IDEÁLNÍ PLYN

Stavová rovnice

Ideální plyn

1) rozměry molekul jsou zanedbatelné vzhledem k jejich vzdálenostem

2) molekuly plynu na sebe působí jen při vzájemných srážkách

3) všechny srážky jsou dokonale pružné

jsou to vzájemné srážky molekul a nárazy molekul na stěny nádoby důsledky:

ideální plyn je **dokonale stlačitelný** - může se stlačit až na nulový objem

potenciální energie plynu je nulová - **vnitřní energie** se rovná pouze **kinetické energii** plynu

kinetická energie plynu je přímo úměrná **termodynamické teplotě**

pro jednoatomovou molekulu:

$$E_K = \frac{3}{2}kT$$

k - Boltzmannova konstanta

$$k = 1{,}38.10^{-23}\ J/K$$

Stavové veličiny

plyn v rovnovážném stavu – charakterizujeme **stavovými veličinami**:

- **termodynamická teplota … T**
- **tlak … p**
- **objem … V**
- **počet částic … N** (nebo **hmotnost … m, látkové množství … n)**

stavová rovnice – vztah mezi stavovými veličinami

popis stavu plynu	tvar stavové rovnice
p, V, T, N	$pV = NkT$
p, V, T, n	$pV = nR_m T$
p, V, T, m, M_m	$pV = \frac{m}{M_m} R_m T$

p, V, T (m=konst.) nebo	$$\frac{pV}{T} = konst.$$
p_1, V_1, T_1 (1. stav) p_2, V_2, T_2 (2. stav)	$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

R_m - molární plynová konstanta

$$R_m = 8{,}31\ J/K.mol$$

k - Boltzmannova konstanta

$$k = 1{,}38.10^{-23}\ J/K$$

$$R_m = N_A \cdot k = 6{,}022 \cdot 10^{23} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} = 8{,}31\ J/K \cdot mol$$

Avogadrův zákon

- plyny o stejném tlaku, objemu a teplotě mají stejný počet molekul

2 plyny

$$\left.\begin{array}{l} p, V, T, N_1 \\ p, V, T, N_2 \end{array}\right\} \Rightarrow \quad N_1 = N_2$$

Daltonův zákon

- Když ideální plyn tvoří směs různých plynů (které spolu chemicky nereagují), celkový tlak směsi je součet parciálních (jednotlivých) tlaků

$$p = \Sigma p_i$$

Tepelné děje v plynech

vyjdeme ze stavové rovnice pro konstantní počet částic

jedna stavová veličina (V, p, T) je konstantní, druhé dvě se mění

Tepelné děje v plynech

izochorický děj	izobarický děj	izotermický děj
V=konstantní mění se p,T	p=konstantní mění se V,T	T=konstantní mění se V,p

Izochorický děj

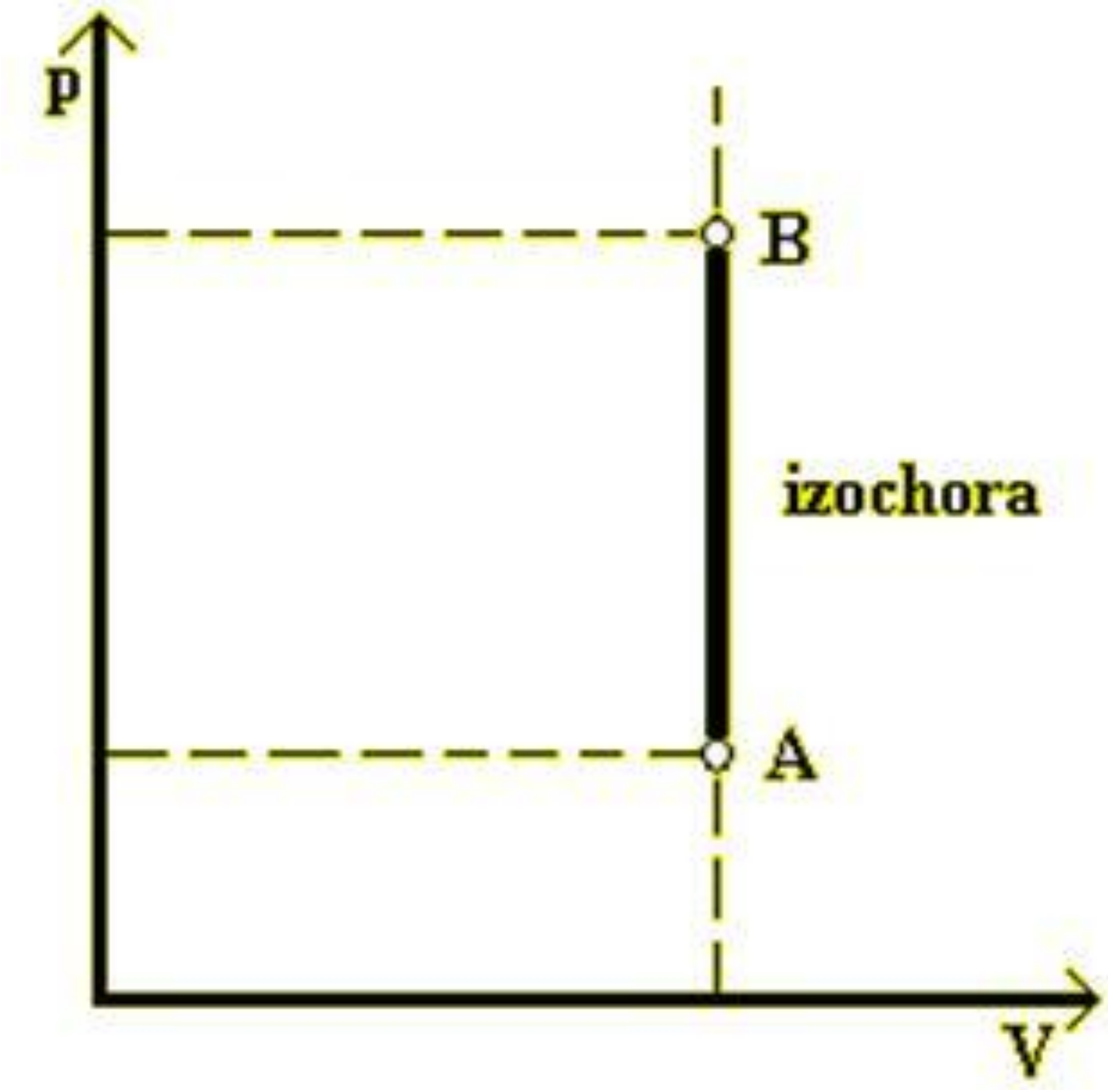
Objem plynu je konstantní V= konst.

