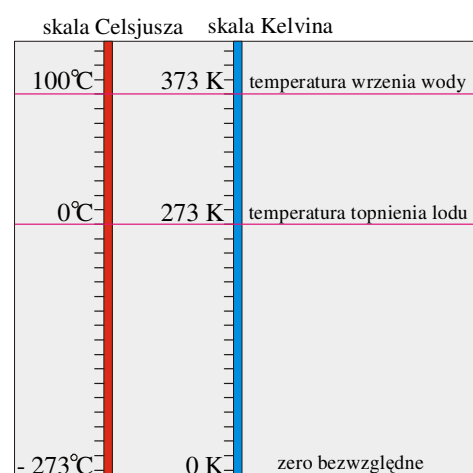


Procesy cieplne cz. 1

1. Co to jest temperatura?

Wiesz z doświadczenia, że są ciała zimne i ciepłe w dotyku. Z takich doświadczeń wzięło się pojęcie temperatury. Jest ono miarą naszych wrażeń zmysłowych. Ale wrażenia, jak to wrażenia, mogą nas zawodzić. Wprowadzono więc solidne pojęcie temperatury. Przede wszystkim potrzebne są dwa charakterystyczne punkty skali temperatur. W powszechnie używanej skali Celsjusza są to: temperatura topnienia lodu, której przypisano wartość 0 i temperatura wrzenia wody, której przyporządkowano wartość 100. Ten przedział temperatur podzielono na 100 równych części. Część taka nazywa się stopniem Celsjusza, który oznaczamy 1°C . W nauce częściej używa się skali Kelvina. Stopień Kelvina (albo po prostu **kelwin**) oznaczamy K. Kelwin i stopień Celsjusza są równe. Czym wobec tego różnią się te skale? Położeniem punktu zerowego. Punkt ten w skali Kelvina to temperatura, w której zamiera ruch postępowy atomów. Nie da się osiągnąć temperatury niższej niż 0 K! Nie istnieją temperatury ujemne w tej skali. Temperatura Kelvina ma swoją mikroskopową interpretację. Jest ona mianowicie miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała. Im wyższą (średnio) energię kinetyczną mają cząsteczki ciała tym wyższa jest jego temperatura. W temperaturze 0 K (zwanej zerem bezwzględnym) średnia energia kinetyczna cząsteczek ciała wynosi zero. I na koniec powiedzmy sobie jak przeliczać temperaturę ze skali Kelvina na Celsjusza i na odwrót?

temperatura w skali Kelvina = temperatura w skali Celsjusza + 273,15
temperatura w skali Celsjusza = temperatura w skali Kelvina - 273,15



Przykład

Na dworze jest 23°C . Ile to kelwinów?

$$T = (23 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$$

2. Co to jest energia wewnętrzna ciała?

Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych wszystkich atomów, które składają się na ciało i suma ich energii potencjalnych wzajemnych oddziaływań (atomy działają na siebie siłami i z tym związana jest energia potencjalna). Mierz się ją oczywiście w dżulach. Oznaczmy ją sobie E_w .

3. Jak można zmienić energię wewnętrzną?

Energję wewnętrzną ciała można zmienić na dwa sposoby. Pierwszy z nich to wykonanie pracy nad ciałem. Co to znaczy? Możemy ciało odkształcić tak, by zmieniło swoją objętość. Mamy tu działanie siły i przemieszczenie, mamy więc wykonaną pracę.

Przykłady pracy, która zmienia energię wewnętrzną.

- kucie żelaza (żelazo rozgrzewa się gdy je kujemy)
- pompowanie piłki (powietrze w pompce i piłce rozgrzewa się podczas pompowania)

- pocieramy ręce o siebie itd.

We wszystkich tych przypadkach wykonywanie pracy zwiększało energię wewnętrzną ciała.

