

Termodinamika (II)

Beroa eta Lehenengo Printzipioa

Oscar Ecenarro
oscar.ecenarro@ehu.es

Beroa

Definizioa

Tenperatura-diferentziagatik objektu batetik beste batera igarotzen den energia da.

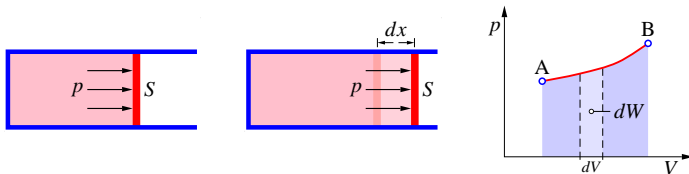
Bero-trukea eta haren motak

- Beroa **eroapenez**, **konbekzioz** edo **irradiazioz** heda daiteke.
- **Eroapenez**: Partikulaz partikula, euren talken bitartez.
- **Konbekzioz**: Jariakinen dentsitate-diferentziagatik, konbekzio-korronteen bitartez.
- **Irradiazioz**: Uhin elektromagnetikoen bitartez, **Stefan-Boltzmann**-en legearen arabera:

$$E = \varepsilon \sigma T^4 \quad \begin{cases} E = \text{azalera unitateko potentzia igorlea} \\ 0 \leq \varepsilon \leq 1 \\ \sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \end{cases}$$

Gas baten espantsioan egindako lana

- Gas bat pistoi higitok batez itxitako zilindro baten barruan.
- Pistoi kanpoko presioaren aurka higitzen da, barruko gasaren espantsio bati esker.



- Itzaleztatutako azalera da kanpoko presioaren aurka egindako lana.
- Hau da bidea:

$$dW = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{r} = pS \, dx = p \, dV \quad \rightarrow$$

$$W_{A \rightarrow B} = \oint_A^B p \, dV$$

- **Lana bidearen mendekoa da eta prozesua, kuasiestatikoa.**



Lana prozesu desberdinetan zehar

- **Prozesu isobaroa:** $p = \text{kte.}$

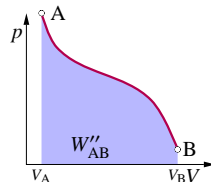
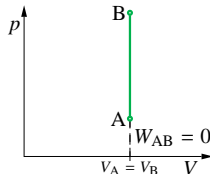
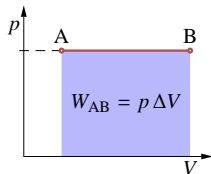
$$W_{AB} = \int_A^B p dV = \boxed{p(V_B - V_A) = W_{AB}}$$

- **Prozesu isokoraa:** $V = \text{kte.}$

$$W_{AB} = \int_A^B p dV = \boxed{0 = W_{AB}}$$

- **Prozesu isotermaa:** $T = \text{kte.}$

$$W_{AB} = \int_A^B p dV \stackrel{p=nRT/V}{\text{(egoera-ekuazioa)}} \boxed{nRT \ln(V_B/V_A) = W_{AB}}$$



Lana positiboa da kanpoaldearen aurka egiten bada

Barne-energia eta beroa

- **Barne-energia:** Sistema batek bere barnean gordetzen duen energia da (partikulen energia zinetikoa, elkarrakzio-energia potentziala, bibrazio-energia), berarekiko pausagunean dagoen erreferentzia-sistema batetik neurtua.

- **Barne-energia** (gas idealetan) sistemaren tenperaturaren mendekoa da:

$$U = C T$$

- **Barne-energia egoera-funtzioa da.**
- **Beroa:** Sistema biren artean euren tenperatura-diferentziagatik igarotzen den energia da (tenperatura handiena duenetik baxuena duenera).
- **Horma diatermanoak:** Kanpoaldearekin (edo beste sistema batekin) beroa igarotzen uzten dituzte, oreka termikora heldu arte.
- **Horma adiabatikoak:** Ez dute uzten kanpoaldearekin (edo beste sistema batekin) inolako bero-trukerik.
- Bi sistema horma diatermano baten bitartez ukipenean ezarriz gero, **oreka termikora** helduko dira.



Bero-ahalmena, bero espezifikoa eta kalorimetria

- Sistema bati energia termikoa ematen baldin bazaio (dQ), bere tenperatura igo egingo da (dT).
- Sistemak xurgatutako energia termikoaren neurria, beraren tenperatura-aldaketaren mendekoa izateaz gain, bere izaeraren mendekoa da ere:

$$dQ = C dT \quad \rightarrow \quad \boxed{\Delta Q = C \Delta T}$$

- C proportzionaltasun-konstanteari **bero-ahalmena** deritzo.
- **Bero espezifikoa**, masa unitateko bero-ahalmena da: $\boxed{c = C/m}$.

