

# **2. zákon termodynamiky**

## **Termodynamické potenciály**

# Adiabatický děj

$$dQ = 0$$

$$\kappa = \frac{C_{mp}}{C_{mV}}$$

$$pV^\kappa = \text{konst} \quad \text{Poissonův zákon}$$

$$dA = -dU$$

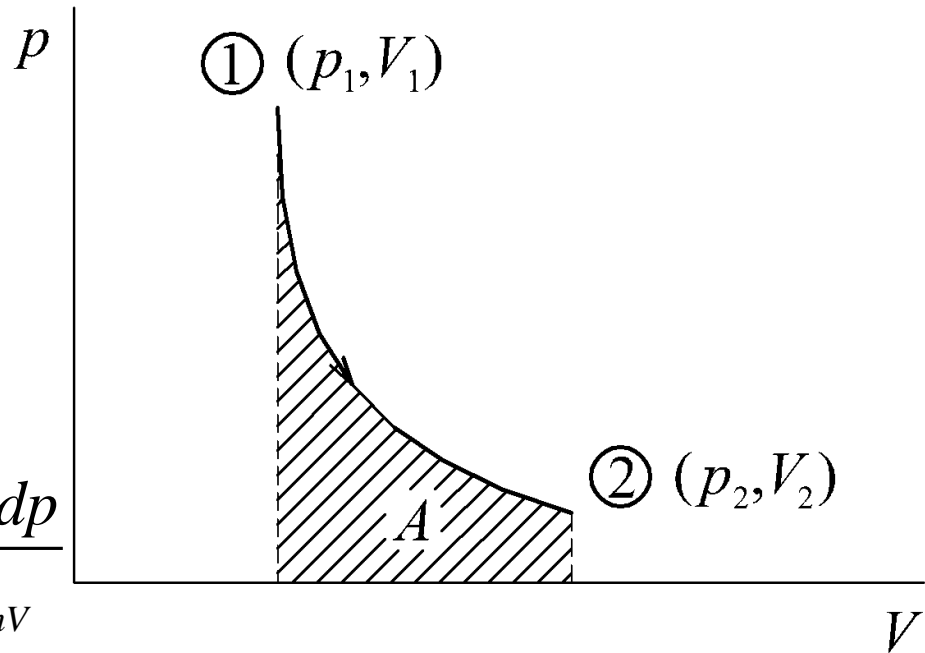
$$dA = -nC_{mV}dT = p dV$$

$$ndT = -\frac{p}{C_{mV}}dV$$

$$p dV + V dp = nR_m dT$$

$$ndT = \frac{p dV + V dp}{R_m} = \frac{p dV + V dp}{C_{mp} - C_{mV}}$$

$$-\frac{p}{C_{mV}}dV = \frac{p dV + V dp}{C_{mp} - C_{mV}}$$



$$-\frac{p}{C_{mV}} dV = \frac{p dV + V dp}{C_{mp} - C_{mV}}$$

$$-C_{mp} p dV + C_{mV} p dV = C_{mV} p dV + C_{mV} V dp$$

$$-C_{mp} p dV = C_{mV} V dp$$

$$-\frac{C_{mp}}{C_{mV}} \frac{dV}{V} = \frac{dp}{p}$$

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

$$\kappa \ln V + \ln p = K$$

$$\ln V^\kappa + \ln p = K$$

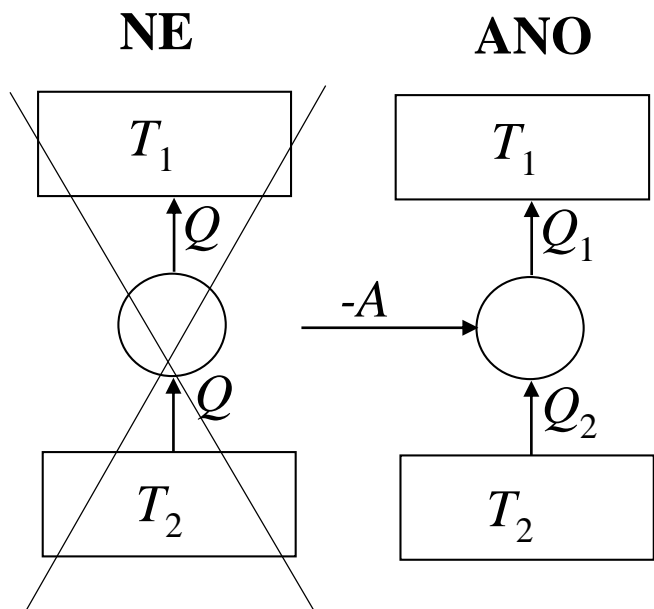
$$\ln p V^\kappa = K$$

$$p V^\kappa = e^K = \text{konst}$$