$$p = konst.T \Rightarrow \frac{p}{T} = konst$$

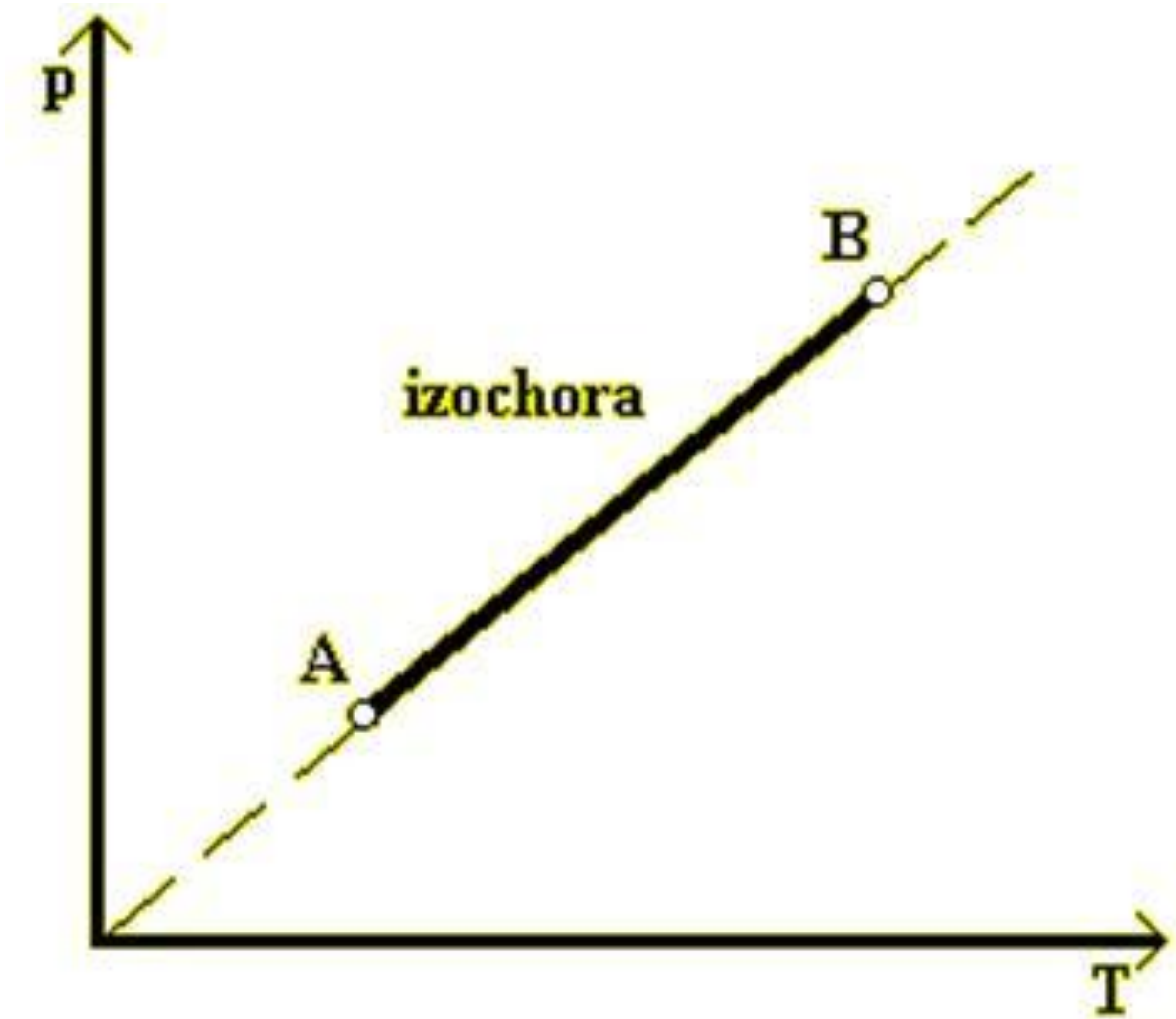
Charlesův zákon

tlak plynu je přímo úměrný termodynamické teplotě

pV diagram



pT diagram



I. věta termodynamiky

práce plynu ………………… W=0 J (práce se koná, jenom když se mění objem)

přijaté teplo ……………… $Q_v = c_v m \Delta T$

(c_v je měrná tepelná kapacita při konstantním objemu)

