

A gázok speciális állapotváltozásai

Az I. főtételel

Kinetikus gázelmélet dióhéjban

Az állapotváltozások energetikája

Gázok állapotjelzői

Állapotegyenlet: $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

1 mol az az anyagmennyiség mely $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ db részecskét (atomot vagy molekulát) tartalmaz.

moláris tömeg (M): 1 mol anyagmennyiség tömege grammban kifejezve. Pl: a víz (H_2O) moláris tömege: $2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{g/mol}$.

R – Regnault állandó vagy egyetemes gázállandó. $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$$

$$R = N_A \cdot k$$

k: Boltzmann állandó
 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$



Normál fizikai állapot

Normál fizikai állapot jelzői:

normál légköri nyomás: $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

hőmérséklet: $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (0°C)

Avogadro törvény:

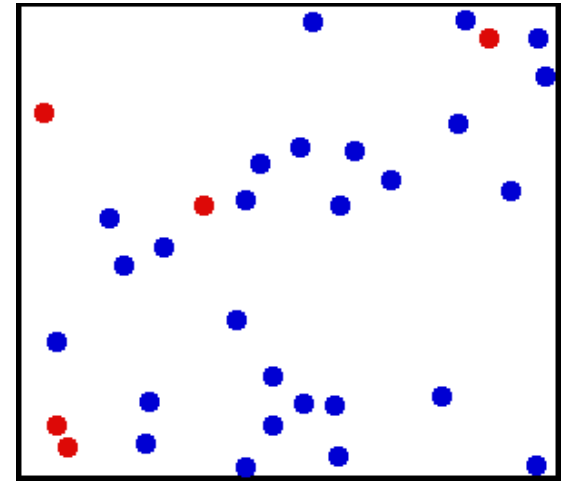
Egy mol gázmennyiség térfogata normál fizikai állapotban a gáz minőségétől függetlenül ugyanakkora: $22,41 \text{ dm}^3$



Ideális gázmodell

Az **ideális gáz** modellje olyan absztrakció, mellyel matematikailag leírható a gázok viselkedése eléggé alacsony nyomáson és magas hőmérsékleten.

- A gázmolekulák saját térfogata elhanyagolható a gáz által betöltött térfogathoz képest.
- A gázmolekulák spontán, rendezetlen, magától végbemenő mozgásban vannak (Brown-féle hőmozgás). A mozgás intenzitásának jellemzésére az abszolút hőmérséklet szolgál [T].
- A gázmolekulák egymásra sem vonzó, sem taszító hatást nem fejtenek ki, az ütközésektől eltekintve .
- A gázmolekulák egymással illetve az edény falával való ütközése rugalmas.



A bezárt gáz nyomása

A bezárt gázok nyomásának kinetikai értelmezése:

- Miközben a molekulák a tartály falával ütköznek, a falra erőt fejtenek ki, ebből származik a gáz által a tartály falára kifejtett nyomás.

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_r \cdot \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \bar{\epsilon}_{\text{haladási}}$$

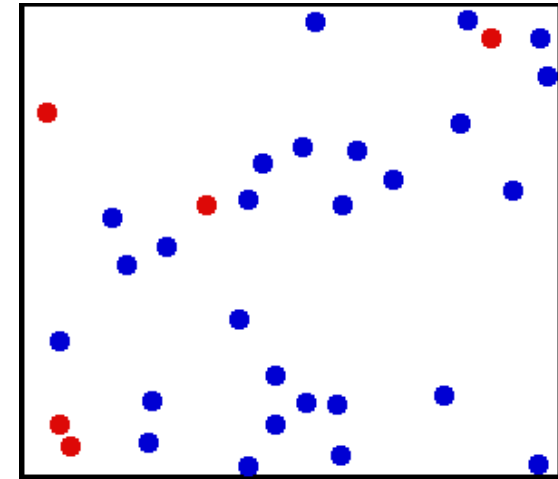
N – részecskeszám

V – tartály térfogata

m_r – részecske tömege

\bar{v} részecskék átlagsebessége

$\bar{\epsilon}_{\text{haladási}}$ részecskék átlagos haladási mozgási energiája

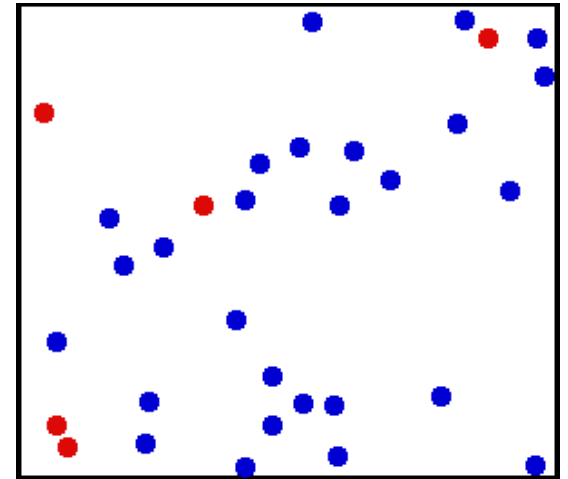


A belső energia

A gáz belső energiája:

- A gázmolekulák átlagos sebességét és mozgási energiáját a gáz hőmérséklete adja meg.
- Azonos hőmérsékleten, azonos számú gázmolekula összes mozgási energiája megegyezik, és független a gáz anyagi minőségétől. Ez a gáz belső energiája.

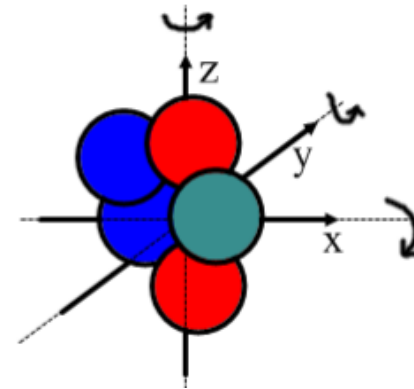
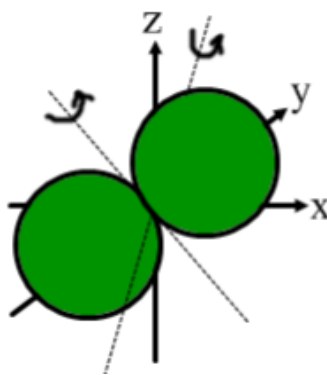
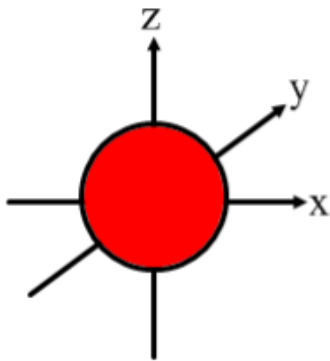
$$E_B = \sum \bar{\varepsilon}_{mozgási} = \sum \bar{\varepsilon}_{haladási} + \bar{\varepsilon}_{forgási} = N \cdot \bar{\varepsilon}_{mozgási}$$



Szabadsági fokok (f)

Ideális gázmolekula szabadsági fokainak értelmezése:

- egy molekula teljes mozgásának leírásához szükséges sebesség és szögsebesség komponensek száma.
- Egy molekula mozgási lehetőségeinek száma egy háromdimenziós koordinátarendszerhez vonatkoztatva.
 - atomos gázok esetén $f=3$ (haladási szabadsági fokok)
 - kétatomos molekulájú gázok esetén: $f=3+2$ (forgási)=5
 - többatomos molekulájú gázok esetén: $f=3+3=6$.



Ekvipartíció tétele

Ekvipartíció tétele (Boltzmann):

A mozgási energia a részecskék között, a rendezetlen mozgás, és az ütközések miatt, egyformán oszlik el. Minden sebességösszetevőre (akár haladó mozgási sebességről, akár forgásból származó szögsebességről van szó) átlagosan, egy molekulára:

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot T \quad \text{energia jut.}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K} \quad \text{Boltzmann állandó}$$

Másképpen: Egy gázmolekula minden egyes szabadsági fokára átlagosan ugyanannyi energia jut.

Adott minőségű és mennyiségű ideális gáz belső energiája csak a hőmérséklet függvénye.



Ideális gázok állapotegyenlete

$$p = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{m_r \cdot \bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \bar{\epsilon}_{\text{haladási}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T = \frac{N \cdot k \cdot T}{V} \Rightarrow$$

$$p \cdot V = N \cdot k \cdot T = n \cdot R \cdot T$$

$$k \cdot N_A = R$$

Ideális gázok belső energiája

N darab f szabadsági fokú gázmolekula összes mozgási energiája adja meg a gáz belső energiáját:

$$E_b = N \cdot \frac{f}{2} \cdot k \cdot T = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k \cdot T = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot T = \frac{f}{2} \cdot p \cdot V$$

Megjegyzés: folyadékok és szilárd anyagok esetén a szabadsági fokok száma nagyobb 6-nál (pl. rezgések miatt). A molekulák, atomok közötti kölcsönhatásnak megfelelő energia is növeli az anyagok belső energiáját. Ezt az energiát figyelembe kell venni a reális gázoknál is.



Az anyagok belső energiáját megváltoztató kölcsönhatások

termikus kölcsönhatás – hőközlés

Az eközben cserélt energiát hőmennyiségnek

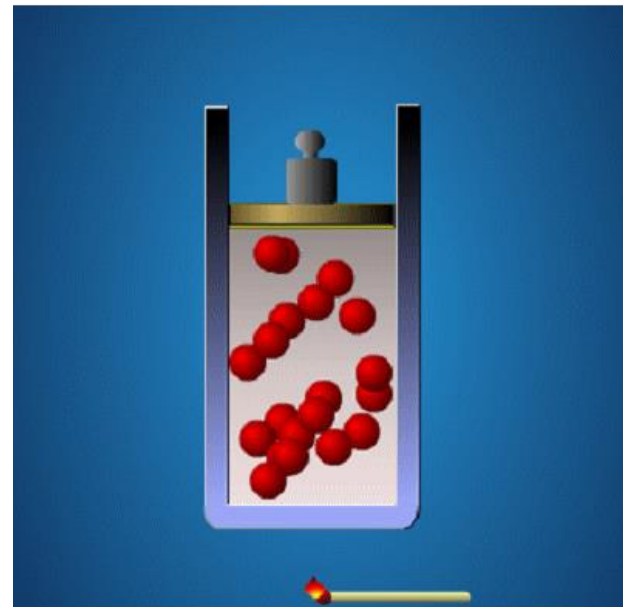
Röviden **hő**nek nevezzük- Q

Pl. melegítjük, vagy hűtjük az anyagot

Előjel konvenció:

$Q > 0$ a rendszer hőmennyiséget kap vagy a rendszerrel hőt közlünk.

