

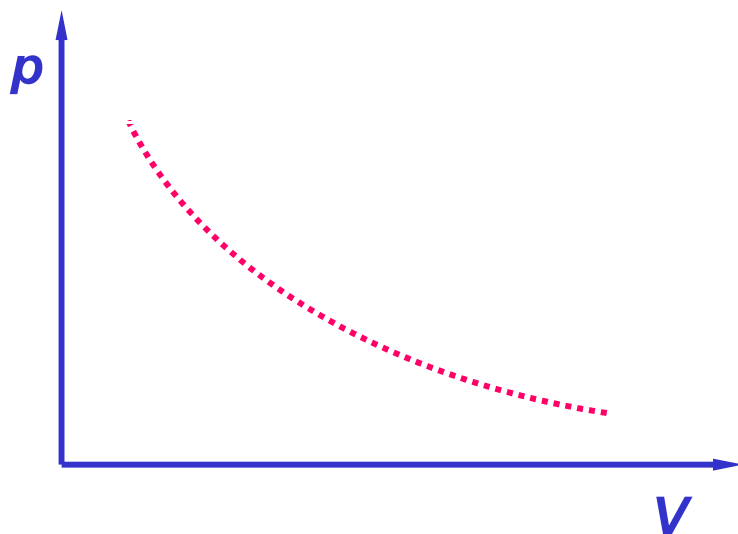
- **termodinamika**

termodynamika fenomenologiczna

własności termiczne ciał makroskopowych

uogólnienie licznych badań doświadczalnych

opis makro i mikro
rezygnacja z przyczynowości
znaczenie praktyczne



układ termodynamiczny
wielkości termodynamiczne
(parametry) np.: T , V , p
stan układu
równanie stanu
stan stacjonarny
stan zrównoważony
proces kwazistatyczny
proces odwracalny

temperatura

istnieje wielkość skalarna „temperatura” będąca własnością układu termodynamicznego, która ma jednakową wartość dla układów w równowadze termodynamicznej

równość temperatur jest warunkiem koniecznym i wystarczającym równowagi termodynamicznej

relacja przechodnia: $A \sim B \wedge B \sim C \Rightarrow A \sim C$

ilościowe określenie temperatury poprzez własności termometryczne (objętość cieczy, opór elektryczny, rozmiary liniowe ciał, etc.)

energia wewnętrzna

podstawowa funkcja stanu U :

energia kin. i pot. molekuł

energia atomowa, jądrowa itd...

bez energii kin. i pot. układu jako całości

określa stan termodynamiczny układu

istotny do opisu procesów jest przyrost ΔU
(można przyjąć, że w $T=0$ również $U=0$)

W – praca: sposób przekazu energii (makroskopowy)

Q – ciepło; inny sposób przekazu energii (mikroskopowy)

I zasada termodynamiki:

ogólniejsza zasada zachowania energii

$$\Delta U = \underbrace{Q}_{\text{do}} - \underbrace{W}_{\text{od}}$$

cd.

Julius Robert von Mayer (1814 - 1878) D

1842 – sformułowanie

James Prescott Joule (1818 - 1889) GB

1843 - doświadczenie

Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821 - 1894)

1847 - matematyczne

energia wewnętrzna

$$dU = \delta Q - \delta W$$

d - różniczka zupełna, zależy od stanu pocz. i końc.