Drugi sposób zmiany energii wewnętrznej to przekazywanie ciepła. Gdy postawimy garnek z wodą na ogniu, to żadnego wykonywania pracy nie widać, a jednak woda (i garnek) zwiększa swą energię wewnętrzną, co poznajemy po tym, że zwiększa swą temperaturę.

Przykłady przekazywania ciepła, które zmienia energię wewnętrzną.

- włożenie żelaza do ognia (żelazo rozgrzewa się – rośnie jego energia wewnętrzna)
- wrzucenie piłki do ciepłej wody (powietrze w piłce rozgrzewa się)
- zetknięcie rąk z ciepłym piecem itd.

Zarówno pracę, jak i ilość ciepła mierzymy w dżulach. Pracę będziemy oznaczać literą W , a ilość ciepła Q .

4. Jak można sformułować pierwszą zasadę termodynamiki?

Obydwa sposoby zmiany energii wewnętrznej mogą zachodzić jednocześnie. Żelazo można zarazem kuć i je podgrzewać. Wtedy zmiana energii wewnętrznej jest równa sumie wykonanej nad ciałem pracy i dostarczonego ciepła. Możemy to zapisać w postaci wzoru:

$$\Delta E_w = W + Q$$

Powyższe równanie nosi nazwę **pierwszej zasady termodynamiki**. Jest to nic innego jak wersja zasady zachowania energii, bowiem pierwsza zasada termodynamiki mówi, że praca wykonana nad ciałem i dostarczone ciepło nie znikają (ani nie powstają z niczego), lecz objawiają się w postaci wzrostu energii wewnętrznej ciała. Wielkości występujące w pierwszej zasadzie termodynamiki mogą mieć różne znaki. Oto komplet informacji na ten temat.

- Zmiana energii wewnętrznej

Jest dodatnia, jeśli energia wewnętrzna ciała rośnie.

Jest ujemna, jeśli energia ciała maleje.

- Ilość ciepła

Gdy ciepło jest dostarczane do ciała, uważać je będziemy za dodatnie.

Jeśli ciepło jest z ciała odprowadzane, przypiszemy mu znak minus.

- Praca

Jeśli otoczenie wykonuje pracę nad ciałem, to jest ona dodatnia.

Jeśli ciało wykonuje pracę nad otoczeniem, to jest ujemna.

Tu przydałby się przykład. Praca wykonana nad gazem w pompce jest dodatnia jeśli to my (czyli otoczenie pompki) sprężamy gaz w pompce. Jeśli natomiast tenże gaz się rozpręża przesuwając tłok na zewnątrz, to taka praca jest ujemna – gaz pozbywa się w ten sposób energii.

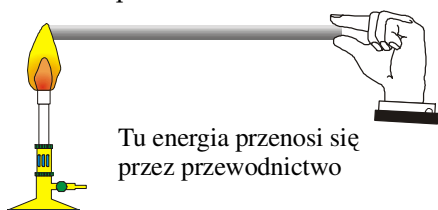
5. W jaki sposób energia cieplna może być przekazywana od jednego do drugiego ciała?

Są trzy sposoby przekazywania energii wewnętrznej (cieplnej) z jednego ciała do drugiego: przewodnictwo, konwekcja, promieniowanie.

A. Przewodnictwo.

Nie raz mieszałeś łyżeczką gorącą herbatę. Łyżeczka początkowo była chłodna, ale w miarę mieszania stawała się coraz cieplejsza. Styka się ona z gorącą herbatą swą dolną częścią, a energia jest **przewodzona** do twej ręki dzięki zderzeniom między atomami łyżeczki (a nawet bardziej między elektronami). Łyżeczka, ani żadne jej części się przy tym nie przemieszcza.

Wiesz zapewne z doświadczenia, że najlepszymi **przewodnikami** ciepła są metale. Inne materiały: styropian,



drewno, tworzywa sztuczne itd. bardzo słabo przewodzą ciepło – są **izolatorami**. Dlatego często stosuje się te materiały w budownictwie. Nie dopuszczają do „ucieczki” energii cieplnej z mieszkania na zewnątrz.

