

TD 12 1^{er} principe

Ex 1 : Questions de cours

Rq : Si la pression est isobare et que le volume varie elle est obligatoirement monobare et $P = P_{ext}$

1^o $W = - \int P_{ext} dV$ Le travail dépend de la pression extérieure (et pas forcément de la pression interne du gaz)

* Transf. isochore : $W = 0 \text{ J}$ ($V = cte$)

* Équilibre mécanique à tout instant (quasi. statique)

$$P = P_{ext} \quad \text{d'où} \quad W = - \int P dV$$

* Transf. monobare : $P_{ext} = cte$ $W = - P_{ext} \int dV$

* Transf. isobare : $P = P_{ext} = cte$ $W = - P \int dV$

2^o Principe zéro : Si 2 syst sont chacun en équilibre avec un 3^{ème}, alors ils sont en équilibre entre eux.

→ Cela permet de définir la température
→ Justifie l'usage des thermomètres

3^o Transf. monobare : $P_{ext} = cte$

Transf. isobare : $P = cte$

Transf. monotherme : contact avec un thermostat

Transf. isotherme : $T = cte$

Transf. adiabatique : $Q = 0 \text{ J}$

Transf. isochore : $V = cte$

4° Thermostat : syst capable d'imposer une température constante malgré les transferts thermiques.

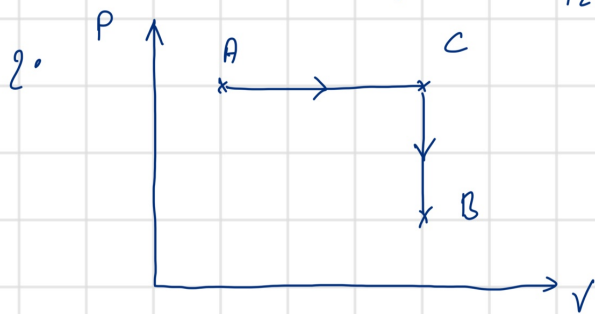
$$5° H = U + PV \quad \text{et} \quad \Delta H = \Delta U + P\Delta V + V\Delta P = 0$$
$$\Delta H = Q_p$$

$$6° C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v \quad \text{et} \quad C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$$

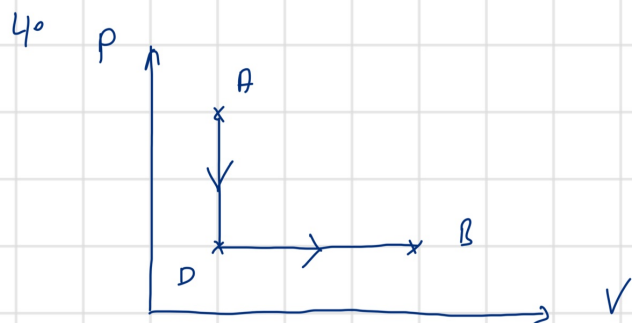
$$7° C_p - C_v = nR \quad (\text{et } C_{p,m} - C_{v,m} = R)$$

Ex 2 : Travail reçu le long d'un chemin donné

$$1° GP \rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \text{et} \quad \underline{T_2 = 300 \text{ K}}$$



$$3° W_{AB} = W_{AC} + W_{CB} = -P_1(V_C - V_A) + 0 = -4000 \text{ J}$$

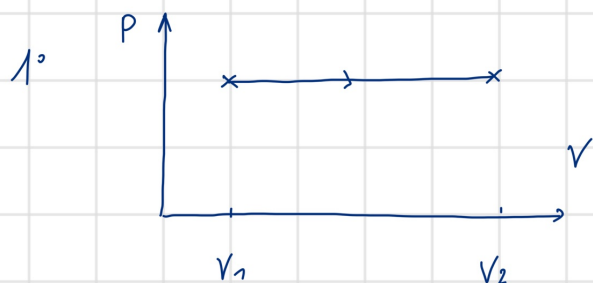


$$W_{AB} = W_{AD} + W_{DB}$$

$$W_{AB} = -P_2(V_B - V_D) = -1000 \text{ J}$$

→ Le travail dépend du chemin suivi, ce n'est pas une fonction d'état

Ex 3 : Evolution isobare d'un GP



2° $PV = nRT$, à $P = \text{cte}$ on a V proportionnel à T

→ Si $T \uparrow$ alors $V \uparrow$, le gaz se dilate même si la pression ne change pas.