$Q < 0$ a rendszer hőt ad le vagy a rendszertől hőt vonunk el.



Az anyagok belső energiáját megváltoztató kölcsönhatások

mechanikus kölcsönhatás

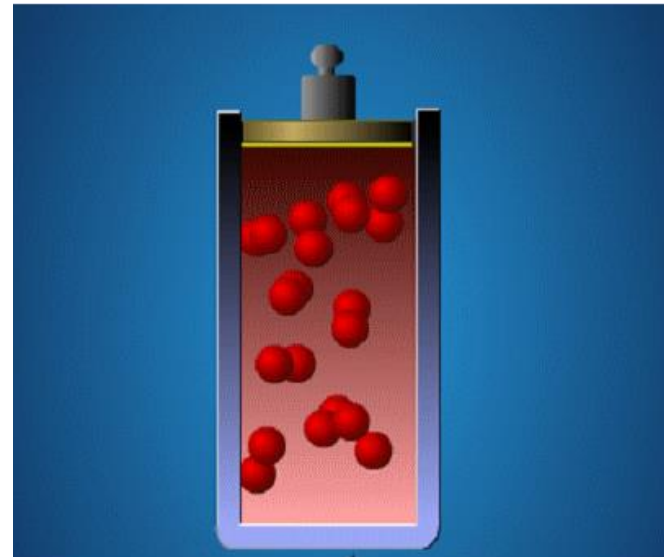
munkavégzés – W

Pl. összenyomunk egy gázmennyiséget,
vagy a gázmennyiség kitágulva
munkát végez környezetén.

Előjel konvenció:

$W > 0$ a rendszeren munkát végeznek
(csökkentjük a gázmennyiség
térfogatát)

$W < 0$ a rendszer végez munkát környezetén
(a gázmennyiség kitágulva munkát
végez környezetén)



A hőtan I. főtétele

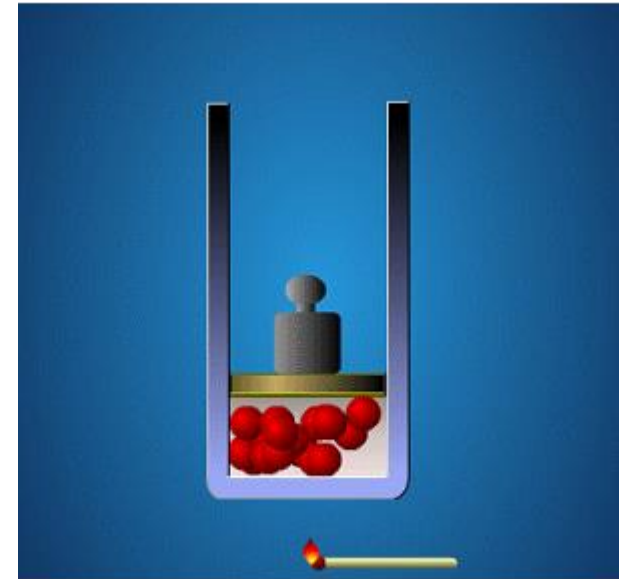
Egy termodinamikai rendszer belső energiájának megváltozása egyenlő a közölt hőmennyiség és a rajta végzett munka előjeles összegével.

$$\Delta E_b = Q + W$$

Mivel a belső energia állapothatározó mennyiség, a belső energia változása nem függ attól, hogy milyen folyamaton keresztül jut el a rendszer a kezdeti állapottól a végső állapotba.

Ideális gázoknál a folyamattól függetlenül:

$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot \Delta(p \cdot V)$$



$$Q > 0 \quad W < 0$$

$$|Q| > |W| \Rightarrow \Delta E_b > 0$$



Kalorikus együtthatók

Az anyagok melegítésekor (vagy hűtésekor) a közölt (vagy leadott) hőmennyiség és a hőmérséklet változás között egyenes arányosság van. Az arányossági tényezőket nevezzük kalorikus együtthatóknak.

Hőkapacitás: megmutatja, hogy egy test egységnyi hőmérséklet változása mekkora hőfelvétellel (vagy hőleadással) jár.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right)$$

Fajlagos hőkapacitás (fajhő): megmutatja, hogy egy bizonyos anyag egységnyi tömegének egységnyi hőmérséklet változása mekkora hőfelvétellel (vagy hőleadással) jár.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right)$$



A gázok speciális állapotváltozásai

Ha egy rögzített gázmennyiség p , V , T állapotjelzői közül valamelyik nem változik egyszerű állapotváltozásról beszélünk:

Ha p =állandó \rightarrow izobár állapotváltozás

Ha V =állandó \rightarrow izochor állapotváltozás

Ha T =állandó \rightarrow izoterm állapotváltozás

Ha egy rögzített gázmennyiség minden állapotjelzője megváltozik általános állapotváltozásról beszélünk.

Ha egy rögzített gázmennyiség minden állapotjelzője megváltozik, de az állapotváltozás közben a gáz nem cserél hőt ($Q=0$) környezetével adiabatikus állapotváltozásról beszélünk, mely egy speciális állapotváltozásnak tekinthető.



A gázok speciális állapotváltozásai

A speciális állapotváltozások energetikai vizsgálata:

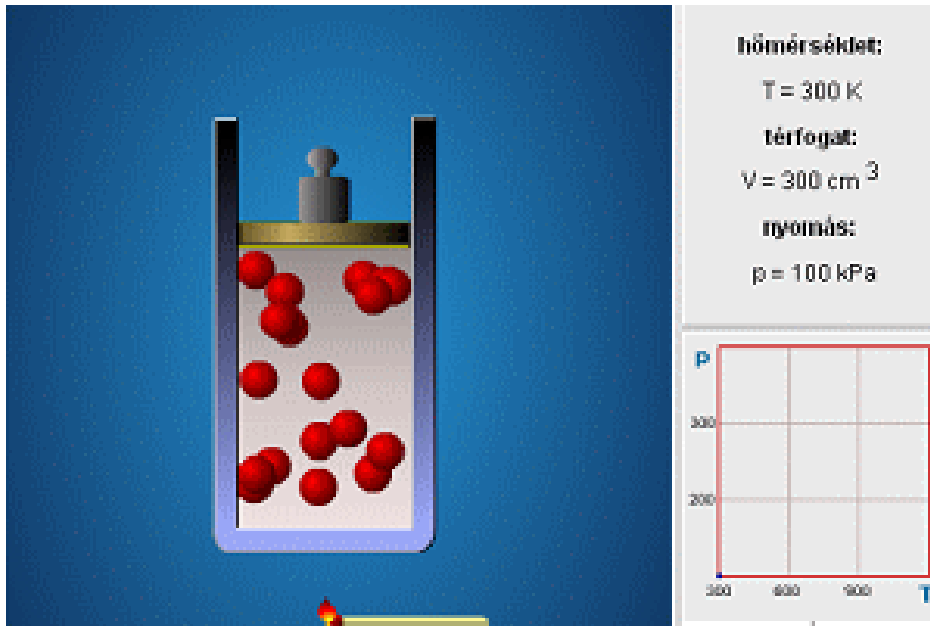
- Izobár állapotváltozás
- Izochor állapotváltozás
- Izoterm állapotváltozás
- Adiabatikus állapotváltozás



Izochor állapotváltozás

Gay Lussac II. törvénye:

Állandó mennyiségű gáz nyomása állandó térfogaton egyenesen arányos az abszolút (kelvinben mért) hőmérséklettel.



$$\frac{p}{T} = \text{állandó} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

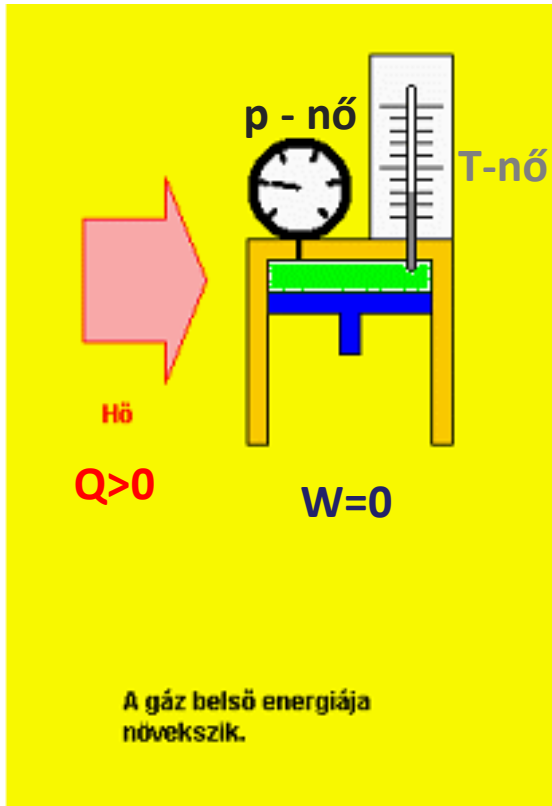
$$\Delta p = p_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Ideális gáznál:

$$\beta = \frac{1}{273\text{K}} = 0,00366 \frac{1}{\text{K}}$$



Izochor állapotváltozás energetikája



Izochor melegítésnél a közölt hőmennyiség teljes egészében a gáz belső energiáját növeli.

Ideális gázoknál:
$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot V \cdot \Delta p$$

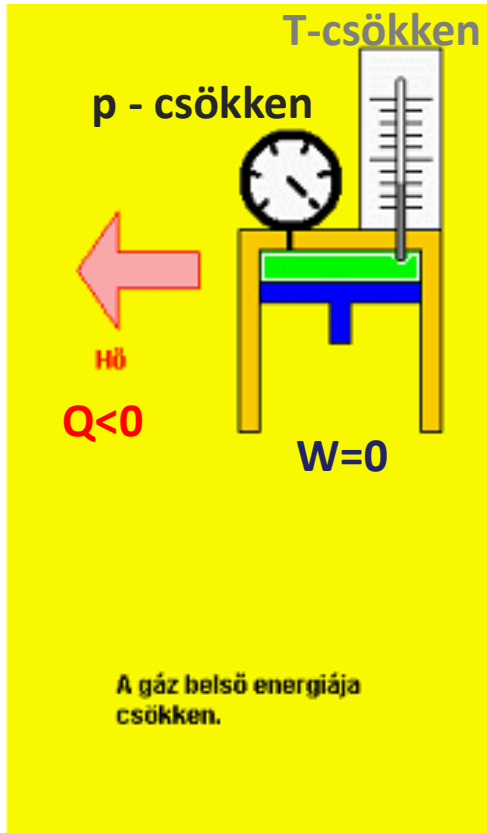
$$Q = \Delta E_B$$

A fajhő ismeretében:
$$\Delta E_B = Q = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

A munkavégzés:
$$W = 0$$



Izochor állapotváltozás energetikája



Izochor hűtésnél az elvont hőmennyiség teljes egészében a gáz belső energiáját csökkenti.

