



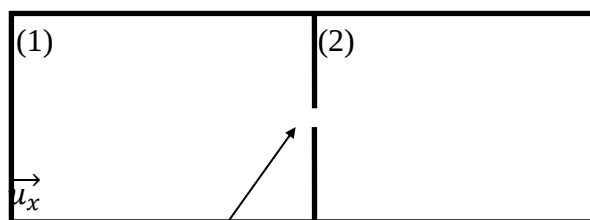
Gaz parfait

TH014 - Dissociation d'un gaz

- 1 - Quel est le volume V_0 occupé par 1,00 g de dibrome à $t_0 = 600\text{ °C}$ sous la pression standard ($P^\circ = 1,00\text{ bar}$), en assimilant la vapeur à un gaz parfait.
 - 2 - Que deviendrait ce volume (soit V_1) à $t_1 = 1600\text{ °C}$.
 - 3 - L'expérience montre que ce volume est en fait $V'_1 = 1,19\text{ L}$.
- Interpréter qualitativement et quantitativement ce résultat expérimental.

TH002 - Effusion gazeuse

Le récipient ci-contre est constitué de deux compartiments de même volume V maintenus à la température T . A l'instant $t=0$, une mole d'un gaz parfait remplit le compartiment (1), le compartiment (2) étant vide, et on perce un petit trou de section s entre les compartiments.



trou de section s

On note $N_1(t)$ et $N_2(t)$ les nombres de molécules dans les compartiments (1) et (2). Soit $(\vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ un trièdre cartésien dont $\vec{u}_x$ est la normale au trou de section s .

On adopte pour le gaz parfait le modèle simplifié suivant :

- i - la norme v de la vitesse $\vec{v}$ de toutes les molécules est identique et égale à la vitesse quadratique moyenne v_q .
- ii - dans tout élément de volume $d\tau$, les vecteurs vitesses des molécules sont parallèles à l'une des six directions des vecteurs unitaires cartésiens avec un sixième des molécules dans chacune des directions.

1 - Etablir l'expression du nombre $dN_{1 \rightarrow 2}$ de molécules contenues dans le compartiment (1) à l'instant t traversant la surface s vers le compartiment (2) entre les instant t et $t + dt$.

Même question pour le nombre $dN_{2 \rightarrow 1}$.

2 - En déduire les expressions de $\frac{dN_1}{dt}$ et de $\frac{dN_2}{dt}$ en fonction de N_1 , N_2 , s , v_q et V .

3 - Etablir les expressions de $N_1(t)$ et de $N_2(t)$.

Commenter les valeurs limites de N_1 et N_2 . Faire apparaître une constante de temps τ caractéristique du phénomène observé.

Comment pourrait-on accéder expérimentalement aux variations de $N_1(t)$ et de $N_2(t)$ en fonction de t ?

Application numérique : Calculer τ dans le cas du diazote

$$T = 293\text{ K} ; V = 20\text{ L} ; s = 1,0\text{ mm}^2 ; v_q = \left(\frac{3k_B T}{m}\right)^{1/2} ; M(N_2) = 28\text{ g.mol}^{-1} ; k_B = 1,38.10^{-23}\text{ J.K}^{-1}$$

4 - Comment varie τ avec la masse m des molécules ? L'hydrogène H possède un isotope utilisé pour réaliser la réaction de fusion thermonucléaire, le deutérium D dont le noyau est constitué d'un proton et d'un neutron. Expliquer brièvement comment on peut enrichir en dideutérium D_2 un mélange de dihydrogène H_2 et de dideutérium D_2 par effusion gazeuse.

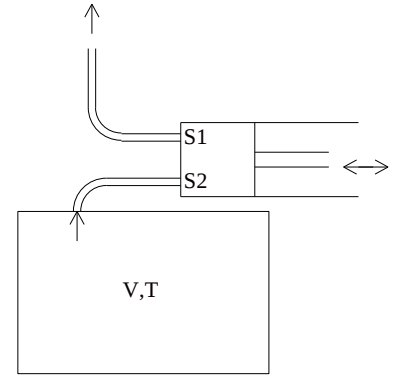
TH016 - Pompe à vide

Le piston dans le cylindre de la pompe glisse sans frottement. Le volume maximal admissible dans le corps de pompe est V_0 et le volume minimal est nul (piston en butée au fond du cylindre). Les deux soupapes S_1 et S_2 permettent l'admission de l'air venant du réservoir qu'on cherche à « vider » et le refoulement de cet air dans l'atmosphère. Le piston est actionné par un moteur qui fait un tour lorsque le piston fait un aller-retour.

L'air sera assimilé à un gaz parfait dont la température T est constante.

Au départ, la pression dans le réservoir vaut $p_0 = 1.000.10^5 \text{ Pa}$.

On néglige le volume du tuyau reliant la pompe au réservoir.



1 – 1^{er} aller-retour

Le piston est en butée à gauche et $p = p_0$ dans le réservoir.

