



WWW.ALGORITMOSTEM.IT

SCIENCE TECHNOLOGY ENGINEERING MATHEMATICS

Appunti Termodinamica

UNI - Fisica
rev.0.1 - 05 set 2023

Draft version

Appunti in formato bozza, intesi esclusivamente di ausilio alle lezioni, che le integrano nelle descrizioni e nei ragionamenti su quanto viene riportato in queste pagine.

Licenza Creative Commons
CCBYNCND.

È consentita la condivisione del documento originale a condizione che non venga modificato né utilizzato a scopi commerciali, sempre attribuendo la paternità dell'opera all'autore

Termodinamica:

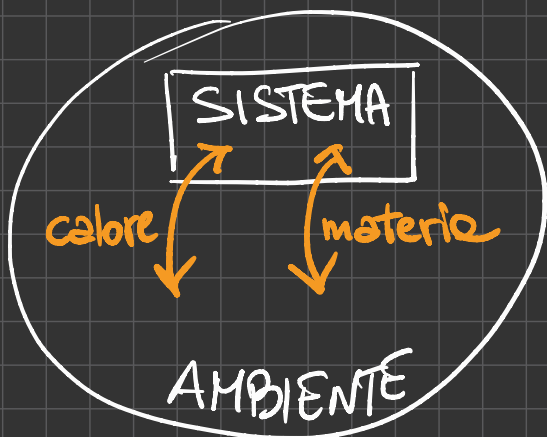
Temperatura e termometri. Dilatazione termica di solidi e di gas. Equazioni di stato. Flusso di calore. Calore specifico e calori latenti. Propagazione del calore per conduzione ed irraggiamento. Il piano di Claypeyron. Il gas perfetto, equazione di stato. Trasformazioni dei gas perfetti e di sistemi termodinamici. Lavoro, primo principio della termodinamica ed energia interna. Macchine termiche. Secondo principio della termodinamica. Macchina di Carnot, pompe di calore e frigoriferi. Entropia.

#2

Termodinamica

- 1 Branche della Fisica che studia i processi macroscopici implicanti scambi e conversioni di calore -
- 2 Studio e applicazione dell'energia termica dei sistemi

Sistema termodinamico



SCAMBIO calore	scambio materie	sistema
SI	SI	APERTO
SI	NO	CHIUSO
NO	NO	ISOLATO

Temperatura

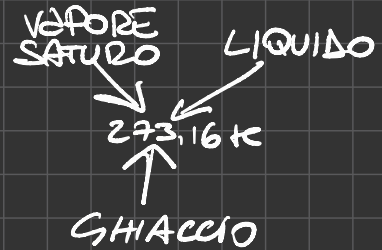
Indice dello stato di agitazione termica di una sostanza

Il punto fisso di riferimento dei termometri (strumenti che misurano la temperatura) è il punto Triplo dell'acqua (stato termodinamico in cui coesistono 3 stati dell'acqua in equilibrio)

SCALE TERMOMETRICHE

$$K = ^\circ C - 273,16$$

↑ kelvin ↑ centigradi

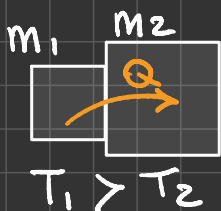


Principio 0

Due sistemi che sono ciascuno in equilibrio termico (stesse temperature) con un terzo sistema sono in equilibrio termico tra loro

$$T_A = T_C ; T_B = T_C \rightarrow T_A = T_B$$

Due corpi a contatto raggiungono l'eq. termico



$$T_{\text{equilibrio}} = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Dilatazione Termica

lineare

$$\Delta l = l \alpha \Delta T$$



↓ variazione di lunghezza
↓ coeff. di dilatazione lineare
↓ variazione di temperatura
lunghezza iniziale

volumica
$$\Delta V = V (3\alpha) \Delta T$$

L'acqua è un'eccezione, si comporta diversamente

calore

Forma di energia (en. termica) che si trasmette, si trasferisce, si propaga da un punto ad un altro di un corpo, da un corpo ad un altro, tra un sistema e l'ambiente circostante, per effetto di una differenza di temperatura, anche per mezzo del lavoro

Unità di misura

cal (calorie) quantità di calore necessaria ad innalzare la temperatura di 1g d'acqua da $14,5^{\circ}$ a $15,5^{\circ}$

J (Joule) quantità di calore trasferito - (come il lavoro, il calore rappresenta uno scambio energetico)

FLUSSO di calore

Quantità di calore sviluppata nell'unità di tempo

$$P = \frac{Q}{t} \quad P_s = \frac{Q}{t \cdot S} \text{ (areo, per unità di superficie)}$$

capacità termica

coeff. di proporzionalità esistente tra una certa q. di calore e la variazione di temperatura che ne consegue

$$Q = C \Delta T$$

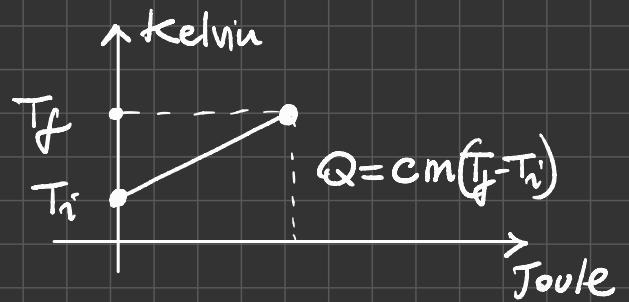
↓
capacità termica

calore specifico

capacità termica per unità di massa

$$Q = \overbrace{cm}^{\text{capacità termica}} \Delta T$$

↓
calore specifico



nei GAS è usato il calore specifico molare; capacità termica per unità di moli.

GAS	C_v	C_p
monatomici	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
bisatomici	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$
trisatomici	$\frac{7}{2}R$	$\frac{9}{2}R$

$$Q = n C \Delta T$$

n. moli ←

$n = \frac{N}{N_A}$ n. molecole
n. Avogadro
 $6,022 \cdot 10^{23}$

C_v cal. spec. a volume costante
 C_p cal. spec. a pressione costante
 $C_p = C_v + R \approx 8,31$ cal. dei GAS.