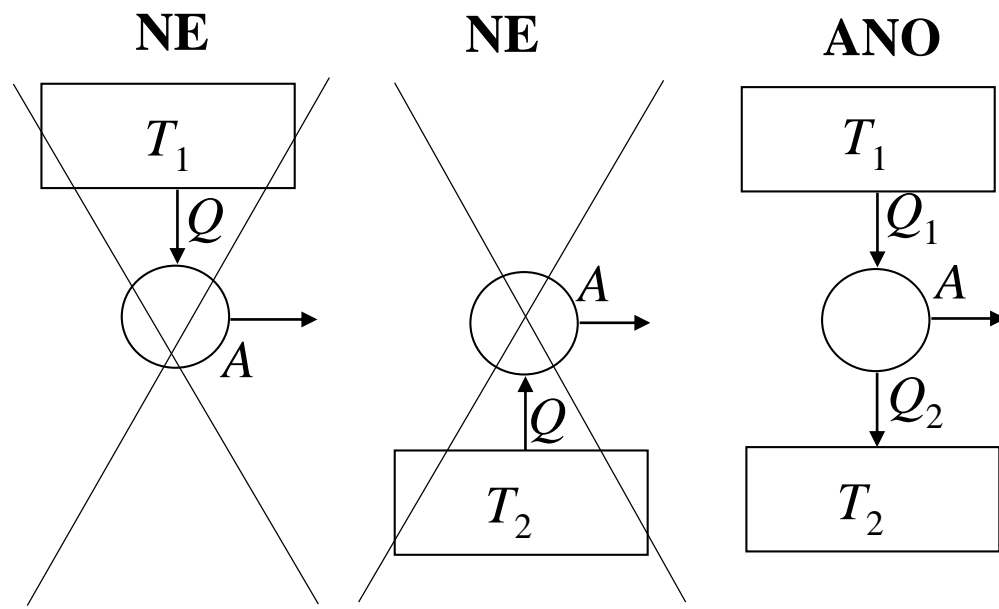
## 2. zákon termodynamiky

## 1. zákon termodynamiky

$$dQ = dU + dA$$



Clausius



Thomson

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

účinnost

$$\eta < 100 \%$$

# Entropie

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

$$dQ = dU + dA$$

$$dU = nC_{mV}dT$$

$$dA = p dV$$

$$pV = nR_m T$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad \text{vratné děje}$$

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dU}{T} + \frac{dA}{T} = n \frac{C_{mV}}{T} dT + \frac{p}{T} dV = n \frac{C_{mV}}{T} dT + n \frac{R_m}{V} dV$$

$$S_2 - S_1 = nC_{mV} \int_1^2 \frac{dT}{T} + nR_m \int_1^2 \frac{dV}{V} = nC_{mV} \ln \frac{T_2}{T_1} + nR_m \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} = \oint dS = 0$$

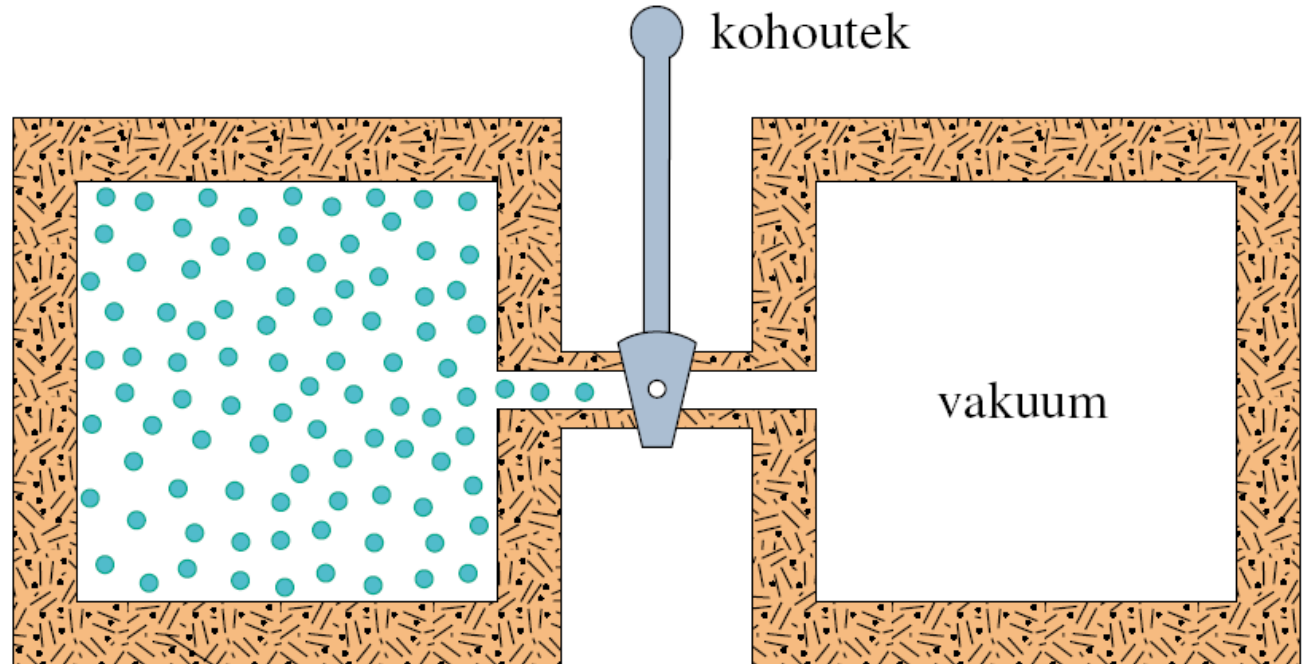
# Adiabatická expanze    expanze do vakua    nevratné děje

