$$

co odczytujemy: **Ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do iloczynu jej masy i przyrostu temperatury**. Iloraz wielkości wprost proporcjonalnych jest stały, co zapisujemy:

$$\frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \text{const}$$

Gdyby podobne doświadczenie wykonać dla innej substancji, okazałoby się, że iloraz ten jest także stały, ale ma inną wartość. Ta stała wartość nosi nazwę **ciepła właściwego** substancji. Oznaczamy ją literą *c*.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Jednostką tej wielkości jest:

$$[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} = 1\,\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{lub} \quad [c] = 1\,\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}}$$

Ciepło właściwe informuje nas o tym, ile ciepła (energii) należy dostarczyć, aby ogrzać 1 kg substancji o 1 K (lub o 1 °C).

Oczywiście, jeśli taką ilość energii odbierzemy 1 kilogramowi substancji, to jej temperatura zmaleje o 1 K (1°C).

Wartości ciepła właściwego dla wybranych substancji podane są w tabeli 7.1 (w przypadku gazów jest to ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem).

Tabela 7.1

Ciała stałe		Ciecze		Gazy	
Nazwa substancji	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$	Nazwa substancji	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$	Nazwa substancji	Ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$
ołów	130	rtęć	100	tlen	916
miedź	385	nafta	2100	azot	1050
aluminium	920	spirytus	2400	wodór	14 300
lód	2100	woda	4190	para wodna	1020

Ilość ciepła Q potrzebną do ogrzania ciała o masie m tak, aby nastąpił przyrost jego temperatury o ΔT, obliczamy za pomocą wzoru:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Przykład 7.1

Ciepło właściwe wody wynosi około $4200 \frac{J}{kg \cdot K}$. Oznacza to, że do ogrzania $m = 1$ kg wody o $\Delta T = 1$ K potrzebne jest dostarczenie energii równej około 4200 J.

Przykład 7.2

Obliczmy energię, którą trzeba dostarczyć, aby ogrzać szklankę wody ($m = 250$ g) od temperatury 20°C do 50°C.

Dane:

$\Delta T = \Delta t$, $\Delta T = 50°C - 20°C = 30°C = 30$ K

$m = 250$ g $= 0{,}25$ kg, $c = 4200 \frac{J}{kg \cdot K}$

Szukane: Q

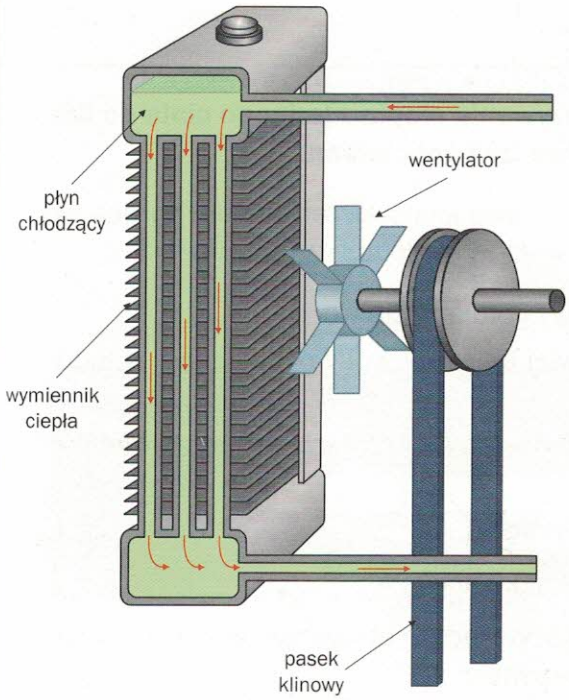
Rozwiązanie:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

$$Q = 4200 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot 0{,}25\ kg \cdot 30\ K = 31500\ J$$

Odpowiedź: Aby ogrzać wodę, należy dostarczyć 31,5 kJ ciepła.

Spośród substancji, z którymi stykamy się na co dzień, woda ma największe ciepło właściwe, a więc jej ogrzanie wymaga dostarczenia dużej ilości energii. Ochładzając się, woda oddaje do otoczenia także dużą ilość energii, dlatego jest szeroko stosowana jako substancja do magazynowania i przenoszenia energii. Gdy nie znano jeszcze poduszek elektrycznych, do nagrzewania chorych części ciała stosowano w lecznictwie tzw. termofory, czyli gumowe zbiorniki na gorącą wodę. Woda lub para wodna przenoszą także energię w postaci ciepła z elektrociepłowni do kaloryferów w naszych mieszkaniach.



Rys. 7.9

Woda była też dawniej (ale tylko w lecie!) używana w układach chłodzenia silników spalinowych do odprowadzania energii w postaci ciepła od silnika do chłodnicy (obecnie stosowane są inne ciecze). Jak widać (rys. 7.9), powierzchnia chłodnicy jest ożebrowana.

Taka konstrukcja służy zwiększeniu powierzchni zetknięcia ciał, między którymi zachodzi wymiana ciepła. Im większa powierzchnia, tym szybciej jest wymieniane ciepło. (Cząsteczki stykających się ciał mają więcej możliwości zderzania się). Dlatego metalowa część chłodnicy nazywa się wymiennikiem ciepła. Taka sama jest zasada konstruowania kaloryferów (rys. 7.10). Kraty, pofałdowania powierzchni, żeberka zwiększają powierzchnię **wymiennika ciepła**. Podobną konstrukcję mają radiatory odprowadzające na zewnątrz ciepło z rozgrzanych w czasie pracy procesorów komputerowych.

Rys. 7.10

Gdyby zdjąć obudowę piecyka gazowego, można by się przekonać, że rura z ogrzewaną wodą tworzy zwoje wokół przestrzeni, którą przepływa gorące powietrze ogrzane palnikiem gazowym.

Szybkość wymiany ciepła z otoczeniem zależy także od różnicy temperatur ciał, między którymi taka wymiana zachodzi. Możesz się o tym przekonać, wykonując następujące doświadczenie.

Doświadczenie 7.3

Cel: Badamy, czy szybkość przekazywania ciepła z jednego ciała do drugiego zależy od różnicy temperatur między tymi ciałami.

Konieczne przedmioty: dwie szklanki, dwa kieliszki, termometr, gorąca woda.

Kolejne czynności:

- ✓ Dwie szklanki wypełnij do połowy gotującą się wodą.
- ✓ Do jednej z nich natychmiast wlej kieliszek wody ochłodzonej w lodówce, obniżając jej temperaturę.
- ✓ Po odczekaniu 10–15 minut, taki sam kieliszek zimnej wody wlej do drugiej szklanki.
- ✓ Zmierz temperaturę w obu szklankach.

Wynik: Temperatura wody w drugiej szklance jest niższa.

Wniosek: Ciepło jest szybciej przekazywane do otoczenia, gdy różnica temperatur między wodą a otoczeniem jest większa.

Wykonując obliczenia związane z wymianą ciepła między ciałami, korzystamy z tzw. **bilansu cieplnego**.