Přijme-li plyn teplo při izochorickém ději, zvětší se jeho vnitřní energie

$$Q = \Delta U$$

Izobarický děj

Tlak plynu je konstantní

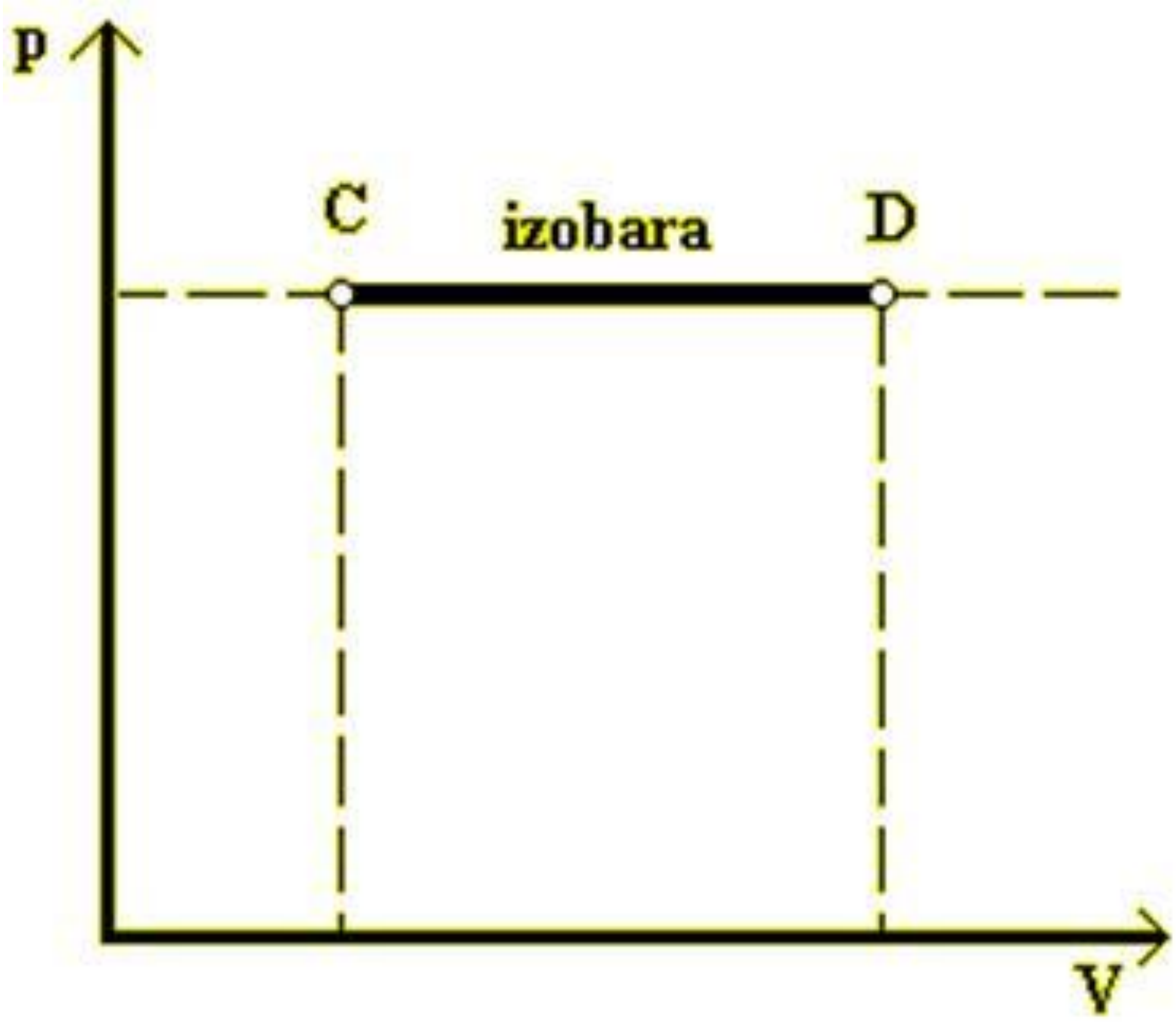
p= konst.

