

Corso di recupero di Fisica 2017/2018

Dario Madeo

Lezione del 16/07/2018

**Slides disponibili all'indirizzo
<http://www.dii.unisi.it/~madeo/crf/crf1718.html>**

Esercizio estratto dall'esame di Fisica 1 del 19 Settembre 2014

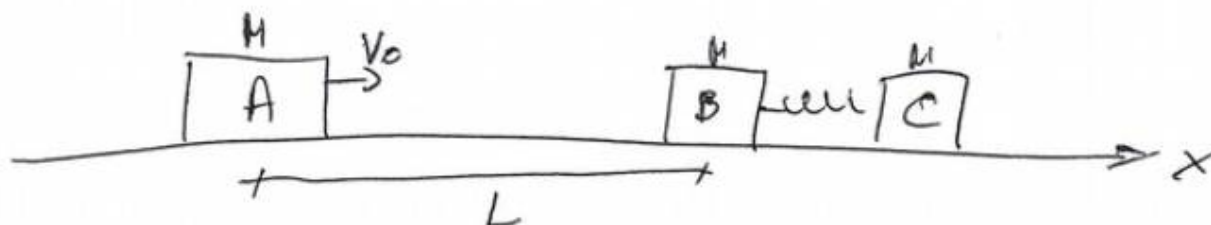
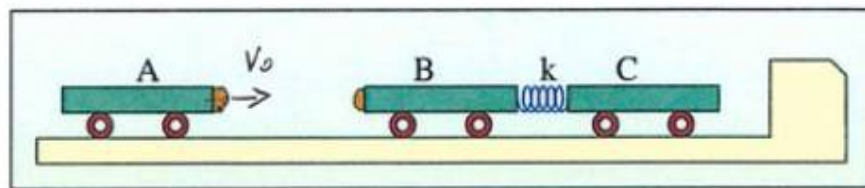
Esercizio 1

Su un binario orizzontale liscio possono scorrere tre oggetti A, B e C ciascuno di massa M .

Inizialmente, a $t=0$, B e C, che sono connessi da una molla di costante elastica k , sono immobili, mentre A, che dista L da B, si muove a velocità v_0 verso quest'ultimo. L'urto di A su B è perfettamente anelastico.

Qual è la massima compressione della molla, nel successivo moto oscillatorio del sistema formatosi nell'urto, a quali istanti si realizza?

Ad un certo istante, C va ad urtare contro un blocco fisso sul binario, e questo secondo urto è istantaneo ed elastico. Qual è, al massimo, l'impulso ricevuto dal sistema nel secondo urto? In questo caso, qual è velocità del centro di massa dopo il secondo urto?



Primo urto

A e B si attaccano e formano un corpo unico



Si conserva la quantità di moto

$$M v_0 = 2M v_{AB} \quad \quad \quad \underline{\underline{v_C = 0}}$$

$$\Rightarrow \boxed{v_{AB} = \frac{v_0}{2}}$$

Nota

Durante l'urto non vi è alcuna ragione per cui C debba abbandonare il suo stato di quiete.

L'urto avviene tra A e B, e la molla separa B da C.

Successivamente all'urto, C inizierà a muoversi.

Riguardare la lezione 7 del 18/05/2018

x_M : l'allungamento della molla

$$x_M = x_C - x_{AB}$$

L'allungamento della molla è regolato da una legge di moto che corrisponde a quella di un moto armonico.

$$\ddot{x}_M = -\frac{K}{\mu} x_M$$

$$\mu = \frac{2}{3} M$$

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{\mu}} = \sqrt{\frac{3K}{2M}}$$

$$x_M(t) = ?$$

$$x_M(0) = x_C(0) - x_{AB}(0) = 0 \quad (C \text{ e } AB \text{ hanno la stessa posizione})$$

$$\dot{x}_M(0) = \dot{x}_C(0) - \dot{x}_{AB}(0) = 0 - \frac{V_0}{2} = -\frac{V_0}{2}$$

$$\begin{cases} \ddot{x}_M = -\frac{K}{\mu} x_M \\ x_M(0) = 0 \\ \dot{x}_M(0) = -\frac{V_0}{2} \end{cases}$$

Riguardare lezione 6 del 11/5/2018

$\Rightarrow$

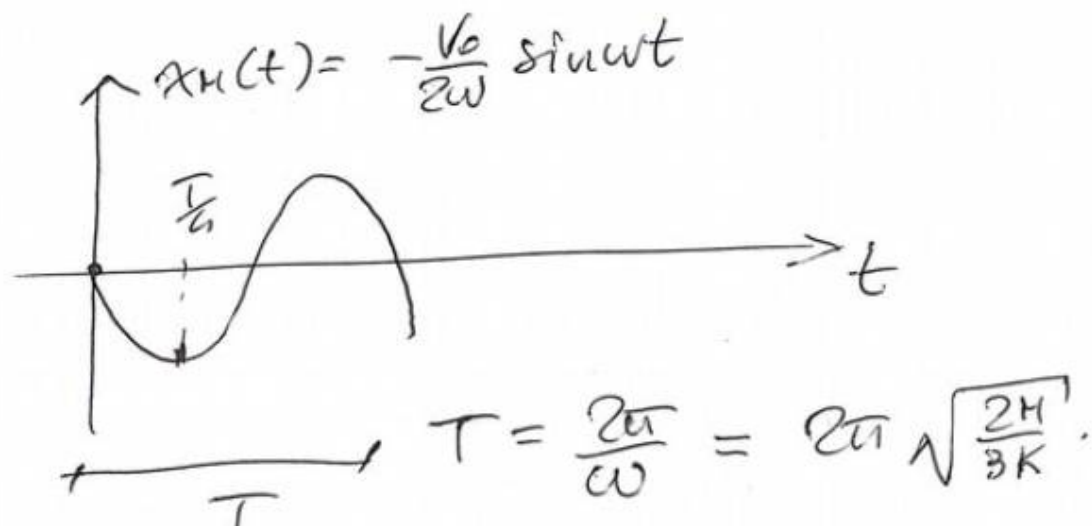
$$x_M(t) = \frac{\dot{x}_M(0)}{\omega} \sin \omega t$$