B. Konwekcja (unoszenie).

Woda jest bardzo słabym przewodnikiem ciepła, a jednak podgrzewana od dołu dość szybko staje się ciepła również u góry. W tym przypadku sposób przenoszenia energii jest inny. Jest ona przenoszona wraz z materią, w tym przypadku z wodą. Podgrzana u dołu od płomienia woda zmniejsza swoją gęstość (rozszerza się) i jest wypierana do góry. Wraz z tą porcją wody wędruje do góry energia cieplna. Na miejsce gorącej wody wchodzi chłodniejsza i cykl powtarza się. Zjawisko to nazywamy **konwekcją**.

C. Promieniowanie.

Gdy zbliżysz z boku rękę do kaloryfera lub żarówki czujesz ciepło. Powietrze jest złym przewodnikiem, zatem czujesz to ciepło nie dzięki przewodnictwu. Konwekcja też nie jest za to odpowiedzialna, bo w ten sposób transportuje się ciepło do góry. Tu mamy do czynienia z trzecim sposobem przenoszenia energii – **promieniowaniem**.

6. Co to jest ciepło właściwe?

Wyobraź sobie, że podgrzewasz równe masy (np. po 10 gramów) wody i rtęci. Chcesz, by temperatury obu substancji wrosły o, powiedzmy, 10 °C. Ile ciepła należy w tym celu dostarczyć obu substancjom? Czy po tyle samo? Może odpowiesz, że tak, skoro jednakowe są masy a i przyrost temperatury taki sam. Nie, nie tyle samo! Okazuje się, że woda pochłonie znacznie więcej ciepła niż rtęć. Substancje różnią się ilością ciepła potrzebną do podgrzania jednostki masy o jeden stopień. Krócej mówimy, że różnią się **ciepłem właściwym**. Co to jest ciepło właściwe? Jest to właśnie ilość ciepła potrzebna do ogrzania jednostki masy danej substancji o jednostkę temperatury, czyli na przykład jednego kilograma o jeden kelwin. Ciepło właściwe będziemy oznaczać literą *c*. Definicję ciepła właściwego można zapisać wzorem:

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

Q – ciepło potrzebne na ogrzanie

m – masa ciała

ΔT – zmiana jego temperatury

Zatem aby obliczyć ciepło właściwe substancji należy podzielić ilość pochłoniętego przez zbudowane z tej substancji ciało ciepła przez przyrost temperatury wywołany pochłonięciem ciepła i przez masę ciała. Jednostką ciepła właściwego jest $1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Popatrz w tabelę przedstawiającą ciepła właściwe rozmaitych substancji.

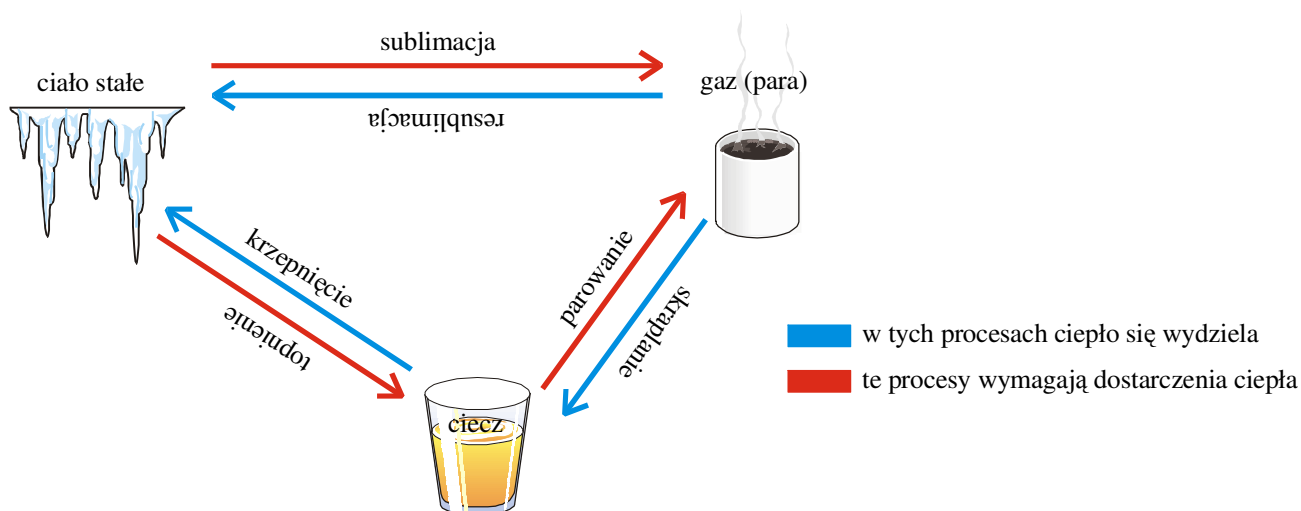
Nazwa substancji	Ciepło właściwe (J/kg·K)	Nazwa substancji	Ciepło właściwe (J/kg·K)
Ołów	130	Woda	4200
Aluminium	920	Para wodna	1020
Lód	2100	Tlen	920
Rtęć	100	Wodór	14 300

