

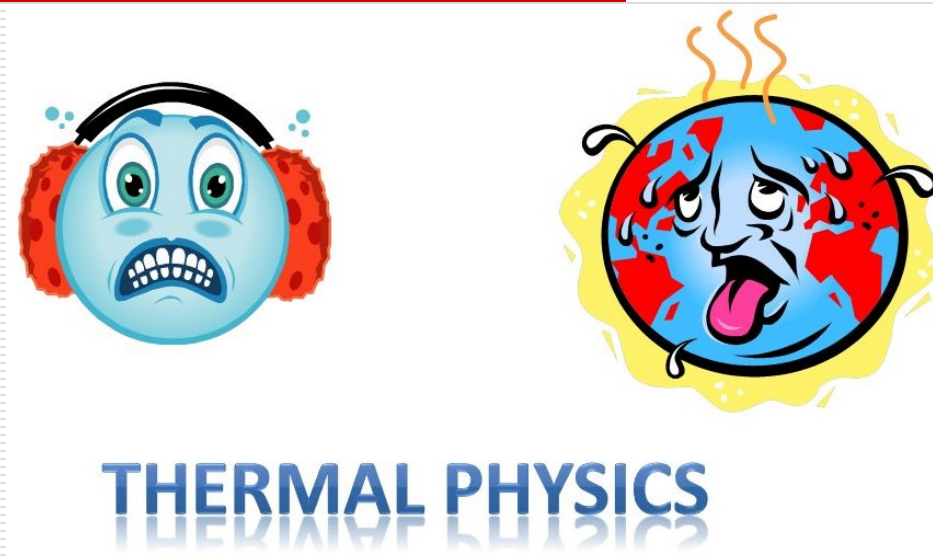
Wykład 6: Przekazywanie energii – elementy termodynamiki

dr inż. Zbigniew Szklarski

szkla@agh.edu.pl

<http://layer.uci.agh.edu.pl/Z.Szklarski/>

Temperatura



- ☐ Fenomenologicznie – wielkość informująca o tym jak ciepłe/zimne jest dane ciało.
- ☐ Kinetyczno-molekularnie - jest określona przez średnią energię kinetyczną ruchu cząsteczek ciała.