$$V = konst.T \Rightarrow \frac{V}{T} = konst$$

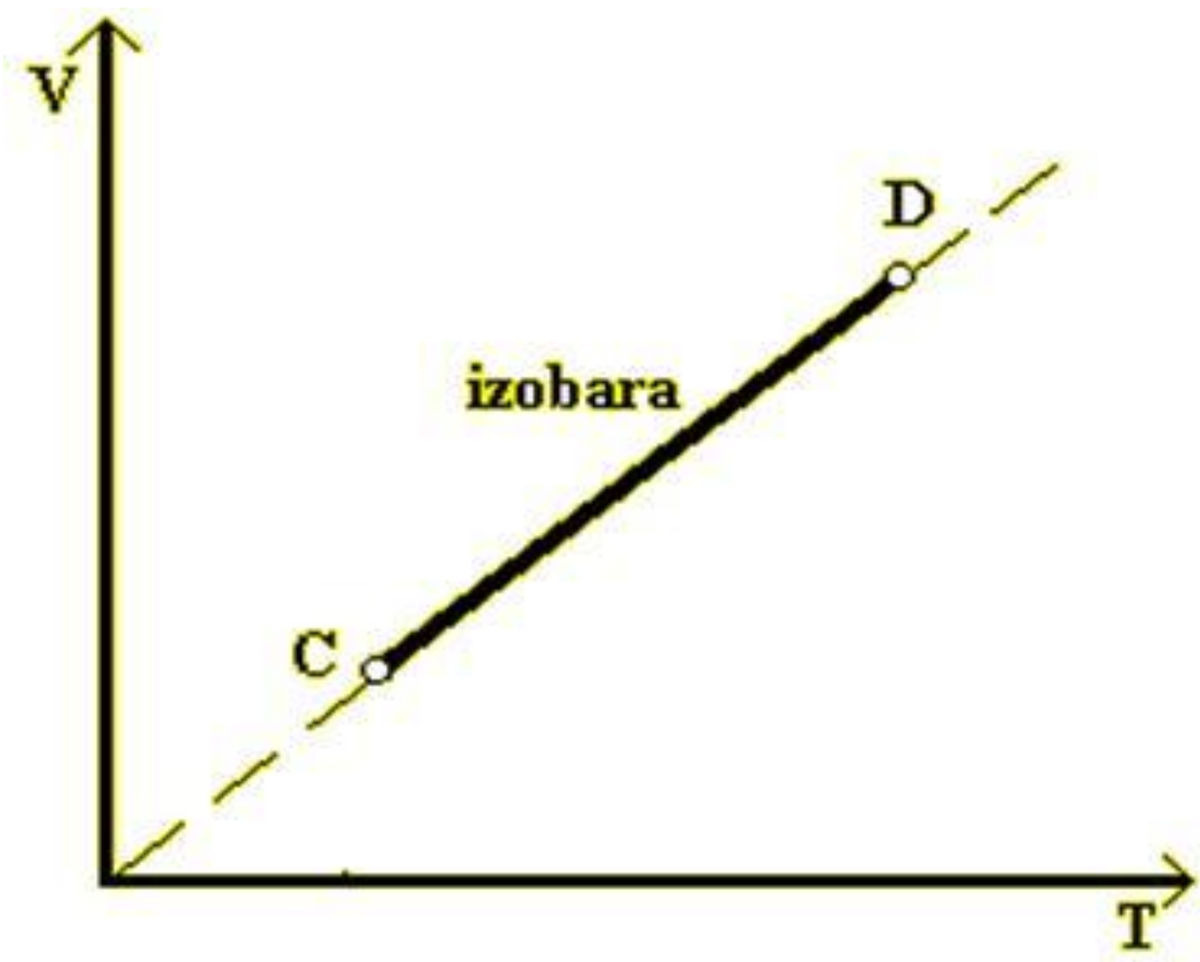
Gay - Lussacův zákon

objem plynu je přímo úměrný termodynamické teplotě

pV diagram



VT diagram

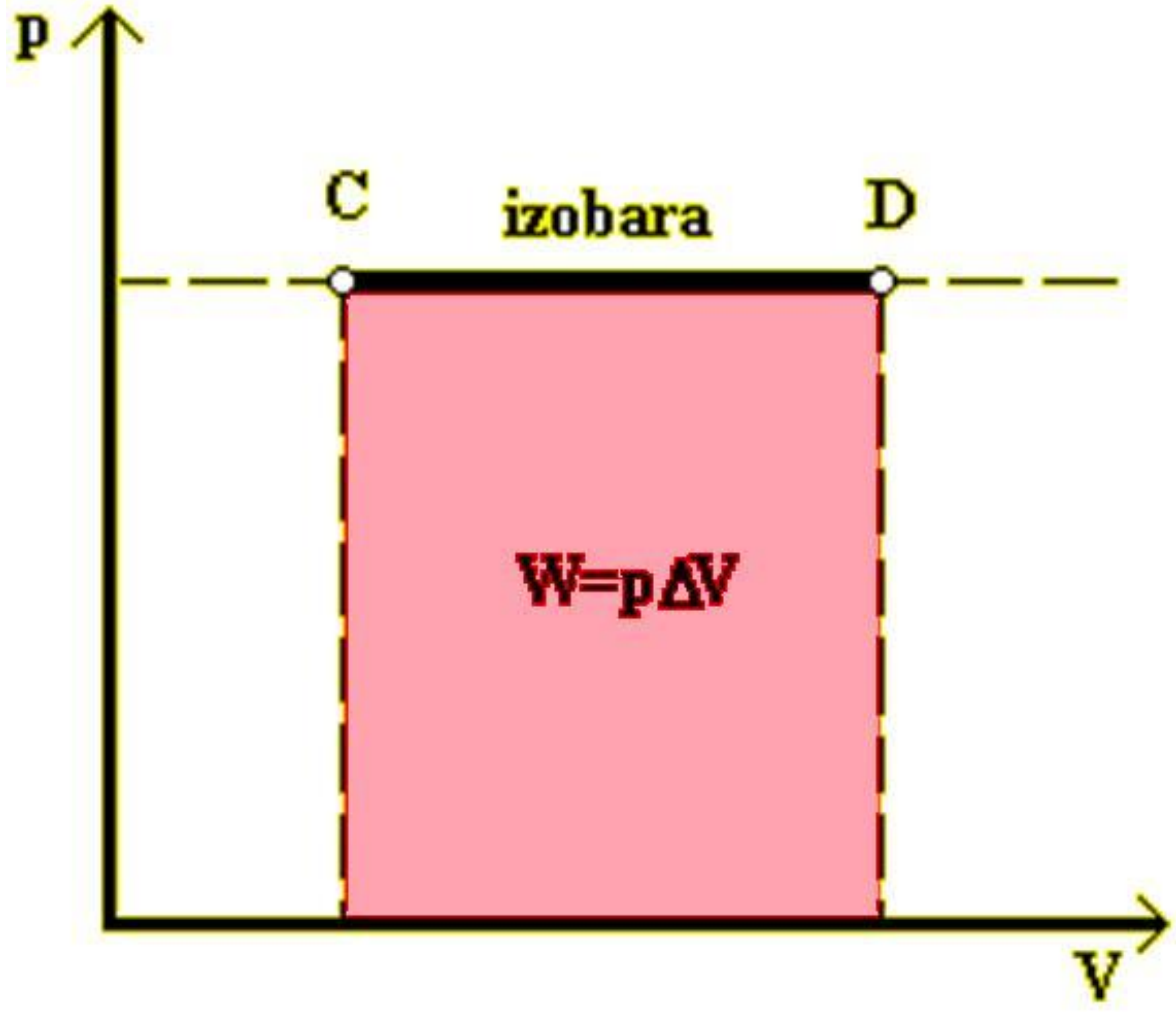


Práce při izobarickém ději

Práce se vypočítá jako

$$W = F.\Delta s = p.\Delta V$$

práce vykonaná plynem se také rovná obsahu plochy pod křivkou v pV diagramu



p
C
izobara
D
W=pΔV
V

přijaté teplo $$Q_p = c_p m \Delta T$$

c_p je měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku

I. věta termodynamiky

$$Q_p = \Delta U + p\Delta V$$

Přijme-li plyn teplo při izobarickém ději, zvětší se jeho vnitřní energie a plyn vykoná práci

pro daný plyn $Q_p > Q_v$ (přijaté teplo je větší o vykonanou práci)