Physiquement : on chauffe le gaz donc l'agitation thermique augmente, il pousse le piston et le volume augmente

3° $\Delta U = Q + W$

$$\frac{3}{2} nR (T_2 - T_1) = Q - P(V_2 - V_1)$$

$$\frac{3}{2} P(V_2 - V_1) = Q - P(V_2 - V_1)$$

$$Q = \frac{5}{2} P(V_2 - V_1) = 125 \text{ J}$$

$Q > 0$ Le système reçoit de la chaleur :

- le gaz se dilate
- il travaille contre l'extérieur
- il faut donc lui fournir de l'énergie Q

Ex 4

Toute l'énergie cinétique est dissipée par les frottements et on suppose que tout va dans les pneus :

La force de frottement a pour expression $f = \mu Mg$

$$W_{\text{res}}(\vec{f}) = \vec{f} \cdot \vec{AB} = f \times d \times \cos \pi = -fd = -\mu Mg d$$

Énergie thermique reçue $Q = \mu Mg d$

1^{er} principe $\Delta U = Q + W = 0 \text{ J}$

$$C \Delta T = \mu Mg d$$

$$\Delta T = \frac{\mu Mg d}{C} = 21,6 \text{ K} \quad (\text{soit } T_f = 61,6^\circ \text{C})$$

Ex 5 : GP dans une enceinte

$$V = S \times h$$

* État 1

Équilibre thermique $T_1 = T_0$

Équilibre mécanique $P_1 = P_0 + \frac{mg}{S}$

GP $P_1 V_1 = n R T_0$

$$\rightarrow h_1 = \frac{V_1}{S} = \frac{n R T_0}{S \left(P_0 + \frac{mg}{S} \right)}$$

* Etat 2 (Chauffage à $T > T_0$)

Température T / Pression extérieure $P_0 + \frac{mg}{S}$

Equilibre mécanique $P_2 = P_0 + \frac{mg}{S}$

GP $P_2 V_2 = nRT$

→ $h_2 = \frac{nRT}{S(P_0 + \frac{mg}{S})}$ ($h_2 > h_1$ car $T > T_0$)

* Etat 3 : ajout brutal de M

Pas d'échange thermique : adiabatique / Température T

Equilibre mécanique $P_3 = P_0 + \frac{(m+M)g}{S}$

GP $P_3 V_3 = nRT$

→ $h_3 = \frac{nRT}{S(P_0 + \frac{(m+M)g}{S})}$ ($h_3 < h_2$)

* Etat 4 : nouvel équilibre thermique

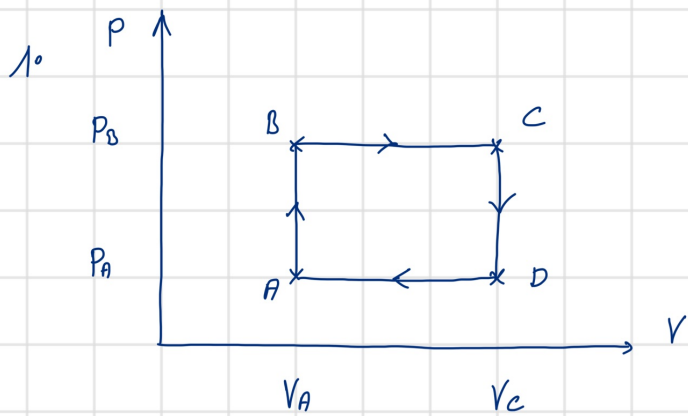
Retour à la température T_0

Equilibre mécanique $P_4 = P_0 + \frac{(m+M)g}{S}$

GP $P_4 V_4 = nRT_0$

→ $h_4 = \frac{nRT_0}{S(P_0 + \frac{(m+M)g}{S})}$ ($h_4 < h_3$)

Ex 6 : Cycle parcouru par un GP



Sens horaire : cycle moteur

$$\rightarrow W < 0$$

2° a) Point A : $T_A = \frac{P_A V_A}{R} = 273 \text{ K}$

Point B (isochore) : $\frac{T_B}{T_A} = \frac{P_B}{P_A}$ d'où $T_B = 1365 \text{ K}$

Point C (isobare) : $\frac{T_C}{T_B} = \frac{V_C}{V_B}$ d'où $T_C = 2730 \text{ K}$

Point D (isochore) : $\frac{T_D}{T_C} = \frac{P_D}{P_C}$ d'où $T_D = 546 \text{ K}$

b) Sur un cycle $\Delta U = Q + W = 0$ donc $Q = -W$

$$\rightarrow Q = -W_{AB} - W_{BC} - W_{CD} - W_{DA}$$

$$Q = (P_B - P_A)(V_C - V_A) = 9050 \text{ J}$$

c) $U_C - U_A = \frac{3}{2} nR (T_C - T_A) = 3,1 \cdot 10^4 \text{ J}$

d) Transf. isobare $Q = n C_{p,m} (T_C - T_B)$ avec $C_{p,m} = \frac{5}{2} R$

$$\rightarrow Q = \frac{5}{2} nR (T_C - T_B) = 28370 \text{ J}$$

Ex 7 : Capacité calorifique du cuivre

1° Système : { calorimètre + eau + cuivre }

Calorimètre idéal : pas d'échange avec l'extérieur

Transf. adiabatique + isochore

Transfert thermique $Q = 0 \text{ J}$

Travail des forces de pression $W = 0 \text{ J}$

Pas d'autre travail

2° $\Delta U_{\text{sys}} = 0$ donc $\Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{Cu}} = 0$

