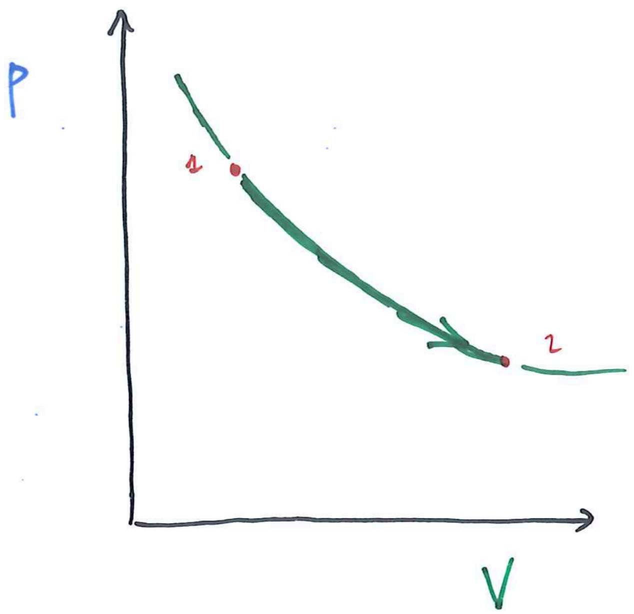
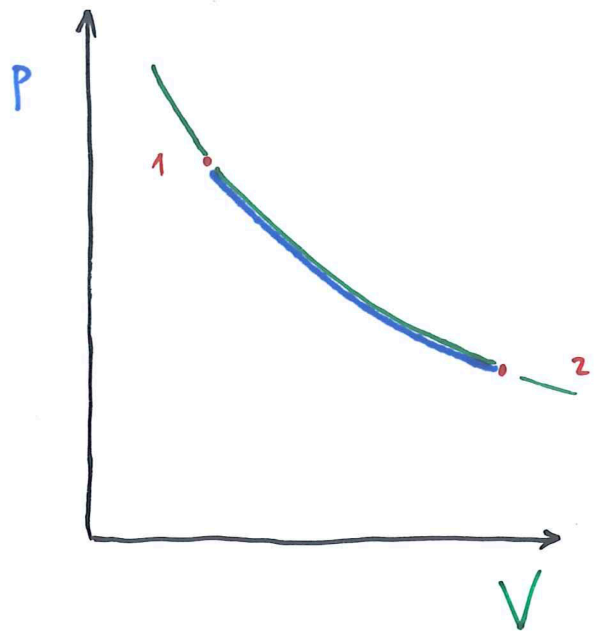
n (masa) konstanteko "gas ideala" (oraindik definitzeko)] 2 askatasun-graduko [mekanika / termikoa] sistema

$\boxed{pV = nRT}$ [egoera-ekuazioa (mekanikoa)] ezaguna den informazioa



$p = p(V)$



$p = p(V)$

$p = p(V)$ adierazpenak prozesua adierazten du

PROZESUARI BURUZKO informazioa dago

zer modutan eraman den i-tik f-ra

Kasu honetan $T = Kte$ egiten

ah! Kasualitatez, ezin erabil daiteke sistemari buruzko informazioa egoera-ekuazioan dagoena

prozesuaren adierazpena da: $p = \frac{Kte}{V}$

$p = p(V)$ adierazpena(k) egoera-ekuazioa da (adierazten du)

SISTEMARI BURUZKO informazioa dago

$pV = nRT \Rightarrow p = \frac{nRT}{V}$

baina kasu honetan $nRT = Kte$

↓ beraz sistema adierazten du adierazpenak

$p = \frac{K}{V}$

forman berdinak, edukian ezberdinak

TERMODINAMIKAREN LEHENENGO PRINTZIPIOA

3.1 – 3.6 * LANA

- LANAREN KONTZEPTU OROKORRA : BARNE-LANA
  KANPO-LANA : TERMODINAMIKAN
- LAN MEKANIKOA : SISTEMA HIDROSTATIKOA, SISTEMA BAKUNA
  - LANA
  - LANAREN ADIERAZPEN MATEMATIKOA : PROZESU INFINITESIMALA
    FINITOA
  - ZEINU-IRIZPIDEA
  - LANAREN ADIERAZPIDE GRAFIKOA
  - LANAREN EZAUGARRI OROKORRA
  - LANAREN BALIOA PROZESU KUASIESTATIKOETAN
  - LANA SISTEMA KONPOSATUETAN
- BESTELAKO LAN-MOTAK : ELEKTRIKOA, MAGNETIKOA, ELASTIKOA, ...
  - LAN OSOA SISTEMA KONPOSATUETAN
- LANA OROKORREAN (X, Y)
- ADIBIDEAK

3.7 – 3.11

3.13

4.1 – 4.4 * BEROA

4.6

4.7

4.10

- SARRERA : HIRU ADIBIDE
- SISTEMA/INGURUNEA BIKOTEA
- BEROAREN DEFINIZIO KALORIMETRIKOA
- LAN ADIABATIKOA : SISTEMAREN DESKRIPZIOA
  KONFIGURAZIO-ESPAZIOAREN DESKRIPZIOA
  EGOERA-ALDAKETAREN ADIBIDEA
  - 1. PRINTZIPIOA
  - BARNE-ENERGIA

* LEHENENENGO PRINTZIPIOAREN FORMULAZIO MATEMATIKOA
  - FINITOA / INFINITESIMALA
  - BEROAREN DEFINIZIO TERMODINAMIKOA
  - BERO-ITURRIA, FOKO TERMIKOA
  - KALKULUAK

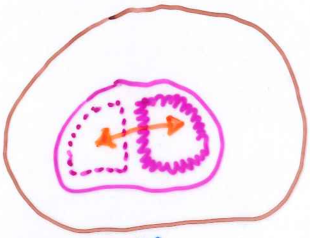
* BERO-AHALMENAK

LANA

* LANA :

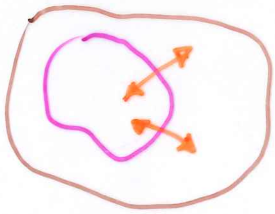
SISTEMA BAT INDAR BATEN ERAGINPEAN DESPLAZATUZ GERO, LANA
LANAREN BALIOA : BIDERKAKETA ESKALARRA

BARNE - LANA



(AKZIO/ERREAKZIO)!

KANPO - LANA



ALDAKETAK : SISTEMARI DAGOZKION PROPIETATEEN BIDEZ ADIERAZ DAITEZKE

* SISTEMA HIDROSTATIKOA (SISTEMA BAKUNA)
LAN MEKANIKOA (SOILIK, PRINTZIPIOZ)

INDARRA	: INDAR MEKANIKOA	BIDERKADURA ESKALARRA
DESPLAZAMENDUA	: DESPLAZAMENDU ARRUNTA	

$$\cancel{W = \vec{F} \cdot \vec{r}}$$

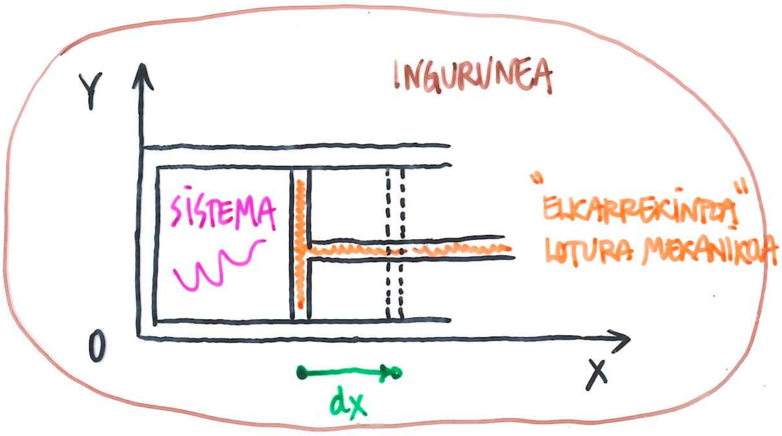
$$\boxed{\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{r}}$$