Przykład 7.3

W termosie znajduje się 0,25 kg wody o temperaturze 36°C. Do tej wody dolano 0,25 kg wody o temperaturze 42°C. Termos zamknięto i przez potrząsanie wymieszano wodę. Posługując się zasadą zachowania energii, obliczmy temperaturę końcową x wody w termosie.

Dane: $m_1 = 0{,}25$ kg, $t_1 = 36°C$, $m_2 = 0{,}25$ kg, $t_2 = 42°C$

Szukane: t_x – temperatura końcowa

Rozwiązanie:

Ilość ciepła pobrana przez chłodniejszą wodę jest równa

$$Q_{pobrane} = 0{,}25\ \text{kg} \cdot c(t_x - 36°C)$$

Ilość ciepła oddana przez cieplejszą wodę jest równa

$$Q_{oddane} = 0{,}25\ \text{kg} \cdot c(42°C - t_x)$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii (układamy bilans cieplny)

$$Q_{pobrane} = Q_{oddane}$$

$$0{,}25\ \text{kg} \cdot c(t_x - 36^\circ\text{C}) = 0{,}25\ \text{kg} \cdot c(42^\circ\text{C} - t_x)\ /: c$$

$$t_x - 36^\circ\text{C} = 42^\circ\text{C} - t_x$$

$$2t_x = 78^\circ\text{C} \qquad \text{skąd} \qquad t_x = 39^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Temperatura końcowa wody w termosie wynosiła 39°C.

Podsumowanie

Ciepło potrzebne do ogrzania o ΔT substancji o masie m obliczamy ze wzoru

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

gdzie c jest ciepłem właściwym tej substancji. Jeśli zajmujemy się zjawiskami, dla których $W = 0$, to przyrost energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ciepło, wynosi

$$\Delta E_w = Q \qquad \Delta E_w = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Ciepło właściwe informuje nas, ile ciepła (energii) należy dostarczyć, aby ogrzać 1 kg substancji o 1 K. Wielkość tę wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Różne substancje mają różne ciepła właściwe.

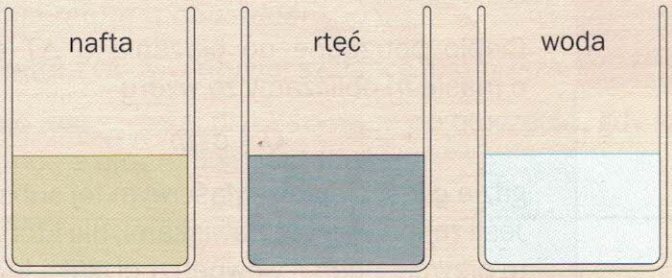
Szybkość wymiany ciepła jest tym większa, im większa jest różnica temperatur między stykającymi się ciałami oraz im większa jest powierzchnia styku między nimi.

Zadania i doświadczenia

Zadania

1. Duża wartość ciepła właściwego wody (patrz tabela 7.1) wpływa na temperatury u wybrzeży morskich późnią jesienią i wczesną wiosną. Wyszukaj informacje na ten temat i przygotuj wypowiedź ustną lub pisemną.

2. W naczyniach znajdują się jednakowe objętości nafty, rtęci i wody.



Oblicz, do którego z naczyń trzeba dostarczyć najmniej ciepła, by ogrzać ciecz o 1°C. Potrzebne wartości ciepła właściwego odszukaj w tabeli 7.1. Gęstość rtęci wynosi 13 500 kg/m^3, nafty 810 kg/m^3, a wody 1000 kg/m^3.

3. Dwa litry wody w aluminiowym naczyniu o masie 0,2 kg ogrzewamy od 0°C do 100°C. Oblicz, jaka część dostarczonej energii jest zużyta na ogrzanie naczynia. Skorzystaj z danych w tabeli 7.1.

4. Sprawdź w tabeli 7.1, w jakim stanie skupienia woda ma największe ciepło właściwe. Która substancja (woda, lód czy para wodna) wymaga największego dopływu energii podczas ogrzewania masy 1 kg o 1°C?

Doświadczenie

Wykonaj doświadczenie opisane w przykładzie 7.3. Temperaturę wody możemy mierzyć elektronicznym termometrem lekarskim. Porównaj wynik obliczenia i pomiaru końcowej temperatury wody. Wypowiedz własny komentarz dotyczący ich zgodności.

7.5. Przemiany energii w zjawiskach topnienia i parowania

Po dokładnym zapoznaniu się z treścią tego paragrafu potrafisz:

Wyjaśnić pojęcia: ciepła topnienia, krzepnięcia, parowania i skraplania.

Wskazać znaczenie w przyrodzie dużej wartości ciepła topnienia i parowania wody.

Posługiwać się wzorami $Q = mc_t$ oraz $Q = mc_p$ w zadaniach obliczeniowych.

Dotychczas rozważaliśmy zjawiska, w których dopływ ciepła powodował wzrost temperatury ciała (ogrzanie), a odpływ ciepła – ochłodzenie. Ale dostarczanie ciepła nie zawsze skutkuje ogrzewaniem ciała. Jeśli włożysz termometr do stojącego dłuższy czas w kuchni naczynia z pokruszonym lodem, przekonasz się, że temperatura lodu i powstałej z niego wody jest ciągle bliska 0°C, chociaż powietrze otaczające naczynie ma temperaturę o kilkanaście stopni wyższą. Skoro między powietrzem i lodem istnieje różnica temperatur, to na pewno następuje cieplny przepływ energii. Mimo to temperatura lodu, aż do całkowitego stopienia, nie zmienia się.

Na co więc zostaje zużyta energia dostarczona do lodu?

Lód posiada budowę krystaliczną. Oznacza to, że cząsteczki tworzą regularną strukturę i są silnie ze sobą powiązane. Dostarczając tym cząsteczkom odpowiednio dużej energii, możemy spowodować zniszczenie regularnego ułożenia cząsteczek w kawałku lodu, czyli stopienie go. Podczas topnienia rośnie ich średnia energia potencjalna. Nie zwiększa się natomiast średnia energia kinetyczna ich ruchu postępowego, tzn. ruchu od zderzenia do zderzenia, dlatego temperatura podczas topnienia pozostaje stała. Dopiero po zniknięciu ostatniego kawałka lodu dalszy dopływ energii powoduje wzrost średniej energii kinetycznej ruchu cząsteczek wody, co objawia się wzrostem temperatury.