Co można odczytać z takiej tabeli? Na przykład, że ogrzanie kilograma wody o 1 K wymaga 42 razy więcej ciepła niż ogrzanie takiej samej ilości rtęci (też o 1 K)! Albo, że by ogrzać lód musimy dostarczyć mu mniej ciepła niż wodzie. Albo, że łatwiej ogrzać tlen niż wodór itd.

7. Jakie znasz zmiany stanów skupienia?

Zacznijmy od tego jakie są stany skupienia. Na takie pytanie odpowie nawet dziecko z przedszkola: stały ciekły i gazowy zwany też lotnym. Jest to oczywiście uproszczenie rzeczywistości, bo niektórych substancji nie sposób zakwalifikować do żadnej z tych grup (umiesz podać jakiś przykład?).

Dostarczając odpowiednią ilość energii można z ciała stałego zrobić ciecz, albo gaz. Odbieranie ciepła powoduje skroplenie gazu, albo zestalenie cieczy. Opisane powyżej zjawiska noszą nazwę zmian stanu skupienia. Rysunek wyjaśnia, jakie mamy zmiany stanów skupienia, jak się one nazywają.



By stopić lub odparować jakąś masę substancji musimy dostarczyć jej pewną ilość ciepła. Jaką? To zależy od rodzaju substancji i jej masy. Można wprowadzić pojęcie ciepła topnienia lub parowania. Ciepło topnienia (parowania) to ilość ciepła potrzebna do stopienia (wyparowania) jednego kilograma substancji w stałej temperaturze.

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

c_t – ciepło topnienia

Q – ilość ciepła

m – masa

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

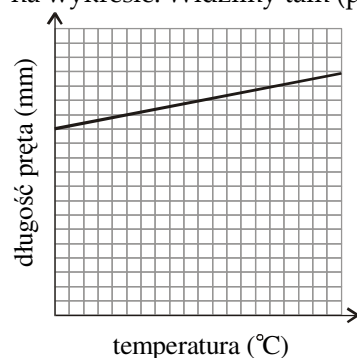
c_p – ciepło parowania

Q – ilość ciepła

m – masa

8. Jaki wpływ ma wzrost temperatury na rozmiary i objętość ciał?

Ogromna większość ciał (o ważnym wyjątku powiem za chwilę) zwiększa swe rozmiary i objętość, gdy podnosimy ich temperaturę. Zjawisko to nosi nazwę temperaturowej rozszerzalności ciał. Dlatego właśnie druty energetyczne latem luźno zwisają a zimą są dość napięte. Wzrost długości pręta pod wpływem temperatury można przedstawić na wykresie. Widzimy tam (przesadzoną) zależność długości pręta od temperatury.