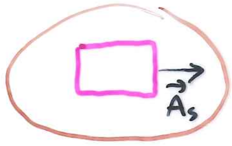
* IRUZKINAK :

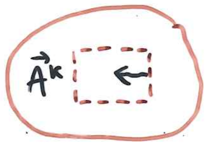
ZEINUA — SISTEMAK LANA EMANGO BADU : NEGATIBOA
SISTEMARI LANA EMATEZ GERO : POSITIBOA

δ — LANA EZ DA DIFERENTZIAL ZEHATZA (IBILBIDEAREKIKO MENPEKOTASUNA)
EZ DAGO SISTEMA BATI DAGOKION LANA
EZ DAGO SISTEMA BATI DAGOKION $W = W(X, Y, \ldots)$

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \frac{P}{\cancel{A}} A$$







$$F^k = p^k \cdot A \Rightarrow \vec{F}^k = p^k \vec{A}^k$$

$$\vec{F}^k + \vec{F}^s = \vec{0} \Rightarrow \boxed{\vec{F}^k = -\vec{F}^s}$$

MODULOARI DAGOKIONEZ BERDINAK DIRA

$$\delta W^k + \delta W^s = 0 \Rightarrow \boxed{\delta W^k = -\delta W^s}$$

$$dV^k + dV^s = 0 \Rightarrow \boxed{dV^k = -dV^s}$$

"SISTEMA OSOA" ISOLATURIK DAGO

$\boxed{\text{SISTEMA OSOA} = \text{SISTEMA} + \text{INGURUNEA}}$

$$\delta W^k = \vec{F}^k \cdot d\vec{x}^k = p^k \cdot \vec{A}^k \cdot d\vec{x}^k = -p^k A^k dx^k = -p^k \cdot V^k$$

$$\delta W^s = \vec{F}^s \cdot d\vec{x}^s = p^s \vec{A}^s \cdot d\vec{x}^s = -p^s A^s \cdot dx^s = -p^s V^s$$

MOTA BEREKO SISTEMAK

$$\delta W^s = -p^s dV^s$$

$$(\underline{\delta W^s = -p^k dV^s})$$

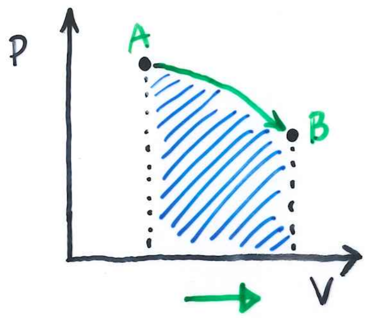
$$\int \delta W^s = \int -p^s dV^s$$

$$(\underline{W^s = \int -p^k dV^s})$$

IBILBIDEA EZAGUTU BEHARRA DAGO

$$\boxed{W^s = -\int P^s(P^k)\, dV^s}$$

$$\boxed{W = -\int P\, dV}\ *$$

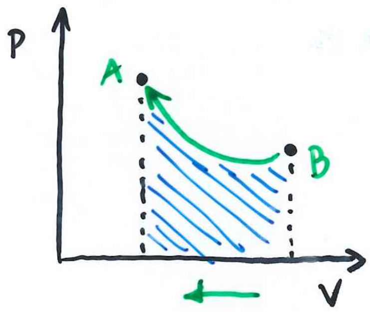


$dV > 0$

AZALERA > 0

LANA < 0

ESPANTSIOA

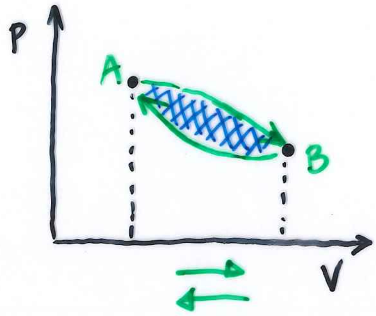


$dV < 0$

AZALERA < 0

LANA > 0

KONPRESIOA



$dV = 0$

AZALERA $\gtrless 0$

LANA $\lessgtr 0$

ZIKLOA

* $\underbrace{P = P(V)}_{\text{IBILBIDEA}}$

LANA OROKORREAN

LANA : (LEHENGO DEFINIZIO BERBERA, BAINA KASU HONETAN...)

X DESPLAZAMENDU OROKORTUA

Y INDAR OROKORTUA

SISTEMARI DAGOKION ASKATASUN-GRADU BERBERAREKIN LOTURIKO ALDAGAI KONJUGATUAK

ASKATASUN-GRADUA EDOZEIN IZAN DAITEKE

SISTEMAREN EZAUGARRIEI BEGIRATUZ

EZAUGARRI MEKANIKOAK →
EZAUGARRI ELEKTRIKOAK →
EZAUGARRI MAGNETIKOAK →
EZAUGARRI ELASTIKOAK →
⋮

} ASKATASUN-GRADU

mekanikoak
elektrikoak
magnetikoak
elastikoak

$$\boxed{\begin{aligned} \delta W &= \vec{Y} \cdot d\vec{X} \\ W &= \int \vec{Y} \cdot d\vec{X} \end{aligned}}$$

ASKATASUN-GRADU BAKOITZEKO

SISTEMA KONPOSATUA BADA : AZPISISTEMEK EKARPEN INDEPENDENTEA EMANGO DUTE

SISTEMAK ZENBAIT ASKATASUN-GRADU BADU, BERAUEK EKARPEN BANA EMANGO DUTE

LAN OSOA EKARPENEN (ATAL MODURA) BATURA IZANGO DA

$$\boxed{\begin{aligned} \delta W_{OSOA} &= \sum_{i=1}^{n} \delta W_i \\ &= \sum_{i=1}^{n} \vec{Y}_i \cdot d\vec{X}_i \end{aligned}}$$

i { AZPISISTEMA
ASKATASUN-GRADUA

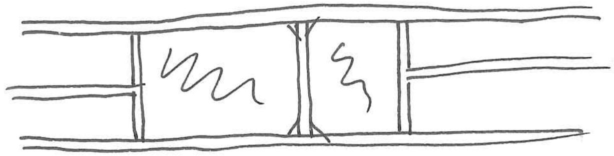
adibideak

* Sistema Konposatuak

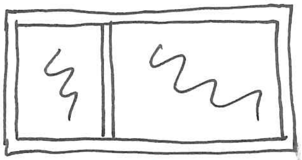
adibidea :- bi $\underbrace{\text{sistema bakunez}}_{\text{azpisistemak}}$ osatutako sistema konposatua

- ondoko eran adierazi daiteke grafikoki

(i)



(ii)



(a) Bakoitzaren kasuan, esan nola ezaugarituko duzun sistema konposatuaren egoera mekanikoa

(i) - sistema hidrostatiko bakoitzak kontaktua (kontaktu mekanikoa) du ingurunearekin bakoitza bere aldetik ; beraz, bakoitzak era independentean lana egin dezake

Hortaz, sistema konposatuak bi askatasun-gradu dauka
ezaugarri bakarreko bi sistema dituelako
(askatasun-gradu bakarreko)

Sistemaren deskribapen MEKANIKOA egiteko $\boxed{(P,V)\ ;\ (P',V')}$

(ii) - Kasu honetan den-dena "barnean" geratuko da
sistema konposatua definitu
azpisistemen artean, aztertu beharreko sistema zein da

(b) - eta lehenengo kasuan, bereizte-horma diatermanoa bada, zer?
Kasu honetan galdera berdin antzekoa da ; orain, egoera termikoa ere adierazi behar da

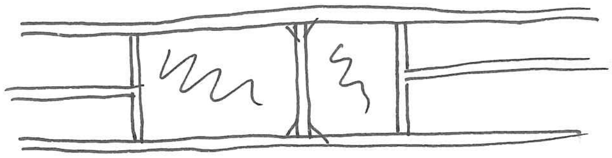
(c) - haniera-hanieratik galdera bakarra egin !!