Energia potrzebna na stopienie pewnej masy *m* ciała stałego jest wprost proporcjonalna do tej masy.

$$Q \sim m, \quad \text{czyli} \quad \frac{Q}{m} = \text{const}$$

Stała wartość tego ilorazu, wyrażona w J/kg, informuje nas, ile trzeba dostarczyć energii (ciepła), aby stopić 1 kg ciała stałego (bez zmiany temperatury). Wielkość ta nosi nazwę **ciepła topnienia**, a oznaczamy ją symbolem c_t.

$$c_t = \frac{Q}{m}$$

$$[c_t] = 1\frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Oczywiście 1 kg wody, krzepnąc, oddaje chłodniejszemu otoczeniu taką samą ilość ciepła, jaką pobiera 1 kg lodu, topniejąc. Wielkość ta nosi nazwę **ciepła krzepnięcia**, a oznaczamy ją c_k.

$$c_k = c_t$$

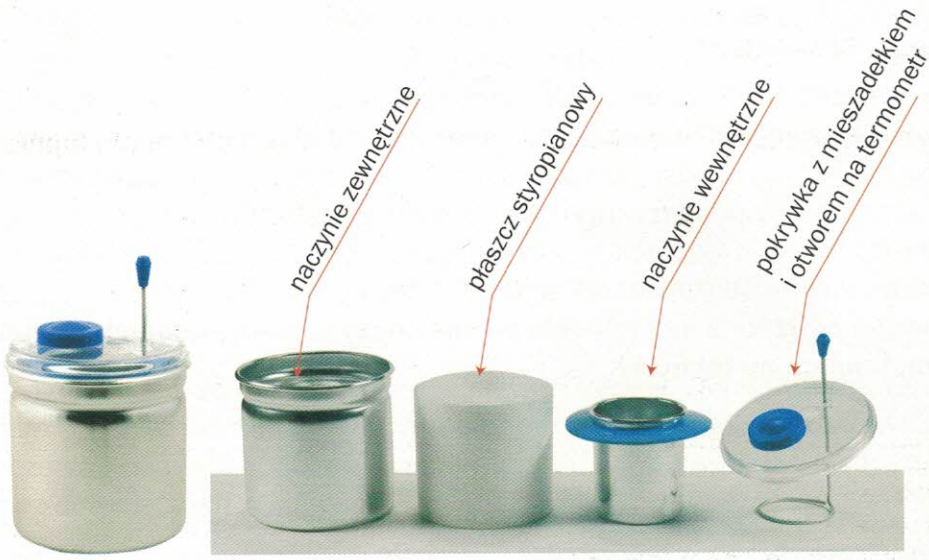
Przyrost (lub ubytek) energii wewnętrznej topniejącej (lub krzepnącej) substancji o masie m (gdy równocześnie nie jest wykonywana praca) obliczamy za pomocą wzorów:

$$\Delta E_w = c_t \cdot m \quad \text{i} \quad \Delta E_w = c_k \cdot m$$

Doświadczenie 7.4

Cel: Wyznaczanie ciepła topnienia lodu za pomocą kalorymetru.

Konieczne przyrządy: waga, kalorymetr, kostki lodu, termometr.
Kalorymetr jest zbudowany z następujących części:



Kolejne czynności:

- ✓ Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru (m_k).
- ✓ Do wewnętrznego naczynia kalorymetru nalewamy odmierzoną za pomocą menzurki ilość wody i zapisujemy jej masę (m_w).
- ✓ Wkładamy wewnętrzne naczynie kalorymetru do zewnętrznego i mierzymy początkową temperaturę wody w kalorymetrze (t_p).
- ✓ Kostki lodu trzymane wcześniej na papierowym ręczniku (aby nie ociekały wodą) w temperaturze pokojowej (aby miały temperaturę 0°C) wrzucamy do wody, przykrywamy naczynie kalorymetru i mieszadełkiem mieszamy wodę z lodem aż do roztopienia się lodu, co poznajemy po tym, że temperatura przestaje się obniżać.
- ✓ Mierzymy temperaturę końcową wody (t_k).
- ✓ Ważymy wewnętrzne naczynie kalorymetru z wodą (m_{k+w+l}). Od uzyskanej wartości odejmujemy masę kalorymetru (m_k) i masę wody (m_w). Otrzymamy w ten sposób masę roztopionego lodu (m_l).

Zapisujemy wyrażenia na ciepła pobrane i oddane w doświadczeniu*.

Ciepło oddane przez wodę podczas ochładzania się:

$$Q_1 = m_w c_{wody}(t_p - t_k)$$

Ciepło pobrane przez lód w procesie topnienia:

$$Q_2 = m_l c_t$$

Ciepło pobrane przez wodę powstałą z lodu do ogrzania od 0°C do t_k:

$$Q_3 = m_l c_{wody}(t_k - 0°C)$$

Układamy bilans cieplny:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Z tablic odczytujemy ciepło właściwe wody (c_{wody}) i obliczamy ciepło topnienia lodu.

$$m_w c_{wody}(t_p - t_k) = m_l c_t + m_l c_{wody}(t_k - 0°C)$$

$$m_l c_t = m_w c_{wody}(t_p - t_k) - m_l c_{wody} t_k$$

$$c_t = \frac{m_w c_{wody}(t_p - t_k) - m_l c_{wody} t_k}{m_l}$$

* Uzyskana w wyniku obliczeń wartość ciepła topnienia lodu będzie tylko przybliżona, bo dla uproszczenia obliczeń nie uwzględniamy ciepła oddanego przez wewnętrzne naczynie kalorymetru (patrz zadanie 9 na stronie 182).

W tabeli 7.2 podano wartości temperatury topnienia i ciepła topnienia kilku substancji.

Tabela 7.2

Nazwa substancji	Temperatura topnienia		Ciepło topnienia (J/kg)
	K	°C	
alkohol metylowy	175	-98	68 900
rtęć	234	-39	13 000
lód (woda)	273	0	335 000
naftalen	355	80	148 000
ołów	600	327	25 000
złoto	1 336	1 063	63 000
żelazo	1 808	1 435	260 000
wolfram	3 683	3 350	190 000

Zwróć uwagę na bardzo duże ciepło topnienia lodu. Dzięki niemu na wiosnę śnieg i lód topią się wolno, co pozwala (na ogół) uniknąć powodzi. Z tabeli możemy odczytać jeszcze jedną ważną informację. Lód topi się już w temperaturze 0°C, ale żeby stopić 1 kg, trzeba w tej temperaturze dostarczyć aż 335 000 J ciepła. Złoto topi się dopiero w temperaturze około 1000°C, ale kiedy już ogrzejemy je do tej temperatury, to do stopienia 1 kg potrzeba tylko 63 000 J ciepła. Należy odróżniać ilość ciepła konieczną do ogrzania ciała do temperatury topnienia od ilości ciepła potrzebnej do jego stopienia.

Nie wszystkie ciała stałe można stopić. Jeśli dostarczamy ciepło np. drewnu, zanim zacznie się topić – spali się.

Innym zjawiskiem, w którym dostarczenie ciepła nie powoduje wzrostu temperatury, jest wrzenie. To szczególny rodzaj parowania. Ciecze parują w każdej temperaturze, chociaż niejednakowo intensywnie. W wyższej temperaturze parują szybciej.

