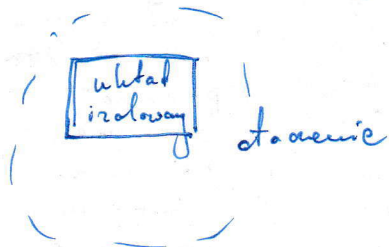


Elementy termodynamiki



Obserwacja układu ogólnie



parametry makroskopowe (p, T, V, U, S)

inny opis mikroskopowy $\Rightarrow$ mechanika statystyczna
(wielkość nie odzwierciedlająca przez ruchy cząsteczek)

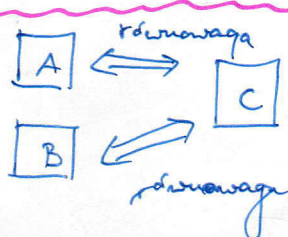
$p \rightarrow$ manometr mikro - pomiar ciśnienia na poziomie cząsteczek

$T \rightarrow$ termometr

bo $p \sim \frac{d\vec{p}}{dt}$

$\bar{E} = \frac{3}{2} k_B T$

• Zerowa zasada termodynamiki



kontakt termiczny

$T_A = T_C \wedge T_B = T_C \Rightarrow \underline{T_A = T_B}$

Po zetknięciu ciał o różnych temp. następuje wyrównanie T !

• Pomiar temperatury

$T(X) = a X$
liniowa skala $\Rightarrow \frac{T_1}{T_2} = \frac{X_1}{X_2}$

punkt odniesienia $\rightarrow$ punkt potrójny wody $T = 273,16^\circ K$

$1 K = \frac{1}{273,16}$ termody. temp. punktu potrójnego wody

z góry przyjęta $p = 4.58 \text{ mm Hg} \approx \underline{\underline{611 \text{ Pa}}}$

$T(X) = 273,16 K \frac{X}{X_{tr}}$

np. L - wysokość słupa cieczy

$T(L) = 273,16 K \frac{L}{L_{tr}}$

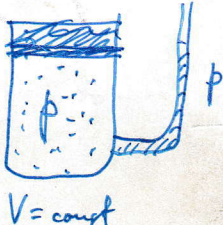
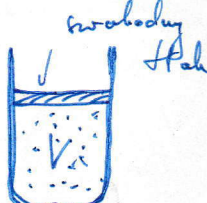
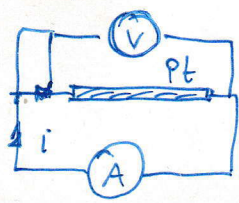
$T(V) = 273,16 K \frac{V}{V_{tr}}$

($p = \text{const}$)

$T(p) = 273,16 K \frac{p}{p_{tr}}$

$T(R) = 273,16 K \frac{R}{R_{tr}}$

term. oporność



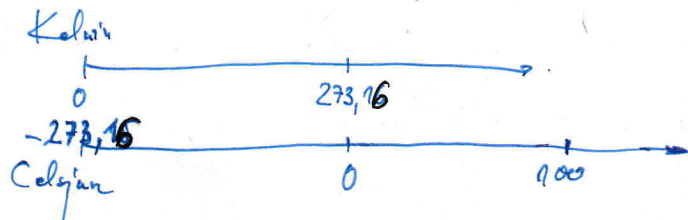
- Skala Temperatur
- dla $T = 0$ energia systemu
osiąga minimum ale nie osiąga
zera!

skala Celcjusza

$$T_C = T - 273,15^\circ\text{C}$$

$$b. T_{tr} \Rightarrow 0.01^\circ\text{C}$$

$$\{1\text{ K} = 1^\circ\text{C}\}$$



punkt wrzenia wody $T_C(\text{wrzenia } H_2O) = 100^\circ\text{C}$

$p \approx \text{normale}$

$$p = p_{\text{atm.}} = 1013,25 \text{ hPa}$$

skala Fahrenheita

$$T_F = 32 + \frac{9}{5} T_C$$

$$\{1^\circ\text{F} = \frac{5}{9}^\circ\text{C}\}$$

$$T_C = 0^\circ\text{C} \Rightarrow T_F = 32^\circ\text{F}$$

$$T_C = 100^\circ\text{C} \Rightarrow T_F = 212^\circ\text{F}$$

$$T_C = -273,15^\circ\text{C} \Rightarrow T_F = -459,67^\circ\text{F}$$

Rozszerzalność cieplna

$$\Delta l = \alpha l \Delta T$$

$$\Rightarrow \left\{ \alpha = \frac{\Delta l}{l \Delta T} = \frac{\frac{\Delta l}{l}}{\Delta T} \right\}$$