$$\Rightarrow \quad c_p > c_v$$

Izotermický děj

Teplota plynu je konstantní

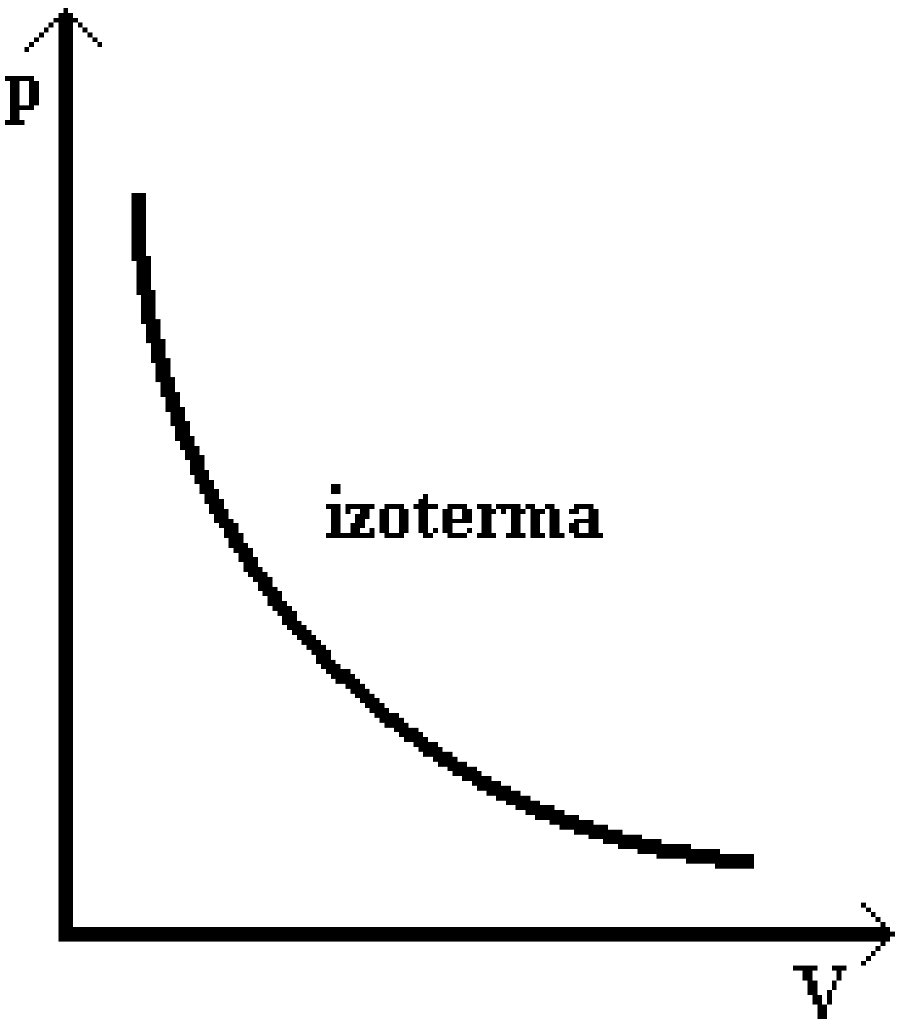
T=konst.

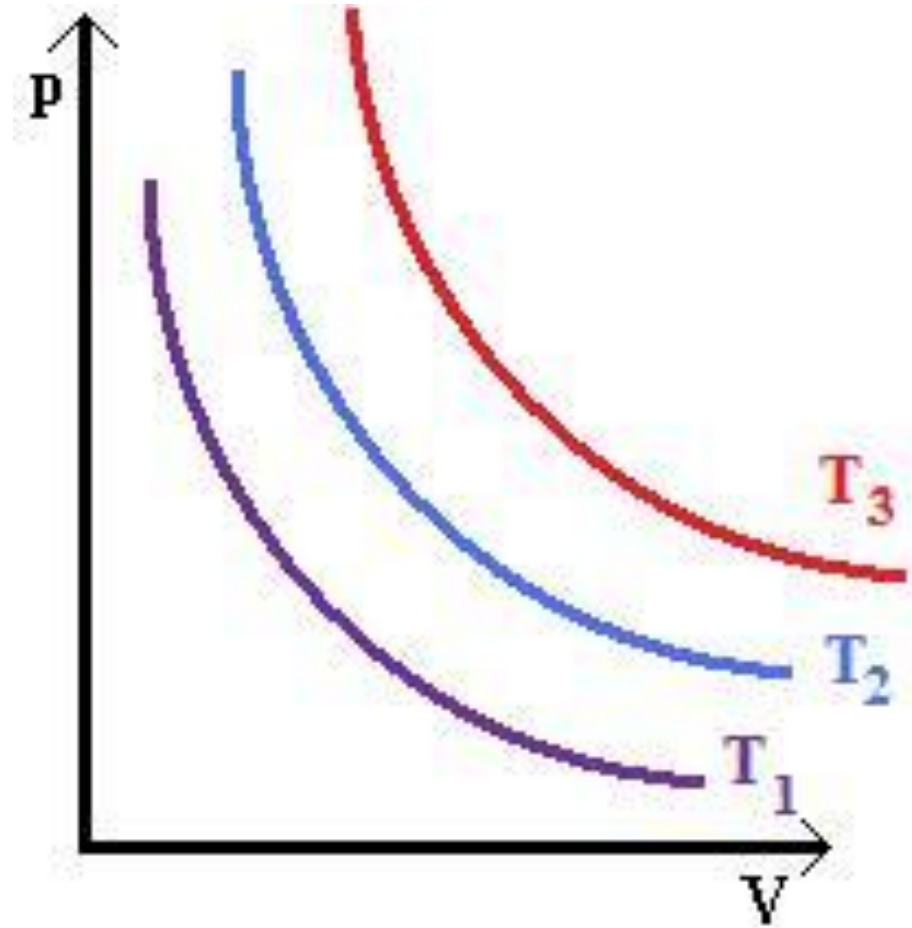
$$p.V = konst.$$

Boylův – Mariottův zákon

součin tlaku plynu a jeho objemu je konstantní

pV diagram





$T_1 < T_2 < T_3$

I. věta termodynamiky

vnitřní energie je konstantní (protože je konstantní i teplota)