$$= -\frac{V_0}{2\omega} \sin \omega t$$

Massima compressione

$$\frac{V_0}{2\omega} = V_0 \sqrt{\frac{M}{6K}}$$

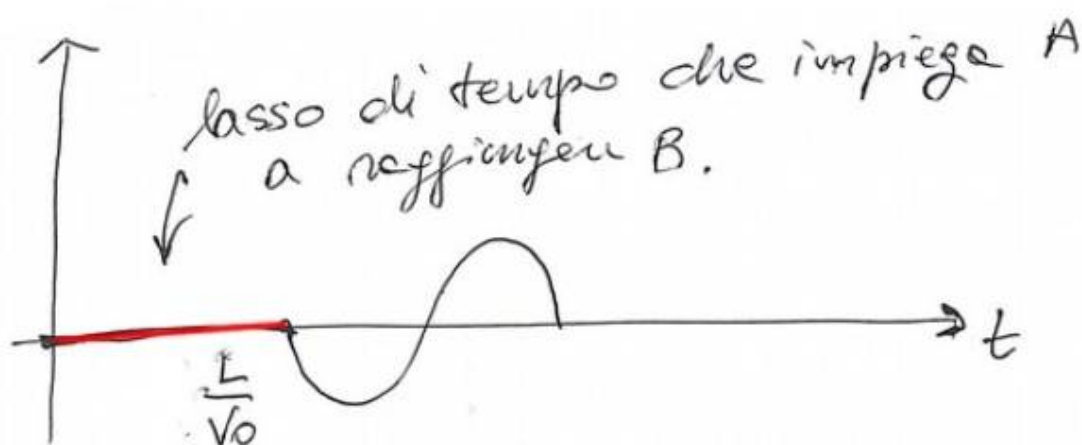
Quali sono gli istanti in cui si ha la compressione massima?



Istanti in cui osserviamo la massima compressione:

$$\frac{T}{4}; \quad T + \frac{T}{4}; \quad 2T + \frac{T}{4} \dots \quad \left(nT + \frac{T}{4} \right) \quad n \geq 0$$

Tuttavia, il corpo A ha impiegato del tempo prima di urtare B. Infatti, esso ha dovuto percorrere una distanza L viaggiando con velocità costante v_0 .



Gli istanti in cui si osserva la massima compressione sono:

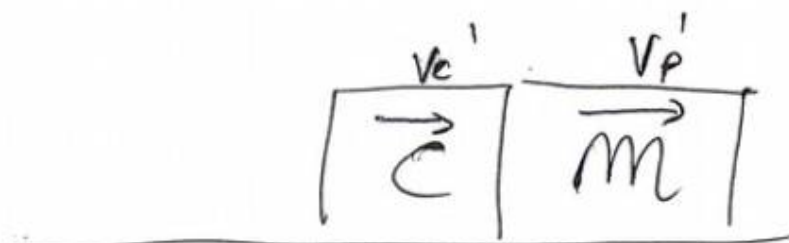
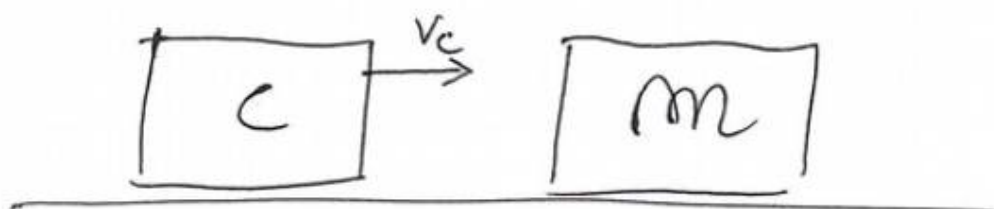
$$t_n = \frac{L}{v_0} + nT + \frac{T}{4} = \dots$$

II urto



M : massa del muro.

AB non subisce cambiamenti



$$\begin{cases} v_c' = \frac{v_c (M - m)}{M + m} = \frac{\cancel{M} v_c \left(\frac{M}{m} - 1 \right)}{\cancel{M} \left(\frac{M}{m} + 1 \right)} \\ v_p' = \frac{2M v_c}{M + m} = \frac{\cancel{M} \left(\frac{2M v_c}{m} \right)}{\cancel{M} \left(\frac{M}{m} + 1 \right)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_c' = \frac{v_c \left(\frac{M}{m} - 1 \right)}{\left(\frac{M}{m} + 1 \right)} \\ v_p' = \frac{\frac{2M}{m} v_c}{\left(\frac{M}{m} + 1 \right)} \end{cases}$$

$$M \rightarrow +\infty \quad \Rightarrow \quad \frac{M}{m} \rightarrow 0$$

$$\begin{cases} V_c' = -V_c \\ V_p' = 0 \end{cases}$$

Risultato ovvio!!!

Impulso dell'urto

$$\Delta P = P_{\text{dopo}} - P_{\text{prima}}$$

$$= M V_c' - M V_c$$

$$= -M V_c - M V_c = -2M V_c.$$

Qual è l'impulso massimo?