$$Q = A = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 = nC_{mV} \ln \frac{T_2}{T_1} + nR_m \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$pV = \text{konst}$$

$$\Delta S = nR_m \ln \frac{V_2}{V_1}$$



$$\Delta S = S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T}$$

Halliday, Resnik, Walker: Fyzika, Prometheus, 2003

**V izolovaných soustavách jsou možné jen takové změny, při nichž entropie soustavy vzrůstá nebo zůstává nezměněna.**

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0$$

matematická formulace 2. zákona termodynamiky

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \ln W \quad \text{Boltzmann}$$

$W$  termodynamická pravděpodobnost

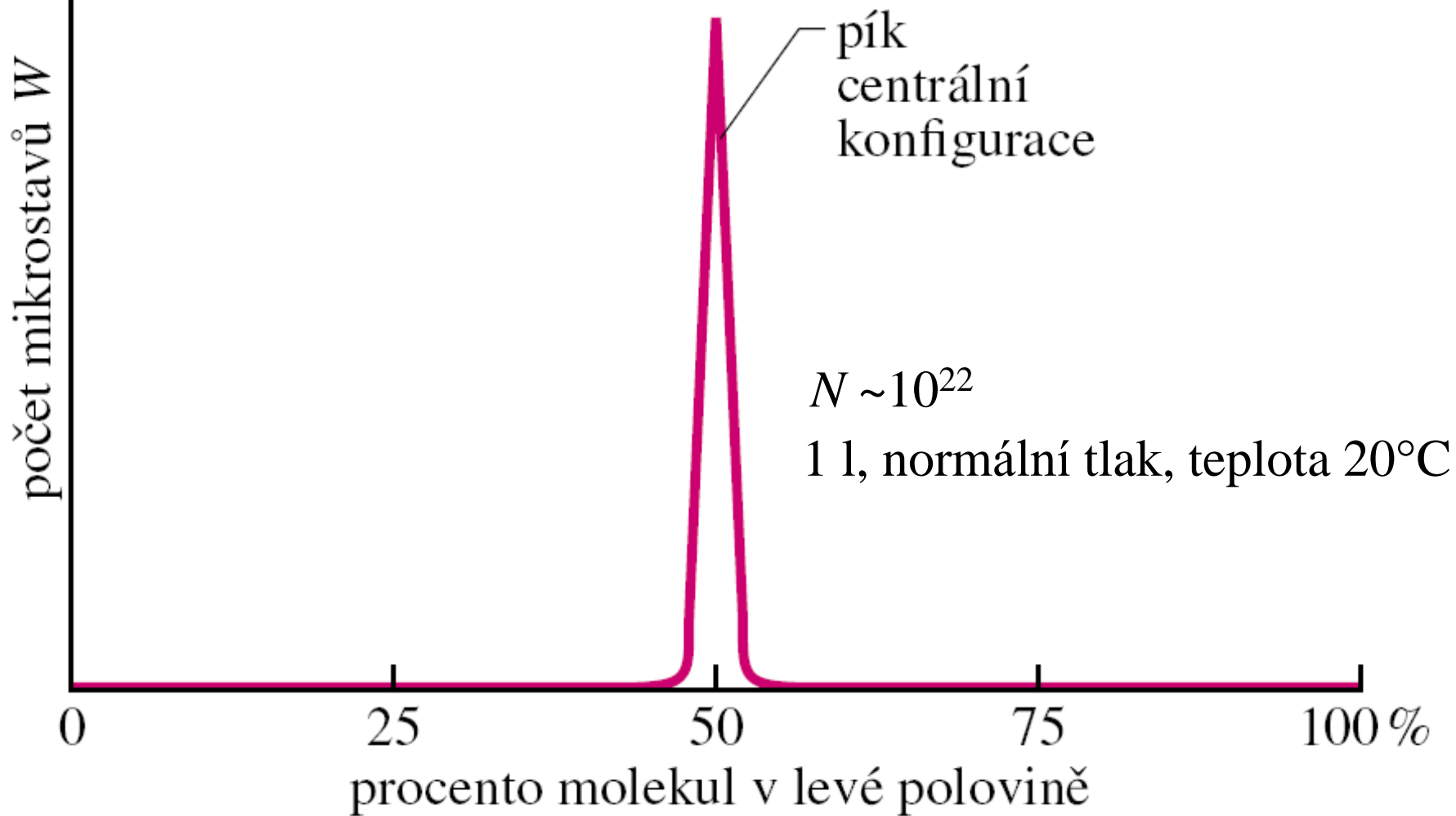
$$W = \binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!} \quad \text{počet mikrostavů, kterými lze makrostav realizovat}$$