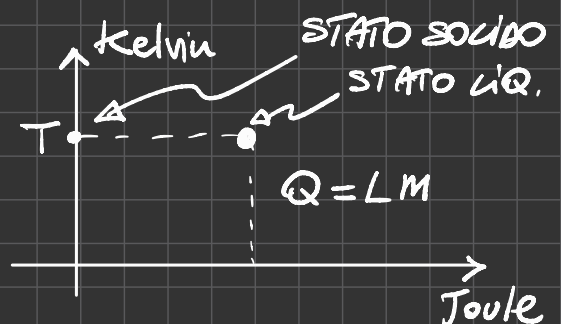
calore latente

Quantità di calore per unità di massa necessaria per un cambiamento di fase completo

$$Q = L \cdot m$$

calore latente di

- evaporazione
- fusione



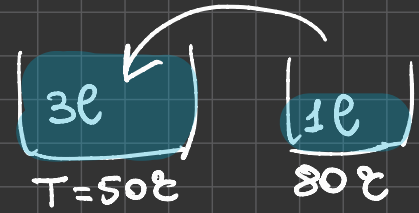
Esempio di Applicazione (Equilibrio termico)

Determiniamo la Temperatura di equilibrio se aggiungiamo ad un volume di 3l d'acqua a $T = 50^\circ\text{C}$, un volume di 1l d'acqua a $T = 80^\circ\text{C}$

$$\rho = 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volume } 1\text{l} \equiv 1\text{dm}^3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{m}^3$$

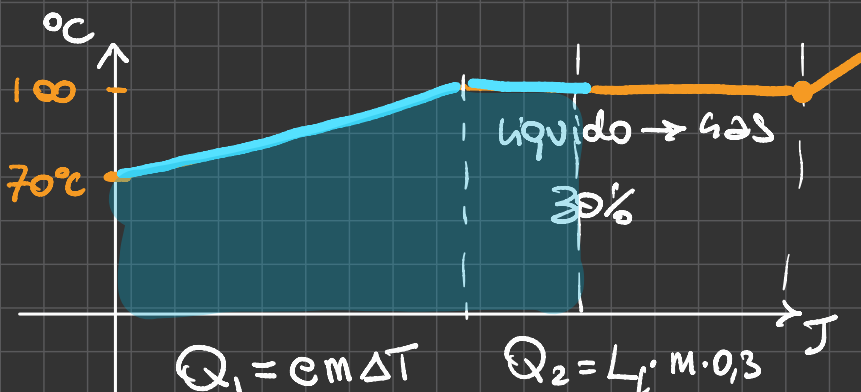
$$\text{masse } m = \rho \cdot V = 10^3 \cdot 10^{-3} = 1 \text{kg}$$



$$T_{\text{eq}} = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} = \frac{3 \cdot 50 + 1 \cdot 80}{3 + 1} = 57,5^\circ$$

Esempio di Applicazione (calore fornito)

Determiniamo il calore necessario e per evaporare il 30% del volume d'acqua ($T_{\text{finale}} = 70^\circ\text{C}$ $V = 3\text{l}$)



$$Q_1 = c m \Delta T$$

calore specifico
d'acqua

(100-70)

$$Q_2 = L_f \cdot m \cdot 0,3$$

calore latente
di fusione

30%

$$\rho = 1,03 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$m = \rho V$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = m (c \Delta T + L_f \cdot 0,3)$$

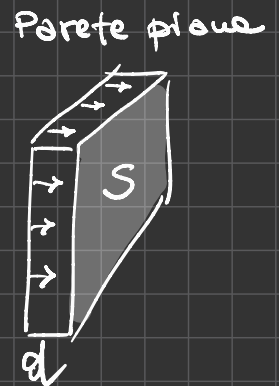
Propagazione del calore

CONDUZIONE (tra solidi)

Legge di Fourier $Q = \frac{k S \Delta T \Delta t}{d}$

conducibilità termica
area parete
spessore parete

FLUSSO	$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{k S \Delta T}{d}$
FLUSSO AREICO	$\frac{Q}{\Delta t \cdot S} = \frac{k \Delta T}{d}$



CONVEZIONE (tra fluidi)

dotate a correnti convettive

IRRAGGIAMENTO (anche in assenza di materia)

legge di Stefan-Boltzmann $P = \frac{Q}{\Delta t} = c S T^4$

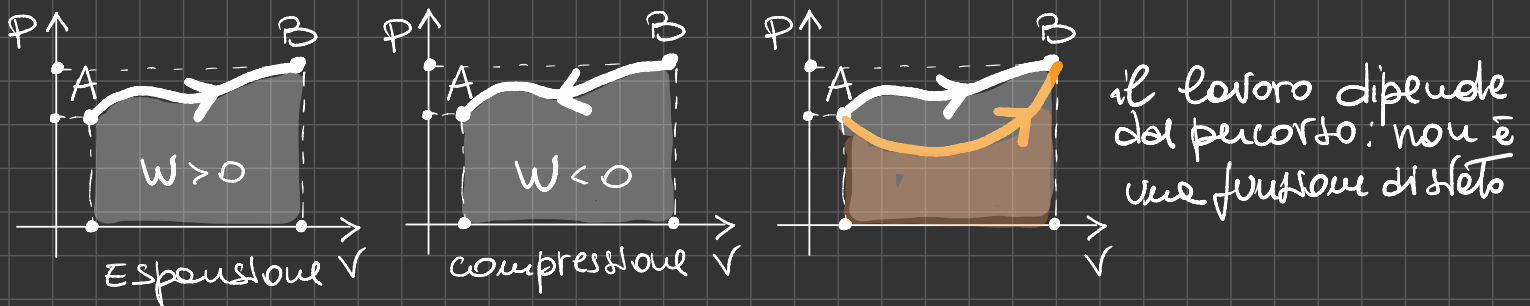
Potenza
dipende dal materiale
area parete

FLUSSO	$\frac{Q}{\Delta t} = c S T^4$
FLUSSO AREICO	$\frac{Q}{\Delta t \cdot S} = c T^4$

Piano di Clayperon

diagramma pressione-volume utilizzato per rappresentare le trasformazioni termodinamiche
La costruzione grafica consente di determinare il lavoro compiuto dal gas nelle trasformazioni

$$dW = F ds = P dS ds = P dV \quad w = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$



GAS (proprietà)

Forze di legame intermolecolare ridotte
Basse viscosità, comprimibilità, miscelabilità
Assenza di volume e forme propri,
Pressione: esercitano una forza sulle superficie

variabili di stato: P , V , T , n
↓ ↑ ↓ ↑
Pressione Volume
Temperatura n. di moli

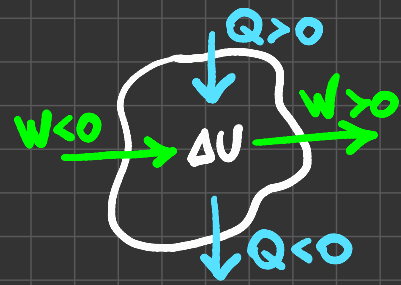
GAS Perfetto

molecole puntiformi
assenza di interazioni intermolecolari
urti perfettamente elastici

$$EQ \text{ di Stato} \quad PV = nRT$$

↓
costante dei gas perfetti

I PRINCIPIO TERMODINAMICO (conservazione dell'energia)



$Q > 0$ calore fornito al sistema

$Q < 0$ calore sottratto al sistema

$L > 0$ lavoro compiuto dal sistema (espansione)

$L < 0$ lavoro compiuto sul sistema (compressione)

I PRINCIPIO

$$\Delta E_{INT} = Q - W$$

TEORIA
CINETICA
(molecole
monatomiche)

$$E_{INT} = n \bar{K} = \frac{3}{2} N k T = n \frac{3}{2} R T = n c_V T$$

↓
en. cinetica
media

↓
costante di
Boltzmann

↓
costante
universale
dei gas

↓
calore
specifico
a volume
costante

$$\Delta E_{INT} = n c_V \Delta T$$

l'energia interna E_{INT} è Funzione di Stato
non dipende dal percorso ma solo dagli stati iniziale e finale
la sua variazione è legata alla variazione
di temperatura.