Ideális gázoknál:
$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot V \cdot \Delta p$$

$$Q = \Delta E_B$$

A fajhő ismeretében:
$$\Delta E_B = Q = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

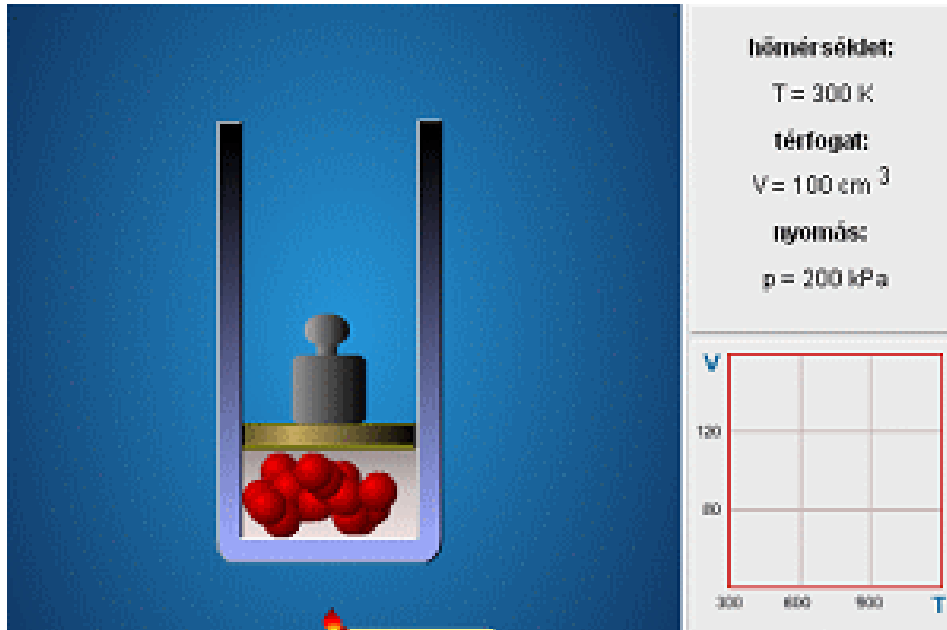
A munkavégzés:
$$W = 0$$



Izobár állapotváltozás törvénye

Gay Lussac I. törvénye:

Állandó mennyiségű gáz térfogata állandó nyomáson egyenesen arányos az abszolút (kelvinben mért) hőmérséklettel.



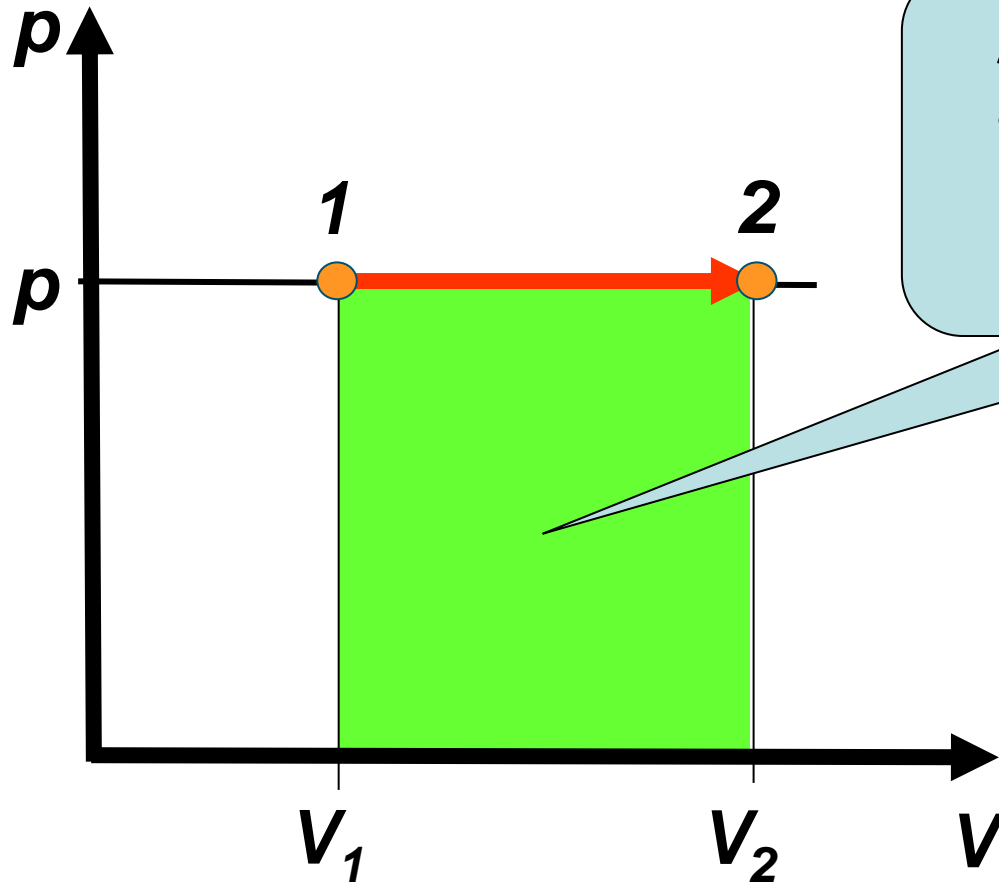
$$\frac{V}{T} = \text{állandó} \Rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

$$\beta = \frac{1}{273K} = 0,00366 \frac{1}{K}$$



Izobár állapotváltozás során végzett térfogati munka

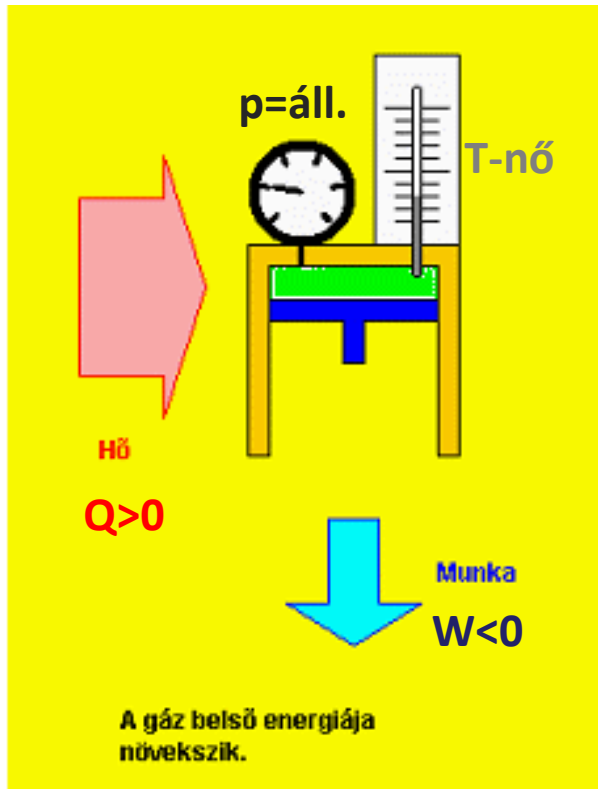


A munkavégzés megegyezik
a grafikon alatti területtel

$$\begin{aligned} W &= -F \cdot s = -p \cdot A \cdot s \\ &= -p \cdot \Delta V = -n \cdot R \cdot \Delta T \end{aligned}$$



Izobár állapotváltozás energetikája



Izobár melegítésnél a közölt hőmennyiség egy része a gáz tágulási munkáját fedezi, fennmaradó része a gáz belső energiáját növeli.

Ideális gázoknál: $\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot p \cdot \Delta V$

$$Q = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot p \cdot \Delta V$$

A fajhő ismeretében: $\Delta E_B = c_V \cdot m \cdot \Delta T$

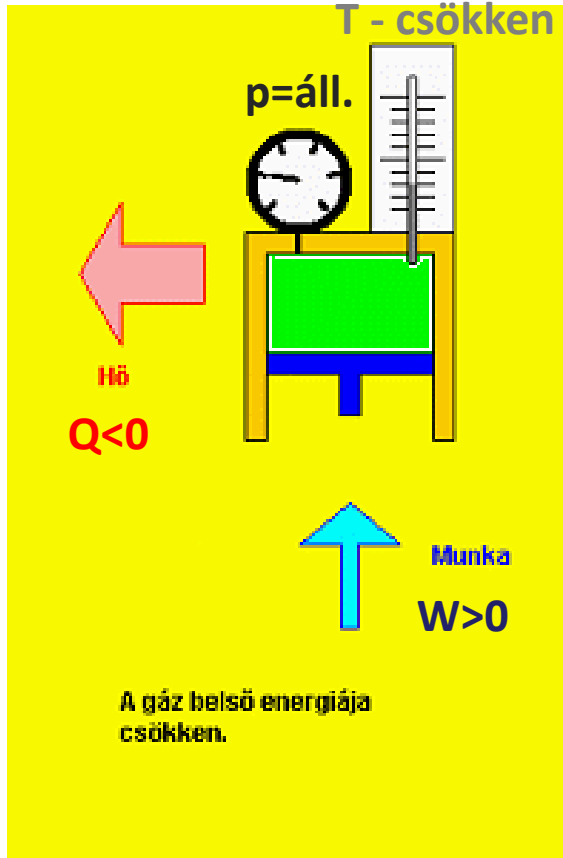
$$Q = c_P \cdot m \cdot \Delta T$$

A térfogati munka:

$$W = -F \cdot s = -p \cdot \Delta V = -n \cdot R \cdot \Delta T$$



Izobár állapotváltozás energetikája



Izobár hűtésnél a gáztól elvont hőmennyiség egy részét a gázon végzett munka fedezi, a többi a gáz belső energia csökkenését idézi elő.