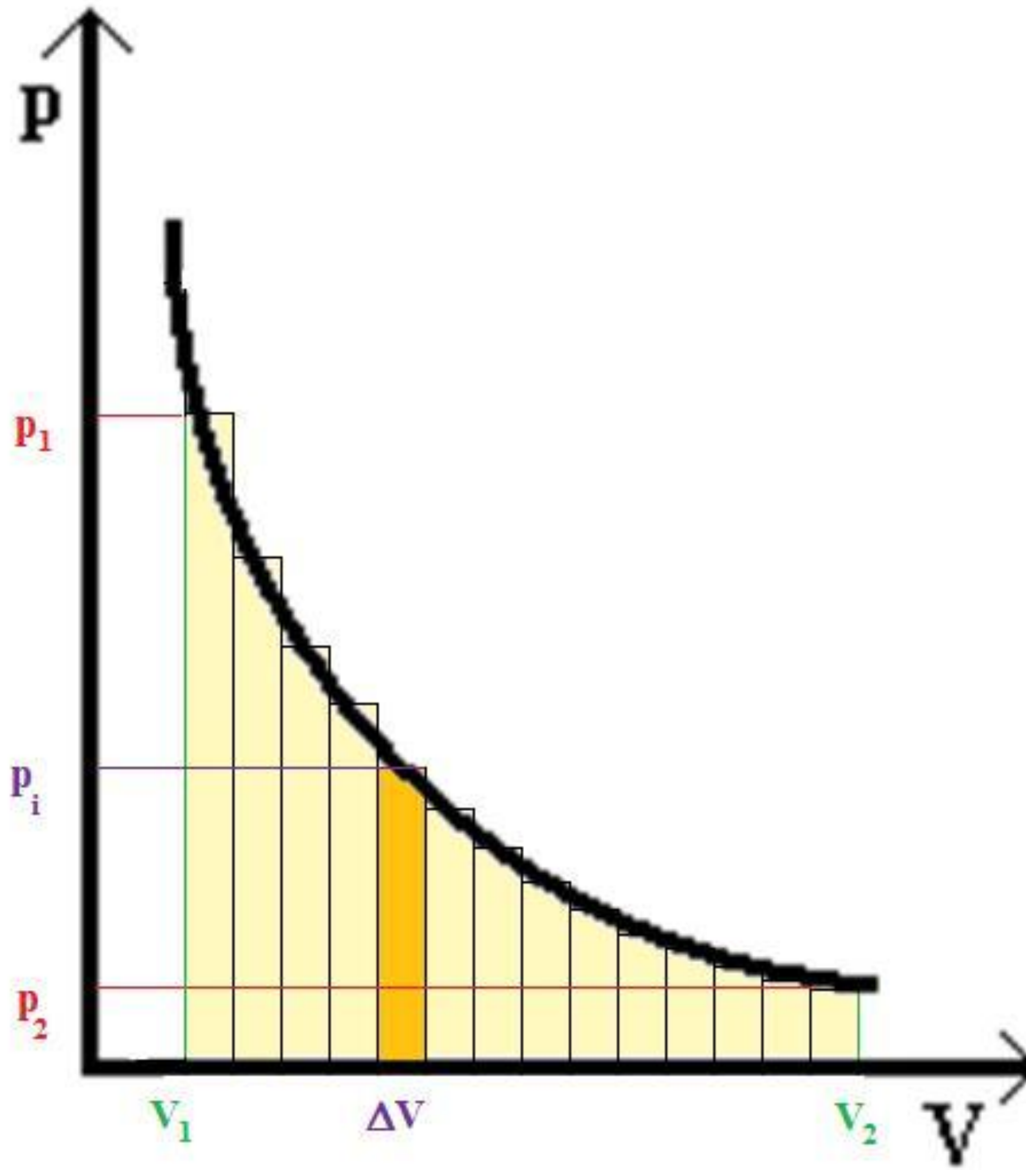
$$\Delta U = 0 J$$

$$\boxed{Q_T = W}$$

Přijme-li plyn teplo při izotermickém ději, vykoná stejně velkou práci

práce při izotermickém ději

při všech dějích můžeme velikost práce počítat jako obsah plochy pod křivkou v pV diagramu



Protože izoterma je jedna větev hyperboly, musíme velikost práce počítat

$$W = \int_{V_1}^{V_2} W_i dV = \int_{V_1}^{V_2} p_i dV = nR_m T \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} =$$

$$= nR_m T \left[\ln V\right]_{V_1}^{V_2} = nR_m T \left(\ln V_2 - \ln V_1\right)$$

$$W = nR_m T \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Adiabatický děj

děj, při kterém neprobíhá tepelná výměna (plyn je tepelně izolovaný od okolí nebo probíhá dost rychle)

$$Q=0J$$

I. věta termodynamiky

$$\Delta U = -W$$

vykoná-li plyn práci, zmenší se jeho vnitřní energie

při stlačování plynu- **adiabatická komprese** - teplota plynu roste, vnitřní energie také

při rozpínání plynu- **adiabatická expanze** - teplota plynu klesá, vnitřní energie také