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

$$f(T_i, P_i, V_i) \rightleftharpoons f(T_f, P_f, V_f)$$

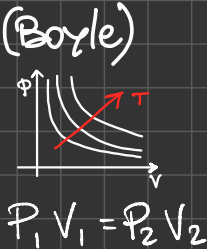
Trasf. reversibile (\neq dissipative \neq turbolente)

tutte: $PV = nRT$

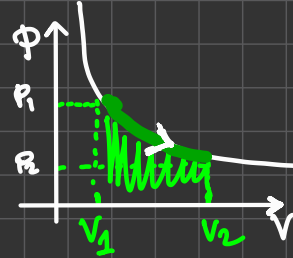
Adiabatiche: $PV^\gamma = \text{cost.}$ con $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$

ISOTERMA (Boyle)

$T = \text{cost.}$
 $PV = \text{cost.}$



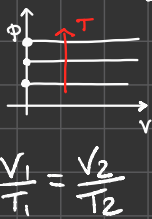
~~$E_{INT} = Q - W$~~



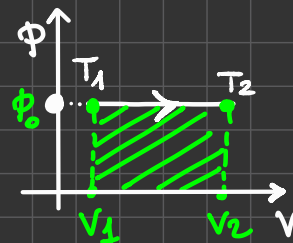
$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$

ISOBARA (I GAY LUSSAC)

$P = \text{cost.}$
 $\frac{V}{T} = \text{cost.}$



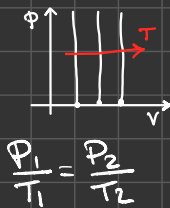
$E_{INT} = Q - W$



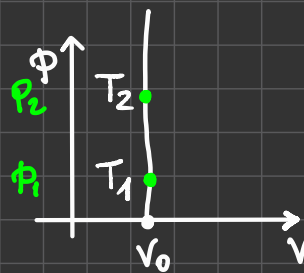
$W = P_0 (V_2 - V_1)$

ISOCORA (II GAY LUSSAC)

$V = \text{cost.}$
 $\frac{P}{T} = \frac{nR}{V} = \text{cost.}$



~~$E_{INT} = Q - W$~~

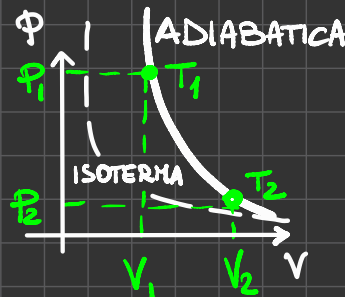


$W = 0$

ADIABATICA

$Q = 0$
 $T \cdot P^{\frac{1}{\gamma}-1} = \text{cost.}$
 $PV^\gamma = \text{cost.}$
 $TV^{\gamma-1} = \text{cost.}$
con $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5}{3}$ per molecole monoatomiche

~~$E_{INT} = Q - W$~~

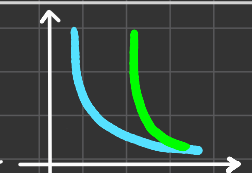


$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$

Riconoscere una trasformazione Adiabatica rispetto ad una isoterma:

ISOTERMA $P_1 V_1 = P_2 V_2$

ADIABATICA $P_1 V_1^\gamma \neq P_2 V_2^\gamma$



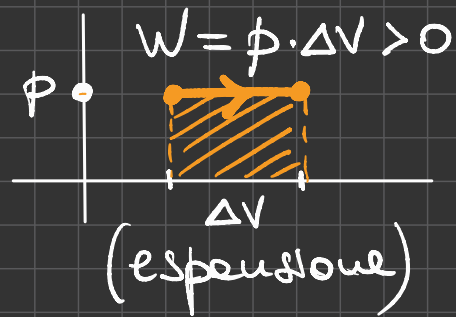
Esempio di applicazione

1 mole di gas perfetto monoatomico si espande a $p = 130 \text{ kPa} = \text{cost}$ da $V_1 = 0,76 \text{ m}^3$ a $V_2 = 0,93 \text{ m}^3$ calcoliamo la quantità di calore scambiata dal gas

Trasformazione isobara

$$p = 130 \cdot 10^3 \text{ Pa} = \text{cost.}$$

$$\Delta V = 0,93 - 0,76 = 0,17 \text{ m}^3$$



$$\Delta E_{\text{int}} = Q - W$$

$$Q = \Delta E_{\text{int}} + W = 55 \text{ kJ}$$

dalla teoria cinetica
(molecole monoatomiche)

$$\frac{3}{2} nR \Delta T$$

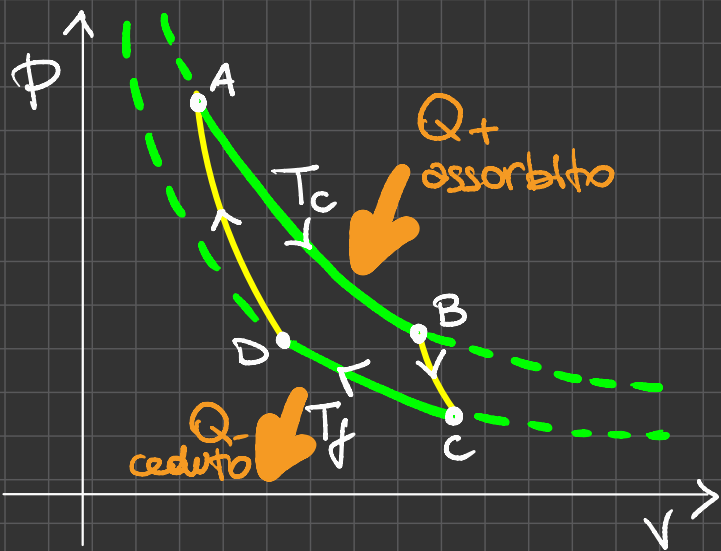
$$p \Delta V = 22,1 \cdot 10^3 \text{ J}$$

dall'eq. di stato
 $p \Delta V = nR \Delta T$

$$\Delta T = \frac{p \Delta V}{nR}$$

TRASFORMAZIONI CICLICHE

CICLO DI CARNOT



A → B espansione isoterma $T = T_c$

B → C espansione adiabatica

C → D compressione isoterma $T = T_f$

D → A compressione adiabatica

T_c Temperatura sorgente calda

T_f Temperatura sorgente fredda

$$A \rightarrow B \quad T = \text{cost} \rightarrow \cancel{E_{int}} = Q - L \rightarrow Q = L$$