Ideális gázoknál:
$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot p \cdot \Delta V$$

$$Q = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \left(\frac{f}{2} + 1 \right) \cdot p \cdot \Delta V$$

A fajhő ismeretében:
$$\Delta E_B = c_V \cdot m \cdot \Delta T$$

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

A térfogati munka:

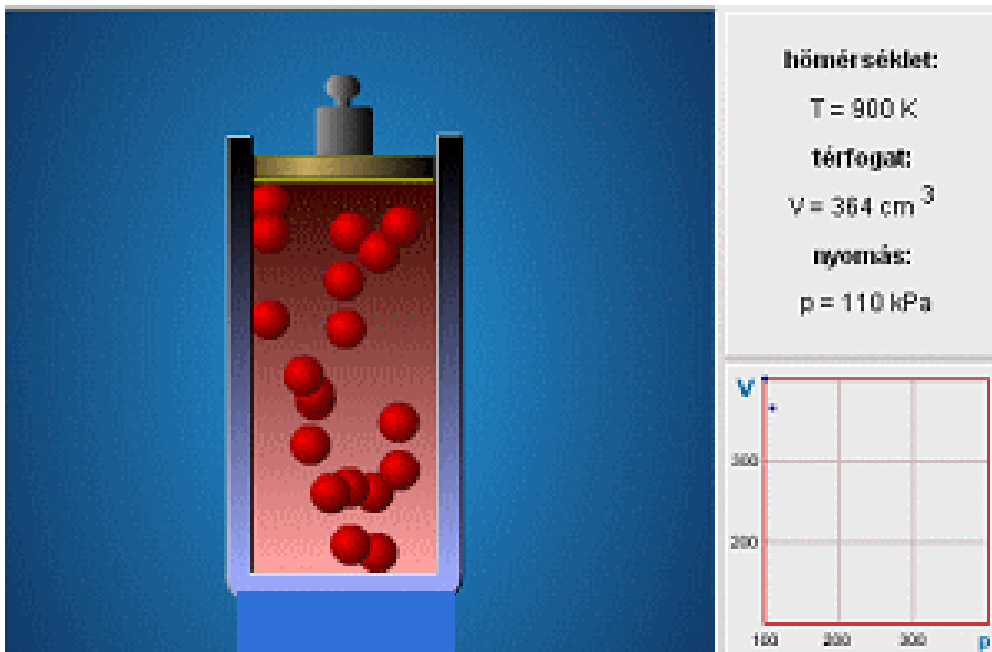
$$W = -F \cdot s = -p \cdot \Delta V = -n \cdot R \cdot \Delta T$$



Izoterm állapotváltozás

Boyle – Mariotte törvénye:

Állandó mennyiségű gáz nyomása állandó hőmérsékleten fordítottan arányos a térfogatával.



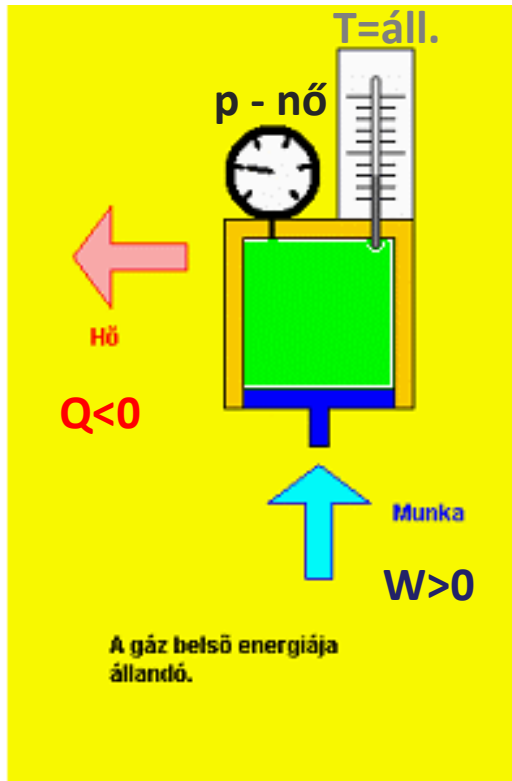
$$p \cdot V = \text{állandó}$$

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$



Izoterm állapotváltozás energetikája

Izoterm összenyomásnál a gázon végzett munka egyenlő a gáz által a környezetének leadott hőmennyiséggel.

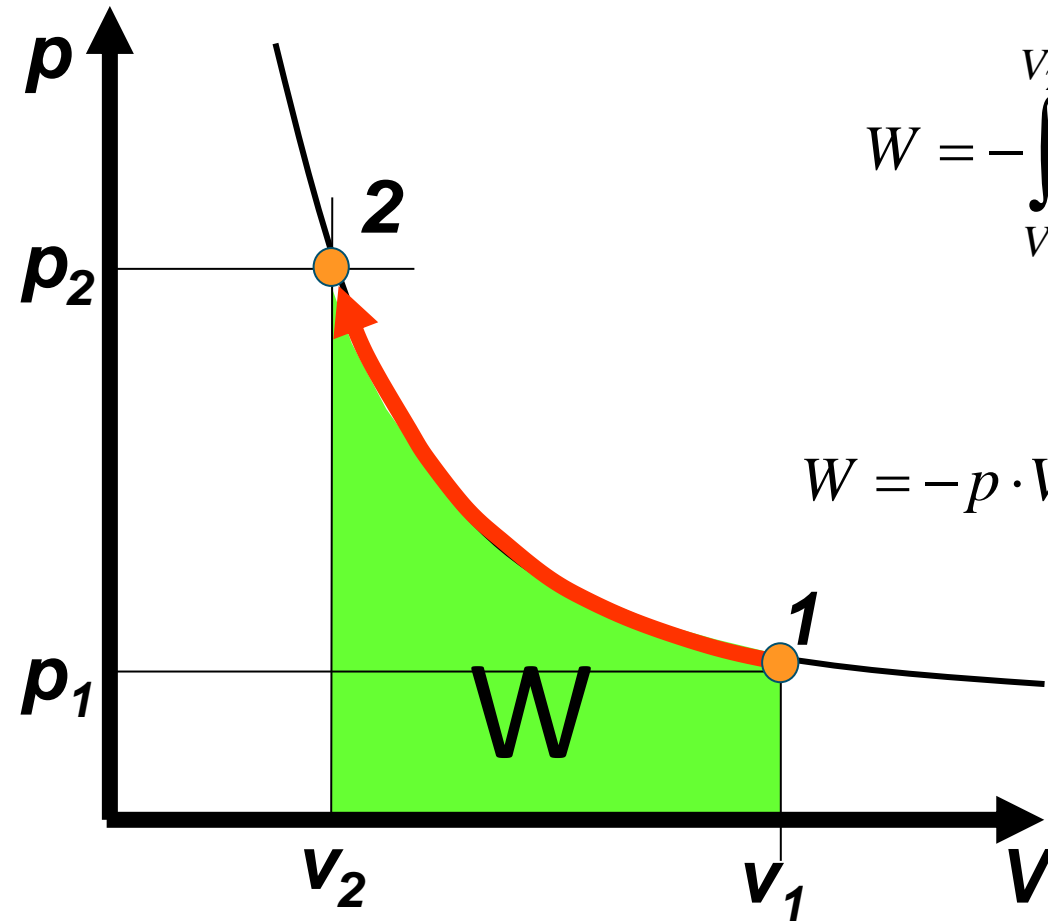


$$\Delta E_b = 0$$

$$Q = -W$$



Izoterm állapotváltozás során végzett munka (egyetemi szint)



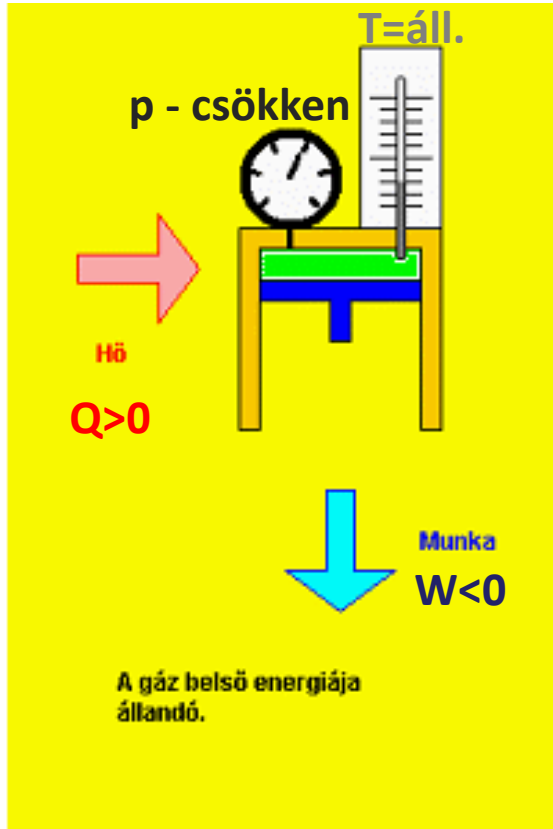
$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = -p \cdot V \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$W = -p \cdot V \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -p \cdot V \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$



Izoterm állapotváltozás energetikája



Izoterm tágulásnál a gáz által a környezetén végzett munkát teljes egészében a környezettől felvett hőmennyiség fedezi.

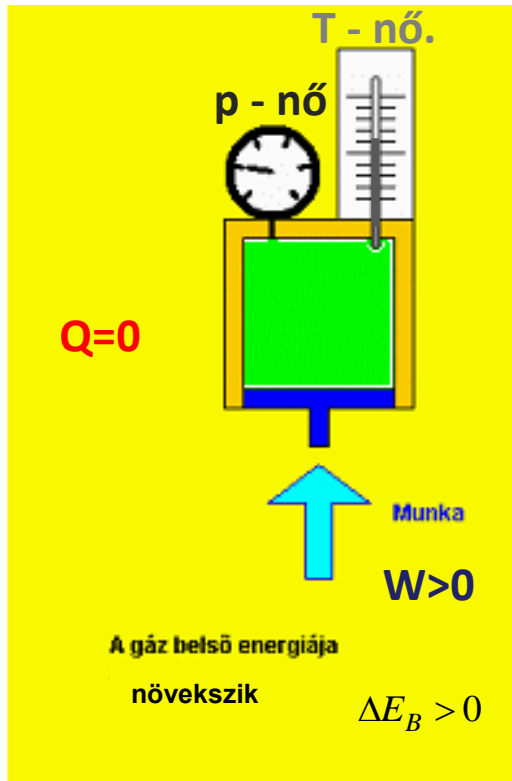
$$\Delta E_b = 0$$

$$Q = -W$$

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$$



Adiabatikus állapotváltozás energetikája



Az állapotváltozás adiabatikusnak tekinthető ha:

- A gázmennyiség hőszigetelő fallal van körülvéve
- A folyamat lefolyása nagyon gyors ezért:

$$Q = 0$$

Ideális gázoknál:

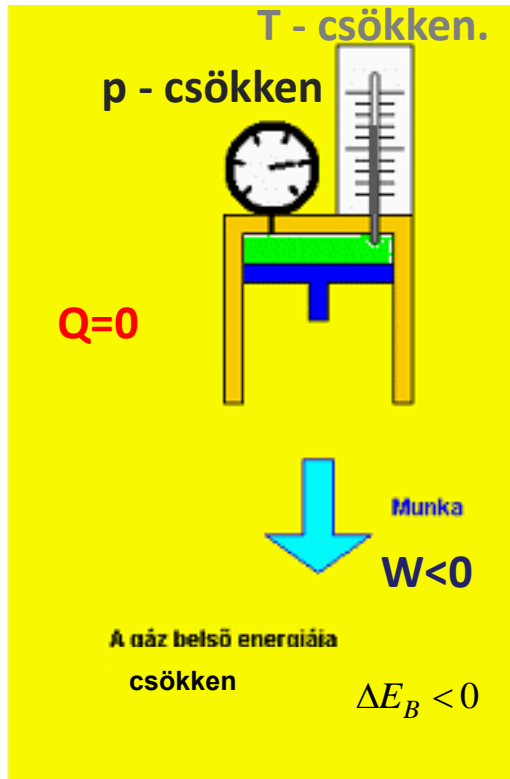
$$\Delta E_B = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

A fajhő ismeretében: $\Delta E_B = c_V \cdot m \cdot \Delta T$

A térfogati munka: $W = \Delta E_B$



Adiabatikus állapotváltozás energetikája



Az állapotváltozás adiabatikusnak tekinthető ha:

- A gázmennyiség hőszigetelő fallal van körülvéve
- A folyamat lefolyása nagyon gyors ezért:

$$Q = 0$$

Ideális gázoknál:

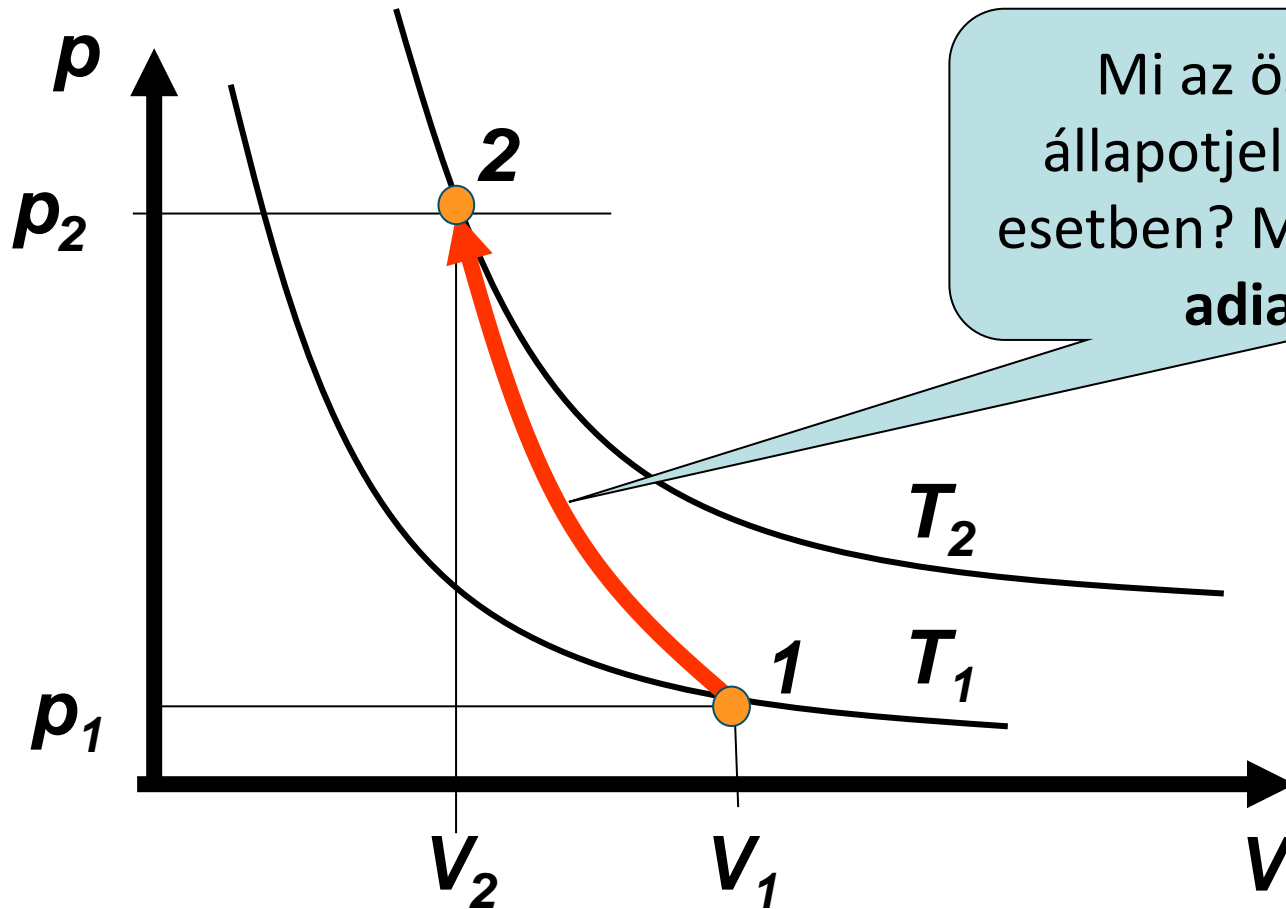
$$\Delta E_B = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

A fajhő ismeretében: $\Delta E_B = c_V \cdot m \cdot \Delta T$

A térfogati munka: $W = \Delta E_B$



Az adiabatikus állapotváltozás függvénye



Mi az összefüggés az állapotjelzők között ilyen esetben? Mi az egyenlete az adiabatának?



Az adiabata egyenlete – főiskolai anyag!

Az 1. főtételből

$$Q = 0 \Rightarrow dE_B = W \Rightarrow m \cdot c_v \cdot dT = -p \cdot dV$$

Az egyesített gáztörvényből

$$d(p \cdot V) = n \cdot R \cdot dT \Rightarrow n \cdot R \cdot dT = p \cdot dV + V \cdot dp$$

A kettő összevetéséből

$$m \cdot c_v \cdot \frac{p \cdot dV + V \cdot dp}{n \cdot R} = -p \cdot dV$$



Az adiabata egyenlete

$$m \cdot c_v \cdot \frac{p \cdot dV + V \cdot dp}{n \cdot R} = -p \cdot dV$$

Átrendezés után

$$\left(c_v + \frac{R}{M} \right) \cdot p \cdot dV = -c_v \cdot V \cdot dp \quad c_p = c_v + \frac{R}{M}$$

a változók szétválasztásával

$$\frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{dV}{V} = -\frac{dp}{p} \quad \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f+2}{f}$$



Az adiabata egyenlete

$$\kappa \cdot \ln V = -\ln p + \ln C$$

Átrendezés után

$$p \cdot V^{\kappa} = \textit{állandó}$$

A **κ** adiabatikus kitevő (hőfoktényező) értéke:

- a kétatomos gázok esetén kb. 1,4,
- háromatomos gázok esetén kb. 1,3.



A Poisson-egyenletek

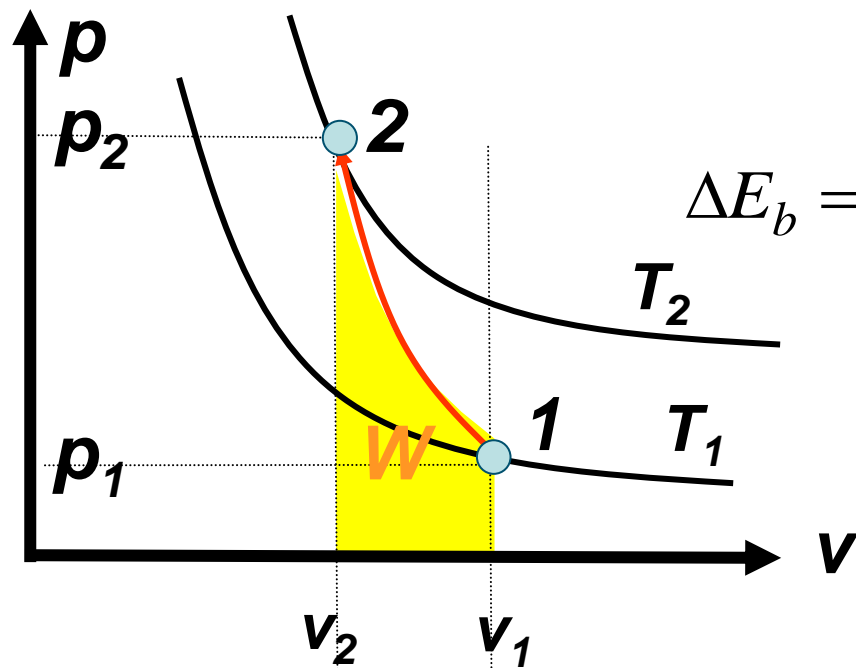
$$p \cdot V^{\kappa} = \text{állandó}$$

$$p \cdot \left(\frac{R \cdot T}{p} \right)^{\kappa} = p^{\frac{1-\kappa}{\kappa}} \cdot T = \text{állandó}$$

$$\frac{R \cdot T}{V} \cdot V^{\kappa} = T \cdot V^{\kappa-1} = \text{állandó}$$



Az adiabatikus állapotváltozás összefoglalás



$$Q = 0$$

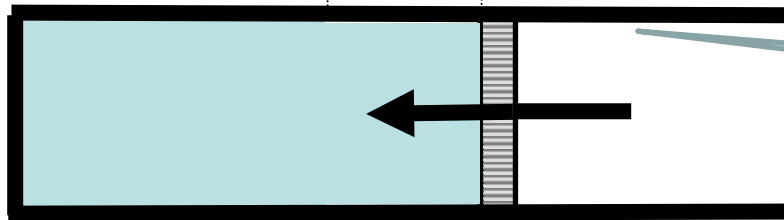
$$\Delta E_b = \frac{f}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T = \frac{f}{2} \cdot (p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1)$$