Da notare che v_c varia nel tempo!

t_U : istante del secondo urto

$$t \in [t_U^-, t_U^+]$$

$$t < t_U^-$$

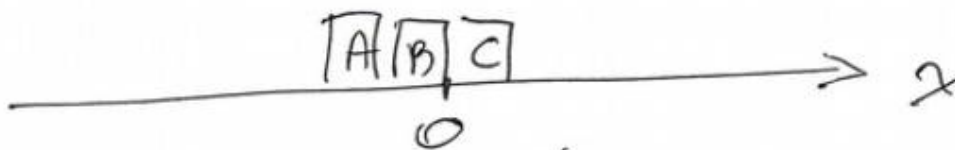
Nel lasso di tempo tra il primo ed il secondo urto, il CDM del sistema massa-molla-massa si muove di moto rettilineo uniforme (vedi lezione 7 del 18/05/2018).

$$\begin{cases} \ddot{x}_{\text{CDM}} = 0 \\ \ddot{x}_M = -\frac{k}{m} x_M \Rightarrow x_M(t) = -\frac{V_0}{2\omega} \sin \omega t \end{cases}$$

$$x_{\text{CDM}} = \frac{2M x_{AB} + M x_C}{3M}$$

Durante il primo urto, i 3 corpi occupano la stessa posizione $x = 0$.

$$x_{\text{CDM}}(0) = \frac{2M x_{AB}(0) + M x_C(0)}{3M} = 0$$



$$\dot{x}_{\text{CDM}}(0) = \frac{2M \dot{x}_{AB}(0) + M \dot{x}_C(0)}{3M} =$$

$$= \frac{V_0}{3}$$

$$\left| \begin{array}{l} x_{CDM}(t) = \frac{V_0}{3} t \\ x_M(t) = -\frac{V_0}{2\omega} \sin \omega t \end{array} \right| \quad \left| \begin{array}{l} \dot{x}_{CDM}(t) = \frac{V_0}{3} \\ \dot{x}_M(t) = -\frac{V_0}{2} \cos \omega t \end{array} \right|$$

$$\rightarrow \dot{x}_{AB}(t) = \dot{x}_{CDM}(t) - \dot{x}_M(t) \frac{\mu}{2M}$$

$$\dot{x}_C(t) = \dot{x}_{CDM}(t) + \dot{x}_M(t) \frac{\mu}{M}$$

Vedi lezione 7 del 18/05/2018.

$$\dot{x}_{AB}(t) = \frac{V_0}{3} + \frac{\mu}{2M} \frac{V_0}{2} \cos \omega t \quad \left(\mu = \frac{2}{3} M \right)$$

$$= \cancel{\frac{V_0}{3}} + \cancel{\frac{V_0}{6}} \cos \omega t$$

$$= \frac{V_0}{3} + \frac{2}{3} M \cdot \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{2M} \cos \omega t$$

$$= \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{6} \cos \omega t.$$

$$\dot{x}_C(t) = \frac{V_0}{3} - \frac{\mu}{M} \frac{V_0}{2} \cos \omega t = \frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{3} \cos \omega t.$$

@ t_u ho il secondo urto.

$$\dot{x}_{AB}(t_{\bar{u}}) = \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{6} \cos \omega t_u$$

$$\dot{x}_C(t_{\bar{u}}) = \frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{3} \cos \omega t_u$$

$$\dot{x}_{AB}(t_{\bar{u}}^+) = \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{6} \cos \omega t_u$$

$$\dot{x}_C(t_{\bar{u}}^+) = -\frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{3} \cos \omega t_u$$

$$\Delta p = -2M v_c = -2M \dot{x}(t_{\bar{u}}) =$$

$$= -\frac{2M V_0}{3} (1 - \cos \omega t_u)$$

$$= \frac{2}{3} M V_0 (\cos \omega t_u - 1).$$

$$\Delta p \in \left[-\frac{4M V_0}{3}, 0 \right]$$

$$\max |\Delta p| = \frac{4M V_0}{3}$$

Conosco $\max |\Delta p|$, ma non conosco l'istante in cui lo posso ottenere.

$$\max |\Delta p| = \frac{4Mv_0}{3} \Rightarrow \Delta p(t_u) = -\frac{4Mv_0}{3}$$

$$\frac{2}{3} Mv_0 (\cos \omega t_u - 1) = -\frac{4Mv_0}{3}$$

$$\cos \omega t_u - 1 = -2$$

$$\cos \omega t_u = -1$$

$$\omega t_u = \pi$$

$\ddot{x}_{\text{COM}} = 0$ vera anche dopo il π into.



Moto rettilinea uniforme

$$\begin{aligned} \dot{x}_{\text{COM}}(t > t_u) &\equiv \text{costante} \\ &\equiv \dot{x}_{\text{COM}}(t_u^+) \end{aligned}$$

$$x_{\text{CDM}} = \frac{2M x_{AB} + M x_C}{3M}$$

$$\dot{x}_{\text{CDM}} = \frac{2M \dot{x}_{AB} + M \dot{x}_C}{3M}$$

$$\dot{x}_{\text{CDM}}(t_u^+) = \frac{2M \dot{x}_{AB}(t_u^+) + M \dot{x}_C(t_u^+)}{3M}$$

$$= \frac{2M \left(\frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{6} \cos \omega t_u \right) + M \left(-\frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{3} \cos \omega t_u \right)}{3M}$$

$$\left(\omega t_u = \pi \Rightarrow \cos \omega t_u = -1 \right)$$

$$= \frac{2M \left(\frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{6} \right) + M \left(-\frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{3} \right)}{3M} = \dots = \left(-\frac{V_0}{9} \right)$$

→ Velocità del CDM del sistema dopo il secondo urto nel caso in cui l'impulso scambiato con il muro sia massimo.