$$Q_{\text{ass}} = L_{AB} = nRT_c \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right) > 0$$

$$B \rightarrow C \quad \begin{aligned} TV^{\gamma-1} &= \text{cost} \\ T_c V_B^{\gamma-1} &= T_f V_C^{\gamma-1} \end{aligned} \rightarrow \frac{T_f}{T_c} = \left(\frac{V_B}{V_C}\right)^{\gamma-1}$$
$$Q = 0$$

$$C \rightarrow D \quad T = \text{cost} \rightarrow \cancel{E_{int}} = Q - L \rightarrow Q = L$$
$$L_{CD} = nRT_f \ln\left(\frac{V_D}{V_C}\right) < 0$$
$$Q_{\text{ced}} = -L_{CD} = nRT_f \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)$$

$$D \rightarrow A \quad \begin{aligned} TV^{\gamma-1} &= \text{cost} \\ T_f V_D^{\gamma-1} &= T_c V_A^{\gamma-1} \end{aligned} \rightarrow \frac{T_f}{T_c} = \left(\frac{V_A}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$
$$Q = 0$$

$$\frac{Q_{ced}}{Q_{ass}} = \frac{nRT_f \ln\left(\frac{V_c}{V_b}\right)}{nRT_c \ln\left(\frac{V_b}{V_a}\right)}$$

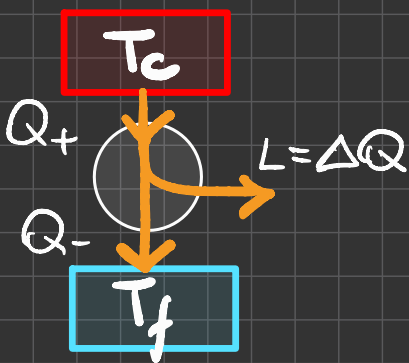
$$\frac{V_b}{V_a} = \frac{V_c}{V_d} \left(\frac{V_b}{V_c} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{V_a}{V_d} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

rendimento Teorico:

$$\eta = \frac{L}{Q_{ass}} = \frac{Q_{ass} - Q_{ced}}{Q_{ass}} = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{ass}} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

dipende solo dalle temperature delle sorgenti!

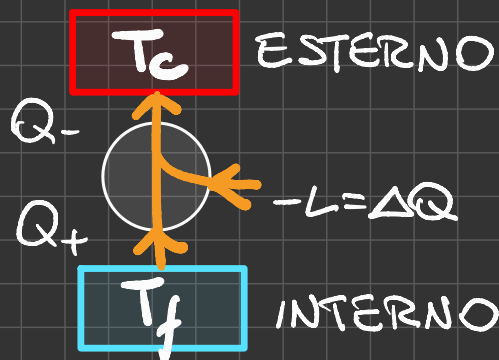
TRASFORMAZIONI NON SPONTANEE



Macchine Termiche
Rendimento

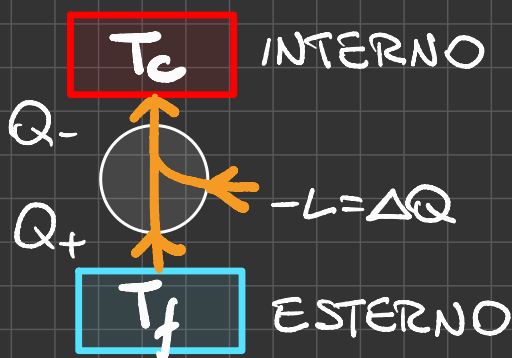
$$\eta = \frac{L}{Q_+} = \frac{Q_+ - Q_-}{Q_+} = 1 - \frac{Q_-}{Q_+}$$

$$\eta = \frac{L}{Q_+} \rightarrow L = \eta \cdot Q_+$$



CONDIZIONATORE

$$c_f = \frac{Q_+}{L} \text{ coeff. di prestazione}$$

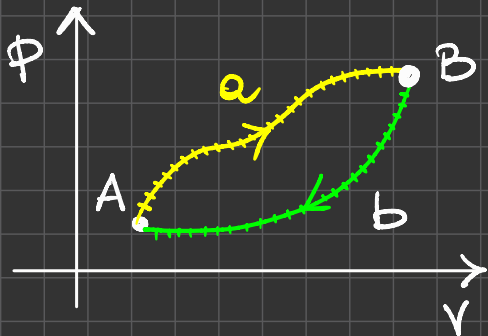


pompa di calore

$$c_p = \frac{Q_-}{L} \text{ coeff. di prestazione}$$

ENTROPIA #1

Grandezza fisica che identifica i processi
tra reversibili e irreversibili
(Integrale di Clausius)



dividiamo il percorso in
differenziali per ipotizzare che
le variazioni di temperatura $\Delta T = \text{cost} (*)$

Teorema di Clausius

$$\oint \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{rev}} = 0 \quad \textcircled{1} \quad \quad \quad \oint \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}} < 0 \quad \textcircled{2}$$

①

$$\oint \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{rev}} = 0 \rightarrow \int_A^B \frac{dQ}{T} + \int_B^A \frac{dQ}{T} = 0 \rightarrow \int_A^B \frac{dQ}{T} = \int_A^B \frac{dQ}{T} \rightarrow \int_A^B \frac{dQ}{T} = S_B - S_A$$

variazione infinitesimale di Entropia dS

$$\Delta S = S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{rev}}$$

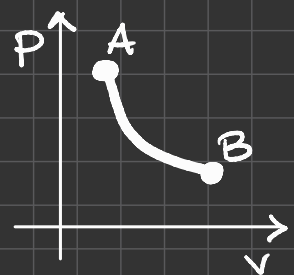
Risultato:
variazione di entropia
nei percorsi reversibili

I Principio $dU = dQ - p dV$ Legge di stato $pV = nRT$

$$dS = \frac{dQ}{T} = \frac{dU}{T} - \frac{p dV}{T} = \frac{nRT}{V} \cdot \frac{dV}{T} = nR \frac{dV}{V}$$

$dU = 0 (*)$ se isoterma

$$\Delta S = S_B - S_A = nR \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$$



② Consideriamo il percorso $\left\{ \begin{array}{l} A \rightarrow B \text{ reversibile} \\ B \rightarrow A \text{ irreversibile} \end{array} \right.$

$$\oint \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}} = \int_A^B \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}} + \int_B^A \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{rev}} < 0 \rightarrow \int_A^B \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}} < \int_A^B \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{rev}} = S_B - S_A$$

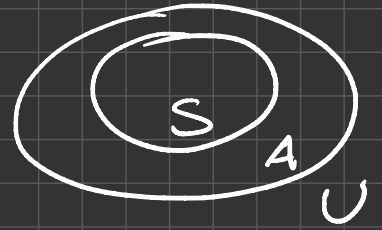
$$\Delta S = S_B - S_A > \int_A^B \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}}$$

Risultato:
La variazione di entropia nei percorsi reversibili è maggiore dell'integrale di $\frac{dQ}{T}$ nei percorsi irr.