Typowe wartości przyrostu długości pręta, którego początkowa długość wynosi 1 m, gdy podgrzejemy go o 100 °C to 1 mm dla stali i 3 mm dla aluminium.

Woda jest pod tym względem (innymi zresztą też) substancją wyjątkową. Powyżej temperatury 4°C rozszerza się jak inne, ale poniżej tej temperatury kurczy się gdy temperatura wzrasta. Najmniejszą objętość ma więc woda w temperaturze 4°C. Ma to duże znaczenie dla żywych istot w zbiornikach wodnych w czasie zimy.

9. Co możemy obliczyć z równania bilansu cieplnego?

Przede wszystkim odpowiedzmy sobie co to jest równanie bilansu cieplnego. Jeśli przekształcimy wzór $c = \frac{Q}{m\Delta T}$, to otrzymamy wyrażenie na ilość pobranego lub oddanego (zależy czy temperatura rośnie czy maleje) ciepła: $Q = mc\Delta T$. Wyobraźmy sobie teraz, że dwa ciała (na przykład zimna i ciepła woda, które mieszamy w wannie) biorą udział w wymianie ciepła. Jedno z nich ciepło oddaje (to o wyższej temperaturze), a drugie pobiera (zimniejsze). Równanie bilansu mówi, że ciepło oddane przez jedno ciało równa się ciepłu pobranemu przez drugie z ciał. Jest to więc w gruncie rzeczy jeszcze jedna forma zasady zachowania energii. Jak widzicie to podstawowe prawo fizyki wszędzie się wciska. Oto równanie bilansu cieplnego dla dwóch ciał.

$$Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$$

$$m_1 c_1 \Delta T_1 = m_2 c_2 \Delta T_2$$

A teraz przykład zastosowania tego równania.

Przykład (i zarazem egzaminacyjne zadanie otwarte)

Marzena chce wziąć kąpiel. Wlała więc 30 litrów gorącej wody o temperaturze 80°C, oraz 75 litrów wody zimnej o temperaturze 10°C. Najbardziej lubi kąpać się w wodzie o temperaturze 40°C. Czy będzie zadowolona ze swej kąpieli?

Rozwiązanie

Musimy obliczyć końcową temperaturę wody po wymieszaniu gorącej i zimnej i wyrównaniu temperatur. Na pewno wiesz, że 30 litrów waży 30 kilogramów, a 75 l to 75 kg. Mamy więc masę gorącej i zimnej wody. Wypiszmy (tak dla porządku) dane:

$$m_1 = 30 \text{ kg}$$

$$T_1 = 80^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 75 \text{ kg}$$

$$T_2 = 10^\circ\text{C}$$

Szukana jest T – temperatura końcowa mieszaniny

Policzmy ciepło oddane przez gorącą wodę.

$$Q_{\text{oddane}} = m_1 c_{\text{wody}} \Delta T_1$$

Nie mamy ciepła właściwego wody (choć moglibyśmy go wziąć z tabeli), ale się tym na razie nie przejmujemy. Ile wynosi zmiana temperatury? Jest to różnica między początkową 80°C a końcową T .

$$Q_{\text{oddane}} = 30 \text{ kg} \cdot c_{\text{wody}} \cdot (80^\circ\text{C} - T)$$

Kolej na ciepło pobrane. W tym przypadku temperatura wzrosła od 10°C do T .

$$Q_{\text{pobrane}} = 75 \text{ kg} \cdot c_{\text{wody}} \cdot (T - 10^\circ\text{C})$$

Zgodnie z równaniem bilansu $Q_{\text{oddane}} = Q_{\text{pobrane}}$. Zatem

$$30 \text{ kg} \cdot c_{\text{wody}} \cdot (80^\circ\text{C} - T) = 75 \text{ kg} \cdot c_{\text{wody}} \cdot (T - 10^\circ\text{C})$$

Czy widzisz już, że ciepło właściwe można skrócić? Nie jest nam potrzebne.