Approccio energetico

$$\begin{cases} V_{AB} = V_{COM} - V_M \frac{\mu}{2M} \\ V_C = V_{COM} + V_M \frac{\mu}{2M} \end{cases} \quad \text{Velocità dei due corpi}$$

Energia meccanica del sistema:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} K x_M^2 + \frac{1}{2} \cdot 2M V_{AB}^2 + \frac{1}{2} M V_C^2 \\ &= \frac{1}{2} K x_M^2 + \frac{1}{2} 2M \left(V_{COM}^2 + V_M^2 \frac{\mu^2}{(2M)^2} - 2 V_{COM} V_M \frac{\mu}{2M} \right) + \\ &\quad + \frac{1}{2} M \left(V_{COM}^2 + V_M^2 \frac{\mu^2}{M^2} + 2 V_{COM} V_M \frac{\mu}{M} \right) = \\ &= \frac{1}{2} K x_M^2 + \frac{1}{2} (2M + M) V_{COM}^2 + \frac{1}{2} \mu^2 \left(\frac{1}{2M} + \frac{1}{M} \right) V_M^2 + \\ &\quad - \frac{1}{2} 2M 2 V_{COM} V_M \frac{\mu}{2M} + \frac{1}{2} M 2 V_{COM} V_M \frac{\mu}{M} = \\ &= \boxed{\frac{1}{2} K x_M^2 + \frac{1}{2} M_{TOT} V_{COM}^2 + \frac{1}{2} \mu V_M^2} \end{aligned}$$

Nota $V_{COM} \equiv \text{cost.} \Rightarrow \frac{1}{2} M_{TOT} V_{COM}^2 = \text{cost.}$

Nota $E \equiv \text{cost.}$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{1}{2} K x_M^2 + \frac{1}{2} \mu V_M^2 \equiv \text{cost.}}$$

- Se $x_M = 0 \Rightarrow |V_M| \bar{e}$ massima
- Se $V_M = 0 \Rightarrow |x_M| \bar{e}$ massima

Siano:

- $V_{MAX} = \max |V_M| > 0$
- $X_{MAX} = \max |x_M| > 0$

$$\Rightarrow \frac{1}{2} K X_{MAX}^2 + \frac{1}{2} \mu \cdot 0^2 = \frac{1}{2} K \cdot 0^2 + \frac{1}{2} \mu \cdot V_{MAX}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{K X_{MAX}^2 = \mu V_{MAX}^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\omega^2 X_{MAX}^2 = \cancel{\mu} V_{MAX}^2}$$

$$\omega^2 = \frac{K}{\mu}$$

Conseguenze

Quando possiamo dire che V_C è massima?

1) Per avere un urto con il muro, V_C deve essere positivo.

2) Poiché $V_C = V_{CM} + V_M \frac{\mu}{M}$ e $V_C > 0$, e $V_{CM} > 0$, allora V_C è massimo se $\underline{V_M = V_{MAX}}$

3) Subito dopo il primo urto, si ha che:

$$x_M(0) = 0$$

$$V_M(0) = -\frac{V_0}{2}$$

4) Poiché $x_M = 0 \Rightarrow |V_M|$ è massima, allora

$$\boxed{V_{MAX} = \frac{V_0}{2}}$$

$$5) \max V_C = \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{2} \frac{\mu}{M} = \frac{V_0}{3} + \frac{V_0}{2} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{3} V_0$$

6) Se l'urto avviene quando $V_C(t\bar{u}) = \frac{2}{3} V_0$,

allora:

$$\Rightarrow \boxed{\Delta p = -2M V_C(t\bar{u}) = -\frac{4}{3} M V_0}$$

Dopo l'urto:

$$\begin{cases} V_{AB}(t\bar{u}^+) = V_{AB}(t\bar{u}) \\ V_C(t\bar{u}^+) = -V_C(t\bar{u}) = -\frac{2}{3} V_0 \end{cases}$$

$$V_{AB}(t\bar{u}^+) = V_{CM}(t\bar{u}) - V_C(t\bar{u}) \frac{\mu}{2M} =$$

$$= \frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{2} \frac{\mu}{2M} =$$

$$= \frac{V_0}{3} - \frac{V_0}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} = +\frac{V_0}{6} = V_{AB}(t\bar{u}^+)$$

$$\Rightarrow V_{CM}(t\bar{u}^+) = \frac{2M V_{AB}(t\bar{u}^+) + M V_C(t\bar{u}^+)}{3M} =$$

$$= \frac{1}{3M} \left(2M \frac{V_0}{6} + M \frac{2}{3} V_0 \right) =$$

$$= \frac{V_0}{3} \left(\frac{1}{3} - \frac{2}{3} \right) = -\frac{V_0}{9}.$$

Esercizio estratto dall'esame di Fisica 1 del 19 Settembre 2014

Esercizio 4

Una mole di gas perfetto monoatomico subisce un'espansione durante la quale la pressione varia con il volume secondo la relazione $p = \alpha + \beta V^2$, con $\alpha > 0$ e noto e $\beta < 0$ (da determinare), partendo dallo stato A con volume V_A (assegnato) ed arrivando a uno stato B con volume $V_B = 3V_A$.

Quali sono le dimensioni dei parametri α e β ?