Consideriamo il sistema termodinamico
Sistema / Ambiente / Universo (isolato)

$$\Delta S_U > \int \frac{dQ}{T} \Big|_{\text{irr}} = 0 \rightarrow \Delta S_A > 0$$

l'universo è isolato $\rightarrow dQ=0$



$\Delta S_S + \Delta S_A$
Su percorso ciclico (macchine termiche)

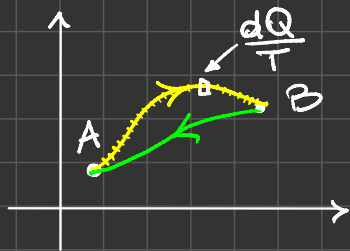
Risultato:
I processi irreversibili aumentano l'entropia totale dell'universo

ENTROPIA

Tutti i processi che avvengono in natura procedono in un solo senso, mai spontaneamente in senso inverso, anche se ciò non violerebbe il principio di conservazione dell'energia - (caduta di un sasso, liquido che si raffredda, ...)

Dunque non è l'energia del sistema che controlla il senso dei processi irreversibili.

Introduciamo una grandezza che possa determinare una differenza tra processi reversibili e irreversibili: l'ENTROPIA



$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T} \quad (\text{reversibile})$$

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (\text{reversibile isoterma})$$

Dimostriamo che l'entropia è funzione di stato:

(I° principio)
 $E_{int} = Q - L$

$$dQ = dE_{int} + dL = nC_V dT + PdV$$

\downarrow $nC_V dT$ (teoria cinetica) \downarrow PdV \downarrow $\frac{nRT}{V}$ (EQ. di stato)

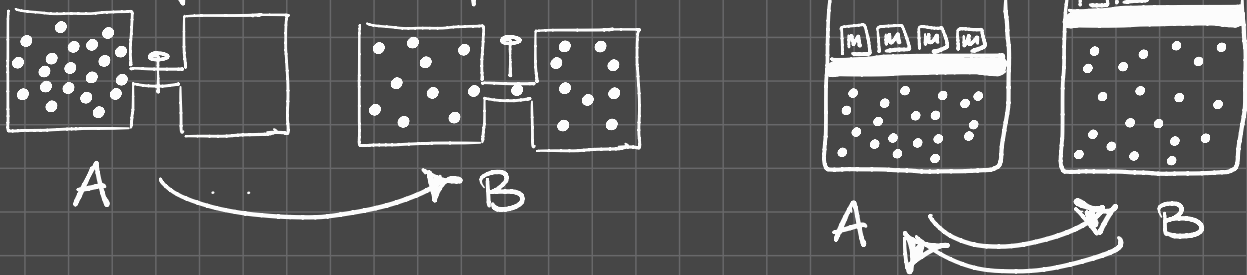
$$\frac{dQ}{T} = nC_V \frac{dT}{T} + \frac{nRT}{T} \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = nC_V \ln \frac{T_B}{T_A} + nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$

Risultato: non dipende dal percorso ma solo da stato iniziale e stato finale

Questa proprietà ci permette di estendere la validità del calcolo dell'entropia ai processi irreversibili, sostituendoli con processi reversibili (qualsiasi tipo) equivalenti, ovvero con i medesimi stati iniziale e finale.

Esempio: Espansione libera



Sostituiamo il processo irreversibile con una espansione isoterma reversibile:

$$\cancel{\Delta E_{\text{int}}} = Q - L \rightarrow dQ = dL = p dV$$

isoterma

$$Q = \int_{V_A}^{V_B} p dV = nRT \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_B}{V_A}$$

$$A \rightarrow B \quad \Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{nRT}{T} \ln \frac{V_B}{V_A} > 0$$

$$B \rightarrow A \quad \Delta S = \frac{Q}{T} = nR \ln \frac{V_A}{V_B} < 0$$

NB Il risultato $\Delta S < 0$ non viola il principio di entropia ($\Delta S \geq 0$) poiché tale principio è riferito a sistemi chiusi mentre nell'esempio il sistema scambia calore con l'esterno (per tenere la temp. costante in compressione viene sottratto calore).

nelle macchine Termiche (Trasf. reversibili)

$\frac{Q_{ced}}{Q_{oss}} = \frac{T_f}{T_c} \rightarrow \frac{Q_{ced}}{T_f} = \frac{Q_{oss}}{T_c} \rightarrow \Delta S = \Delta S_f + \Delta S_c = 0$

+ calore fornito alla sorgente fredda
- calore sottratto alla sorgente calda

$\Delta S_f > 0$ $\Delta S_c < 0$

nelle macchine Termiche (trasf. irrev.)

rendimento minore $\frac{Q_{ced}}{Q_{oss}} > \frac{T_f}{T_c} \rightarrow \Delta S > 0$

III?

II PRINCIPIO Termodinamico

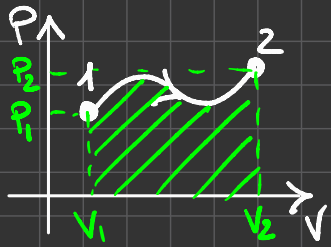
Se un processo avviene in un sistema chiuso, l'Entropia S del sistema aumenta quando si tratta di un processo irreversibile, rimane costante quando è reversibile, comunque non diminuisce mai.

$\Delta S \geq 0$

irr.
rev.

GENERICA

$$PV = nRT$$



$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV$$

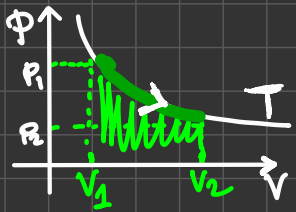
$$Q = \Delta E_{int} + L$$

$$\Delta E_{int} = nC_V \Delta T$$

$$\Delta S = nC_V \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

ISOTERMO

$$T = \text{cost}$$



$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$L = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

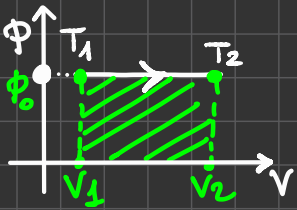
$$Q = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta E_{int} = 0$$