* Sistema Konposatuak

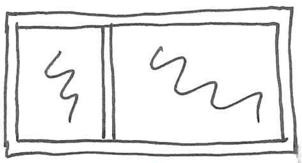
adibidea : - bi $\underbrace{\text{sistema bakunez}}_{\text{azpisistemak}}$ osatutako sistema konposatua

- ondoko eran adierazi daiteke grafikoki

(i)



(ii)



(a) Bakoitzaren kasuan, esan nola ezaugarrituko dugun sistema konposatuaren egoera mekanikoa

(i) - sistema hidrostatiko bakoitzak kontaktua (kontaktu mekanikoa) du ingurunearekin bakoitza bere aldetik; beraz, bakoitzak era independentean lana egin dezake

Hortaz, sistema konposatuak bi askatasun-gradu dauzka ezaugarri bakarreko bi sistema dituelako (askatasun-gradu bakarreko)

Sistemaren deskribapen MEKANIKOA egiteko $\boxed{(P,V)\ ;\ (P',V')}$

(ii) - Kasu honetan den-dena "barnean" gertatuko da sistema konposatua definitu azpisistemen artean, aztertu beharreko sistema zein da

(b) - eta lehenengo kasuan, bereizte-horma diatermanoa bada, zer?

Kasu honetan galdera berdin antzekoa da; orain, egoera termikoa ere adierazi behar da

(c) - banaka-banakatik galdera bakarra egin !!

* Bestelako sistemetan lanaren definizioa

Definizio orokorra aplikatuz :

$$\delta W = Y \cdot dX \qquad (X, Y)$$

askatasun-gradua

sistemarekin loturiko eragingaia

eragingaiarekin loturiko aldagaia (aldagai-bikotea) (X, Y)

- aldagai estentsiboa : askatasun-gradua bera deskribatuko duena X
- aldagai intentsiboa : aldagai horrekin loturiko momentu konjugatua Y

* Eragingai-motak

- mekanikoak :	(X, F)	(V, P)	$\Rightarrow \delta W_m = -P\,dV$
- termikoak :		(S, T)	$\Rightarrow \delta W_t = T\,dS$
- kimikoak :		(N, μ)	$\Rightarrow \delta W_k = \mu\,dN$
- elektrikoak :		(P, E)	$\Rightarrow \delta W_{el} = E\,dP$
- magnetikoak :		(M, H)	$\Rightarrow \delta W_{mag} = H\,dM$
- elastikoak :		(l, τ)	$\Rightarrow \delta W_{el} = \tau\,dl$

* Sistemaren energia ("energia-edukia") "aldatzeko" modua eragingaien (askatasun-graduen) araberakoa da

* Bestelako sistemetan lanaren definizioa

Definizio orokorra aplikatuz :

$$\delta W = Y \cdot dX \qquad (X,Y)$$

askatasun-gradua

ingurunearekin loturiko ezaugarria

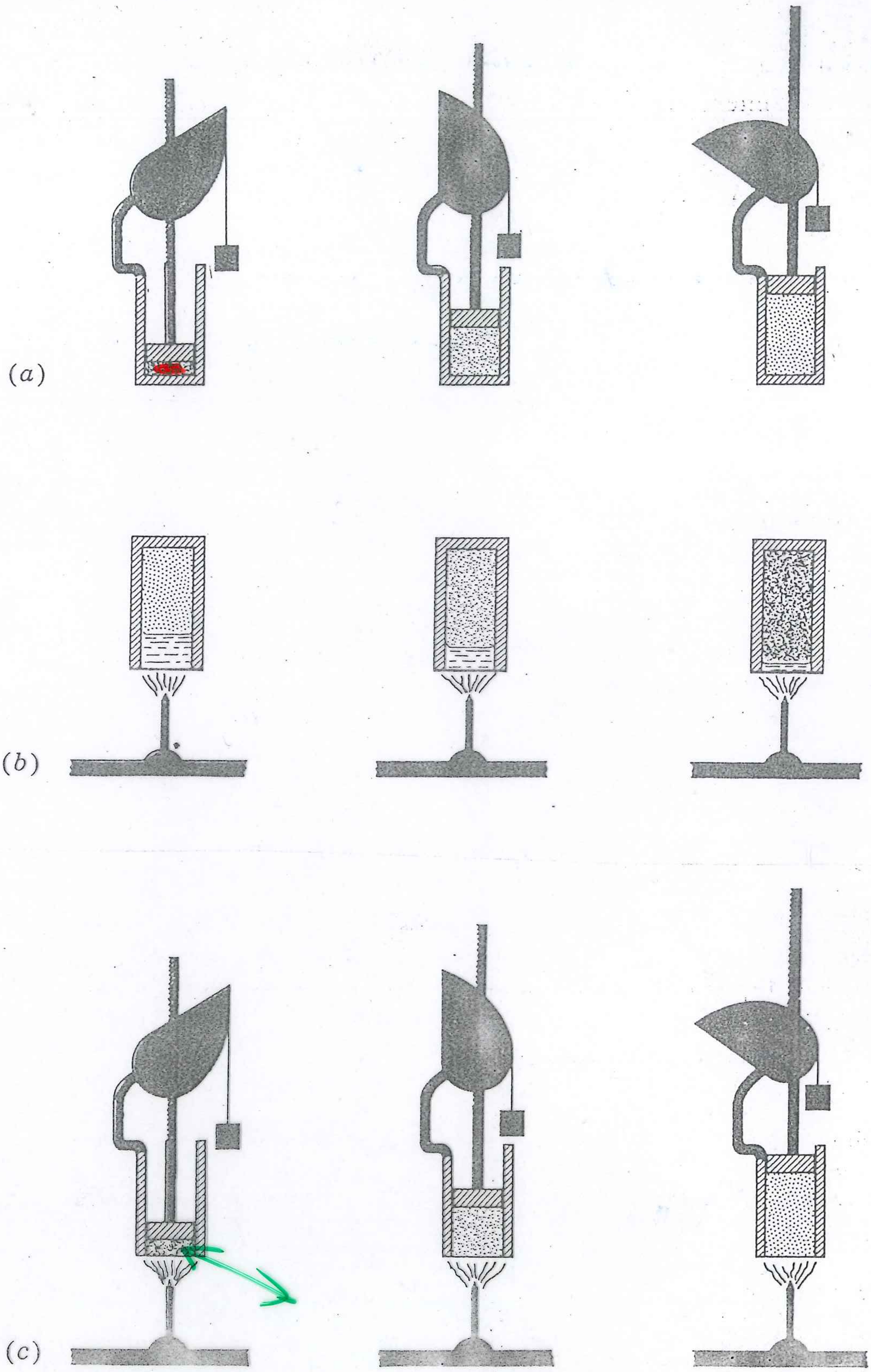
ezaugarriarekin loturiko aldagaia (aldagai-bikotea) (X,Y)