δ - przyrost infinitesimalny, zależy od procesu

$$\Delta U = \int_1^2 dU$$

$$Q = \int_{\Gamma} \delta Q$$

$$W = \int_{\Gamma} \delta W$$

δW - praca wykonana przez układ

δQ - ciepło dostarczone do układu

równanie Clapeyrona

równanie stanu gazu doskonałego

$$pV = \nu RT$$

ν – liczba moli

N_A – liczba Avogadra

R – stała gazowa

p – ciśnienie

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

$$N_A \stackrel{\text{def}}{=} 6,022 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$



$$p \stackrel{\text{def}}{=} \frac{F}{S}$$

$$[p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \stackrel{\text{ozn}}{=} \text{Pa}$$

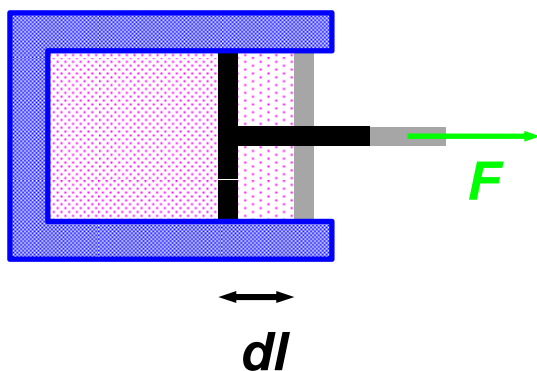
paskal

SI

Benoît Pierre Émile Clapeyron (1799 - 1864) 

Amadeo Avogadro di Quaregna (1776 - 1856) 