$$\Delta E_b = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

I. főtétel: $W = \Delta E_b$

$$p \cdot V^\kappa = \text{állandó}$$

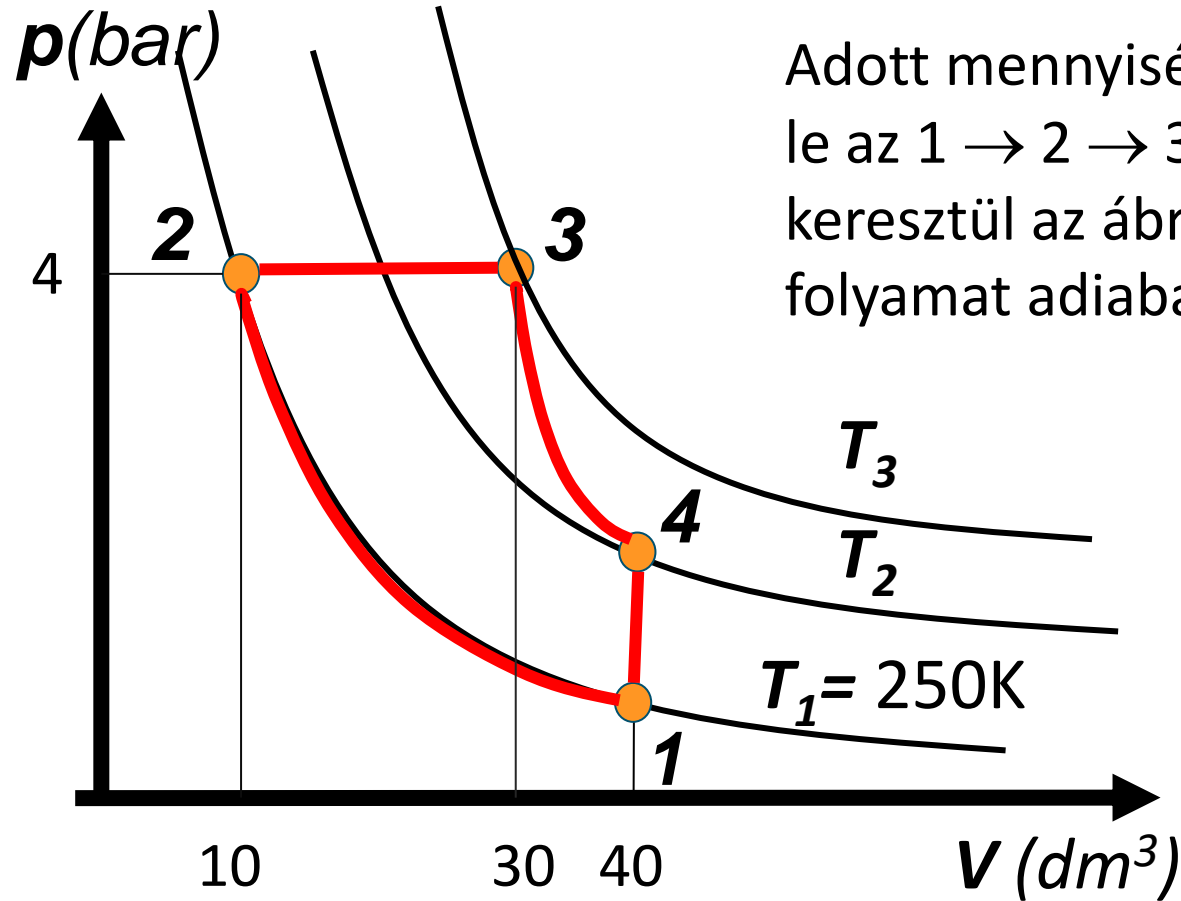
hőfoktényező: $\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{f+2}{f}$



hőszigetelő falú henger
vagy hirtelen folyamat



Ellenőrző kérdések



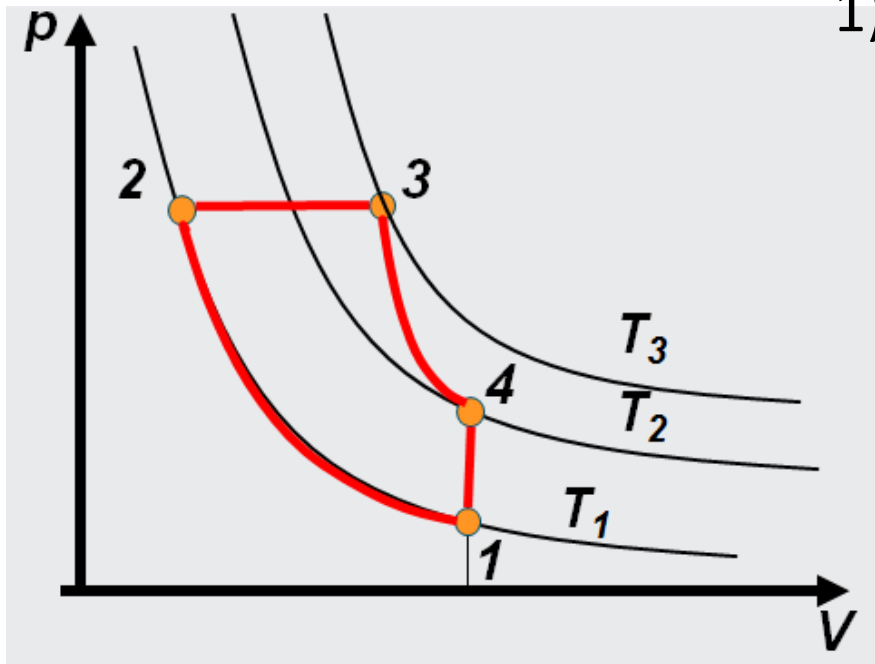
Adott mennyiségű gáz körfolyamatot ír le az $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ állapotokon keresztül az ábra szerint. A $3 \rightarrow 4$ folyamat adiabatikus.

Az ábra alapján jelöljük meg az egyetlen helyes választ a következő kérdéseknél:



Ellenőrző kérdések

1. Melyik állapotban legnagyobb a gáz hőmérséklete?



1) 1. állapotban

2) 2. állapotban

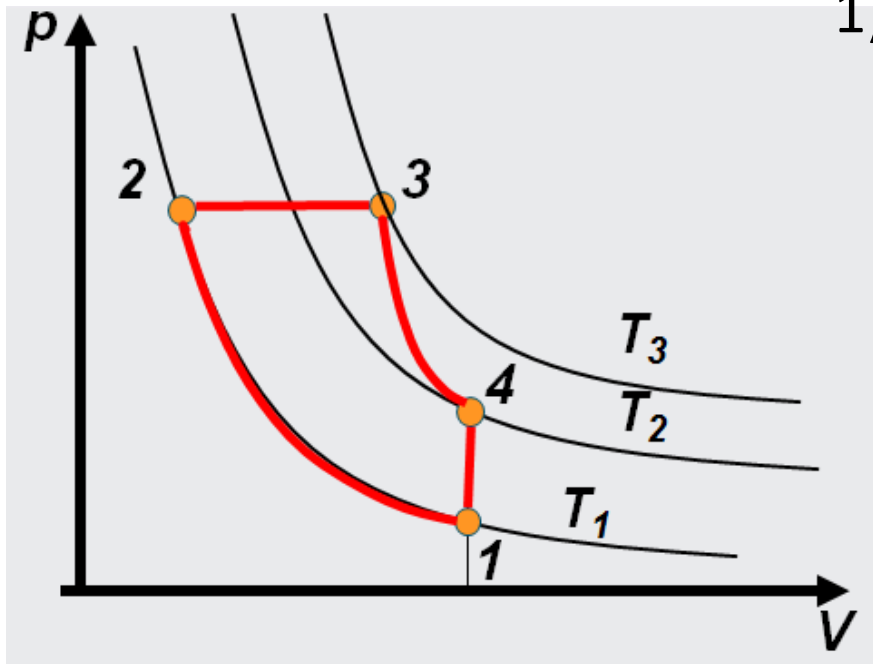
3) 3. állapotban

4) 4. állapotban



Ellenőrző kérdések

2. Mely állapotváltozások során nő a gáz belső energiája?



1) $1 \rightarrow 2$ és $2 \rightarrow 3$

2) $1 \rightarrow 2$

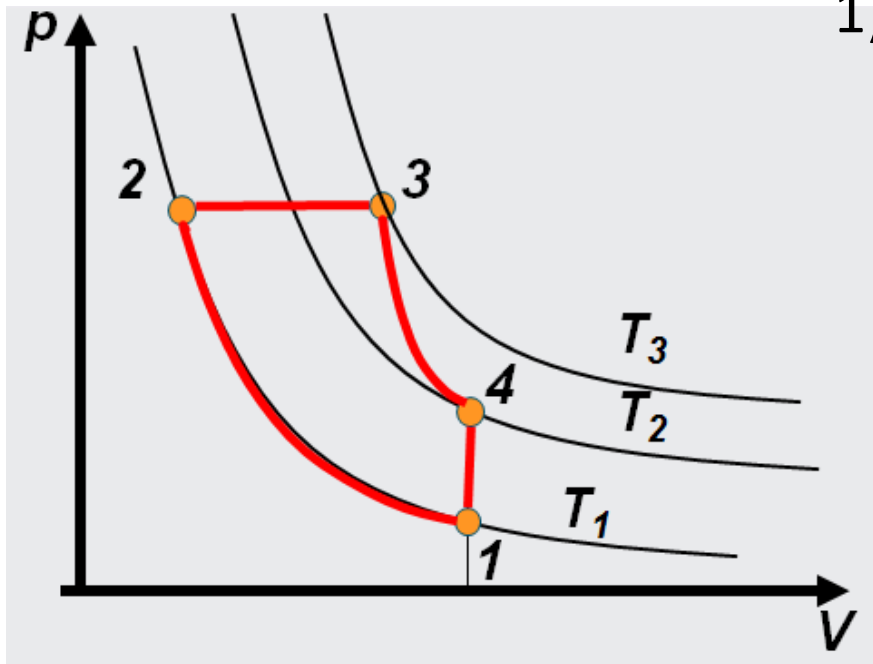
3) $2 \rightarrow 3$

4) $3 \rightarrow 4$ és $4 \rightarrow 1$



Ellenőrző kérdések

3. Mely állapotváltozások során vesz fel hőt a gáz környezetétől?



1) $1 \rightarrow 2$ és $2 \rightarrow 3$

2) $1 \rightarrow 2$

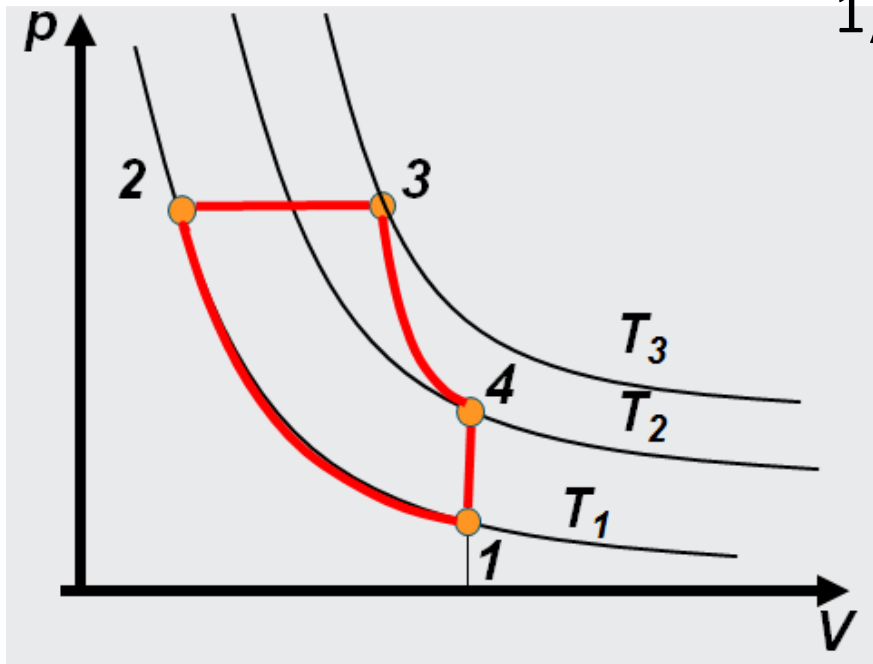
3) $2 \rightarrow 3$

4) $3 \rightarrow 4$ és $4 \rightarrow 1$



Ellenőrző kérdések

4. Mely állapotváltozások során ad le hőt a gáz környezetének?



1) $1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$

2) $1 \rightarrow 2$

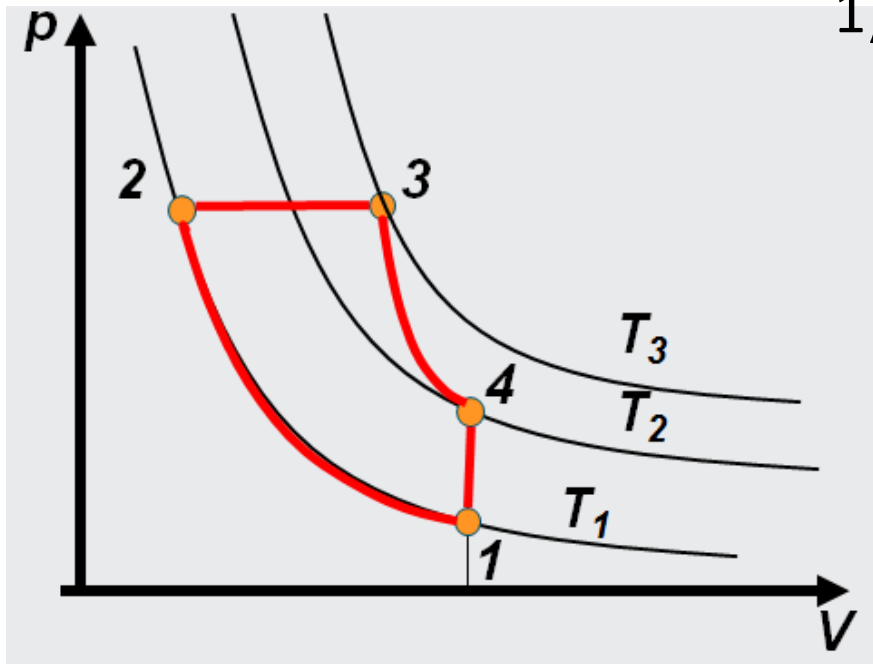
3) $3 \rightarrow 4$ és $4 \rightarrow 1$

4) $1 \rightarrow 2$ és $4 \rightarrow 1$



Ellenőrző kérdések

5. Mely állapotváltozások során végez a környezet munkát a gázon?



1) $1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$

2) $1 \rightarrow 2$

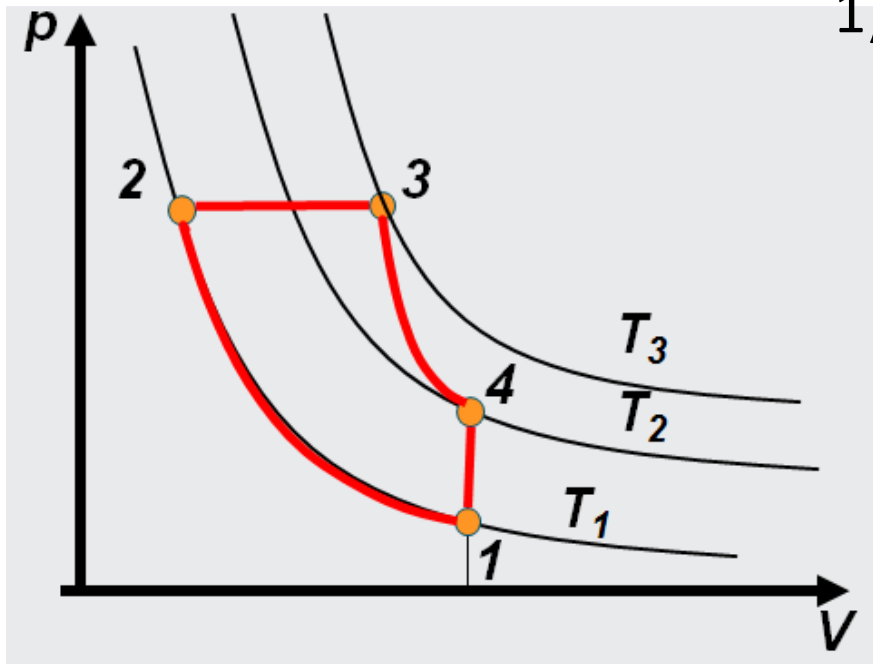
3) $3 \rightarrow 4$

4) $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$ és $3 \rightarrow 4$



Ellenőrző kérdések

6. Mely állapotváltozások során végez a gáz munkát környezetén?



1) $1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$

2) $2 \rightarrow 3$

3) $2 \rightarrow 3$ és $3 \rightarrow 4$

4) $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 3$ és $3 \rightarrow 4$



Ellenőrző kérdések

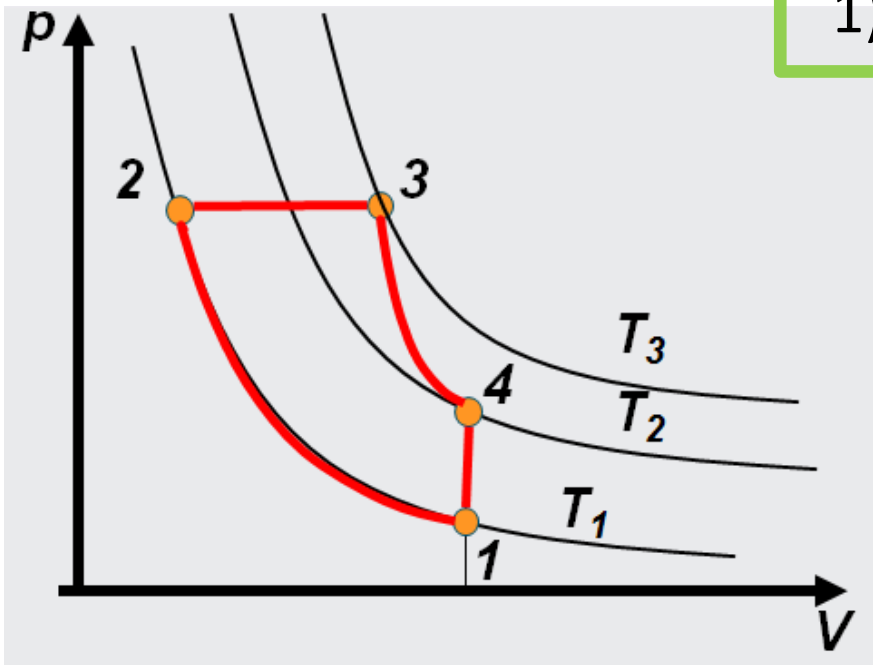
7. Melyek azok az állapotváltozások melyek során a végzett munka és a hőmennyiség ellentétes előjelű?

1) $1 \rightarrow 2$ és $2 \rightarrow 3$

2) $2 \rightarrow 3$

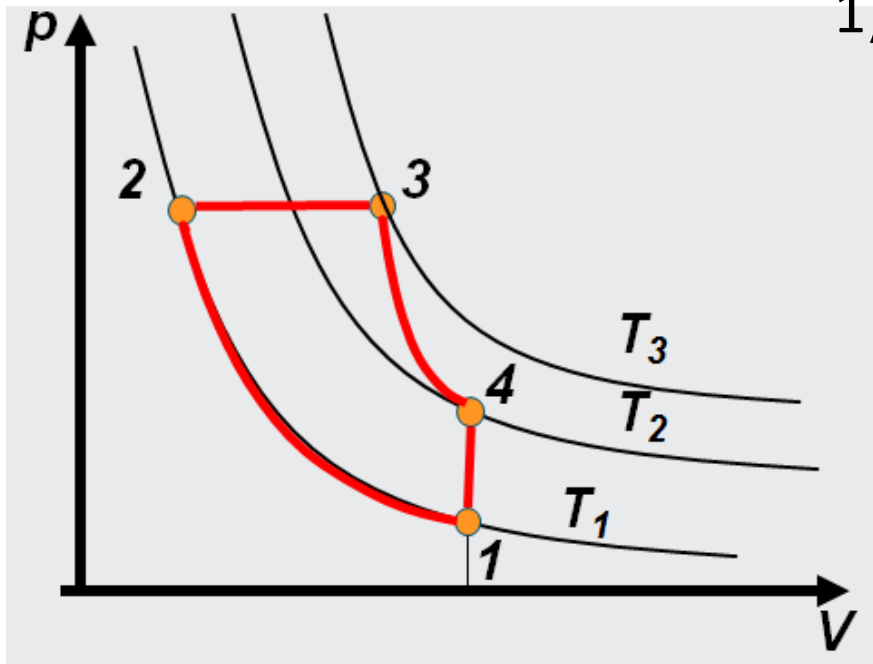
3) $3 \rightarrow 4$ és $4 \rightarrow 1$