- aldagai estentsiboa : askatasun-gradua bera deskribatuko duena X
- aldagai intentsiboa : aldagai horrekin loturiko momentu konjugatua Y

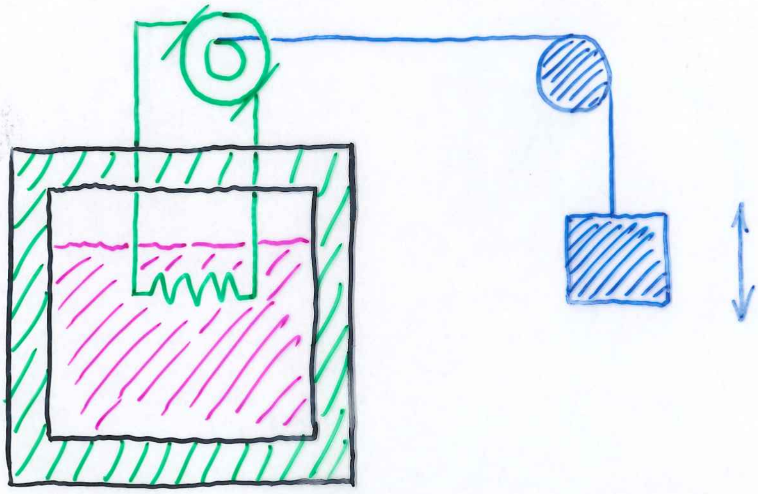
* Ezaugarri-motak

- mekanikoak :	(x, F)	(V, P)	$\Rightarrow$	$\delta W_m = -P\,dV$
- termikoak :		(S, T)	$\Rightarrow$	$\delta W_t = T\,dS$
- kimikoak :		(N, μ)	$\Rightarrow$	$\delta W_k = \mu\,dN$
- elektrikoak :		(P, E)	$\Rightarrow$	$\delta W_{ee} = E\,dP$
- magnetikoak :		(M, H)	$\Rightarrow$	$\delta W_{mag} = H\,dM$
- elastikoak :		(l, τ)	$\Rightarrow$	$\delta W_{el} = \tau\,dl$

* Sistemaren energia ("energia-edukia") "aldatzeko" modua ezaugarrien (askatasun-graduen) araberakoa da


(a)
(b)
(c)

OINARRIZKO BEREIZKETA : SISTEMA / INGURUNEA BIKOTEA



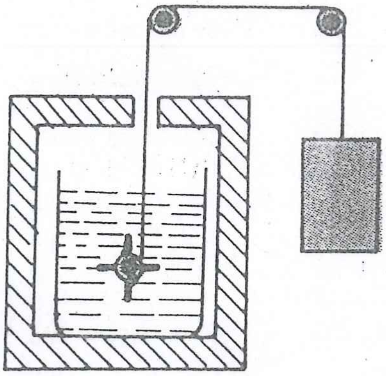
denon esperientzia da : 2 sistema temperatura ezberdinetan...

BEROAREN DEFINIZIO KALORIMETRIKOA

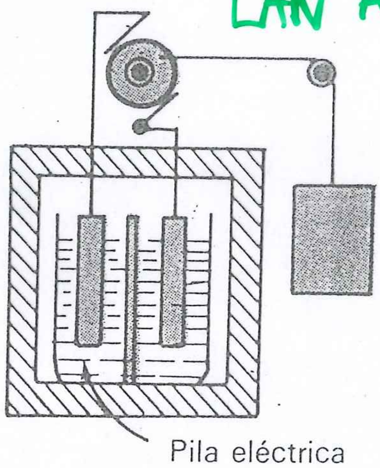
BI SISTEMEN ARTEKO TENPERATURA-DIFERENTZIARI ESKER (SOILIK) BATETIK BESTERA TRANSFERITUTAKO HORI.

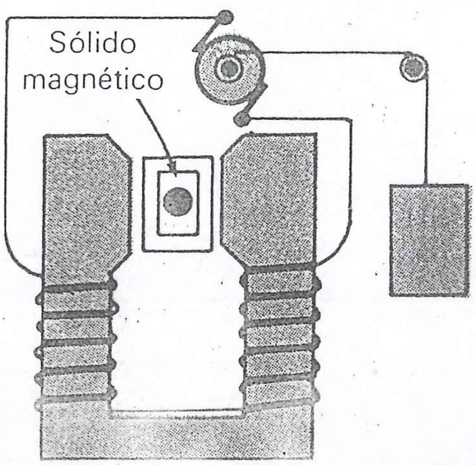
* Modu ezberdinetan artu daiteke bikotea:
- zein da sistema ?
- zein da ingurunea ?

ESPERIENTZIAREN ARABERA...
POSIBLEA DA "MODU ADIABATIKOAN" SOILIK
EDOZEIN SISTEMAREN EGOERA ALDATZEA

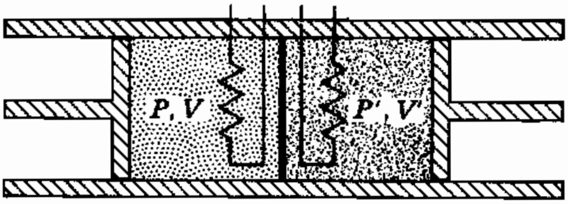


SISTEMA HIDROSTATIKOAREN* KASUAN:
LANA (LAN MEKANIKOA) BAINO EZ EGINEZ
LAN ADIABATIKOA

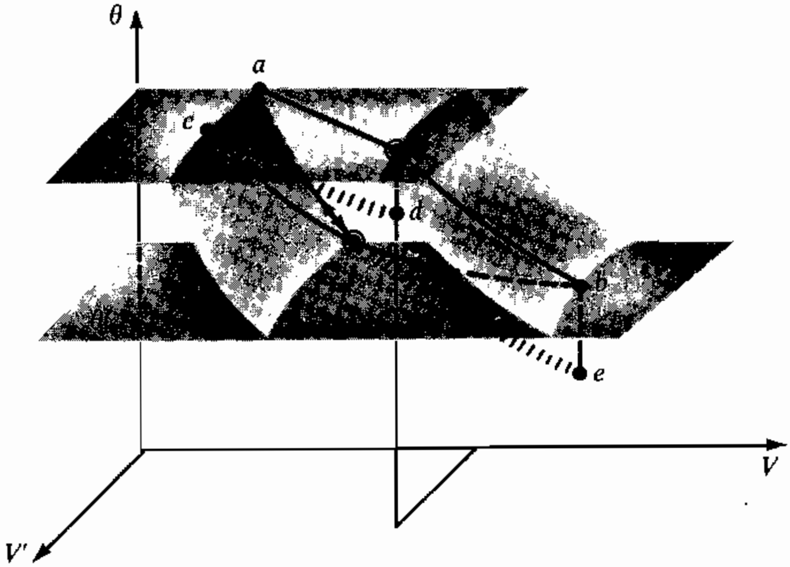




*MASA KONSTANTEKOA



(a)



(b)

Figura 4.4. (a) Sistema compuesto sobre el cual puede realizarse trabajo adiabátieo de dos formas. (b) Los estados i y f están unidos por diferentes recorridos adiabátieos.