Aby poszczególne cząsteczki mogły oderwać się od powierzchni cieczy, muszą mieć odpowiednio dużą energię kinetyczną na pokonanie sił spójności. Najpierw odrywają się od powierzchni cieczy te cząsteczki, których szybkość jest największa. Dlatego średnia energia kinetyczna cząsteczek cieczy, która pozostała, maleje; gdybyśmy nie dostarczali energii z zewnątrz, temperatura parującej cieczy obniżałaby się. Odczuwamy to, np. wychodząc z rzeki po kąpieli. Woda, parując, odbiera ciepło od naszego ciała.

Chcąc utrzymać stałą temperaturę cieczy, musimy dostarczać z zewnątrz energię w ilości wprost proporcjonalnej do masy m cieczy, która uległa zamianie w parę.

$$Q \sim m, \qquad \frac{Q}{m} = \text{const}$$

Stałą wartość tego ilorazu nazywamy **ciepłem parowania** cieczy i oznaczamy ją c_p.

$$c_p = \frac{Q}{m}$$

Jednostką tej wielkości jest

$$[c_p] = 1\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Ciepło parowania informuje nas o tym, jaką energię należy dostarczyć cieczy o masie 1 kilograma, aby wyparowała, nie zmieniając temperatury.

Tabela 7.3

Nazwa substancji	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia (J/kg)	Nazwa substancji	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia (J/kg)
aceton	98 000	chloroform	247 000
alkohol etylowy	858 000	eter	98 500
alkohol metylowy	1 100 000	woda	2 258 000
azot	201 000	wodór	467 000
benzen	127 000	rtęć	11 800

Gdy ogrzewana woda osiągnie temperaturę wrzenia, parowanie zachodzi nie tylko na powierzchni, ale w całej objętości wody – pęcherzyki pary wydobywają się nawet z całkiem nisko położonych warstw wody. Jednak **temperatura wrzącej wody pozostaje cały czas stała**. Oznacza to, że cała energia dopływająca z zewnątrz w postaci ciepła zostaje zużyta na zamianę cieczy w parę. Temperatura pary wynosi także około 100°C, zatem średnia energia kinetyczna cząsteczek pary nie wzrasta. Kosztem dostarczonej energii wzrasta znacznie ich średnia energia potencjalna – w parze są one od siebie dużo bardziej odległe niż w cieczy.

Wrzenie każdej cieczy odbywa się w stałej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia. Temperatura wrzenia wszystkich cieczy maleje wraz z obniżaniem się zewnętrznego ciśnienia, pod którym odbywa się wrzenie, a rośnie, gdy ciśnienie to staje się większe.

Ciepło oddane podczas skraplania pary o masie m obliczamy za pomocą wzoru:

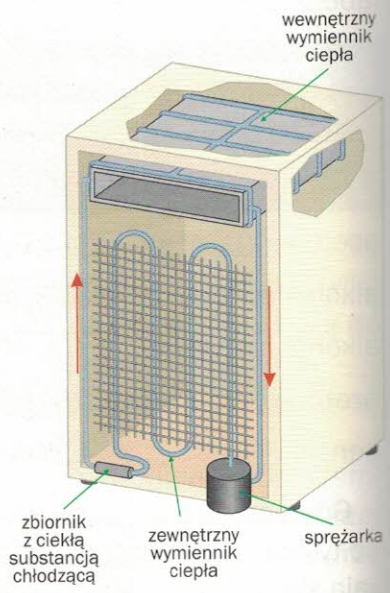
$$Q = c_s \cdot m$$

gdzie c_s nosi nazwę ciepła skraplania i jest równe ciepłu parowania substancji:

$$c_s = c_p$$

Jeśli wyjęty z lodówki napój wlejesz do szklanki, po chwili jej zewnętrzna powierzchnia pokryje się kropelkami wody. To para wodna zawarta w powietrzu uległa skropleniu na zewnętrznej powierzchni szklanki ochłodzonej przez napój.

Zjawisko ochładzania się cieczy wskutek szybkiego parowania wykorzystuje się w urządzeniach chłodzących. Składają się one z czterech podstawowych części: zbiornika substancji chłodzącej, dwóch wymienników ciepła (wewnętrznego i zewnętrznego) i sprężarki. Jako substancji chłodzącej do początku lat dziewięćdziesiątych używano freonu. Substancja ta ma zabójczy wpływ na warstwę ozonową w atmosferze ziemskiej, dlatego obecnie stosuje się inne (przyjazne środowisku) gazy. Zasadę działania chłodziarki (nazywanej popularnie lodówką) przedstawiono na rysunku obok.



Substancja chłodząca w stanie ciekłym przepływa do rurek wewnętrznego wymiennika ciepła, oplatających wnętrze lodówki. Panuje w nich niskie ciśnienie, wskutek czego substancja chłodząca gwałtownie paruje, wnętrze lodówki ochładza się i następuje pobieranie ciepła z produktów spożywczych. Następnie, już jako gaz, substancja chłodząca jest wsysana do sprężarki znajdującej się na zewnątrz lodówki. (Działanie sprężarki obniża ciśnienie w rurkach wewnętrznego wymiennika ciepła). Sprężony gaz kierowany jest do znajdującego się również na zewnątrz lodówki wymiennika ciepła (w postaci zakrzywionych rur o dużej powierzchni zetknięcia z powietrzem), w którym oddaje ciepło do otoczenia, a sam się ochładza

i skrapla. Ciekła substancja trafia znowu do zbiornika, z którego przepływa do wewnętrznego wymiennika ciepła itd.

Zwróć uwagę, że do działania lodówki konieczne jest jej zasilanie energią elektryczną, którą głównie zużywa sprężarka. Ilość energii elektrycznej konieczna do podtrzymywania pracy lodówki jest znacznie większa od ilości energii usuwanej z wnętrza lodówki. Tak więc otoczenie lodówki ogrzewa się.

Na podobnej zasadzie działają klimatyzatory coraz powszechniej używane w samochodach i domach.

Podsumowanie

Topnienie substancji (krystalicznej) zachodzi w stałej i charakterystycznej dla tej substancji temperaturze zwanej temperaturą topnienia. Również krzepnięcie następuje w stałej temperaturze (temperatura topnienia jest równa temperaturze krzepnięcia).

Ciało topniejące pobiera ciepło z otoczenia (o temperaturze wyższej), zatem rośnie jego energia wewnętrzna (energia potencjalna cząsteczek):

$$\Delta E_w = Q = c_t \cdot m \qquad \text{(gdy } W = 0\text{)}$$

Ciecz krzepnąca oddaje chłodniejszemu otoczeniu ciepło, więc jej energia wewnętrzna maleje o:

$$\Delta E_w = Q = c_k \cdot m \qquad \text{(gdy } W = 0\text{)}$$

Ciepło topnienia substancji jest równe jej ciepłu krzepnięcia:

$$c_t = c_k$$

Wielkości te wyrażamy w J/kg.

Podsumowanie

Ciecz paruje w każdej temperaturze.

Wrzenie polega na gwałtownym parowaniu cieczy w całej objętości. Wrzenie zachodzi w ściśle określonej temperaturze zwanej temperaturą wrzenia (zależnej od zewnętrznego ciśnienia) i charakterystycznej dla każdej cieczy.