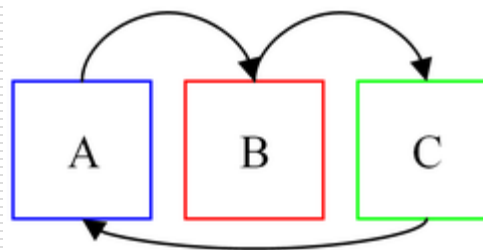
Pomiar temperatury

Zmiana temperatury → zmiany własności ciał → termoskop

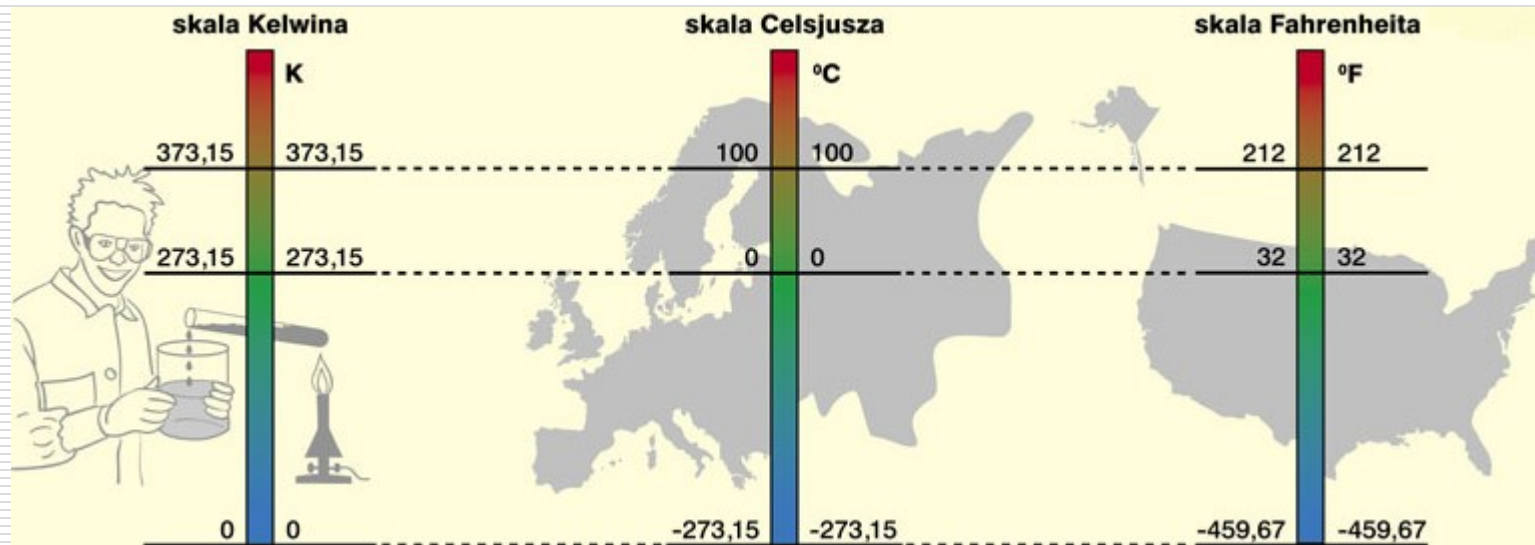
Wyskalowany termoskop ⇒ *termometr*



Zasada pomiaru opiera się na *ZEROWEJ ZASADZIE TERMODYNAMIKI*



Skale temperatur



Punkty termometryczne:

punkt potrójny wody
= 273,16 K

wrząca woda

topniejący lód

$$t_C = T_K - 273,15$$

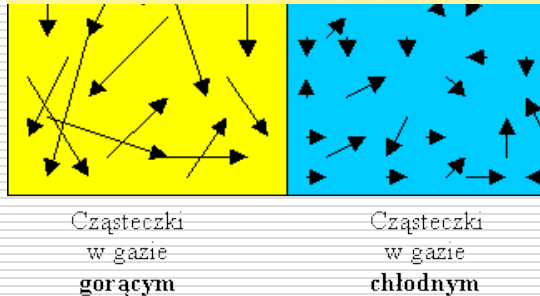
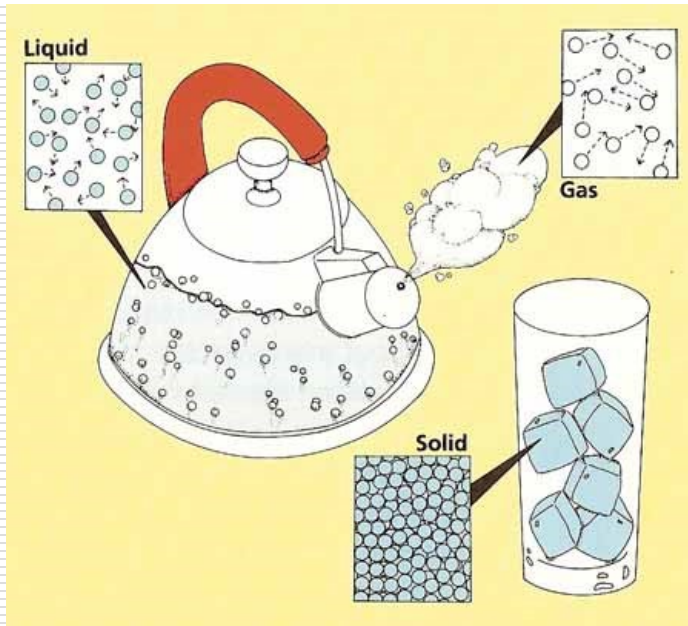
$$\Delta t_C = \Delta T_K$$

temp. ciała

krzepnący roztwór
salmiaku

$$t_F = \frac{9}{5}(t_C + 32)$$

Kinetyczno-molekularna interpretacja temperatury, energii wewnętrznej i ciepła



Związek energii kinetycznej cząsteczki z temperaturą , dla każdego stopnia swobody cząsteczki :