Poissonův zákon

$$pV^{\kappa} = konst$$

κ - **Poissonova konstanta** - závisí na typu plynu

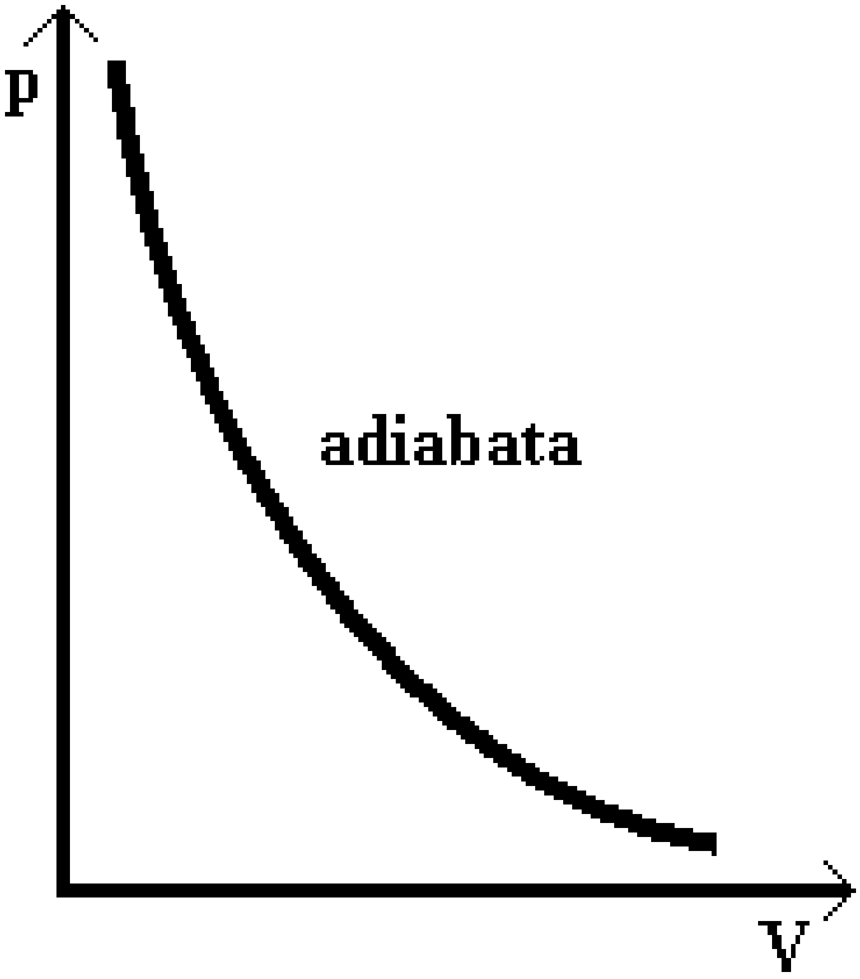
$$\kappa = \frac{c_p}{c_V} \rangle \quad 1$$ protože $$c_p \rangle c_V$$

jiný zápis Poissonova zákona (odvozeno ze stavové rovnice)

$$TV^{\kappa-1} = konst$$

$$\frac{T^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}}{p} = konst$$

pV diagram



práce

vypočítá se zase jako obsah plochy v pV diagramu

plyn přejde ze stavu p_1, V_1, T_1 do stavu p_2, V_2, T_2

mezi stavovými veličinami platí vztah

$$p_1 V_1^{\kappa} = p_2 V_2^{\kappa} = p V^{\kappa} \quad \Rightarrow \quad p = \frac{p_1 V_1^{\kappa}}{V^{\kappa}}$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p_1 V_1^{\kappa} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^{\kappa}} =$$

$$= \frac{p_1 V_1^{\kappa}}{1-\kappa} \left[V^{1-\kappa} \right]_{V_1}^{V_2} = \frac{p_1 V_1^{\kappa}}{1-\kappa} \left(V_2^{1-\kappa} - V_1^{1-\kappa} \right)$$

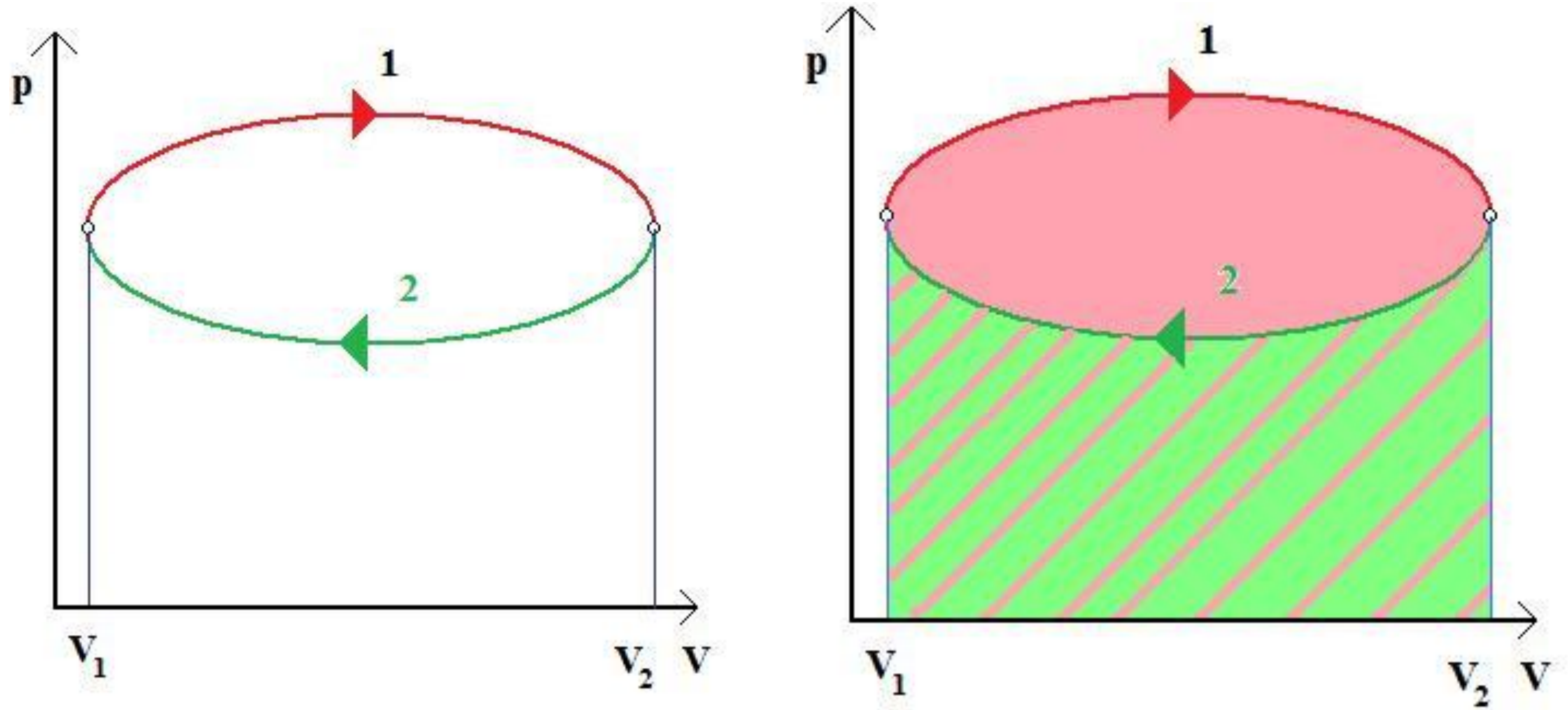
$$W = \frac{1}{1-\kappa} \left(p_2 V_2 - p_1 V_1 \right)$$

Kruhový děj

Práce, kterou koná plyn uzavřený ve válci s pohyblivým pístem při zvětšování objemu, má omezenou hodnotu.