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

ISOBARA

$$P = \text{cost}$$



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$L = P \Delta V$$

$$= nR \Delta T$$

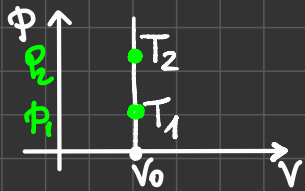
$$Q = nC_p \Delta T$$

$$\Delta E_{int} = nC_V \Delta T$$

$$\Delta S = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ISOCORA

$$V = \text{cost}$$



$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$L = 0$$

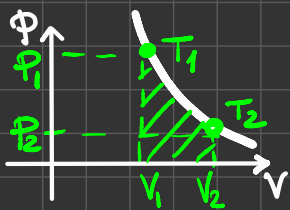
$$Q = nC_V \Delta T$$

$$\Delta E_{int} = nC_V \Delta T$$

$$\Delta S = nC_V \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ADIBATICA

$$Q = 0$$



$$PV^\gamma = \text{cost.}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{cost.}$$

$$T \cdot P^{\frac{1}{\gamma-1}} = \text{cost}$$

$$L = -nC_V \Delta T$$

$$Q = 0$$

$$\Delta E_{int} = nC_V \Delta T$$

$$\Delta S = 0$$

CICLICA



$$\eta = \frac{L}{Q_{ass}} = \frac{Q_{ass} - Q_{ced}}{Q_{ass}}$$

Q_{ass} (positivi)

Q_{ced} (negativi)

$$L = \sum L_i$$

$$Q = L$$

$$\Delta E_{int} = 0$$

$$\Delta S = 0$$

GAS	C_V	$C_p = C_V + R$	$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$
monatomici	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$	$\frac{5}{3}$
bisatomici	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$	$\frac{7}{5}$
trisatomici	$\frac{7}{2}R$	$\frac{9}{2}R$	$\frac{9}{7}$

Inverna 2023 Testo 2

9) Si utilizza una serpentina riscaldatrice per scaldare dell'acqua per il tè. Si calcoli il tempo necessario per far bollire mezzo litro di acqua in un contenitore con pareti isolanti se la temperatura iniziale dell'acqua è $T_0 = 282 \text{ K}$ e la serpentina ha una potenza $P=500 \text{ W}$. Calore specifico dell'acqua $c_a=4186 \text{ J}/(\text{kg K})$. [s]
 A 318 B 357 C 300 D 411 382 F Altro

$$T_0 = 282 \text{ K} \quad P = 500 \text{ W} \quad c_a = 4186 \text{ J}/(\text{kg K})$$

$$T_e = 373 \text{ K} \leftarrow 100^\circ \text{C} \quad \Delta T = 91$$

$$m = \rho \cdot V = 10^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ kg}$$

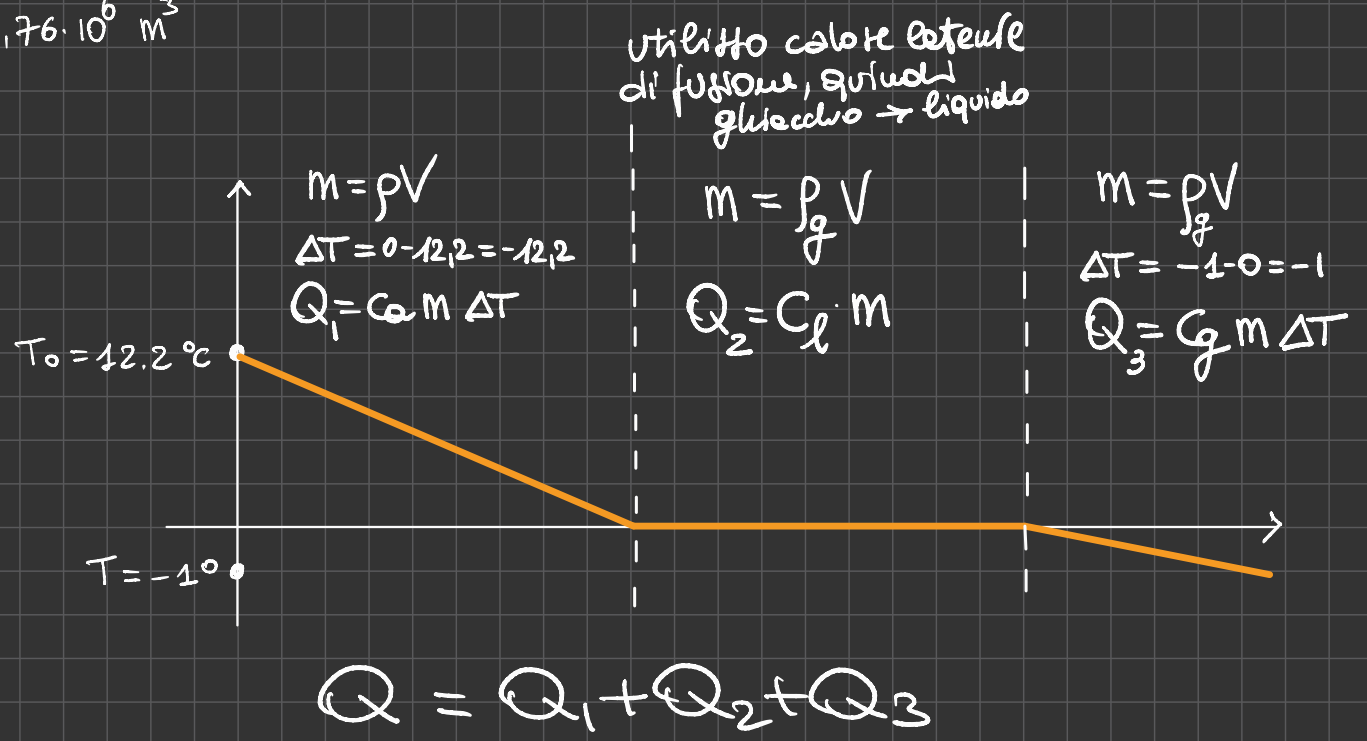
$L = P \cdot t$

$$Q = c_a m \Delta T \rightarrow t$$

2022 Inverna 3A

6) Nelle Olimpiadi invernali di Pechino 2022 la neve è stata interamente prodotta in modo artificiale. Assumendo che sia stato utilizzato un volume di acqua pari a $V = 1.76$ milioni di metri cubi, che aveva temperatura iniziale $T_0 = 12.2$ gradi e che alla fine viene prodotta neve (ovvero ghiaccio) a temperatura $T = -1$ gradi, quanto calore è stato scambiato dall'acqua? [J] (Calore specifico ghiaccio $C_g = 2051$ [unità SI], calore specifico acqua $C_a = 4186$ [unità SI], calore latente fusione $C_l = 334 \cdot 10^3$ [unità SI], densità acqua $\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)
 A 6.81×10^{11} B 6.81×10^{13} C 6.81×10^{14} D 6.81×10^{16} E 6.81×10^{10} F Altro

$$V = 1,76 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$



2022 ESTIVO 2A

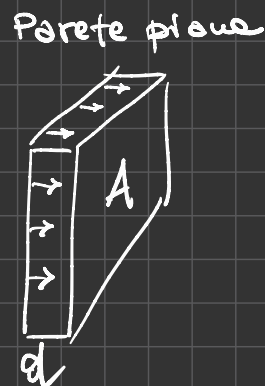
7) Decidete di aprire un chiosco che vende bibite sul mare e per raffreddare le bibite volete utilizzare un frigorifero attaccato a un pannello fotovoltaico. Il frigorifero che utilizzate per tenere le bibite in fresco è isolato da uno materiale di conducibilità termica $\lambda = 0.1$ [unità SI] e ha una superficie laterale pari a $S = 5.43 \text{ m}^2$ e spessore $d = 5 \text{ cm}$. Sapendo che la temperatura ambiente vale 35 gradi e che le bibite nel frigorifero si trovano a 5 gradi, quale deve essere la potenza media erogata dal pannello fotovoltaico per tenere le bibite a temperatura costante? (si assuma che il frigorifero abbia un'efficienza pari alla metà di quello di una macchina ideale). [W]