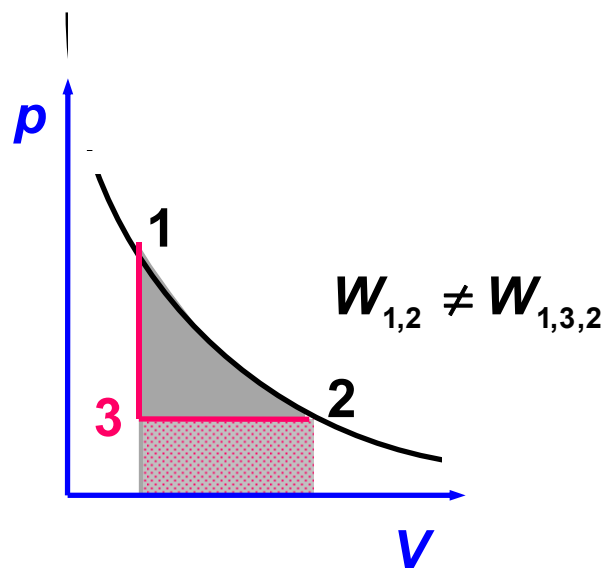
praca



$$\delta W = Fdl = pSdl = pdV$$

$$\delta W = pdV$$

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

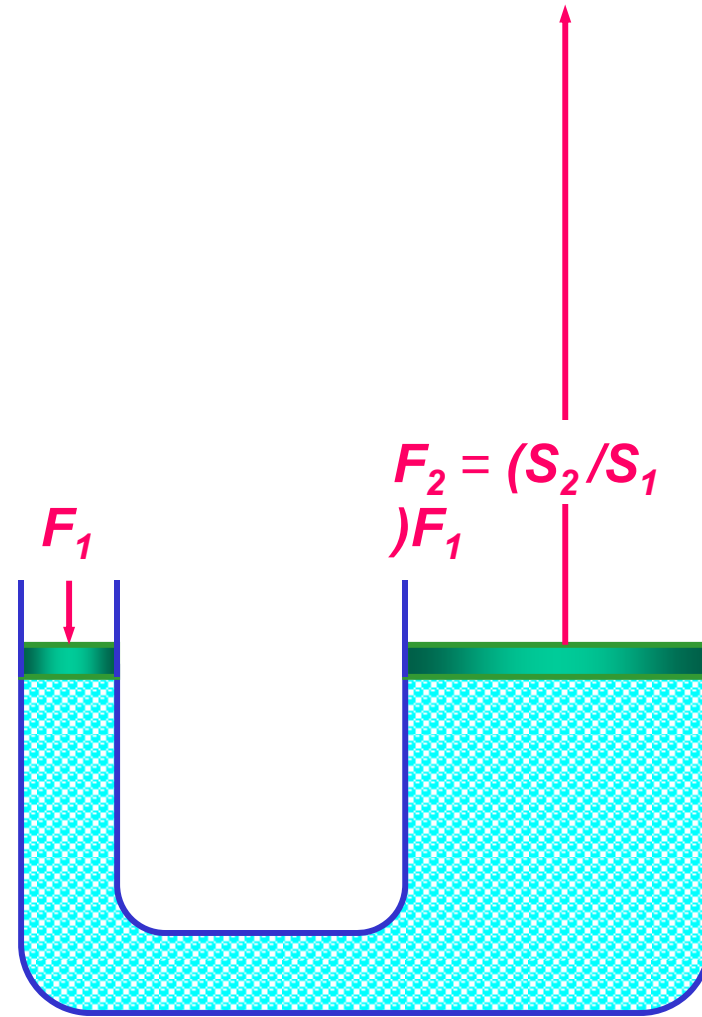


$p(V)$ – funkcja zależna od procesu

prasa hydrauliczna Pascala



Blaise Pascal (1623 - 1662)



pojemność cieplna

$$C \stackrel{\text{def}}{=} \frac{\delta Q}{dT}$$

zależy od procesu (δQ)

$$\delta Q = C dT$$

ilość ciepła potrzebna do ogrzania o 1 K

$$C_V = \left. \frac{\delta Q}{dT} \right|_{V=\text{const}}$$

– proces izochoryczny

$$C_p = \left. \frac{\delta Q}{dT} \right|_{p=\text{const}}$$

– proces izobaryczny

więc I zasada termodynamiki:

$$dU = C dT - p dV$$

NB: ciepło właściwe

$$c \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{m} \frac{\delta Q}{dT}$$

proces izochoryczny

$$C_V dT = dU \quad \delta W = 0$$

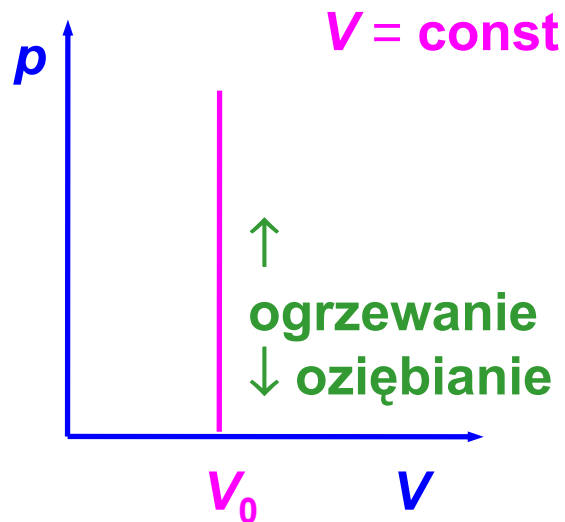
$$\Delta U = \int_{T_1}^{T_2} dU = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = C_V \Delta T$$

prawo Charlesa

więc teraz I zasada termodynamiki:

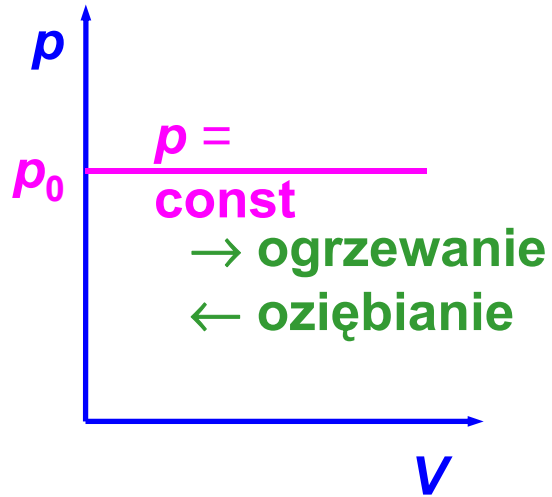
$$CdT = C_V dT + pdV$$

(w dowolnym procesie)