Como consideramos en el Capítulo 3, las coordenadas independientes más adecuadas de este sistema son θ, la temperatura, y los dos volúmenes V y V'. Los estados i y f del sistema, representados en la Figura 4.4*b* sobre un diagrama $\theta VV'$, se han seleccionado arbitrariamente, y es simple coincidencia que f corresponda a una temperatura mayor que i. En la trayectoria *iaf*, la curva de trazos *ia* representa una compresión adiabática cuasi-estática sin rozamiento efectuada con uno de los pistones. Se ha dibujado sobre una superficie que corta a los dos planos isotérmicos. En la Sección 8.7 se demostrá la existencia de tal superficie adiabática reversible, pero ahora debe observarse que, puesto que *ia* es efectuada sólo mediante un movimiento lento y sin rozamiento del pistón, puede ser realizada en *cualquiera* de los sentidos *ia* o *ai*. La curva *af* representa la disipación adiabática de energía eléctrica asociada a movimientos del pistón tales que mantienen constante la temperatura del sistema. En otras palabras, ¡la línea *af* representa un proceso que es *a la vez* adiabático e isotérmico! Sin embargo, existe una diferencia importante entre este proceso y el anterior: el proceso *af sólo* puede tener

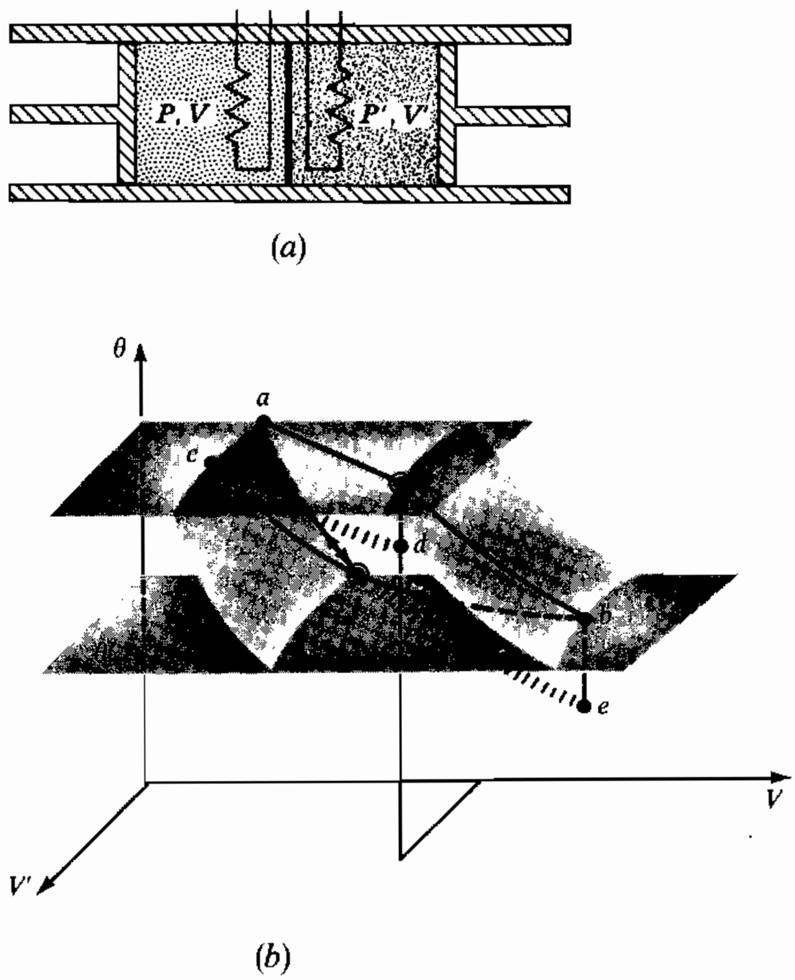


Figura 4.4. (*a*) Sistema compuesto sobre el cual puede realizarse trabajo adiabático de dos formas. (*b*) Los estados *i* y *f* están unidos por diferentes recorridos adiabáticos.

Como consideramos en el Capítulo 3, las coordenadas independientes más adecuadas de este sistema son θ, la temperatura, y los dos volúmenes V y V'. Los estados i y f del sistema, representados en la Figura 4.4*b* sobre un diagrama $\theta VV'$, se han seleccionado arbitrariamente, y es simple coincidencia que f corresponda a una temperatura mayor que i. En la trayectoria *iaf*, la curva de trazos *ia* representa una compresión adiabática cuasi-estática sin rozamiento efectuada con uno de los pistones. Se ha dibujado sobre una superficie que corta a los dos planos isotérmicos. En la Sección 8.7 se demostrá la existencia de tal superficie adiabática reversible, pero ahora debe observarse que, puesto que *ia* es efectuada sólo mediante un movimiento lento y sin rozamiento del pistón, puede ser realizada en *cualquiera* de los sentidos *ia* o *ai*. La curva *af* representa la disipación adiabática de energía eléctrica asociada a movimientos del pistón tales que mantienen constante la temperatura del sistema. En otras palabras, ¡la línea *af* representa un proceso que es *a la vez* adiabático e isotérmico! Sin embargo, existe una diferencia importante entre este proceso y el anterior: el proceso *af sólo* puede tener lugar en un sentido. Se puede suministrar energía mediante el paso de corriente por una resistencia, pero no es posible extraerla.

La trayectoria *ibf* representa otra forma adiabática de modificar el estado del sistema de *i* a *f*. La curva *ib* representa el proceso de disipación realizado con resistencias, y la curva *bf* corresponde al proceso cuasi-estático conseguido usando sólo pistones sin rozamiento. Como antes, *bf* puede efectuarse en cualquier sentido, pero *ib* sólo en uno.

Desde luego existen otras muchas trayectorias adiabáticas que unen *if*, tales como *icdf*, en que el proceso *cd* es una expansión no cuasi-estática realizada mediante el movimiento rápido hacia fuera de uno o ambos pistones, y el proceso *df* se efectúa manteniendo inmóviles ambos pistones y disipando energía eléctrica en una o en ambas resistencias. Otra trayectoria adiabática posible consiste en el movimiento rápido hacia afuera de los pistones, provocando una expansión *ie* no cuasi-estática, seguida por una disipación isócora *eb* de energía eléctrica, y de una compresión *bf* cuasi-estática. Aunque nunca se han realizado medidas precisas del trabajo adiabático según diferentes trayectorias entre los dos mismos estados, las experiencias indirectas indican que el trabajo adiabático es el mismo a lo largo de tales trayectorias. La generalización de este resultado constituye el *primer principio de la termodinámica:*

Si un sistema es obligado a pasar de un estado inicial a otro final, utilizando solamente transformaciones adiabáticas, el trabajo realizado es el mismo para todas las trayectorias adiabáticas que unen los dos estados.

Siempre que se encuentra que una magnitud depende sólo de los estados inicial y final y no de la trayectoria que los une, puede deducirse una conclusión importante. El lector recordará de mecánica que al desplazar un objeto de un punto a otro en un campo gravitatorio, en ausencia de rozamiento el trabajo realizado depende sólo de las posiciones de ambos puntos y no de la trayectoria recorrida por el cuerpo. Se dedujo de ello que existe una función de las coordenadas espaciales del cuerpo cuyo valor final menos su valor inicial es igual al trabajo realizado. Esta función se denominó *función energía potencial*. De forma similar, el trabajo realizado al desplazar una carga eléctrica de un punto a otro en un campo eléctrico es también independiente de la trayectoria y, por tanto, es posible expresarlo como el valor de una función (la función potencial eléctrico) en su estado final menos su valor en el estado inicial. Del primer principio de la termodinámica se deduce, por consiguiente, que existe una función de las coordenadas de un sistema termodinámico cuyo valor en el estado final menos su valor en el estado inicial es igual al trabajo adiabático que se realiza al pasar de un estado a otro. Esta función se denomina *función energía interna.*

Representando por U la función energía interna, se tiene

$$\boxed{W_{i\to f}(\text{adiabático}) = U_f - U_i,} \tag{4-1}$$

donde los signos son tales que, si se realiza trabajo positivo sobre el sistema, aumenta su energía.

lugar en un sentido. Se puede suministrar energía mediante el paso de corriente por una resistencia, pero no es posible extraerla.