Kalorimetriaren legea

- Bi sistema ukipen diatermanoan ezartzen dira, kanpoaldearekiko horma adiabatiko batez isolatuta dagoelarik.
- Sistema osoan dugun bero-balantzea nulua da: sistema beroak hotzari ematen dion beroa, sistema hotzak berotik hartzen duenaren berdina da.

$$\Delta Q = \Delta Q_{bh} + \Delta Q_{hb} = 0 \quad \rightarrow$$

$$\boxed{\Delta Q_{bh} = -\Delta Q_{hb}}$$

Egoera-aldaketak eta bero-sorra

- Substantzia gehienak **hiru** agregazio-egoeretan agertzen dira: **solido**, **likido** eta **gas**.
- Egoera batetik bestera igarotzeko, substantziak beroa xurgatu edo eman egiten du, **temperatura konstante mantenduz**.
- Egoera-aldaketan, temperatura konstante mantenduko da prozesua oso osorik burutu arte.
- Baldintza normalduetan, egoera-aldaketaren tenperaturak finkoak dira: **fusio- (solidotze-)** eta **lurruntze- (likidotze-) puntuak**.
- Egoera-aldaketan xurgatzen edo ematen den beroaren neurria, egoera-aldaketaren **bero-sorraren** proportzionalak dira:

$$\Delta Q = m L \quad [m = \text{masa}, L = \text{bero-sorra}]$$

- **Fusio- (solidotze-)** eta **lurruntze- (likidotze-) bero sorrak**.



Termodinamikaren lehenengo printzipioa

Sistema termodinamiko batek jasaten duen barne-energiaren aldaketa A egoeratik B egoerara igarotzean, kanpotik xurgatutako beroa ken kanpoaren aurka egindako lanaren berdina da:

$$\Delta U = Q_{AB} - W_{AB}$$

- **Barne-energia: (ΔU).** Egoera-funtzioa da, eta bakarrik T tenperaturaren mende dago (gas idealetan).
- **Xurgatutako beroa: (Q_{AB}).** Prozesuaren arabera da, eta positiboa.
- **Kanpoaren aurka egindako lana: (W_{AB}).** Prozesuaren arabera da, eta positiboa.
- Termodinamikaren Lehenengo Printzipioa **energiaren kontserbazioaren teorema**ren beste adierazpena besterik ez da...
- ...baina oraingoan **beroa** ere kontuan hartu beharreko energiaren beste mota bat da.



1. Printzipioaren ondorioak: Gasen bero-ahalmenak

- Solido eta likidoetan, beroa xurgatzean sistemek jasaten dituzten espantsioak baztergarriak dira, eta presio konstanteko zein bolumen konstanteko bero-ahalmenak berdinak dira:

$$Q_V = C_V \Delta T \simeq C_p \Delta T = Q_p$$

- Gasetan, aldiz, tenperatura-aldaketa berdina lortzeko, bolumen konstanteko prozesuan lortuko da azkarrago, presio konstanteko prozesuan baino. Azken honetan, gasaren tenperatura igotzeaz gain, aldi berean espantsio bat jasango du eta, ondorioz, hoztu egingo da.
- **Bolumen konstanteko prozesuan**, lana $W_{V,AB} = 0$ da:

$$\Delta U = Q_{V,AB} - \cancel{W_{V,AB}} = Q_{V,AB} = C_V \Delta T$$

- **Presio konstanteko prozesuan**, lana $W_{p,AB} = p \Delta V > 0$ da:

$$\Delta U = Q_{p,AB} - W_{p,AB} = Q_{p,AB} - p \Delta V = C_p \Delta T - p \Delta V$$

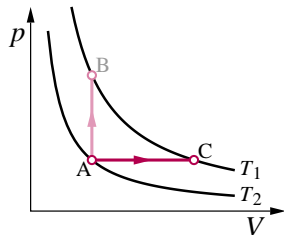
- Baina ΔT berdina denez kasu bietan, ondorio zuzen bat atera daiteke:

$$C_p > C_V$$



Gasen bero-ahalmenak eta Mayer-en erlazioa

- C_V eta C_p : bolumen eta presio konstanteko bero-ahalmenak.
- Hasieran, sistema A egoeran aurkitzen da, T_2 tenperaturan.
- $A \rightarrow B$ prozesuan ($V = \text{kte}$), $T_1 > T_2$ tenperaturara heltzen da.
- $A \rightarrow C$ prozesuan ($p = \text{kte}$), $T_1 > T_2$ tenperaturara berdina heltzen da.