$$\langle E_k \rangle \sim kT$$

gdzie k – stała Boltzmana

Dla cząsteczki jednoatomowej

$$\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT$$

Dla cząsteczki dwuatomowej

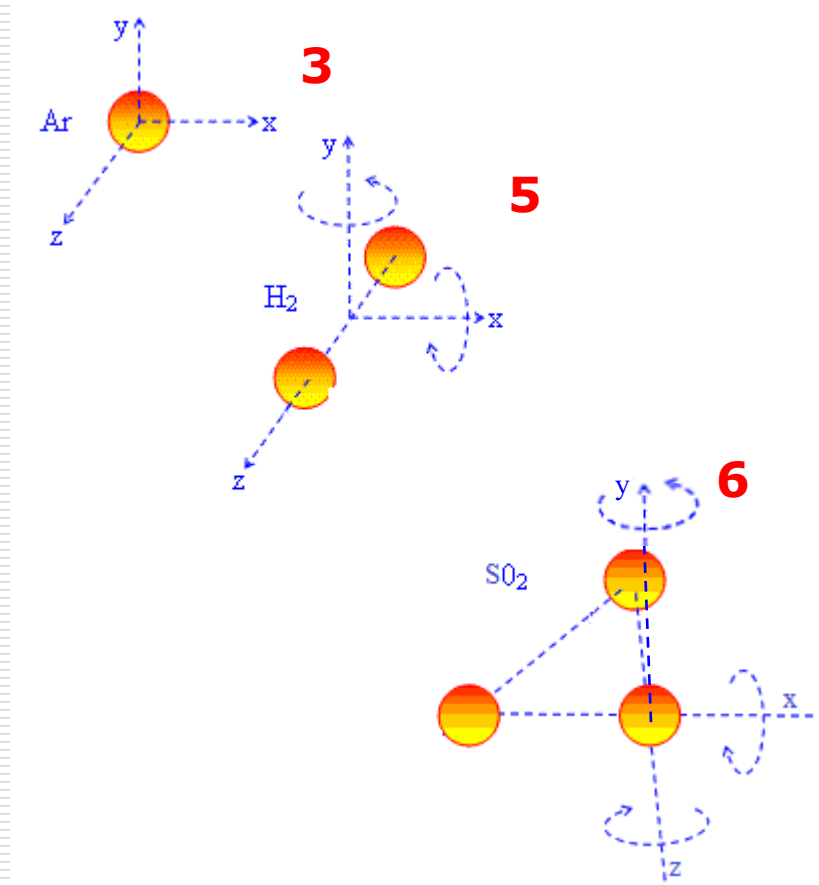
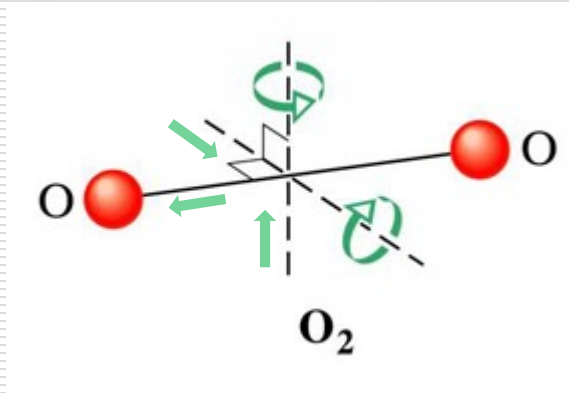
$$\langle E_k \rangle = \frac{5}{2} kT$$

ponieważ:....

□ Stopnie swobody cząsteczek

Liczba danych koniecznych i wystarczających do określenia położenia ciała w przestrzeni

Dla cząsteczki dwuatomowej



$$\langle E_k \rangle = \frac{m \langle V_x^2 \rangle}{2} + \frac{m \langle V_y^2 \rangle}{2} + \frac{m \langle V_z^2 \rangle}{2} + \frac{I_y \langle \omega_y^2 \rangle}{2} + \frac{I_z \langle \omega_z^2 \rangle}{2}$$

Zgodnie z *zasadą ekwipartycji energii* na każdy stopień swobody przypada ta sama średnia wartość energii kinetycznej