Parująca ciecz pobiera z otoczenia ciepło:

$$Q = c_p \cdot m$$

gdzie c_p – ciepło parowania cieczy, zatem zwiększa się energia wewnętrzna pary (energia potencjalna jej cząsteczek).

Para, skraplając się, oddaje otoczeniu ciepło:

$$Q = c_s \cdot m$$

gdzie c_s – ciepło skraplania pary, zatem energia wewnętrzna substancji podczas skraplania maleje.

Ciepło skraplania substancji jest równe jej ciepłu parowania:

$$c_s = c_p$$

Zadania i doświadczenia

Zadania

1. Jak za pomocą mokrego palca można określić kierunek wiatru?

2. Co jest bardziej bolesne: oparzenie wodą czy parą wodną o tej samej temperaturze? Uzasadnij odpowiedź.

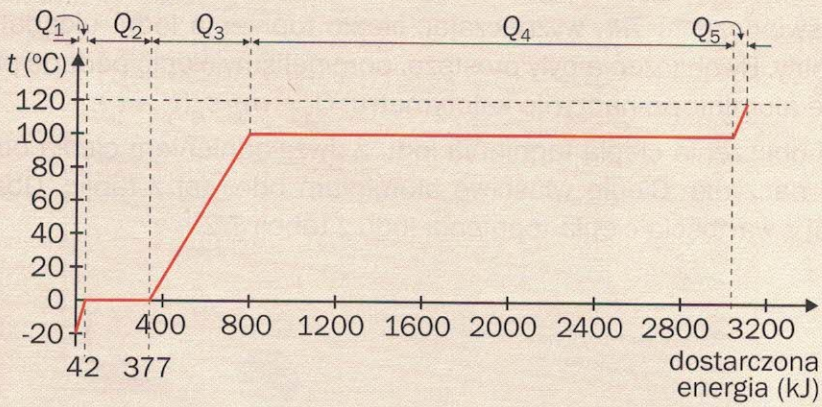
3. Wyjaśnij, jaką rolę dla naszego organizmu spełnia pocenie się.

4. Polej dłoń spirytusem salicylowym i pomachaj nią. Wyjaśnij swoje spostrzeżenia.

5. Przypomnij, na czym polegają zjawiska sublimacji i resublimacji. Podaj przykłady.

6. Oblicz ilość ciepła, które należy dostarczyć 1 litrowi wody o temperaturze 20°C, by się zagotowała, a następnie wyparowała. Konieczne wielkości odczytaj w tabelach 7.2 i 7.3.

7. Poniższy wykres przedstawia zależność temperatury jednego kilograma substancji H_2O od dostarczonej energii.



a) Opisz kolejne procesy przedstawione na wykresie.

b) Odczytaj z wykresu:

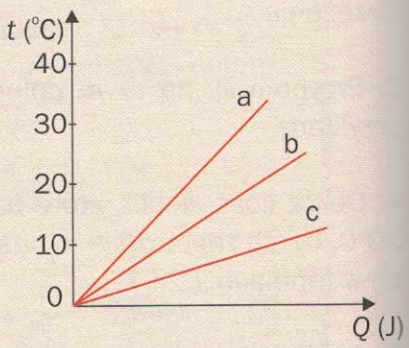
- początkową temperaturę lodu,
- końcową temperaturę pary wodnej,
- przybliżoną ilość ciepła potrzebną do stopienia lodu,
- przybliżoną ilość ciepła dostarczoną podczas wrzenia wody.

c) Porównaj ilość ciepła potrzebną do stopienia lodu z ilością ciepła potrzebną do ogrzania do 100°C wody powstałej z lodu.

d) Oblicz, ile razy (w przybliżeniu) ilość ciepła potrzebna do wyparowania wody podczas wrzenia jest większa od ilości ciepła potrzebnego do stopienia lodu.

e) Wskaż, w którym procesie lód pobiera ciepło $Q = mc_l[0°C - (-20°C)]$, gdzie c_l jest ciepłem właściwym lodu.

8. Rysunek przedstawia zależność temperatury różnych mas wody m_a, m_b, m_c od ilości dostarczonego ciepła.



Masy te spełniają związek:

A. $m_a < m_b < m_c$

B. $m_a > m_b > m_c$

C. $m_a > m_c > m_b$

D. $m_a < m_c < m_b$

9. W doświadczeniu 7.4, wyznaczając ciepło topnienia lodu, układaliśmy bilans cieplny. By obliczenia były prostsze, pominęliśmy ciepło oddane przez wewnętrzne aluminiowe naczynie kalorymetru: $Q_4 = m_k \cdot c_{Al}(t_p - t_k)$.

Wykonaj obliczenia ciepła topnienia lodu z uwzględnieniem ciepła oddanego przez to naczynie. Ciepło właściwe aluminium odczytaj z tablic. Oba wyniki porównaj z wartością ciepła topnienia lodu z tabeli 7.2.

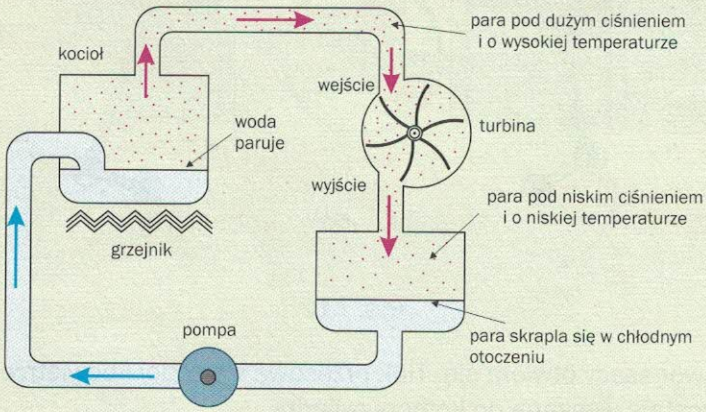
Dla tych, którzy chcą wiedzieć więcej

Prawie każdemu początkującemu kierowcy zdarzyło się jechać z zaciągniętym hamulcem ręcznym, co powoduje znaczny wzrost temperatury szczęk hamulcowych i kół samochodu (w rezultacie wnętrza samochodu). Spadający młot kowalski zatrzymuje się na metalowym przedmiocie, na który spada, przy czym zarówno temperatura młota, jak i tego przedmiotu wzrasta. Wiercąc otwory elektryczną wiertarką, co chwilę przerywamy pracę, by wiertło za bardzo się nie ogrzało. Powyższe przykłady, na równi z podanymi w paragrafie 7.1, świadczą o tym, że wykonując pracę mechaniczną, można uzyskać wzrost energii wewnętrznej ciała, co objawia się wzrostem jego temperatury. Jeśli jest ona wyższa od temperatury otoczenia, ciało traci część swojej energii wewnętrznej w postaci ciepła przekazanego otoczeniu. W tym sensie mówimy potocznie, że praca mechaniczna „została zamieniona na ciepło".