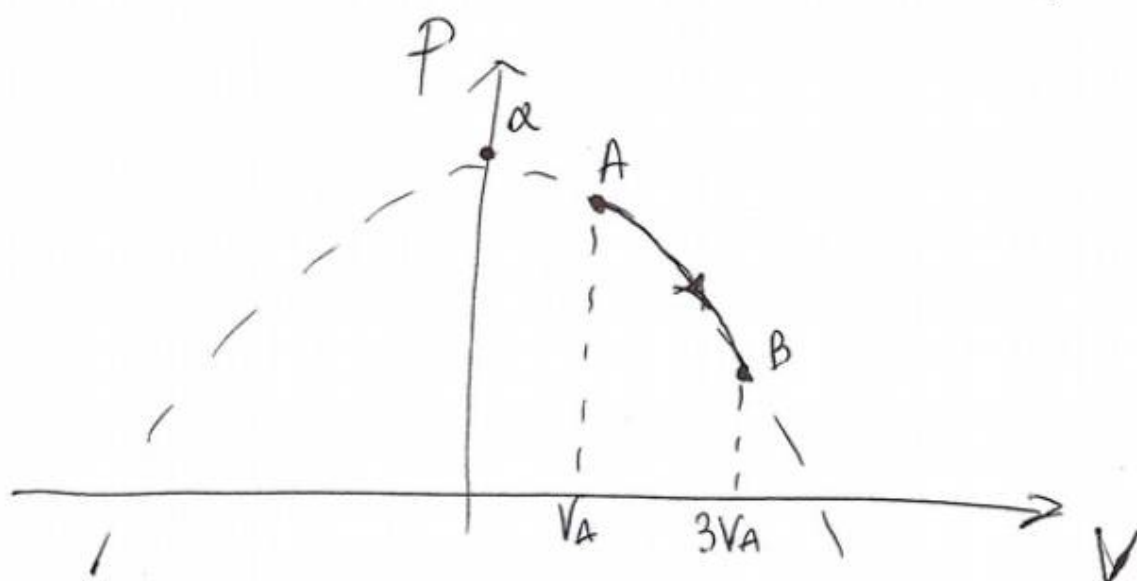
Individuare una relazione fra calore infinitesimo scambiato δQ ed incremento infinitesimo di volume dV , chiarendo se, e per quale volume, l'espansione avviene con cessione o assorbimento di calore. Determinare infine per quale valore di β il calore netto scambiato da A a B è nullo.

[Suggerimento: utilizzare il 1° principio della termodinamica e valutare, per un incremento infinitesimo dV , la variazione infinitesima di energia interna ed il lavoro infinitesimo svolto.]

$$A \rightarrow B: \quad p(V) = \alpha + \beta V^2$$

$\alpha > 0$ noto

$\beta < 0$ non noto



$$dU = \delta Q - \delta W$$

$$\Rightarrow \delta Q = dU + \delta W$$

1° principio della termodinamica

$$dU = m c_v dT$$

$$\Rightarrow \delta Q = m c_v dT + \delta W$$

Variazione dell'energia interna per una qualsiasi trasformazione.

$$\delta W = p(v) dv$$

$$\Rightarrow \underline{\delta Q} = m c_v \underline{dT} + p(v) \underline{dv}$$

Come posso esprimere dT in funzione di dv ?

$$p(v) \cdot V = nRT$$

Legge dei gas perfetti

Ricaviamo la legge dei gas perfetti in forma differenziale!

$$d(p(v) V) = d(nRT)$$

$$d(p(v)) \cdot V + p(v) dv = nR dT$$

~~$$d(P(v)) = d(\alpha + \beta v^2) = 2\beta v$$~~

~~$$2\beta v$$~~

$$\frac{d(P(v))}{dv} = \frac{d(\alpha + \beta v^2)}{dv}$$

$$\frac{d(P(v))}{dv} = 2\beta v$$

$$\boxed{d(P(v)) = 2\beta v dv}$$

$$2\beta v dv \cdot v + (\alpha + \beta v^2)dv = mR dT$$

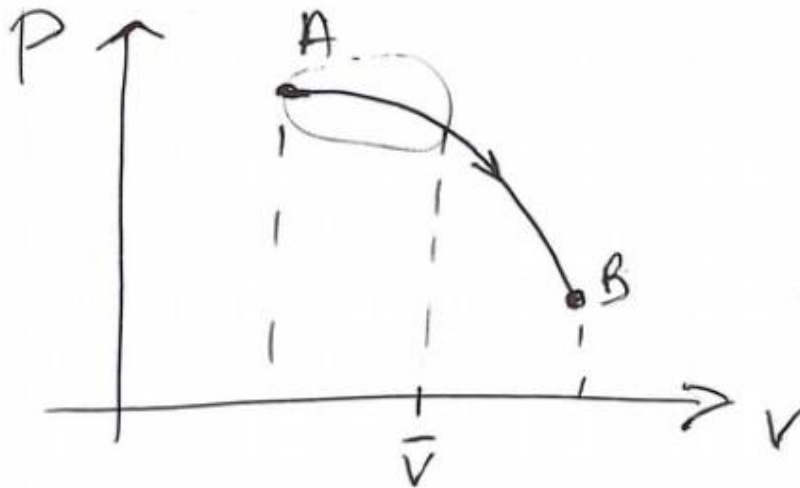
$$dT = \frac{1}{mR} (2\beta v^2 dv + (\alpha + \beta v^2)dv)$$
$$= \frac{\alpha + 3\beta v^2}{mR} dv$$

$$\delta Q = m c_v dT + p c_v dV$$

$$= m c_v \left(\frac{1}{m R} (\alpha + 3 \beta v^2) dV \right) + (\alpha + \beta v^2) dV$$

$$C_v = \frac{3}{2} R \quad (\text{monatomic})$$

$$\delta Q = \left(\frac{5}{2} \alpha + \frac{11}{2} \beta v^2 \right) dV$$



Questa espressione rappresenta la derivata del calore rispetto al volume.
 Se è positiva, vuol dire che **istantaneamente** il gas sta acquistando calore.
 Se è negativa, il gas sta cedendo calore istantaneamente.