4) $1 \rightarrow 2$



Ellenőrző kérdések

8. Melyek azok az állapotváltozások melyek során a belső energia megváltozása és a hőmennyiség azonos előjelű?



1) $1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$

2) $2 \rightarrow 3$

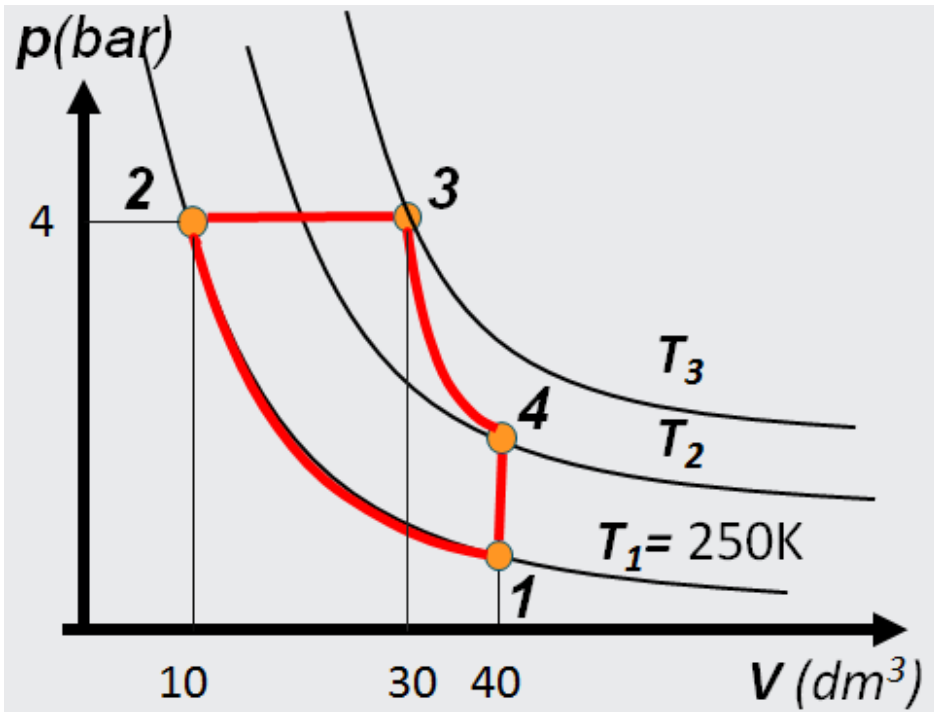
3) $2 \rightarrow 3$ és $4 \rightarrow 1$

4) $4 \rightarrow 1$



Szám példák

1. Adjuk meg a hiányzó állapotjelzőket, valamint a gázmennyiséget! A körfolyamatot kétatomos ideális gáz hajtja.



$$n = 1,93 \text{ mol}$$

$$P_1 = 1 \text{ bar} \quad V_1 = V_4 = 40 \text{ dm}^3$$

$$P_2 = p_3 = 4 \text{ bar} \quad V_2 = 10 \text{ dm}^3$$

$$P_4 = 2,67 \text{ bar} \quad V_3 = 30 \text{ dm}^3$$

$$T_1 = T_2 = 250 \text{ K}$$

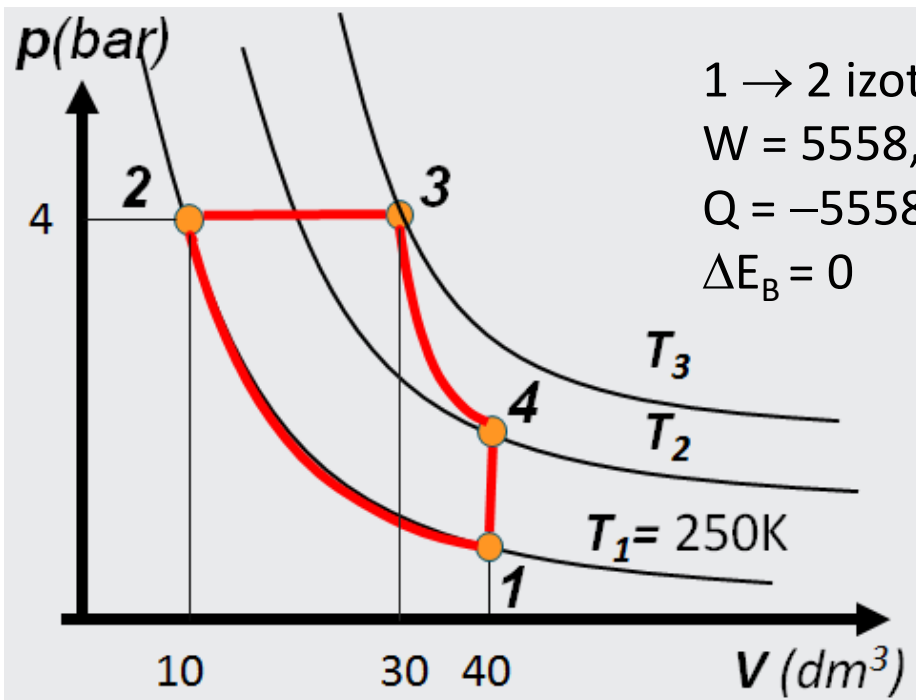
$$T_3 = 750 \text{ K}$$

$$T_4 = 668,48 \text{ K}$$



Szám példák

2. Adjuk meg a minden egyes részfolyamatra a végzett munkát, a belső energia változását valamint a hőmennyiséget! A körfolyamatot kétatomos ideális gáz hajtja végre.



1 → 2 izotermikus:

$$W = 5558,45 \text{ J}$$

$$Q = -5558,45 \text{ J}$$

$$\Delta E_B = 0$$

2 → 3 izobár:

$$W = -8000 \text{ J}$$

$$Q = 28000 \text{ J}$$

$$\Delta E_B = 20000 \text{ J}$$

3 → 4 adiabatikus:

$$W = -3268,61 \text{ J}$$

$$Q = 0$$

$$\Delta E_B = -3268,61 \text{ J}$$

4 → 1 izochor:

$$W = 0 \text{ J}$$

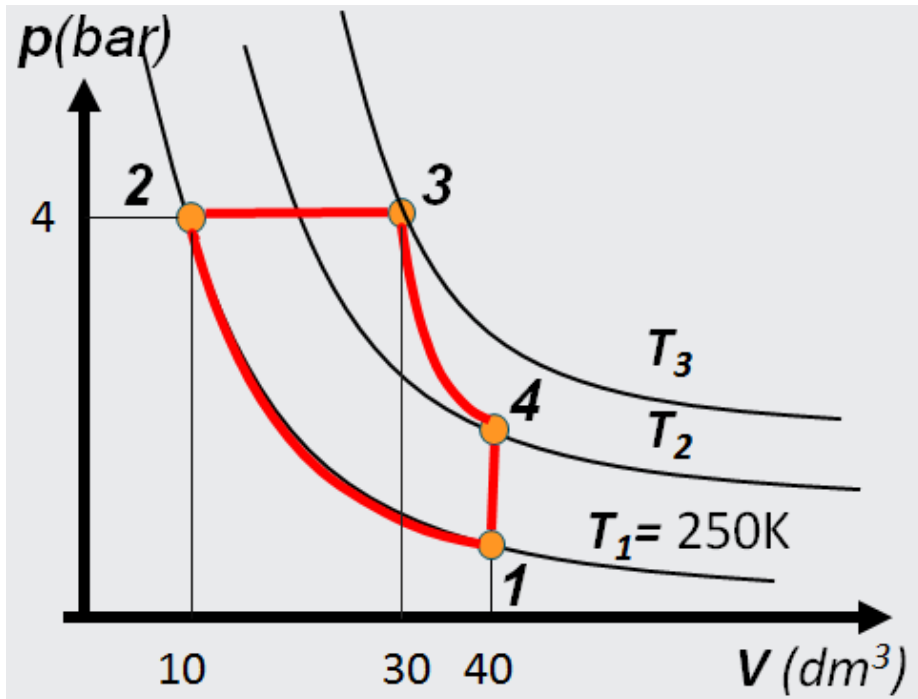
$$Q = -16700 \text{ J}$$

$$\Delta E_B = -16700 \text{ J}$$



Szám példák

3. Adjuk össze az előző feladatban kiszámított értékeket! Mekkora a belső energia-változások, hőmennyiségek, munkavégzések összege? Hogyan érvényesül az I. főtétel a teljes körfolyamatra?



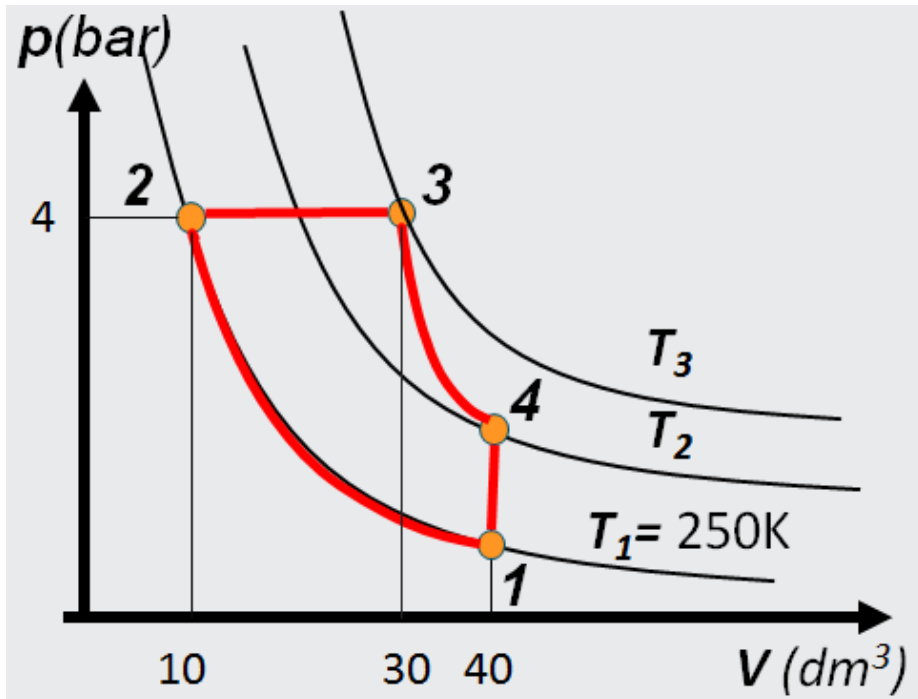
$$\Sigma W \approx -\Sigma Q$$

$$\Sigma \Delta E_B \approx 0$$



Szám példák

4. Ha egy hőerőgép ezt a körfolyamatot írná le, mekkora termikus hatásfokkal működne?



$$\eta = \frac{\sum W}{\sum Q_{\text{felvett}}} \approx 20,39\%$$



Felhasznált irodalom

Dr. Író Béla SZE-MTK: Hő és áramlástan elektronikus előadása

Walter Fendt Java animációi:

<http://titan.physx.u-szeged.hu/~serenyi/ph14hu/>

Animációk az ELTE sulifizika honlapjáról:

<http://sulifizika.elte.hu/html/m13.html>