La trayectoria *ibf* representa otra forma adiabática de modificar el estado del sistema de *i* a *f*. La curva *ib* representa el proceso de disipación realizado con resistencias, y la curva *bf* corresponde al proceso cuasi-estático conseguido usando sólo pistones sin rozamiento. Como antes, *bf* puede efectuarse en cualquier sentido, pero *ib* sólo en uno.

Desde luego existen otras muchas trayectorias adiabáticas que unen *if*, tales como *icdf*, en que el proceso *cd* es una expansión no cuasi-estática realizada mediante el movimiento rápido hacia fuera de uno o ambos pistones, y el proceso *df* se efectúa manteniendo inmóviles ambos pistones y disipando energía eléctrica en una o en ambas resistencias. Otra trayectoria adiabática posible consiste en el movimiento rápido hacia afuera de los pistones, provocando una expansión *ie* no cuasi-estática, seguida por una disipación isócora *eb* de energía eléctrica, y de una compresión *bf* cuasi-estática. Aunque nunca se han realizado medidas precisas del trabajo adiabático según diferentes trayectorias entre los dos mismos estados, las experiencias indirectas indican que el trabajo adiabático es el mismo a lo largo de tales trayectorias. La generalización de este resultado constituye el *primer principio de la termodinámica:*

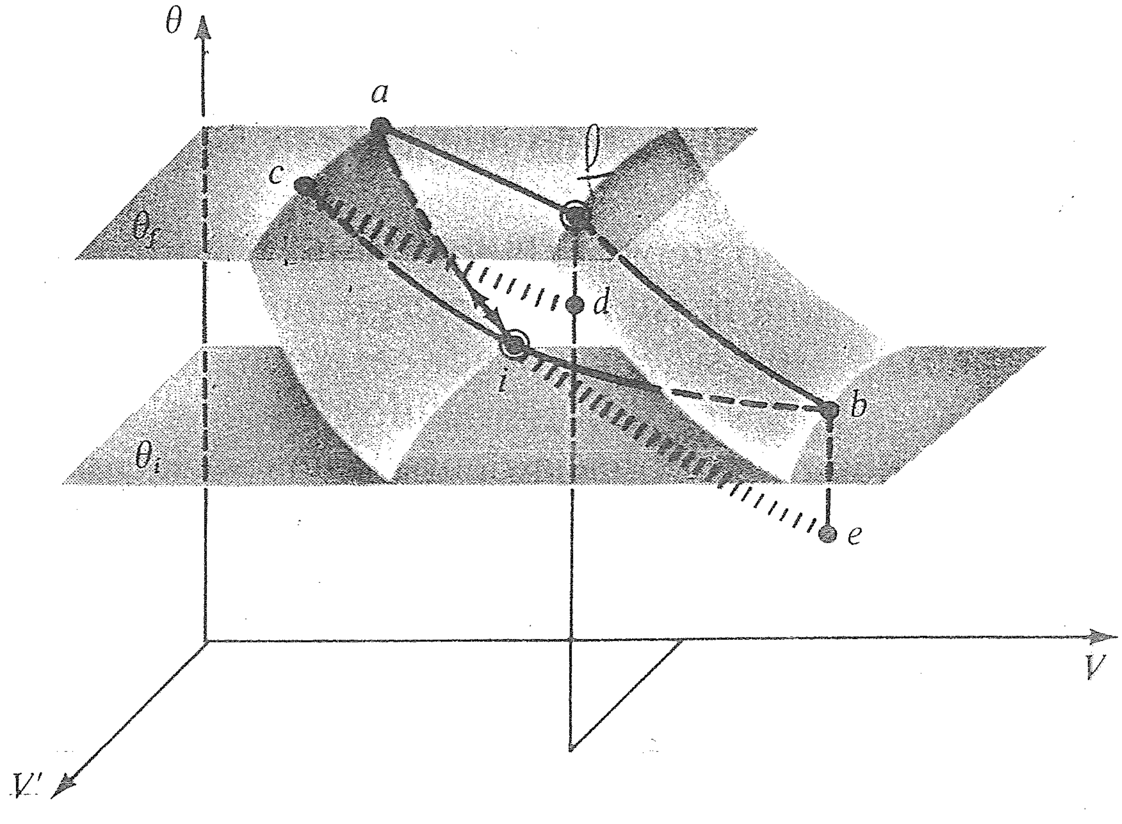
Si un sistema es obligado a pasar de un estado inicial a otro final, utilizando solamente transformaciones adiabáticas, el trabajo realizado es el mismo para todas las trayectorias adiabáticas que unen los dos estados.

Siempre que se encuentra que una magnitud depende sólo de los estados inicial y final y no de la trayectoria que los une, puede deducirse una conclusión importante. El lector recordará de mecánica que al desplazar un objeto de un punto a otro en un campo gravitatorio, en ausencia de rozamiento el trabajo realizado depende sólo de las posiciones de ambos puntos y no de la trayectoria recorrida por el cuerpo. Se dedujo de ello que existe una función de las coordenadas espaciales del cuerpo cuyo valor final menos su valor inicial es igual al trabajo realizado. Esta función se denominó *función energía potencial.* De forma similar, el trabajo realizado al desplazar una carga eléctrica de un punto a otro en un campo eléctrico es también independiente de la trayectoria y, por tanto, es posible expresarlo como el valor de una función (la función potencial eléctrico) en su estado final menos su valor en el estado inicial. Del primer principio de la termodinámica se deduce, por consiguiente, que existe una función de las coordenadas de un sistema termodinámico cuyo valor en el estado final menos su valor en el estado inicial es igual al trabajo adiabático que se realiza al pasar de un estado a otro. Esta función se denomina *función energía interna.*

Representando por U la función energía interna, se tiene

$$\boxed{W_{i\to f}(\text{adiabático}) = U_f - U_i,} \tag{4-1}$$

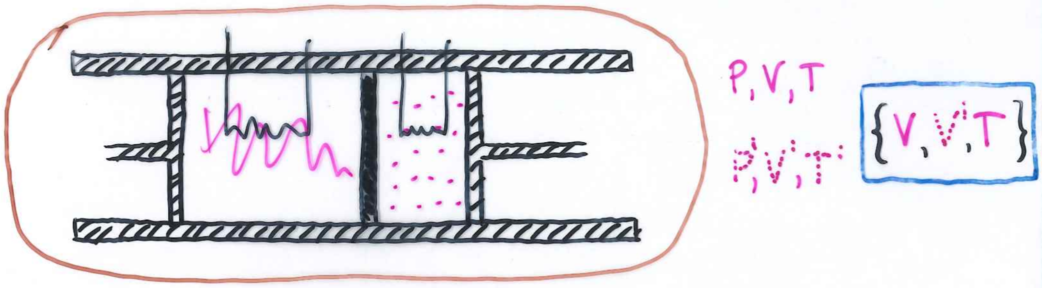
donde los signos son tales que, si se realiza trabajo positivo sobre el sistema, aumenta su energía.