$$\frac{\delta Q}{dV} = \frac{5}{2}\alpha + \frac{11}{2}\beta v^2$$

Se acquisto calore, $\frac{\delta Q}{dV} > 0$

$$\frac{5}{2}\alpha + \frac{11}{2}\beta v^2 > 0$$

$$\frac{5}{2}\alpha + \frac{11}{2}\beta v^2 = 0 \Rightarrow v = \pm \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}}$$

$$\Rightarrow v < -\sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} \quad \text{opp.} \quad v > \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}}$$

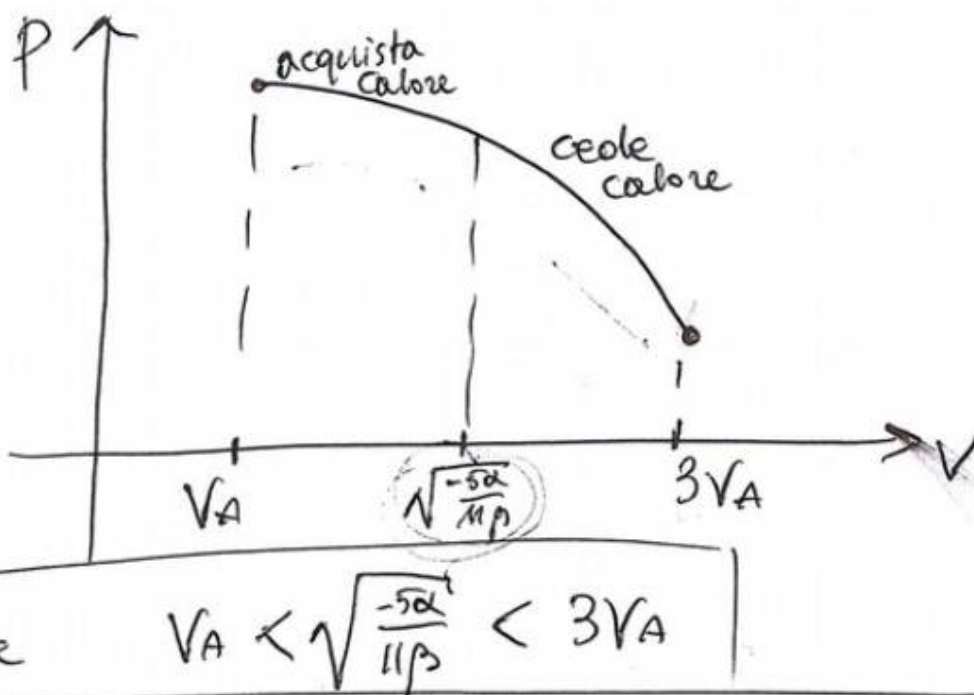
$$-\sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} < v < \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} \quad (\text{vedi } \beta < 0)$$

$$\boxed{0 < v < \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}}}$$

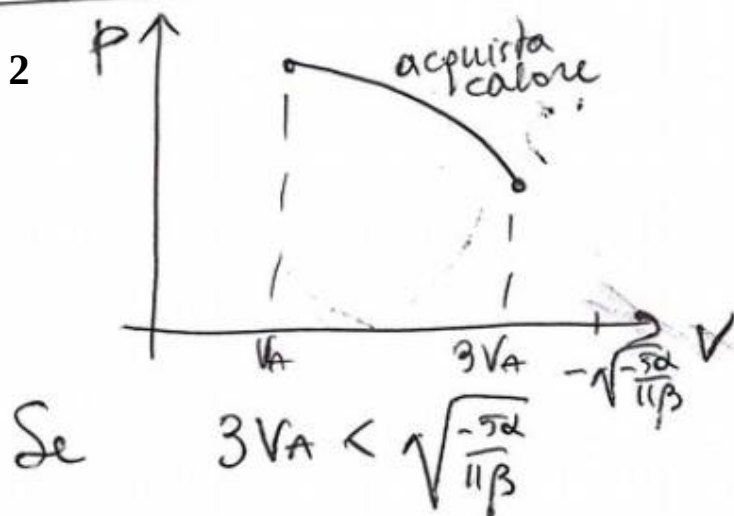
Il gas sta acquistando istantaneamente calore se il volume V soddisfa la precedente disequazione.

Si possono verificare 3 casi diversi:

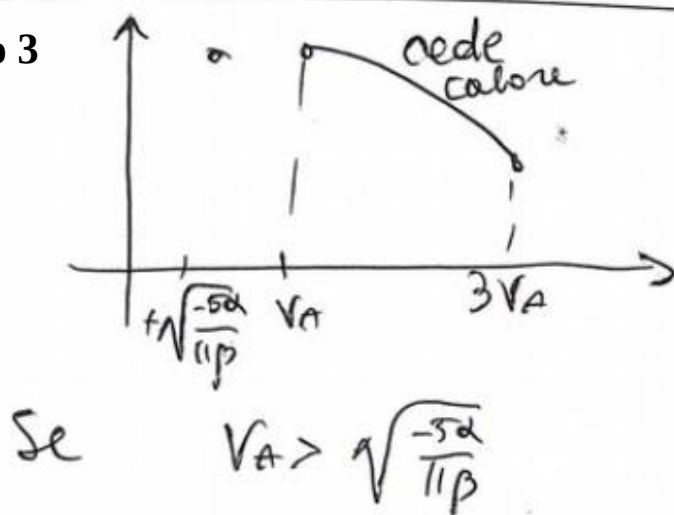
Caso 1



Caso 2



Caso 3



Affinchè $Q=0 \Rightarrow V_A < \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} < 3V_A$