Pojawia się pytanie, czy można zbudować urządzenie, w którym zachodziłby proces odwrotny, tzn. które wykonywałoby pracę kosztem dostarczonego ciepła. Pierwsza zasada termodynamiki nie wyklucza takiej możliwości.

Urządzenie, w którym uzyskujemy energię mechaniczną kosztem innego rodzaju energii, to silnik. Silnik zamieniający energię wewnętrzną w energię mechaniczną to silnik cieplny. Z naszych codziennych obserwacji wiemy, że pokrywka na garnku z gotującą się zupą podskakuje. Sprężona pod pokrywką para wodna wykonuje pracę. Okazuje się jednak, że silnik cieplny (aby pracować w sposób ciągły) musi spełniać pewne dodatkowe warunki.

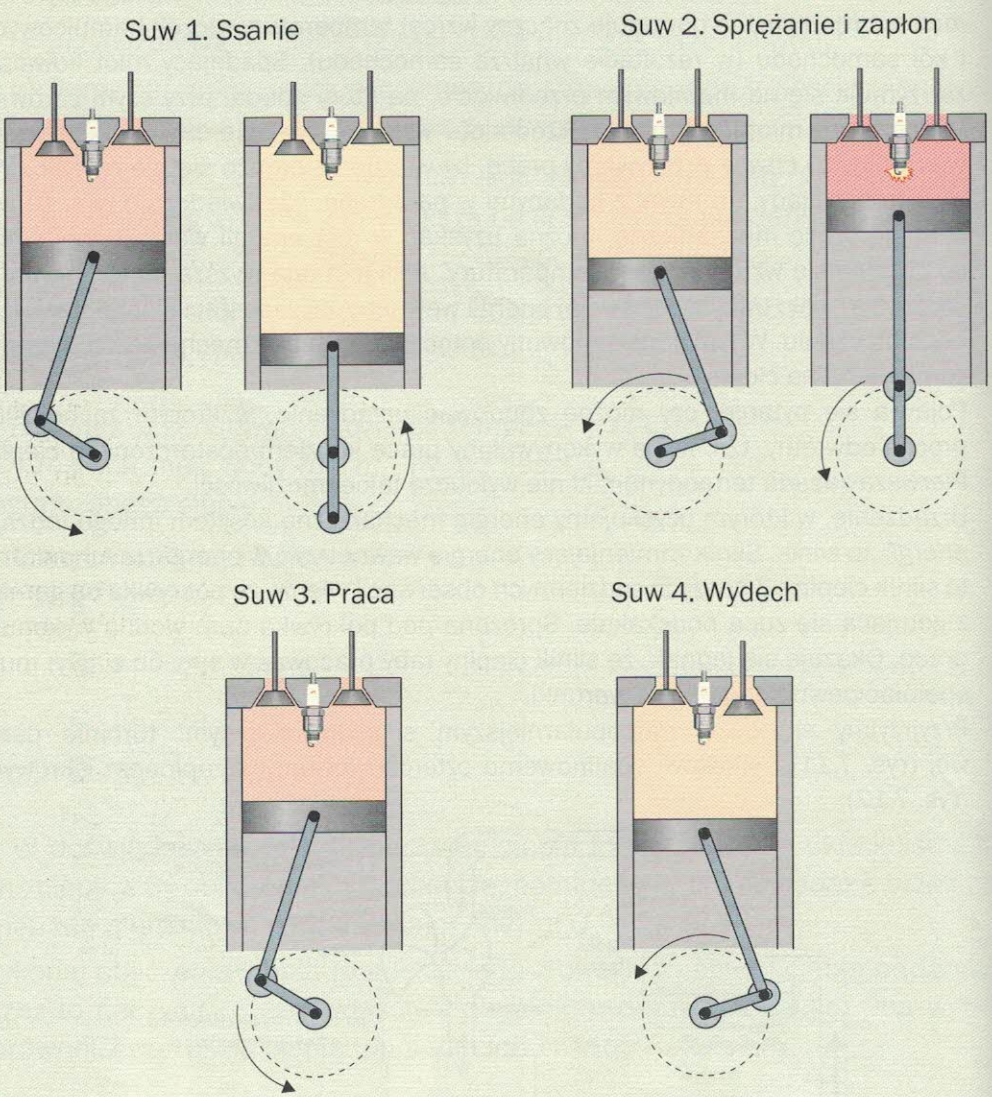
Przyjrzyjmy się bliżej najpopularniejszym silnikom cieplnym: turbinie parowej (rys. 7.11) i silnikowi spalinowemu czterosuwowemu z zapłonem iskrowym (rys. 7.12).



Rys. 7.11

W turbinie parowej energia potrzebna do pracy pompy jest wielokrotnie mniejsza niż energia uzyskiwana w turbinie, bo wprawdzie w obu tych urządzeniach mamy do czynienia z taką samą różnicą ciśnień, ale objętość wody przepompowywanej przez pompę jest wielokrotnie mniejsza niż objętość pary przechodzącej w tym samym czasie przez turbinę.

Rysunek 7.12 przedstawia zasadę działania silnika spalinowego czterosuwowego.



Rys. 7.12

Suw 1. Zawór ssący otwiera się. Tłok przesuwa się w dół i powietrze z rozpylonym paliwem zostaje wessane do komory cylindra.

Suw 2. Obydwa zawory są zamknięte. Tłok przesuwa się w górę. Gdy powietrze i paliwo zostają maksymalnie sprężone, świeca zapłonowa wytwarza iskrę, następuje wybuch.

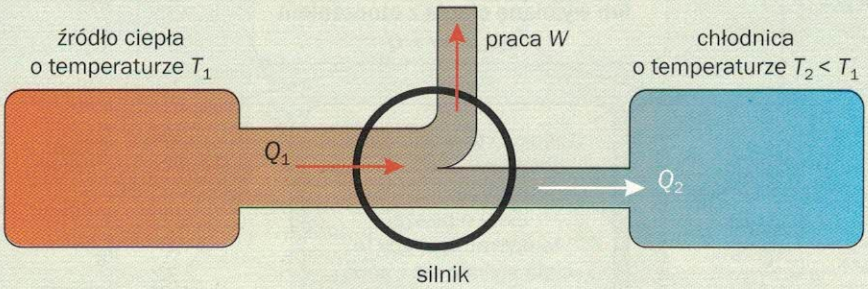
Suw 3. W wyniku rozszerzalności temperaturowej w cylindrze panuje teraz znacznie większe ciśnienie niż przed spaleniem się benzyny. Podczas ruchu tłoka w dół gaz zawarty w cylindrze wykonuje nad tłokiem pracę kosztem swojej energii wewnętrznej. Praca ta jest znacznie większa niż praca wykonana nad gazem w czasie suwu sprężania, gdyż w czasie sprężania na tłok działała (średnio) mniejsza siła parcia gazu.

Suw 4. Zawór wydechowy otwiera się. Tłok przesuwa się w górę. Gorące spaliny są usuwane z cylindra i unoszą część energii wewnętrznej.