Makrostav	Levá polovina nádoby	Pravá polovina nádoby	Počet mikrostavů	Pravděpodobnost mikrostavů
$n = 0$		abcd	1	1/16
$n = 1$	a b c d	bcd acd abd abc	4	4/16
$n = 2$	ab ac ad bc bd cd	cd bd bc ad ac ab	6	6/16
$n = 3$	abc abd acd bdc	d c b a	4	4/16
$n = 4$	abcd		1	1/16



Halliday, Resnik, Walker:  
Fyzika, Prometheus, 2003

$$N = 100 \quad W \doteq 1 \cdot 10^{29}$$



# Entalpie

$$dQ = dU + pdV$$

$$(dQ)_p = dH \quad \text{izobarický děj}$$

$$dQ = TdS$$

$$dH = C_p dT = nC_{mp} dT$$

$$H = U + pV$$

$$dH = dU + p dV + V dp = dQ + V dp = TdS + V dp$$

$$dH = TdS + V dp$$

## Volná energie

(Helmholtzova energie, Helmholtzova funkce)

$$dA = -(dF)_T \quad \text{izotermický děj}$$

Práce, kterou soustava při vratné izotermické změně vykoná, je rovna úbytku volné energie.

$$dQ = dU + dA$$

$$F = U - TS$$

$$dQ = TdS$$

$$dF = dU - TdS - SdT = dQ - dA - TdS - SdT = -dA - SdT$$

$$dF = -SdT - p dV$$

$$(dF)_{T,V} = 0$$

## Volná entalpie

(Gibbsova energie, Gibbsova funkce, Gibbsův termodynamický potenciál)

$$G = H - TS$$

$$dH = TdS + Vdp$$

$$dG = dH - TdS - SdT = TdS + Vdp - TdS - SdT$$

$$dG = Vdp - SdT$$

$(dG)_{p,T} = 0$  vratné změny při konstantním tlaku a teplotě

Při změnách skupenství látek se volná entalpie nemění.

<b>Stavová funkce</b>	<b>Definice</b>	<b>Diferenciál stavové funkce</b>
vnitřní energie	$U = H - pV$	$dU = TdS - pdV$
entalpie	$H = U + pV$	$dH = TdS + Vdp$
volná energie	$F = U - TS$	$dF = -SdT - pdV$
volná entalpie	$G = H - TS$	$dG = -SdT + Vdp$

# Lucie noci upije, ale dne nepřidá

23 h 56 min 3,5 s – 1 otočka Země

24 h – den

zdánlivý pohyb Slunce od východu k západu

pokles denního oblouku Slunce

ráno: roční protipohyb se s klesáním denního oblouku sčítají

večer: roční protipohyb se s klesáním denního oblouku odečítají

slunovrat: nejdelší noc 22.12.2023 4:29 SEČ

leden: východ slunce dříve

<https://www.meteogram.cz/vychod-zapad-slunce/>

[http://fyzweb.cz/odpovedna/index.php?limit\\_od=55&hledat=dotaz](http://fyzweb.cz/odpovedna/index.php?limit_od=55&hledat=dotaz)

[&obor=](#)