Caso 1

NB β è l'incognita!

$$\square \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} < 3V_A \Rightarrow \frac{-5\alpha}{11\beta} < 9V_A^2$$

$$\frac{5\alpha}{-11\beta} < 9V_A^2 \Rightarrow 5\alpha < -99\beta V_A^2$$

$$-5\alpha > 99\beta V_A^2 \Rightarrow \boxed{\beta < -\frac{5\alpha}{99V_A^2}}$$

$$\square \sqrt{\frac{-5\alpha}{11\beta}} > V_A \xRightarrow{\text{esercizio}} \boxed{\beta > -\frac{5\alpha}{11V_A^2}}$$

$$\hookrightarrow -\frac{5}{11} \frac{\alpha}{V_A^2} < \beta < -\frac{5}{99} \frac{\alpha}{V_A^2}$$

$$\boxed{-0.454 \frac{\alpha}{V_A^2} < \beta < -0.051 \frac{\alpha}{V_A^2}}$$

Calcoliamo Q

$$Q = \int_{V_A}^{V_B} \left(\frac{5}{2} \alpha + \frac{11}{2} \beta v^2 \right) dv$$

$$= \int_{V_A}^{3V_A} \frac{5}{2} \alpha dv + \int_{V_A}^{3V_A} \frac{11}{2} \beta v^2 dv$$

$$= \frac{5}{2} \alpha (3V_A - V_A) + \frac{11}{2} \beta \frac{(3V_A)^3 - V_A^3}{3}$$

$$= 5\alpha V_A + \frac{11}{6} \beta \cdot 26 V_A^3 =$$

$$= 5\alpha V_A + \frac{143}{3} \beta V_A^3 =$$

$$= \frac{V_A}{3} (15\alpha + 143\beta V_A^2) .$$

Quante che $Q=0$?

$$\frac{V_A}{3} (15\alpha + 143\beta V_A^2) = 0$$

$$\beta = -\frac{15}{143} \frac{\alpha}{V_A^2} \simeq -0.105 \frac{\alpha}{V_A^2}$$

Soluzione valida!

Esercizio estratto dall'esame di Fisica 1 del 12 Giugno 2017

Esercizio 3

Si hanno tre moli di gas perfetto biatomico che è inizialmente allo stato (p_A, V_A) e subisce una lenta compressione durante la quale resta costante il prodotto TV^3 . In tale processo il volume dimezza. Segue un'espansione libera fino al volume iniziale. Calcolare:

Il calore scambiato nella compressione (usare la convenzione secondo cui $Q > 0$ se assorbito dal gas)

L'integrale di Clausius e la variazione d'entropia del gas nell'espansione

- $pV = nRT$ vale per ogni punto della trasformazione AB.

Come ricavare $p(V)$?

$$\left\{ \begin{array}{l} p(V)V = nRT \\ TV^3 = T_A V_A^3 \end{array} \right.$$

"generico"

valore noto
in un punto
della trasformazione

$$\left\{ \begin{array}{l} p(V) = \frac{nRT}{V} \\ T = \frac{T_A V_A^3}{V^3} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} p(V) = \frac{nR}{V} \cdot \frac{T_A V_A^3}{V^3} \\ = \frac{nR T_A V_A^3}{V^4} \end{array} \right.$$

$$P_A V_A = n R T_A \Rightarrow T_A = \frac{P_A V_A}{n R}$$

$$\Rightarrow \left(P_C V \right) = \frac{n R V_A^3}{V^4} \cdot \frac{P_A V_A}{n R} = P_A \frac{V_A^4}{V^4}$$

$$\Delta U_{AB} = Q - W$$

$$Q = \Delta U_{AB} + W$$

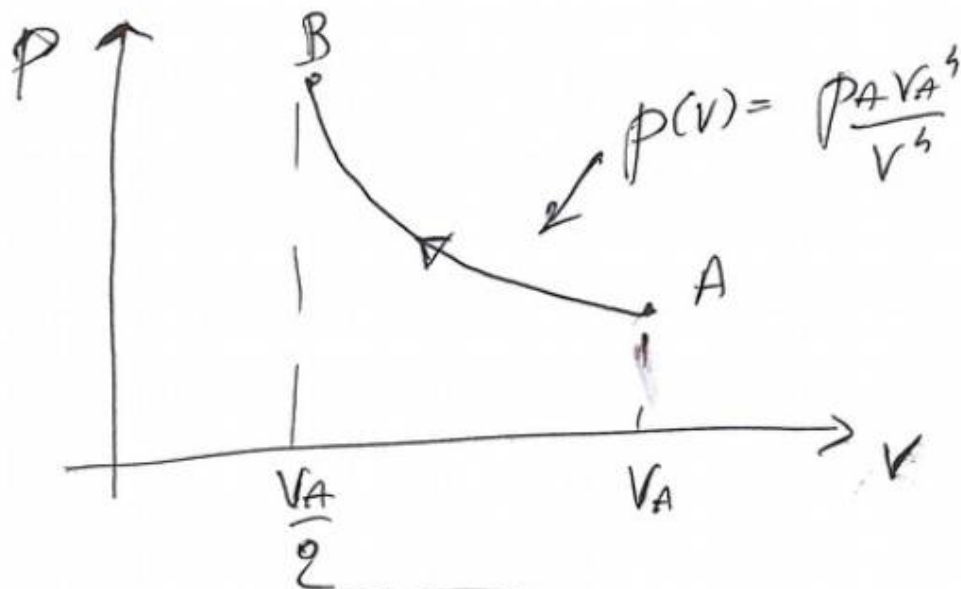
$$= n C_V (T_B - T_A) +$$

$$\int_{V_A}^{V_B} P_A \frac{V_A^4}{V^4} dV$$

$$\rightarrow \underline{NB} \quad V_B = \frac{V_A}{2}$$

$$P_A V_A^4 \int_{V_A}^{\frac{V_A}{2}} V^{-4} dV = \frac{P_A V_A^4}{-3} \left(\left(\frac{V_A}{2} \right)^{-3} - V_A^{-3} \right)$$