Jak widać, w obu przypadkach:

- Aby silnik pracował w sposób ciągły, zachodzące w nim procesy muszą mieć charakter cykliczny, tzn. stan końcowy układu musi być identyczny ze stanem początkowym.
- Tylko część ciepła dostarczonego wodzie w kotle turbiny (czy też część energii wewnętrznej powstającej podczas spalania mieszanki rozpylonej benzyny z powietrzem w silniku spalinowym) zostaje zamieniona w energię mechaniczną, duża część zostaje oddana do chłodnego powietrza (np. przez rurę wydechową do powietrza dostają się gazy spalinowe).
- Należało stworzyć takie warunki, by gaz roboczy (para wodna, mieszanka) miał kontakt z otoczeniem o wysokiej temperaturze (źródło ciepła), a następnie, po wykonaniu pracy, z otoczeniem o niskiej temperaturze (chłodnica).

Schemat działania silnika cieplnego pokazano na rysunku 7.13.



Rys. 7.13

Repetytorium część 7.

Znajomość tego rozdziału pozwala rozwiązywać zadania egzaminacyjne dotyczące następujących wymagań szczegółowych podstawy programowej: 2.6, 2.7, 2.9, 2.10, 2.11.

- Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząsteczek oraz ich energii potencjalnych wynikających z wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego.

Zmiana energii wewnętrznej ΔE_w ciała oznacza

zmianę średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała (następuje zmiana temperatury ciała)

lub (i)

zmianę średniej energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania cząsteczek ciała (nie ma związku z temperaturą ciała)

ogrzewanie i ochładzanie ciała

topnienie, krzepnięcie, parowanie, skraplanie

jeśli $W = 0$

Zmiana energii wewnętrznej ciała zachodzi przez wykonanie pracy lub wymianę ciepła z otoczeniem
$\Delta E_w = W + Q$

jeśli $W = 0$

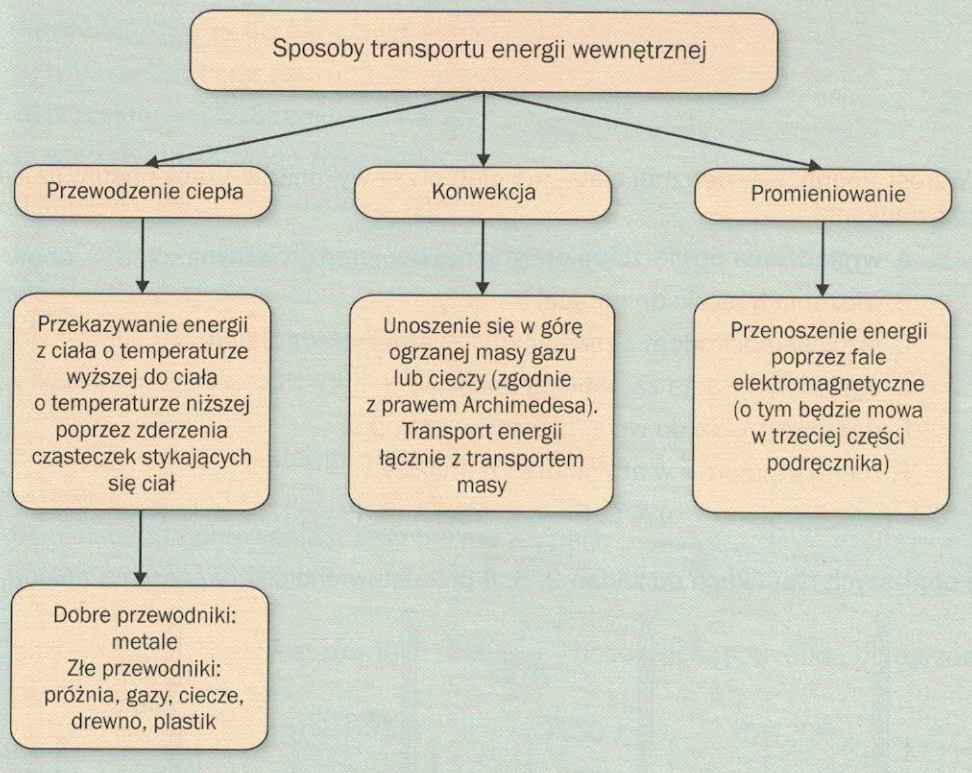
$\Delta E_w = Q$
$Q = mc\Delta T$
c– ciepło właściwe substancji
$c = \frac{Q}{m\Delta T}$
$[c] = \frac{J}{kg \cdot K}$

Ciepło właściwe informuje nas, ile energii (ciepła) należy dostarczyć 1 kg substancji, by ją ogrzać o 1 stopień

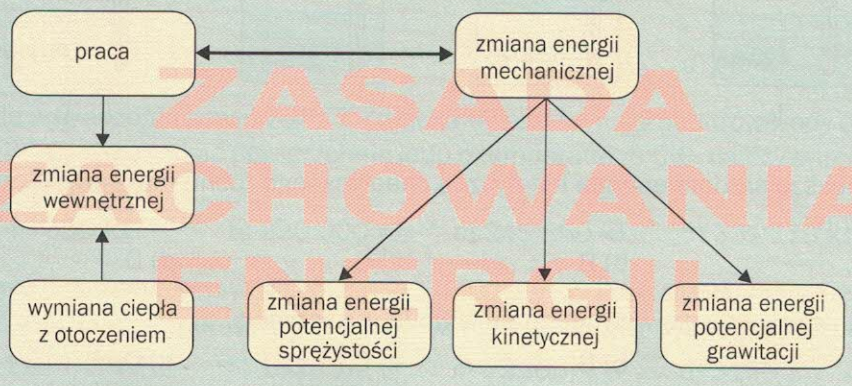
Ciepło Q to ilość energii przekazywanej z ciała o wyższej temperaturze ciału o niższej temperaturze, gdy te ciała stykają się z sobą

$\Delta E_w = Q$
$Q = mc_t$ $Q = mc_k$
$c_t = c_k$
$[c_t] = \frac{J}{kg}$
$Q = mc_p$ $Q = mc_s$
$c_p = c_s$
$[c_p] = \frac{J}{kg}$

Ciepło topnienia informuje nas, ile energii (ciepła) należy dostarczyć 1 kg substancji, by ją stopić bez zmiany temperatury



- W całej przyrodzie obowiązuje zasada zachowania energii.