$$30 \text{ kg} \cdot (80^\circ\text{C} - T) = 75 \text{ kg} \cdot (T - 10^\circ\text{C}) \quad / : 15 \text{ kg}$$

$$2 \cdot (80^\circ\text{C} - T) = 5 \cdot (T - 10^\circ\text{C})$$

$$160^\circ\text{C} - 2T = 5T - 50^\circ\text{C}$$

$$210^\circ\text{C} = 7T$$

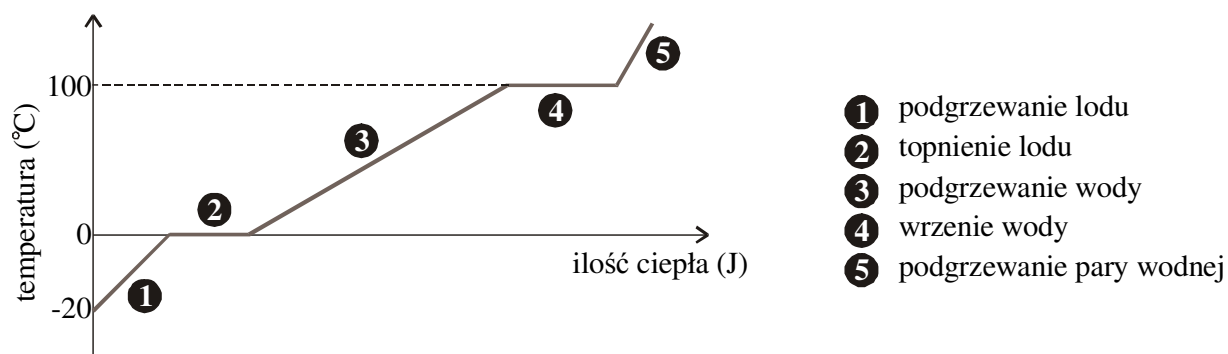
$$T = 30^\circ\text{C}$$

Końcowa temperatura wody wyniesie 30°C, więc Marzena nie będzie zadowolona z kąpieli.

10. Jak wygląda wykres zależności temperatury ciała (np. wody) od ilości dostarczonego ciepła?

Weźmy na przykład wodę. Powiedzmy, że na początku mamy lód o temperaturze -20°C. Dostarczamy mu równomiernie ciepła. Jego temperatura będzie rosła, aż osiągnie 0°C. W tej temperaturze lód zaczyna się topić. Dopóki się nie stopi, jego temperatura będzie stała. Po stopieniu lodu woda z niego powstała będzie zwiększać swą temperaturę. Tak będzie dopóki nie osiągnie 100°C. W tej temperaturze zaczyna się jej wrzenie. Utrzymując stałą tempe-

ratę, woda będzie gwałtownie parować. Gdy parowanie się skończy, powstała z wody para będzie zwiększać swą temperaturę. To wszystko oczywiście wtedy, gdy cały czas będziemy dostarczać ciepło. A teraz narysuję wykres omówionych przemian.



A teraz zagadka: dlaczego ukośne odcinki wykresu są różnie nachylone do poziomemu? Podpowiem ci: ma to związek z tabelą zamieszczoną na początku.

Zadanie.

Silnik pobrał 1000 J ciepła i wykonał pracę 600 J. O ile zmieniła się jego energia wewnętrzna?

- A) o 1600 J
- B) o 0 J
- C) o 400 J
- D) o -400 J

Rozwiązanie.

W rozwiązaniu wykorzystujemy pierwszą zasadę termodynamiki. Należy tylko ustalić znaki ciepła i pracy. Ciepło przybywa do silnika, jest więc dodatnie. Silnik wykonuje pracę nad otoczeniem, zatem część jego energii zostaje przekazana otoczeniu – ta praca jest ujemna. Wobec tego

$\Delta E_w = 1000 \text{ J} - 600 \text{ J} = 400 \text{ J}$. Widać stąd, że prawdziwa jest odpowiedź C).