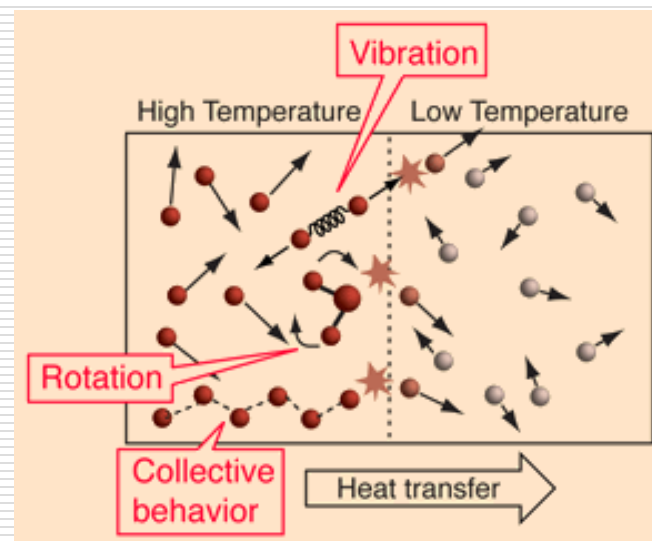
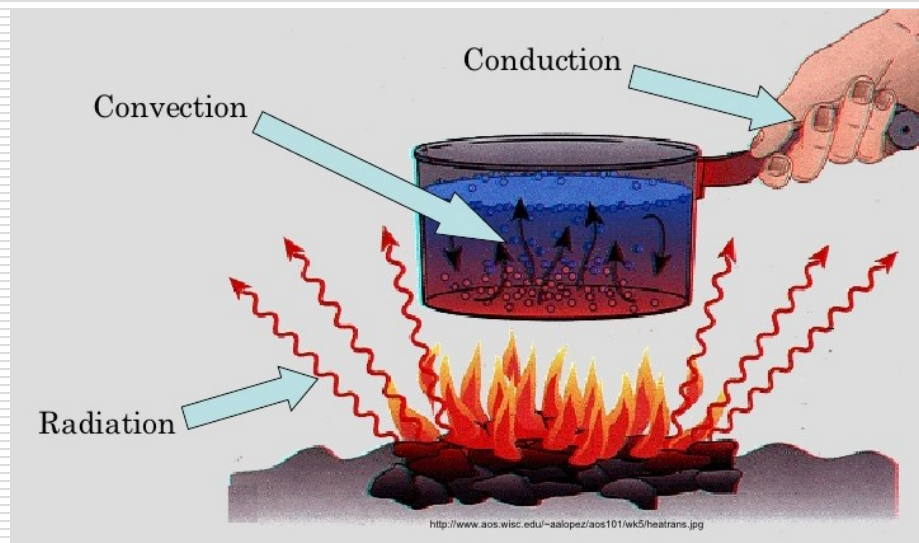
$$\frac{m\langle V_i^2 \rangle}{2} = \frac{I_i\langle \omega_i^2 \rangle}{2} = \frac{1}{2}kT$$

stąd dla cząsteczki dwuatomowej:

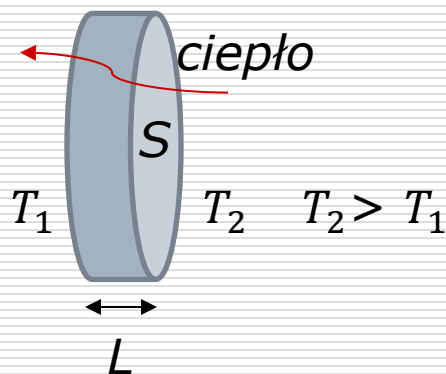
$$\langle E_k \rangle = \frac{5}{2}kT$$

dla cząsteczki jednoatomowej: $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2}kT$

□ Przepływ ciepła – przekaz energii



□ Przewodnictwo cieplne



Przepływ ciepła w jednostce czasu:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \lambda \cdot S \frac{T_2 - T_1}{L}$$

gdzie λ - *przewodność cieplna materiału* [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$]

$$\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot S \frac{dT}{dx}$$

Materiał	λ [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}$]
stal	40
szkło	0,84
styropian	0,036
powietrze	0,025

Minus oznacza przepływ ciepła przeciwnie do gradientu temperatury.

Dla konkretnej przegrody – współczynnik przenikania ciepła:

$$U = \frac{\lambda}{L}$$

Przykładowo, dla ścian zewnętrznych budynków mieszkalnych współczynnik przenikania ciepła nie powinien być większy niż $0,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, niezależnie od rodzaju ściany.