$$= \frac{P_A V_A^4}{3} \left(\frac{1}{V_A^3} - \frac{8}{V_A^3} \right) = -\frac{7}{3} P_A V_A$$



$$P_A, V_A, T_A = \frac{P_A V_A}{nR}$$

$$P_B = P\left(\frac{V_A}{2}\right) = \frac{P_A V_A^4}{V_A^4/16} = 16 P_A$$

$$T_B = \frac{P_B V_B}{nR} = \frac{16 P_A \frac{V_A}{2}}{nR} = \frac{8 P_A V_A}{nR} = 8 T_A$$

$$Q = n C_V (T_B - T_A) + \left(-\frac{7}{3} P_A V_A\right)$$

$$= n C_V (8 T_A - T_A) - \frac{7}{3} P_A V_A$$

$$= \cancel{n} \cdot \left(\frac{5R}{2}\right) \cdot 7 T_A - \frac{7}{3} P_A V_A = nR \frac{35}{2} T_A - \frac{7}{3} P_A V_A$$

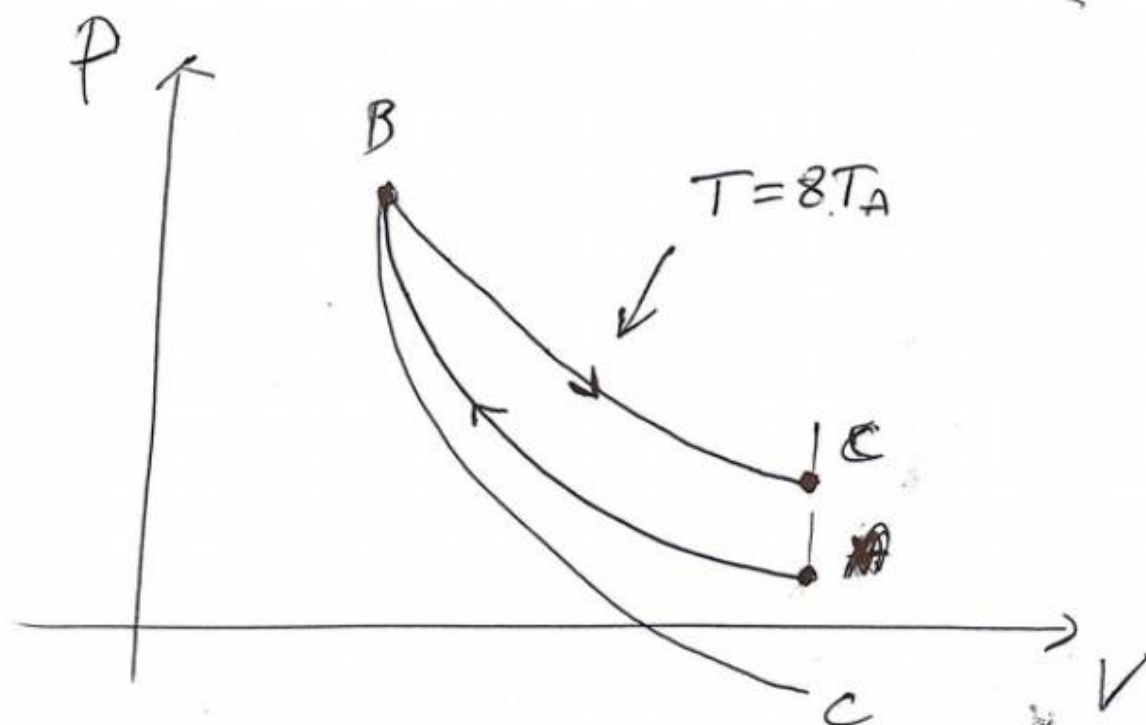


monatomic

$$= \frac{35}{2} P_A V_A - \frac{7}{3} P_A V_A$$

$$= P_A V_A \frac{105 - 14}{6}$$

$$\Rightarrow \boxed{Q = \frac{91}{6} p_A V_A}$$



	P	V	T
A	p_A	V_A	$\frac{p_A V_A}{nR}$
B	$16p_A$	$\frac{V_A}{2}$	$\frac{8p_A V_A}{nR}$
C	$8p_A$	V_A	$\frac{8p_A V_A}{nR}$

Espansione libera

$$Q = W = 0, T \text{ costante}$$

Si comporta come un'isoterma
ma non è mai reversibile!

$$\Delta S = \int_{T_0}^{T_c} \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_{\underline{T_B}}^{T_c} dQ$$

$$= \frac{1}{T} \int_{V_0}^{V_c} p(V) dV$$

$$Q = W$$

$$= \frac{1}{T} \int_{V_0}^{V_c} \frac{8p_A V_A}{V} dV$$

$$= \frac{1}{T} 8p_A V_A \log \frac{V_c}{V_B} =$$

$$= \frac{\cancel{8p_A V_A}}{\cancel{8p_A V_A} / nR} \log \frac{\cancel{2V_A}}{V_A/2} = \underline{\underline{nR \log 2 > 0}}$$