- A 79.3 B 60.4 C 50 D 47.1 E 37.2 F Altro

Legge di Fourier

$$Q = \frac{\lambda S \Delta T \Delta t}{d}$$

λ ← conducibilità termica
 S ← area parete
 d ← spessore parete



ciclo Frigorifero $\Delta \dot{E}_{int} = Q - L \rightarrow L = Q$

$$Potenza = \frac{\text{Lavoro}}{\text{Tempo}} = \frac{\text{calore}}{\text{Tempo}}$$

Potenza reale = Potenza · efficienza $\epsilon = \frac{W}{\Delta T}$

per il frigorifero utilizzato: $\epsilon_f = \frac{1}{2} \epsilon = \frac{1}{2} \frac{W}{\Delta T} = 4,36$

$$P = \frac{Q}{T} = \frac{\lambda S \Delta T}{d} = 326 \text{ W}$$

$$P_{reale} = \frac{P}{\epsilon_f} = 70,3$$

2022 ESIVIO 2A

9) In un borraccia termica, approssimabile come un contenitore adiabatico, si trovano $V_1 = 0.589$ litri di acqua a temperatura ambiente $T = 30$ gradi. Aggiungete nella borraccia dell'acqua fresca presa da un frigorifero a temperatura $T_2 = 5$ gradi, fino a riempire la borraccia che ha una capacità totale di 1 litro. Si calcoli la variazione di entropia dell'universo una volta che il sistema ha raggiunto l'equilibrio termico (Calore specifico dell'acqua = 4186 SI). [J/K]

A 1.82 B 2.2 C 1.97 D 3.02 E 3.74 F Altro

$$T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K} \quad V_1 = 0,589 \text{ l} \quad C_a = 4186$$

$$T_2 = 5 + 273 = 278 \text{ K} \quad V_2 = 0,411 \text{ l}$$

$$T_{eq} = \frac{m_1 c_1 T_1 + m_2 c_2 T_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2} \quad \text{con } c_1 = c_2 = c_a \text{ calore specifico acqua}$$

$$m = \rho V$$

$$= \frac{\rho c_a (V_1 T_1 + V_2 T_2)}{\rho c_a (V_1 + V_2)} = 292,7 \text{ K}$$

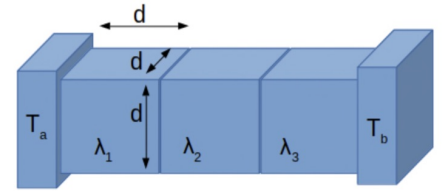
situazione iniziale	$T_1; V_1$	$T_2; V_2$
situazione finale	$T_{eq}; V_1$	$T_{eq}; V_2$

$$\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{dQ}{T} = \int_{T_i}^{T_f} \frac{mc dT}{T} = mc \ln \frac{T_f}{T_i} \quad \forall \text{ componente}$$

$$\Delta S = m_1 c \ln \frac{T_{eq}}{T_1} + m_2 c \ln \frac{T_{eq}}{T_2} \approx 3,74 \quad \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

2020 ESTIVO 2A

6) Tre cubetti isolanti di lato $L = 10 \text{ cm}$ e conducibilità termica $\lambda_1 = \frac{1}{2}\lambda_2 = \frac{1}{3}\lambda_3$ sono posti in contatto come in figura tra due sorgenti termiche a temperatura $T_a = 270\text{K}$ e $T_b = 370\text{K}$. Si calcoli il calore trasmesso in un'ora in condizioni stazionarie sapendo che $\lambda_1 = 217 \text{ [unità SI]. [J]}$



- A 5.49×10^6 B 7.3×10^6 C 3.39×10^6 D 6.6×10^6 E ~~4.26×10^6~~ F Altro

$$\begin{cases} \lambda_3 = 3\lambda_1 \\ \lambda_2 = 2\lambda_1 \\ \lambda_1 = \lambda \end{cases}$$

$$\lambda_{eq} = \lambda_1 // \lambda_2 // \lambda_3$$

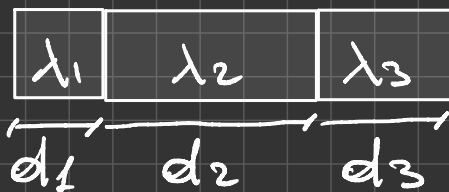
$$= \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{\lambda_1 \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3} = \frac{\lambda^2(2+6+3)}{6\lambda^3} = \frac{6\lambda}{11}$$

$$Q = \frac{k S \Delta T \Delta t}{d} =$$

$\frac{6 \cdot 217 \text{ m}}{11}$ $L = 10^{-2} \text{ m}$ $370 - 270 \text{ K}$ $60 \cdot 60 \text{ sec}$
 \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow
 d $L = 10^{-1} \text{ m}$

NOTA BENE

Se i corpi non hanno lo stesso spessore:

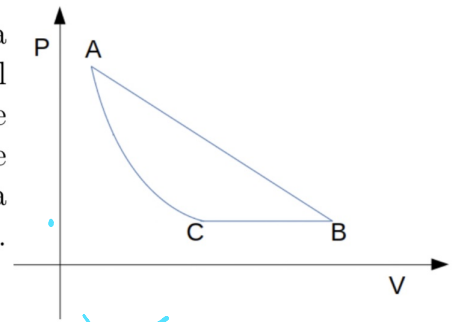


$$Q = \sum Q_i$$

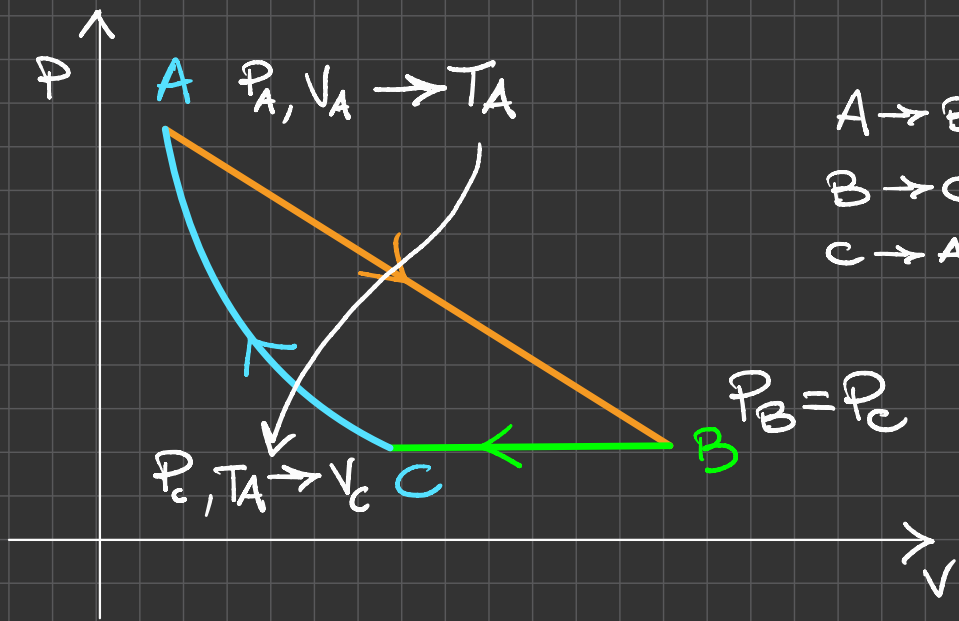
$$Q_i = \frac{\lambda_i S \Delta T \Delta t}{d_i} = 4.26 \cdot 10^6 \text{ J}$$

2021 Intervall 2A

7) 1.03 moli di gas perfetto monoatomico compiono un ciclo formato da: una trasformazione AB in cui la pressione decresce linearmente all'aumentare del volume, passando dallo stato A con pressione $P_A = 3.08 \times 10^5$ Pa, volume $V_A = 0.0476$ m³ allo stato B con pressione $P_B = 6.91 \times 10^4$ Pa e volume $V_B = 0.165$ m³; una compressione isobara BC; una compressione isoterma CA. Calcolare il lavoro compiuto dal sistema nella trasformazione isoterma. Costante dei gas: 8.31 unità SI. [J]



- A B C D E F



A → B lineare
 B → C isobara
 C → A isoterma

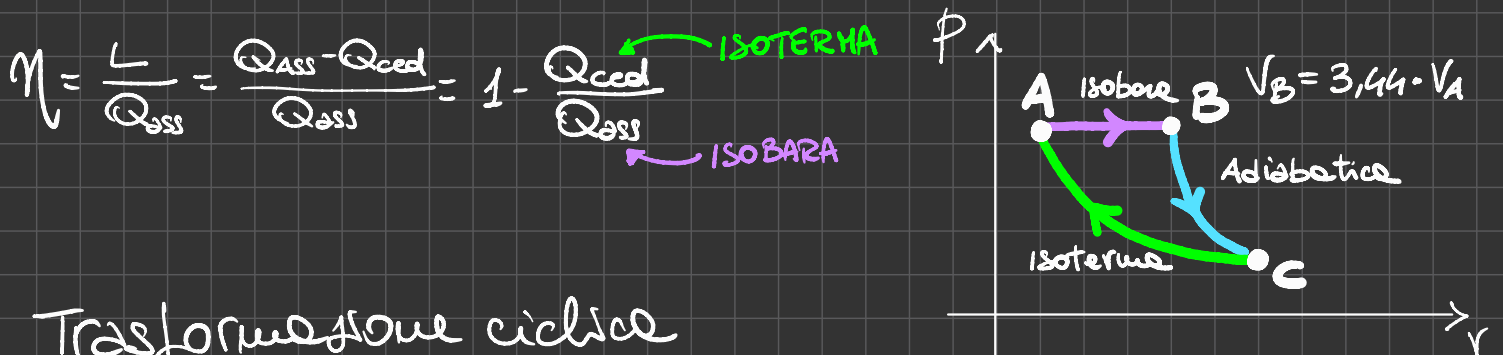
$$PV = nRT \begin{cases} \xrightarrow{\text{isoterma}} T_C = T_A = \frac{P_A V_A}{nR} = \frac{3.08 \cdot 10^5 \cdot 4.76 \cdot 10^{-2}}{1.03 \cdot 8.31} = 1.71 \cdot 10^3 \\ \xrightarrow{\text{isobara}} V_C = \frac{nRT_C}{P_C = P_B} = \frac{1.03 \cdot 8.31 \cdot 1.71 \cdot 10^3}{6.91 \cdot 10^4} = 2.12 \cdot 10^{-1} \end{cases}$$

isoterma:

$$L = nRT_A \ln \frac{V_A}{V_C} = 1.03 \cdot 8.31 \cdot 1.71 \cdot 10^3 \ln \left(\frac{4.76 \cdot 10^{-2}}{2.12 \cdot 10^{-1}} \right) = -2.19 \cdot 10^4$$

7) Una mole di gas perfetto monoatomico compie un ciclo termodinamico composto da una espansione isobara che porta il gas da uno stato A ad uno stato B. Questa trasformazione è seguita da un'espansione adiabatica fino ad uno stato che indichiamo con C. Infine il ciclo è chiuso da una compressione isoterma che riporta il gas nello stato A. Nella trasformazione isobara $A \rightarrow B$ il rapporto tra il volume del gas aumenta in modo che $V_B/V_A = 3.44$. Si calcoli il rendimento di questo ciclo. (Si suggerisce di utilizzare per la trasformazione adiabatica reversibile l'equazione nella forma $TV^{\gamma-1} = \text{costante}$.) \square

- A 0.494 B 0.424 C 0.351 D 0.331 E 0.261 F Altro



Trasformazione ciclica

$$\Delta E_{int} = Q - L \rightarrow L = Q$$

(assorb) isobara Adiabatica isoterma (ceduto)

$$\frac{5}{2} R (T_B - T_A) = n c_p \Delta T = n \frac{5}{2} R T_A \left(\frac{T_B}{T_A} - 1 \right)$$

$$n R T_A \ln \frac{V_A}{V_C}$$

Bisogna determinare $\frac{T_B}{T_A}$ e $\frac{V_A}{V_C}$

isobara: $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow \frac{V_B}{V_A} = \frac{T_B}{T_A} = 3.44$

Adiabatica:

$$TV^{\gamma-1} = \text{cost} \rightarrow T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \rightarrow \frac{T_B}{T_C} = \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$T_A = T_C$ isoterma

$$\frac{T_B}{T_A} = \left(\frac{V_C}{V_B} \right)^{\frac{2}{3}} \rightarrow V_C = 6.38 V_B = 6.38 \cdot 3.44 V_A$$

$$\frac{V_C}{V_A} = 21.95$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_{ced}}{Q_{ass}} = 1 - \frac{n R T_A \ln \frac{V_A}{V_C}}{n c_p T_A \left(\frac{T_B}{T_A} - 1 \right)} = 1 - \frac{\ln \left(\frac{V_A}{V_C} \right)^{\frac{1}{21.95}}}{\frac{5}{2} \left(\frac{T_B}{T_A} - 1 \right)} = 0.494$$