Przykład: Obliczyć szybkość przepływu ciepła przez szybę o grubości 3 mm i wymiarach 2 m x 1,5 m, przy różnicy temperatur 1°C między jej powierzchniami.

Odp.: 840 W !!

O zmianach energii wewnętrznej układu wnioskujemy ze zmian parametrów określających stan termodynamiczny, tzn. p , V , T .

Istnieją dwa sposoby wymiany energii między układami – w formie **PRACY** lub **CIEPŁA**.

Mówi o tym *I zasada termodynamiki*:

$$\Delta U = Q + W$$

Energia wewnętrzna układu rośnie gdy dostarczamy ciepła lub wykonujemy nad układem pracę.

Ilość przekazanego ciepła zależy od:

- rodzaju substancji (jej *ciepła właściwego*)
- jej masy
- uzyskanej różnicy temperatur

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

Ogrzewamy układ: $\Delta T = T_k - T_0 > 0 \Rightarrow Q > 0$ - ciepło jest pobierane przez układ

Oziębiamy układ: $\Delta T = T_k - T_0 < 0 \Rightarrow Q < 0$ - ciepło jest oddawane przez układ

Wynika stąd zasada bilansu cieplnego: $\Sigma Q = 0$

Małe przypomnienie:

- w jednym molu substancji jest $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ cząsteczek
- masa gazu $m = n \cdot \mu$ (gdzie μ – masa molowa, n – ilość moli)
- ciepło właściwe a ciepło molowe:

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

$$C = \frac{Q}{n \cdot \Delta T}$$

$$C = \mu \cdot c_w$$

Skoro dla 1 cząsteczki $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT$

to dla $n=1$ mola gazu, dostarczona energia jest zużywana np. na ogrzanie gazu bez zmiany jego objętości ($W = 0$):

$$\Delta E = \frac{3}{2} k N_A \Delta T = \frac{3}{2} R \cdot \Delta T = C_v \cdot 1 \cdot \Delta T = Q$$

gdzie $k N_A = R$ - stała gazowa,

zatem ciepło molowe przy stałej objętości $C_v = \frac{3}{2} R$
a ciepło właściwe $c_v = \frac{3 R}{2 \mu}$ (dla gazu jednoatomowego)

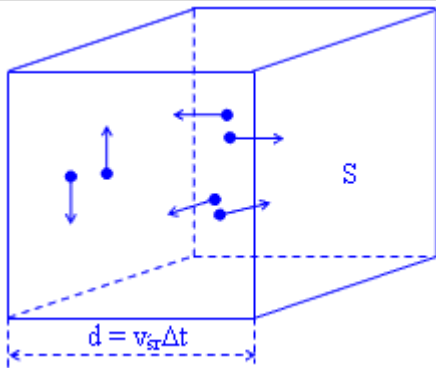
Z kolei ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu $C_p = C_v + R$

zatem $C_p = \frac{5}{2} R$ lub $c_p = c_v + \frac{R}{\mu}$

Równanie stanu gazu doskonałego

Gaz doskonały:

- punkty materialne
- nie oddziałują ze sobą poza ...
- idealnie sprężystymi zderzeniami
- poruszają się prostoliniowo, jednostajnie



Nacisk na jedną ściankę
wywierany przez N cząstek: $\langle F \rangle = \frac{1}{3} \frac{N}{d} \langle mv^2 \rangle$

Ciśnienie na jedną ściankę:

$$p = \frac{\langle F \rangle}{d^2} = \frac{1}{3} \frac{N}{V} \langle mv^2 \rangle = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle$$

$$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \left\langle \frac{mv^2}{2} \right\rangle$$

Skoro $\langle E_k \rangle = \frac{3}{2} kT \Rightarrow$ $pV = NkT$ lub $\frac{pV}{T} = \text{const}$

Przechodząc między dwoma stanami gazu: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$

Dla jednego mola gazu w warunkach normalnych: $\frac{p_0 V_0}{T_0} = R$ $R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$

Dla n moli gazu w dowolnych warunkach: $pV = nRT$ równanie Clapeyrona

$$pV = \frac{m}{\mu} RT$$