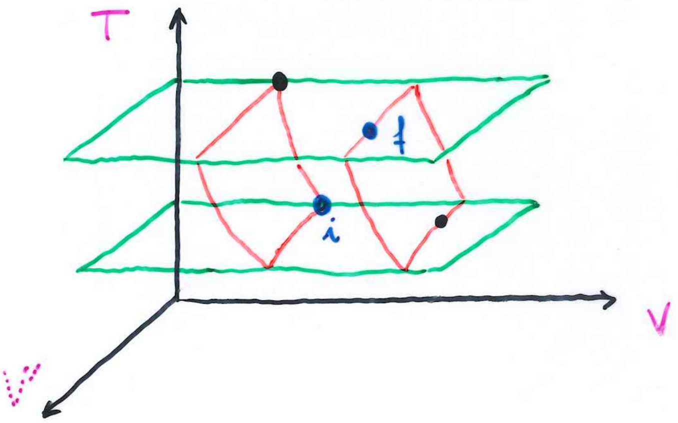
θ
a
c
f
θ_f
d
i
b
θ_i
e
V
V'

LAN ADIABATIKOA

* ESPERIENTZIAREN ARABERA: LAN ADIABATIKOA SOILIK EGIN DAITEKE



SISTEMA KONPOSATUA



IKUSITAKOAREN OROKORPENA: LEHENENGO PRINTZIPIOAREN ENUNTZIATUA

$$\boxed{W^{ad}_{i\text{-}f} = U_f - U_i}$$ BARNE-ENERGIA

BI GAUZA ALDIBEREAN: (1)- ENERGIAREN KONTSERBAZIOAREN PRINTZIPIOA

(2)- EDOZEIN SISTEMARI DAGOKION BARNE-ENERGIA FUNTZIOA ∃ DIFERENTZIAL ZEATZA

$$\boxed{U = U(X, Y, Z, \ldots)}$$

barne-energiaren adierazpen diferentziala

* Iruzkina:
sistema bakunean
(P, V, T ; n)
(P, V, T)
(P, V) (V, T) (P, T)
$\boxed{U = U(\{,\}); dU}$

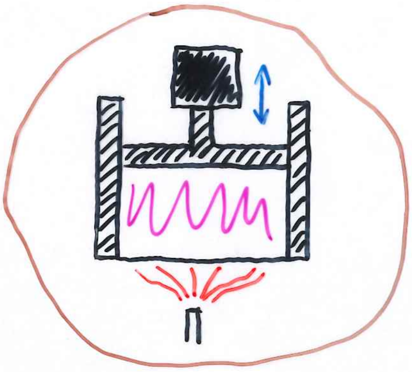
LEHENENGO PRINTZIPIOAREN FORMULAZIO MATEMATIKOA

BI SAIAKUNTZA: HASIERAKO, BUKAERAKO OREKA-EGOERA BERBERAK LOTUKO DITUZTENAK

(1)- ERA ADIABATIKOAN : LANA NEURTU (LAN ADIABATIKOA) $\Rightarrow \Delta U$

(2)- ERA EZ-ADIABATIKOAN : LANA NEURTU (LAN EZ-ADIABATIKOA) $\Rightarrow \Delta U$

BAINA, $\boxed{\text{LAN ADIABATIKOA} \neq \text{LAN EZ-ADIABATIKOA}}$



ENERGIAREN KONTSERBAZIOAREN PRINTZIPIOAREKIN BATERAGARRIA IZAN DADIN

$\Downarrow$

ENERGIA ERA EZ-MEKANIKOAN TRANSFERITU EGIN DA

JATORRIA: SISTEMA/INGURUNEAREN ARTEKO TENPERATURA-DIFERENTZIA, SOILIK

TRANSFERITUTAKO ENERGIA BERAU BEROA

BEROAREN DEFINIZIO TERMODINAMIKOA

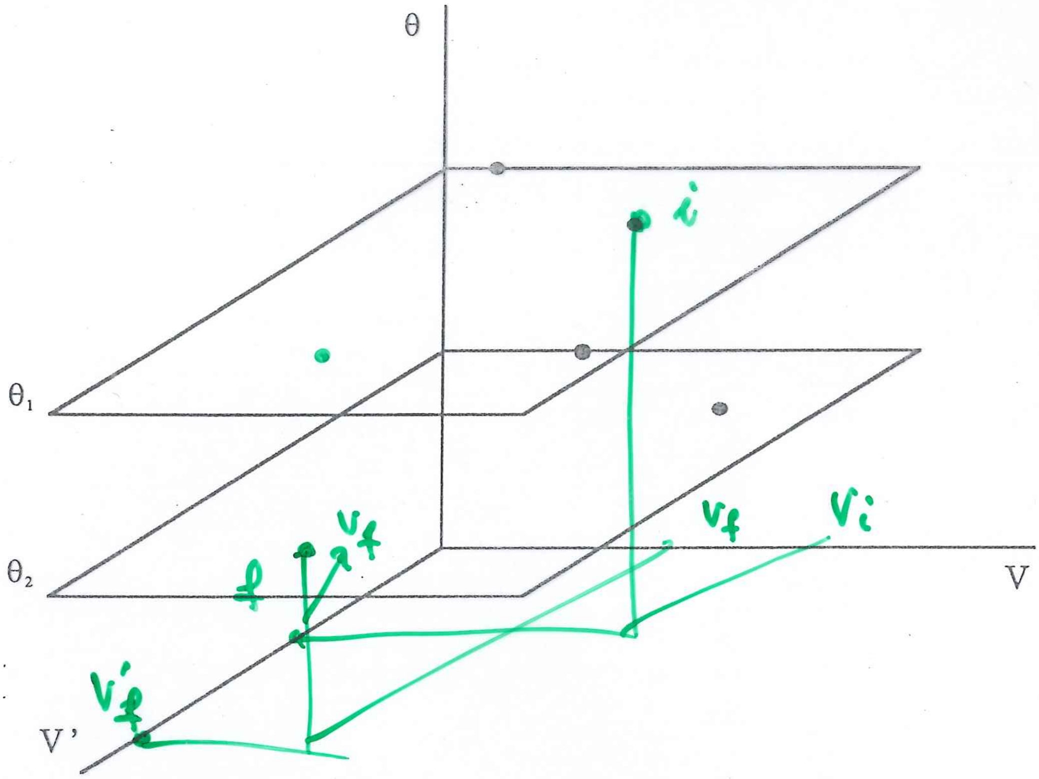
$$Q = \Delta U - W$$
$$\Delta U = Q + W$$
$$\delta Q = dU - \delta W$$

TERMODINAMIKAREN LEHEN PRINTZIPIOA

(ENERGIAREN KONTSERBAZIOAREN PRINTZIPIOA)

LEHENGO BIEZ GAIN: (3)- BEROA, TENPERATURA-DIFERENTZIARI ESKER "HIGITUZ" DOAN ENERGIA

(V, V'; θ)



$$\boxed{\delta Q = dU - \delta W}$$

δ : DIFERENTZIAL EZ-ZEHATZA

EZ DAGO SISTEMA BATI DAGOKION BEROA (LANA)