$$\alpha = \frac{\text{względne wydłużenie}}{\Delta T} \quad [K^{-1}]$$

$$\text{wp. } \alpha(Al) = 23 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha(Cu) = 17 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha(\text{złoto}) = 3,2 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha(Hg) = 6,03 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha(\text{guma}) = 80 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha(\text{stal Fe-Ni}) = 0,7 \cdot 10^{-6}$$

$$\beta = \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (\text{wsp. rozr. objętościowej})$$

$$\beta = 3\alpha! \quad (\text{dla ciał izotropowych})$$

prawo stygnięcia Newtona

T_1 T_2 $\Delta T = T_1 - T_2$ $T_1 > T_2$

$$\frac{d\Delta T}{dt} = -K\Delta T$$

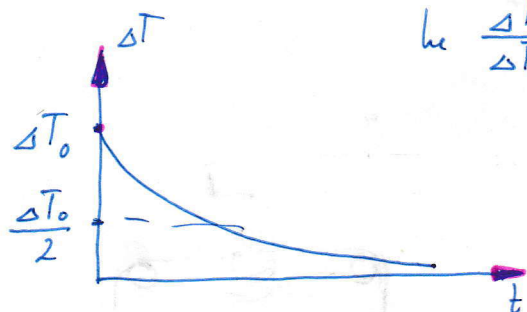
$$\frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -K dt$$

"-" bo ΔT maleje z czasem

$$\ln \Delta T = -Kt + C$$

$$t = 0 \Rightarrow \Delta T = \Delta T_0 \Rightarrow \ln \Delta T_0 = C$$

$$\ln \frac{\Delta T}{\Delta T_0} = -Kt \Rightarrow \Delta T = \Delta T_0 e^{-Kt}$$



$$\frac{\Delta T_0}{2\Delta T_0} = e^{-Kt_{1/2}}$$

$$2 = e^{+Kt_{1/2}}$$

$$\ln 2 = K t_{1/2} \Rightarrow t_{1/2} = \frac{1}{K} \ln 2$$

• Ciepło jest formą energii Q

1 kcal $\Rightarrow$ ilość ciepła potrzebna do grzania $\sqrt[1\text{kg}]{\text{H}_2\text{O}}$ o 1°C

1 cal $\rightarrow$ 1g H_2O o 1°C

pojemność cieplna $\left\{ C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \right\} \left[\frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \right] \text{ lub } \left[\frac{\text{cal}}{\text{K}} \right]$

ciepło właściwe (mierzone od masy) $\left\{ c = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \right\} \left[\frac{\text{cal}}{^\circ\text{C} \cdot \text{kg}} \right]$

$$Q = \Delta Q = mc \Delta T$$

$$\left\{ Q = m \int_{T_1}^{T_2} c dT \right\}$$

bilans cieplny

współczynnik ciepła molowego $\left[\frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$

1 mol $\rightarrow$ ilość substancji, w której mieści się

$N_A = 6.023 \times 10^{23}$ atomów danej substancji lub cząstek

masa molowa

$\frac{\text{masa}}{\text{mol}}$

tj. np.

12g/mol dla ^{12}C (izotopu) $Z_c = 6$

32g/mol dla $^{16}\text{O} \rightarrow \text{O}_2$ $Z_o = 8$

- przewodnictwo ciepła (problemie jak elektryczność)

$$H \approx \frac{\Delta Q}{\Delta t} \sim A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

strumień ciepła

$$\{ H = -kA \frac{dT}{dx} \}$$

przewodność ciepła

$$k \sim \frac{H}{A \frac{dT}{dx}} = \frac{\frac{\text{cal}}{\text{s}}}{\text{m}^2 \frac{\text{K}}{\text{m}}} = \frac{\text{cal}}{\text{K} \cdot \text{m} \cdot \text{s}} \quad \text{lub} \quad \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{m} \cdot \text{s}}$$