- Prozesu bietan, barne-energiaren aldaketa berdina da:

$$\Delta U = C_V \Delta T = C_p \Delta T - p \Delta V = C_p \Delta T - nR \Delta T$$

- Hemendik, **Mayer-en erlazioa** lortuko dugu:

$$C_p = C_V + nR$$

- **Bero-ahalmen espezifiko molarren funtzioan** ($c_p = C_p/n$, $c_V = C_V/n$):

$$c_p = c_V + R$$



Gas monoatomiko eta poliatomikoen bero-ahalmenak (I)

- Barne-energia, gas idealen kasuan, soilik sistemaren tenperaturaren mendekoa da: $U = C T$ (eta $U = C_V T$ bolumen konstanteko prozesuan).
- Tenperatura, sistemako partikulen energia zinetikoaren neurria da.
- **Ekipartizio-teoremaren arabera, molekula bakoitzeko askatasun-gradu batekin loturiko batez besteko energia, $\frac{1}{2} k_B T$ da.**
- Gas idealetan, energia osoa energia zinetikoa da (ez bait dago partikulen arteko elkarrekzio bati loturiko energia potentzialik).
- **Barne-energia, N partikulaz osaturiko gas ideal baten kasuan, $U = N \cdot \frac{s}{2} k_B T$ izango da, s izanik sistema osatzen duen partikula bakoitzari lorutiko askatasun-graduen kopurua.**

• **Askatasun-graduak:**

s	Monoatomikoa	Biatomikoa
Translaziozkoak	3	3
Biraketazkoak	0	2
Bibraziozkoak	0	0 (2)
Guztira	3	5 (7)



Gas monoatomiko eta poliatomikoen bero-ahalmenak (II)

- Gas monoatomikoak**

$$U = \frac{3}{2}nRT = C_V T \quad \rightarrow \quad \boxed{C_V = \frac{3}{2}nR, \quad C_p = \frac{5}{2}nR}$$

- Gas biatomikoak**

$$\boxed{C_V = \frac{5}{2}nR, \quad C_p = \frac{7}{2}nR \quad (s = 5 \text{ bada})}$$

$$\boxed{C_V = \frac{7}{2}nR, \quad C_p = \frac{9}{2}nR \quad (s = 7 \text{ bada})}$$

Gas biatomikoaren kasuan, hidrogenoa edo oxigenoa bezala, ohiko tenperaturetan (ia 500°C-ko tenperaturaraino), ez dira aktibatzen bibraziozko askatasun-graduak, eta tar-te horretan $C_V = \frac{5}{2}nR$ eta $C_p = \frac{7}{2}nR$ izango dira.

Indize adiabatikoa, γ

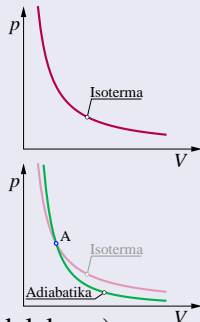
C_p eta C_V -ren arteko zatidurari deitzen zaio. Gas mono eta biatomikoetarako:

$$\boxed{\gamma_{\text{mono}} = \frac{5}{3} \qquad \gamma_{\text{bi}} = \frac{7}{5}}$$

Prozesu adiabatikoak eta politropikoak

Prozesu adiabatikoak

- **Prozesu adiabatikoetan, sistemak ez du berorik ez materiarik trukutzen ingurunearekin.**
- Gasen egoera-ekuaziotik ($pV = nRT$), prozesu isothermoetan ($T = \text{kte}$) hau beteko da:
 $pV = \text{kte}$, aldamenen dugun adierazpen grafikoarekin.
- Lehenengo printzipioa erabiliz eta $Q = 0$ delako baldintza ezarri ondoren, prozesu adiabatikoetan $pV^\gamma = \text{kte}$ betetzen dela frogatu daiteke, aldamenen dugun adierazpen grafikoarekin.
- Ikus daitekeenez, prozesuen ebakidura-puntuak (A delakoan) prozesu adiabatikoaren malda isothermoarenarena baino handiagoa da.
- **Lerro adiabatikoen ekuazioaz aparte, hurrengoak ere betetzen dira:**



$$pV^\gamma = \text{kte} \quad TV^{\gamma-1} = \text{kte} \quad Tp^{(1-\gamma)/\gamma} = \text{kte}$$