Jaques Alexandre César Charles (1746 - 1823) 

proces izobaryczny



$$\delta Q = C_p dT$$

$$C_p dT = C_v dT + p dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \delta W = p(V_2 - V_1)$$

prawo Gay - Lussaca

Louis Joseph Gay-Lussac (1778 - 1850) 

równanie Mayera

$$pV = \nu RT \quad \Rightarrow \quad pdV = \nu R dT$$

$$C_p - C_v = \nu R$$

$$C_p > C_v$$

lub:

$$c_p - c_v = \frac{R}{\mu}$$

masa molowa:

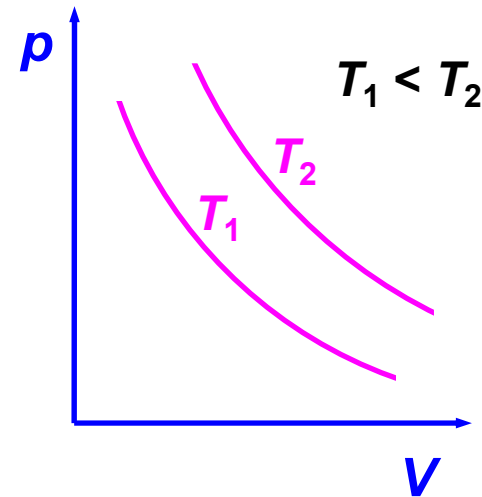
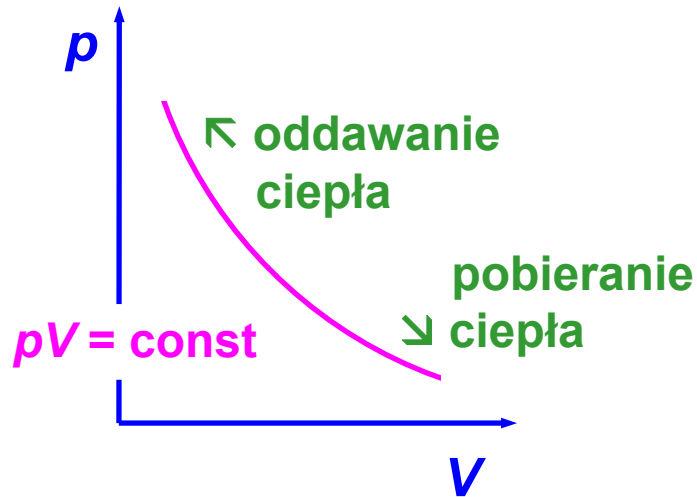
$$\mu \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m}{\nu}$$

$$\left. \begin{array}{l} p = \text{const} \\ pV = \nu RT \end{array} \right\} \Rightarrow W = p(V_2 - V_1) \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} p = \text{const} \\ pV = \nu RT \end{array}} \right\} W = \nu R \Delta T$$

$$R = \frac{W}{\nu \Delta T} = 8,3 \frac{\text{J}}{\text{molK}}$$

praca jaką 1 mol gazu wykonuje rozszerzając się izobarycznie przy $\Delta T = 1 \text{ K}$ (interpretacja stałej gazowej R)

proces izotermiczny



prawo Boyla–Mariotte’a: w stałej temperaturze ($pV = \text{const}$) podczas rozprężania dla zapewnienia stałej temperatury musi być dostarczane ciepło, kosztem którego zostaje wykonana praca bez zmiany energii wewnętrznej

cd.

$$T = \text{const} \quad U = \text{const} \quad dU = C_v dT$$

$$\delta Q = \delta W$$

$$\Delta Q = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V}$$

Robert Boyle (1627 - 1691) 