$$m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_f - T_i) + m_{\text{Cu}} c_{\text{Cu}} (T_f - T_{\text{Cu}}) = 0$$

$$c_{\text{Cu}} = - \frac{m_{\text{eau}} c_{\text{eau}} (T_f - T_i)}{m_{\text{Cu}} (T_f - T_{\text{Cu}})} = 300 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Ex 8 : Chauffage d'un gaz par effet Joule

1° Isobare + adiabatique avec travail électrique

$$\Delta U = W_e + W_p \quad (\text{car } Q = 0 \text{ J})$$

$$2° W_e = R_{\text{th}} I^2 \Delta t$$

$$W_p = - P \Delta V = - n R \Delta T \quad (\text{en isobare on a } P \Delta V = n R \Delta T)$$

$$\Delta U = n C_{v,m} \Delta T$$

On peut donc écrire : $n C_{v,m} \Delta T = R_{th} I^2 \Delta t - n R \Delta T$

$$n (C_{v,m} + R) \Delta T = R_{th} I^2 \Delta t$$

$$n C_{p,m} \Delta T = R_{th} I^2 \Delta t$$

$$\Delta T = \frac{R_{th} I^2 \Delta t}{n C_p} \approx 5,2 \text{ K}$$

$$\underline{T_f = 293 + 5,2 = 298,2 \text{ K}}$$

$$3^\circ \quad P_0 V_f = n R T_f$$

$$P_0 V_0 = n R T_0$$

$$\rightarrow \frac{V_f}{V_0} = \frac{T_f}{T_0} = \frac{298,2}{293} = 1,017$$

soit + 1,7 %

4° Isobare + monotherme (contact avec un thermostat)

$$\underline{\Delta U = Q + W_e + W_p}$$

$$5^\circ \quad \underline{T_f = T_1 = 328 \text{ K}}$$

$$Q = \Delta U - W_e - W_p$$

$$Q = n C_{v,m} \Delta T - R_{th} I^2 \Delta t + n R \Delta T$$

$$\underline{Q = n C_{p,m} \Delta T - R_{th} I^2 \Delta t = 1737 \text{ J} > 0}$$

Le gaz reçoit de la chaleur (logique car l'extérieur est plus chaud)

Ex 9 : Canette autoréfrigérante

Système : { boisson + fluide réfrigérant } ← il y a échange d'énergie entre les deux mais pas avec l'extérieur

Transf. adiabatique (pas d'échange avec l'extérieur)

+ isobare (détente à pression atmosphérique)

Principe fondamental $\Delta H_{\text{totale}} = 0$

$$\Delta H_{\text{boisson}} + \Delta H_{\text{fluide}} = 0$$

$$m_{\text{eau}} c \Delta T + m_{\text{fluide}} L_v = 0$$

$$\Delta T = - \frac{m_{\text{fluide}} L_v}{m_{\text{eau}} c} = - 9^\circ \text{C}$$

Le fluide se vaporise donc il absorbe de l'énergie. Cette énergie provient de la boisson donc elle refroidit.

Ex 10 : Formation de la neige artificielle

1^o Echange thermique avec l'air $\delta Q = hS (T_a - T(t)) dt$

$$\begin{aligned} \text{1^{er} principe } dU &= \delta Q + \delta W \\ &= 0 \text{ car goutte indéformable} \end{aligned}$$

$$m c dT(t) = hS (T_a - T(t)) dt$$

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{hS}{m c} T(t) = \frac{hS}{m c} T_a$$

$$2^{\circ} T(t) = T^G(t) + T^P = A e^{-\frac{hS}{mc}t} + T_a$$

à $t = 0$ on a $T(0) = T_0 = A + T_a$ donc $A = T_0 - T_a$

$$T(t) = (T_0 - T_a) e^{-\frac{hS}{mc}t} + T_a$$

on en déduit $t_1 = 3,9$ s pour atteindre -5°C

3° $-5^{\circ}\text{C} \rightarrow 0^{\circ}\text{C}$ (arrêt de la surfusion)

$$mc \Delta T = x m L_f \quad \text{d'où} \quad x = \frac{c \Delta T}{L_f} = 0,063$$

6,3 % se solidifie instantanément

4° Bilan énergétique : $dm L_f = hS (T_a - 0) dt$

$$\text{Débit de solidification : } \frac{dm}{dt} = \frac{hS T_a}{L_f} \approx 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

La goutte ayant une masse de $3,4 \cdot 10^{-9}$ kg on trouve une durée de solidification d'environ 20 s