ZASADA ZACHOWANIA ENERGII

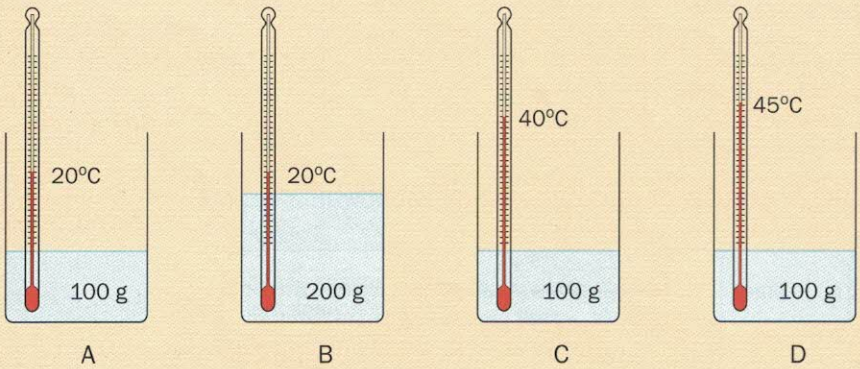
Sprawdź swoją wiedzę

1. Wzrost energii wewnętrznej ciała (lub ciał) przez wykonanie pracy następuje tylko w przypadkach:

A. wygładzania powierzchni drewnianej papierem ściernym,
B. włożenia łyżeczki do gorącej herbaty,
C. jazdy samochodem z zaciągniętym hamulcem ręcznym,
D. wyrabiania ciasta za pomocą miksera,
E. doprowadzania do wrzenia wody w czajniku,
F. ruchu meteorów w atmosferze ziemskiej.

a) A, C, D, F b) A, C, F c) A, D, F d) C, F

Na poniższych rysunkach do zadań 2, 3, 4 przedstawiono cztery naczynia z wodą.



2. Największą średnią energię kinetyczną chaotycznego ruchu mają cząsteczki wody w naczyniu:

a) A, b) B, c) C, d) D.

3. Najmniejszą energię wewnętrzną ma woda w naczyniu:

a) A, b) B, c) C, d) D.

4. Jeśli w każdym naczyniu wodę ogrzano o 10°C, to najwięcej ciepła dostarczono do naczynia:

a) A, b) B, c) C, d) D.

5. Zakupione lody chcesz zanieść do domu w foliowej torbie. Dodatkowo, w celu zabezpieczenia przed roztopieniem, możesz użyć metalowego, porcelanowego lub styropianowego zbiorniczka oraz zmiętej gazety.

Najskuteczniejsze będzie użycie:

a) tylko metalowego zbiorniczka,

b) porcelanowego zbiorniczka i gazety,

c) tylko styropianowego zbiorniczka,

d) styropianowego zbiorniczka i gazety.

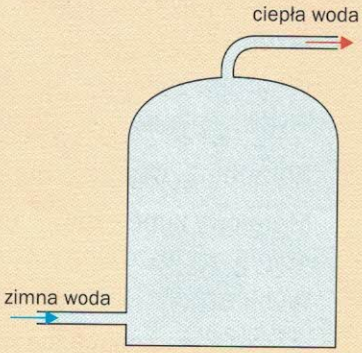
6. Woda w bojlerach jest podgrzewana za pomocą grzałki elektrycznej. Grzałka:

a) powinna być zamontowana przy dnie bojlera,

b) powinna być zamontowana w środku objętości wody,

c) powinna być zamontowana w górnej części bojlera,

d) miejsce zamontowania grzałki nie ma żadnego praktycznego znaczenia.



7. Ciepło właściwe nafty jest równe $2100 \frac{J}{kg \cdot K}$. Ilość ciepła potrzebna do ogrzania 100 g nafty o 10°C wynosi:

a) 1050 J, b) 2100 J, c) 3150 J, d) 4200 J.

8. Jednakowe masy ołowiu, lodu, wolframu i złota doprowadzono do ich temperatur topnienia. Przy dalszym dostarczaniu ciepła z jednakową szybkością, w najkrótszym czasie roztopi się:

a) lód, b) złoto, c) wolfram, d) ołów.

9. W celu wygładzenia powierzchni lodowiska wylano na nie 250 litrów wody o temperaturze 30°C. Aby uzyskać powierzchnię lodu o temperaturze 0°C, należy odprowadzić ciepło o wartości:

a) 146 600 kJ, b) 220 000 kJ, c) 245 850 kJ, d) 331 175 kJ.

10. Ciepło parowania wody jest równe 2 226 000 J/kg. Ilość ciepła, którą trzeba dostarczyć wodzie o temperaturze 100°C, by wyparował jej 1 g, wynosi:

a) 1113 J, b) 1820 J, c) 2226 J, d) 3150 J.

11. Woda ma pięć razy większe ciepło właściwe od piasku. Kilogram gorącego piasku wrzucono do jednego litra wody o temperaturze 20°C. Otrzymano mieszaninę o temperaturze 36°C. Przed wrzuceniem do wody piasek miał temperaturę:

a) 52°C, b) 80°C, c) 116°C, d) 123°C.

Wprawki egzaminacyjne

Zadanie 1. (wymaganie przekrojowe 8.12)

Zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gaz, któremu dostarczymy ciepło, kosztem swojej energii wewnętrznej może wykonać pracę.

Do dyspozycji masz strzykawkę lekarską i naczynie z ciepłą wodą.

Wypisz kolejne czynności i wynik doświadczenia.

Zadanie 2. (wymaganie przekrojowe 8.2)

Metalowy kubek zawierający wodę o temperaturze 4°C umieszczono w dużym naczyniu z mieszaniną rozdrobnionego lodu z wodą o temperaturze 0°C.

Wybierz poprawny opis procesu zachodzącego w kubku.

A. Ochładzająca się woda w kubku wypływa do góry.

B. Ochładzająca się woda w kubku opada na dno.

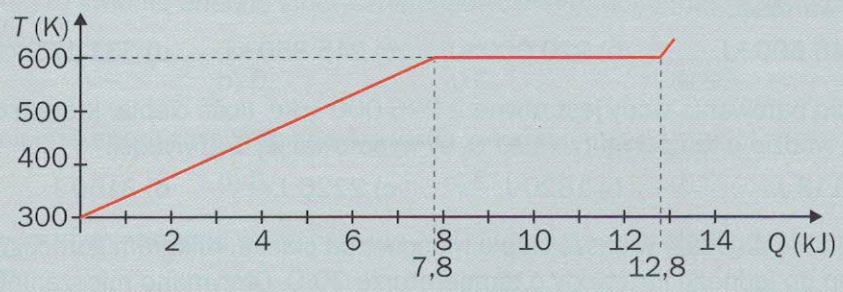
C. Woda w kubku równomiernie ochładza się bez przemieszczania w inne miejsce.

Uzasadnij wybór.

Zadanie 3. (wymagania przekrojowe 8.2 i 8.3)

Bryłce ołowiu o masie 200 g dostarczano ciepło. Zależność temperatury ołowiu od ilości dostarczanej energii przedstawia poniższy wykres. Początkowa temperatura ołowiu była temperaturą pomieszczenia, w którym znajdowała się bryłka.

a) Podaj w stopniach Celsjusza temperaturę pomieszczenia i temperaturę topnienia ołowiu.



b) Oblicz ciepło właściwe ołowiu.

c) Oblicz ciepło topnienia ołowiu.

d) Ciepło topnienia lodu wynosi 335 000 J/kg. Podaj, o ile rzędów wielkości ciepło topnienia lodu jest większe od ciepła topnienia ołowiu.