Tepelný stroj může pracovat jen tehdy, když se plyn po ukončení expanze vrátí do původního stavu.

Kruhový (cyklický) děj je děj, při kterém je konečný stav soustavy stejný jako počáteční. V pV diagramu ho znázorňuje uzavřená křivka.



Obsah plochy uvnitř křivky v pracovním diagramu znázorňuje práci vykonanou pracovní látkou během jednoho cyklu.

Protože počáteční a konečný stav pracovní látky je stejný, **celková změna vnitřní energie po ukončení jednoho cyklu je nulová**.

Při **expanzi** plyn přijímá teplo Q_1 od **ohřívače**.

Při **kompresi** odevzdává teplo Q_2 **chladiči**.

Celkové teplo, které pracovní látka přijme, je $$Q = Q_1 - Q_2$$

Podle I. věty termodynamiky je vykonaná práce rovna tomuto teplu.

Účinnost kruhového děje

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \langle \quad 1$$

Francouzský inženýr **Carnot** dokázal, že **kruhový děj** bude mít **maximální účinnost**, když bude složen **ze dvou izotermických a dvou adiabatických dějů**

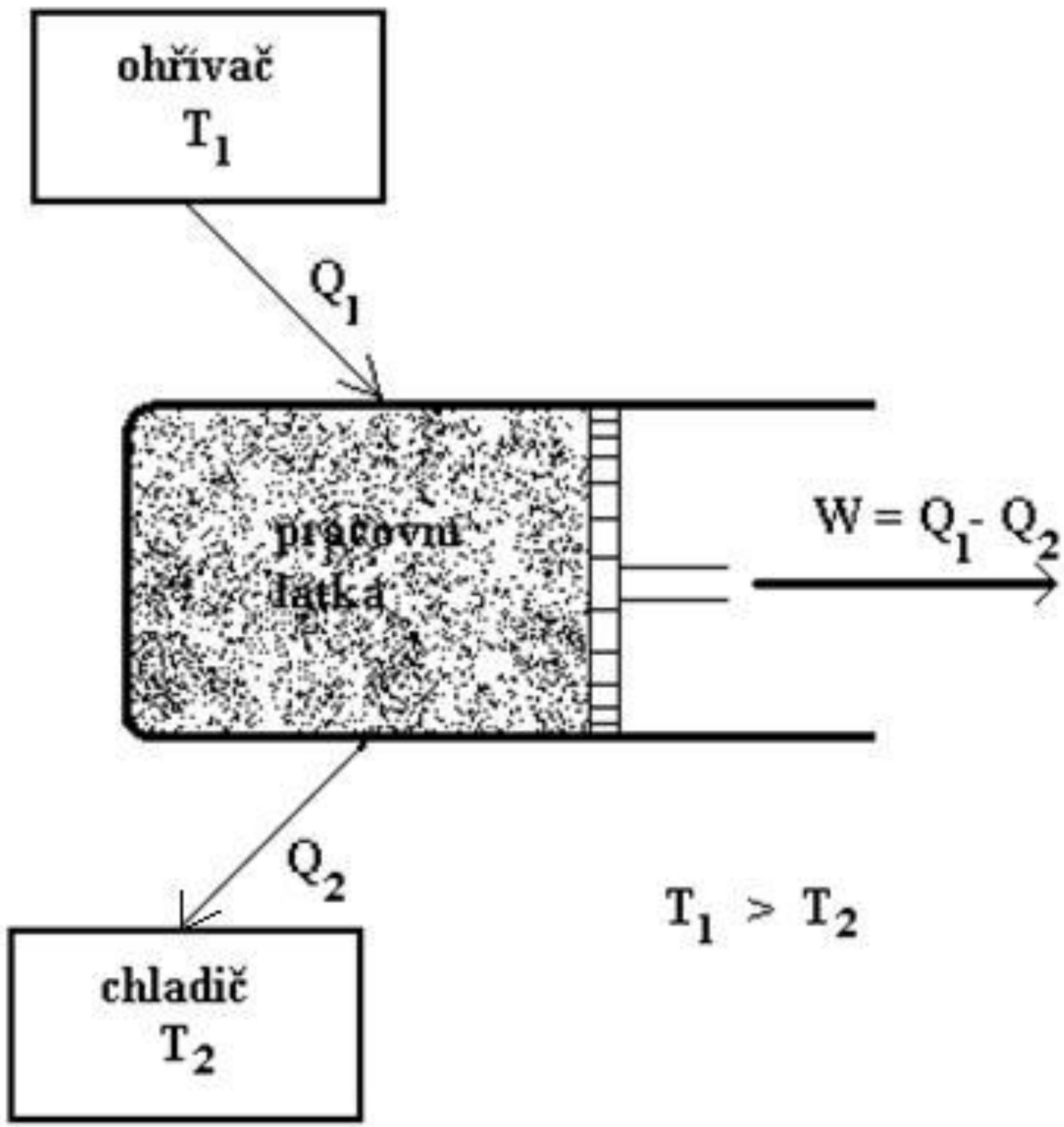
$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Práce, vykonaná během jednoho Carnotova cyklu

$$W = nR_m \ln \frac{V_2}{V_1} \left(T_1 - T_2\right)$$

II. věta termodynamiky

Není možné sestrojit periodicky pracující tepelný stroj, který by jen přijímal teplo od ohřívače a vykonával stejně velkou práci.


ohřívač
T1
Q1
pracovní
látka
W = Q1- Q2
Q2
T1 > T2
chladič
T2