EZ DAGO SISTEMA BATI DAGOKION $Q = Q(X, Y, \ldots)$ $[W = W(X, Y \ldots)]$

d : DIFERENTZIAL ZEHATZA

BADAGO SISTEMA BATI DAGOKION BARNE-ENERGIA

$U = U(X, Y, Z, \ldots)$

dU : SISTEMA BATI DAGOKION BARNE-ENERGIA BI MODUTAN ALDA DAITEKE

(1) - TENPERATURA-DIFERENTZIARI ESKER : δQ

(2) - TENPERATURA-DIFERENTZIA "EZ DENARI" ESKER : δW

EDOZEIN LAN-MOTA IZAN DAITEKE (EDO DENAK)

EDOZEIN ASKATASUN-GRADUREKIN LOTURIKO LANERAKO EKARPENA

$$\delta W = \sum_{i=1}^{n} \delta W_i$$

$$= \sum_{i=1}^{n} Y_i \, dX_i$$

(δ, d)

$$\boxed{dU = \delta Q + \sum_{i=1}^{n} Y_i \, dX_i}$$

(d)

$$dU = T\,dS + \sum_{i=1}^{n} Y_i \, dX_i$$

$$\boxed{dU = \sum_{i=0}^{n} Y_i \, dX_i}$$

* Sistema konposatuak ezaugarri termikoari begira; lehengo irizkin berbera

↳ Sistema isolatuan batek "utzi" duena, besteak "hartuko" du

BERO - AHALMENA

$$\frac{Q}{\theta_f - \theta_i}$$

$$\boxed{C \equiv \lim_{(\theta_f - \theta_i) \to 0} \frac{Q}{\theta_f - \theta_i}}$$

$$\boxed{C = \left[\frac{\delta Q}{d\theta}\right]_{\square}}$$ BALDINTZAK !!!

C_p, C_V, C_M, ... SISTEMA-MOTAREN ARABERA

OROKORREAN, MAGNITUDE EXTENTSIBOA

BAINA INTENTSIBOA DENA DEFINI DAITEKE : MASA-UNITATEKO, MOL-UNITATEKO...

BERO-ITURRIA (FOKOTERMIKOA) ≠

DEFINIZIOA

EZAUGARRIAK

BERAREKIN KONTAKTUAN PROZESUAK

- TENPERATURA-DIFERENTZIA : TENPERATURAREN FINKAPENA
- EZ DAGO TENPERATURA-DIFERENTZIARIK : PROZESU ISOTERMANOA

TRUKATUTAKO BEROARI DAGOKION ADIERAZPENA

$$\boxed{Q = \int_{\theta_i}^{\theta_f} C_{\square} \, d\theta}$$

TENPERATURA-DIFERENTZIA FINITUAREN KASUAN : BERO-ITURRIEN SORTA !!

$$Q = \Delta U - W$$
$$\delta Q = dU - \delta W$$
$$\boxed{\delta Q = dU + p\,dV}$$

---

① $\delta Q \rightarrow \delta Q(\theta, V)$

$$\boxed{\delta Q = c_v\, d\theta + \frac{c_p - c_v}{V\alpha}\, dV}$$

② $\delta Q \rightarrow \delta Q(P, V)$

$$\boxed{\delta Q = \frac{c_p}{V\alpha}\, dV + \frac{\kappa_T}{\alpha} c_v\, dP}$$

③ $\delta Q \rightarrow \delta Q(\theta, P)$

$$\boxed{\delta Q = c_p\, d\theta + \frac{\kappa_T}{\alpha}(c_v - c_p)\, dp}$$

---

④ $U = U(V, \theta)$

$$\boxed{\begin{aligned} \left(\frac{\partial U}{\partial \theta}\right)_V &= c_v \\ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_\theta &= \frac{c_p - c_v}{V\alpha} - p \end{aligned}}$$

⑤ $U = U(V, P)$

$$\boxed{\begin{aligned} \left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_V &= \frac{\kappa_T}{\alpha} c_v \\ \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_P &= \frac{c_p}{V\alpha} - p \end{aligned}}$$

⑥ $U = U(\theta, P)$

$$\boxed{\begin{aligned} \left(\frac{\partial U}{\partial \theta}\right)_P &= c_p - pV\alpha \\ \left(\frac{\partial U}{\partial P}\right)_\theta &= -\frac{\kappa_T}{\alpha}(c_p - c_v) + pV\kappa_T \end{aligned}}$$

---

⑦

$$\boxed{c_p - c_v = -T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P^2 \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T}$$

* Aurreko ordu-ko proposamenak egindakoan, hurrengo egunean egiteko iruzkinak

- Formalismoa aldatutakoan eta 2. printzipioa ikusitakoan ondokoa froga daiteke:

(Mayer-en erlazioa)

$$\boxed{c_p - c_V = -T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p^2 \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T}$$

Sistema hidrostatikoaren kasuan erabat orokorra dena.

- Koefiziente esperimentalen funtzioan idatzita, definizioak kontuan hartuz

$$\left.\begin{aligned} \alpha &\equiv \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \\ k_T &\equiv -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T \end{aligned}\right\} \quad \boxed{c_p - c_V = TV\frac{\alpha^2}{k_T}}$$

Sistema hidrostatikoaren kasuan erabat orokorra dena

- Gas idealaren kasuan, koefiziente esperimentalek duten forma jakinik

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \frac{1}{T} \\ k_T &= \frac{1}{P} \end{aligned}\right\} \quad \boxed{c_p - c_V = nR}$$

Gas idealaren kasuan erabat orokorra dena

gas idealak ikusitakoan 3 iruzkin hauek azaldu

* Mayer-en erlazioa orokortuz

$$\boxed{c_Y - c_X = T\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y^2 \left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)_T}$$

Beran froga daiteke

Halere, zuzenean idatz daiteke ondoko ordezkapenak eginez

$(V \to X \; ; \; P \to -Y)$ jatorria lanaren definizioa bera da

$$\left.\begin{aligned} \delta W_{mek} &= -P \cdot dV \\ \delta W &= Y\, dX \end{aligned}\right\} \text{ modu berean jokatzen dute}$$

* Proposamena, ondoko adierazpenak lortzea, ondoko sistema orokorrean (X, Y, T)

$$\boxed{\begin{aligned} \delta Q &\overset{?}{=} \delta Q(X,T) & \qquad u &= u(X,T) \\ \delta Q &= \delta Q(Y,T) & \qquad u &= u(Y,T) \\ \delta Q &= \delta Q(X,Y) & \qquad u &= u(X,Y) \end{aligned}}$$

Aipatu bi moduak erabili $\begin{cases} \text{garapena} \\ \text{ordezkapena} \end{cases}$

$$\boxed{\begin{aligned}\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_X &= C_X \\ \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_Y &= \left\{\frac{C_Y - C_X}{\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y} + Y\right\}\end{aligned}}$$

$$\boxed{\begin{aligned}\left(\frac{\partial u}{\partial Y}\right)_X &= C_X \cdot \frac{\left(\frac{\partial X}{\partial Y}\right)_T}{\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y} = C_X \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial Y}\right)_X \\ \left(\frac{\partial u}{\partial X}\right)_Y &= \frac{C_Y}{\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y} + Y\end{aligned}}$$

$$\boxed{\begin{aligned}\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_Y &= C_Y + Y\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y \\ \left(\frac{\partial u}{\partial Y}\right)_T &= \left(\frac{\partial T}{\partial Y}\right)_X (C_Y - C_X) - Y\left(\frac{\partial X}{\partial Y}\right)_T\end{aligned}}$$

$$C_Y - C_X = T\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_Y^2 \cdot \left(\frac{\partial Y}{\partial X}\right)_T$$