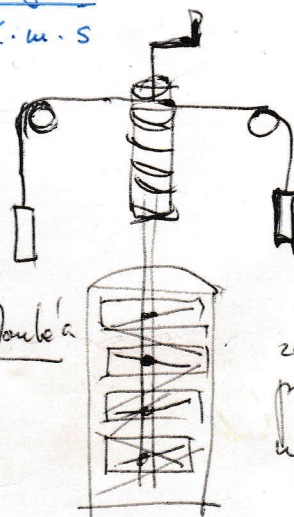
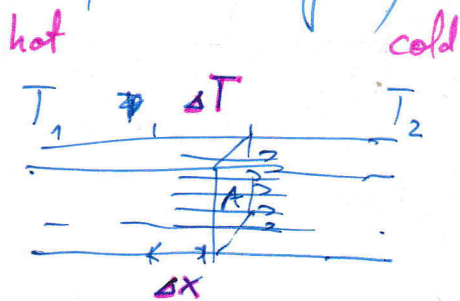
$$k(\text{Cu}) = 9.2 \times 10^{-2}$$

$$k(\text{stal}) = 1.1 \times 10^{-2}$$

$$k(\text{beton}) = 2 \times 10^{-4}$$

$$k(\text{kork}) = 4 \times 10^{-5}$$

$$k(\text{drewno}) = 2 \cdot 10^{-5}$$



! przegrzanie punkta

zamiana pracy na ciepło

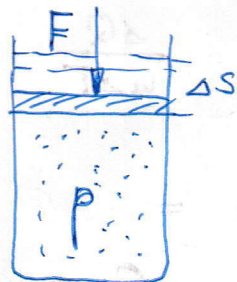
- mechanizm równowagi ciepła

$$1879 \text{ eksp. } \Delta \sim \frac{1}{2000}$$

$$\{ 1 \text{ cal} = 4.1868 \text{ J} \}$$

Traktowanie nieścisłe do ~~def.~~ koncepcji Równowagi.

- ciepło i praca

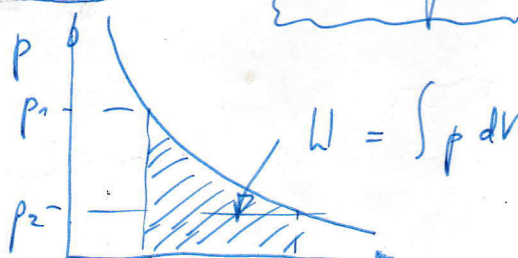


$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = pA dS = p dV$$

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = pA$$

$$\{ dW = p dV \}$$

$$\{ W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV \}$$



! praca zależy nie tylko od stanu początk. i końc. ale od drogi po której proces (tj. stanów pośrednich)

I zasada termodynamiki

$$\{dU = dQ - dW\}$$

albo też $\{dQ = dU + dW\}$

U - energia wewnętrzna jest funkcją stanu układu tj. ewolucji zależy wyłącznie od punktu początk. i końcowego.

Każdy układ termodynamiczny jest scharakteryzowany przez funkcję stanu $\rightarrow U$ (energia wewn.)

[?] praca jest dodatnia, gdy układ się rozszerza, a gdy się ściska, to jest ujemna

$$dU = dQ - p dV$$

[?] dostarczenie ciepła zwiększa U o wartość "+"

Kinetyczna teoria gazów (opis i ruchu cząsteczek, statystyczny)

Boyle, Bernoulli, Joule, Clausius, Maxwell... Gibbs, Boltzmann

- koncepcja gazu doskonałego (wiedzący)

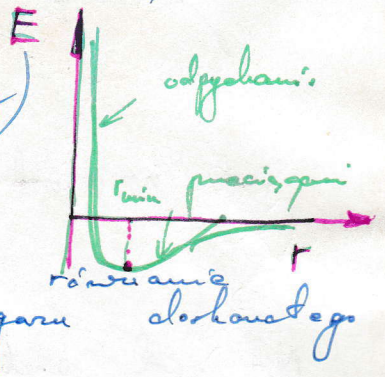
$$n = \frac{m}{\mu}$$

n - ilość moli
 μ - masa molowa

z doświadczeń dla danego gazu

$$\left\{ \frac{pV}{T} = \text{const} \right\}$$

uniwersalna



gaz doskonały

Gay-Lussac
Boyle-Mariotte
Charles'a

$$\frac{pV}{T} = nR$$

$$\left\{ \frac{pV}{T} = nR \right\}$$

$$R - \text{stała gazowa} = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} = 1.986 \frac{\text{cal}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$\begin{aligned} T &= \text{const} \\ V &= \text{const} \\ p &= \text{const} \end{aligned}$$

izotermiczna
izochoryczna
izobaryczna

najpierw $E_k \sim T$ (next page)

$$U = \frac{3}{2} N k_B T = \frac{3}{2} R T$$

$$k_B = \frac{R}{N_A} \quad (\text{stała Boltzmanna}) = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Oblizgaj pracę przy rozprężaniu izotermicznym gazu od V_1 do V_2

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

$$p = \frac{nRT}{V} \Rightarrow W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$