Edmé Mariotte (1620 - 1684) 

proces adiabatyczny

izolacja termiczna $\delta Q = 0$

zmieniają się trzy parametry: p, V, T

$$dU + \delta W = 0$$

równanie Clapeyrona: $pdV + Vdp = \nu R dT$

oraz: $C_V dT + pdV = 0$

oraz: $C_p - C_V = \nu R$

$$dT = \frac{pdV + Vdp}{C_p - C_V} \quad \frac{C_V}{C_p - C_V} (pdV + Vdp) + pdV = 0$$

cd.

$$\frac{C_p}{C_v} p dV + V dp = 0$$

$$\kappa \stackrel{\text{def}}{=} \frac{C_p}{C_v}$$

współczynnik Poissona

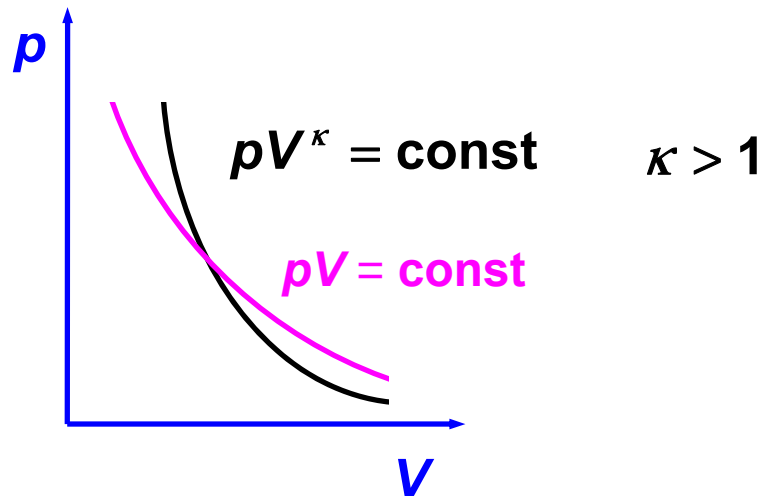
$$\kappa \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0$$

$$\kappa \ln V + \ln p = \text{const}$$

$$\ln p V^\kappa = \text{const}$$

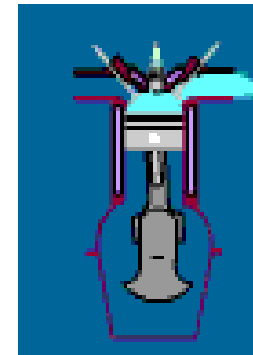
$$p V^\kappa = \text{const}$$

równanie Poissona



temperatura sublimacji: $-78,5^\circ\text{C}$

adiabaticzne rozprężanie – gaz ochładza się (CO_2)
adiabaticzne sprężanie – gaz ogrzewa się (Diesel)



$$U = C_v T = \frac{C_v pV}{C_p - C_v} = \frac{pV}{\kappa - 1}$$

gdyż:

$$pV = \nu RT = (C_p - C_v)T$$

Siméon Denis Poisson (1781 - 1840) F
Rudolf Diesel (1858 - 1913) D

proces politropowy

$$C = \text{const}$$

$$\begin{cases} C dT = C_v dT + p dV \\ p dV + V dp = \nu R dT \end{cases} \quad \begin{cases} \delta Q = dU + \delta W \\ pV = \nu RT \end{cases}$$

$$(C - C_v)(p dV + V dp) = p dV \nu R$$

$$(C - C_v - \nu R) p dV + (C - C_v) V dp = 0$$

$$C_p$$

$$(C - C_p) p dV + (C - C_v) V dp = 0 \quad \bigg| \frac{1}{mpV}$$

$$(C - C_p) \ln V + (C - C_v) \ln p = \text{const}$$

$$(C - C_p) \frac{dV}{V} + (C - C_v) \frac{dp}{p} = 0$$

cd.

$pV^n = \text{const}$ – politropa

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} \qquad C = \frac{nC_v - C_p}{n - 1}$$

	n	C
izobaryczna	0	C_p
izotermiczna	1	∞
adiabatyczna	κ	0
izochoryczna	∞	C_v



ver-01