S_2 étant ouverte et S_1 fermée. Le piston est tiré complètement vers la droite.

Lors du retour du piston, S_2 est fermée et S_1 ouverte. L'air du cylindre est complètement refoulé à l'extérieur.

Déterminer la pression p_1 à la fin de cette opération.

2 – De même, déterminer p_2 à la fin du 2^{ème} aller-retour.

3 – En déduire la pression p_n après le n ième aller-retour.

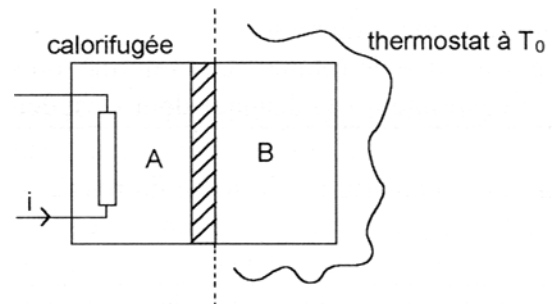
4 – La fréquence de rotation du moteur est de 300 tr.min^{-1} . Déterminer le temps t pour obtenir une pression $p = 1.00010^2 \text{ Pa}$.

Données : $V = 10.0 \text{ L}$; $V_0 = 50.0 \text{ cm}^3$.

Premier principe

TH028 – Enceinte à double compartiment

Un cylindre horizontal est divisé en deux compartiments A et B de même volume V_0 par un piston coulissant sans frottement. Ils contiennent chacun **une mole** de gaz parfait monoatomique à la température T_0 et à la pression p_0 et de même capacité thermique molaire à volume constant C_{vm} . Le piston et les parois du compartiment A sont parfaitement calorifugés. Celles de B permettent les transferts thermiques (diathermes) avec un thermostat à la température T_0 .



Le compartiment A est porté à la température T_1 grâce à une résistance chauffante.

a) Exprimer les volumes V_A , V_B et la pression dans chaque compartiment à l'équilibre.

b) Quelle est la variation d'énergie interne du système A + B ?

c) Quel est le travail transféré par A pour B (la transformation est supposée mécaniquement réversible) ?

En déduire le transfert thermique Q_B effectué avec le thermostat.

d) Exprimer le transfert thermique Q_A fourni par la résistance chauffante.

★ TH0212 Détente contre le vide

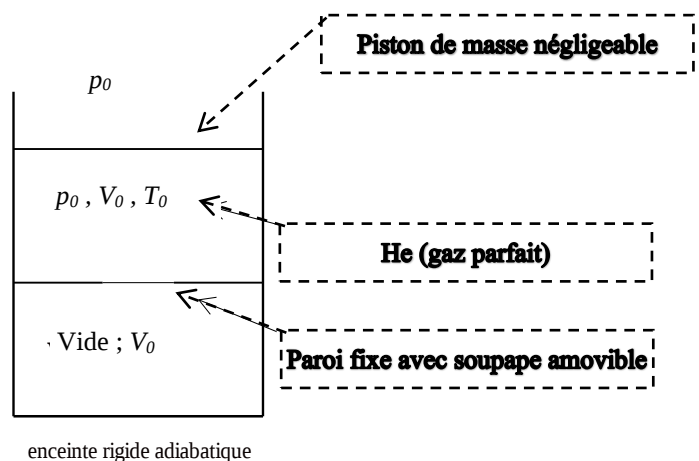
Données : $V_0 = 2 \text{ L}$; $p_0 = 1 \text{ bar}$;
 $T_0 = 300 \text{ K}$; $\gamma = 1,66$

On ouvre la soupape. On attend l'équilibre final.

1 – Quelle est la pression finale p ?

2 – Quel est le travail des forces de pression extérieures au gaz ?

3 – Quelle est la température finale du gaz ?



TH026 - Calorimétrie

On veut obtenir un whisky bien frappé en ajoutant un glaçon de $V_g = 1,0 \text{ cm}^3$ (qui sort tout juste du compartiment à $-4,0 \text{ °C}$ du réfrigérateur) à $V_w = 10 \text{ cm}^3$ d'un whisky qui titre $d = 43 \text{ °G.L.}$ (Gay-Lussac) et qui se trouve à la température ambiante $T_a = 20 \text{ °C}$.

En supposant qu'on laisse fondre complètement la glace, quelle est la **température minimum** atteinte par le mélange ? On négligera la contraction volumique provenant du mélange eau-alcool. On précisera les hypothèses utilisées.

Données : $C_p(\text{eau}) = 4,2 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$; $C_p(\text{glace}) = 2,1 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$; $C_p(\text{alcool}) = 2,5 \text{ J.K}^{-1}.\text{g}^{-1}$

Masses volumiques $\rho(\text{glace}) = 0,92 \text{ g.cm}^{-3}$; $\rho(\text{alcool}) = 0,79 \text{ g.cm}^{-3}$

Chaleur latente massique de fusion de la glace (à 0°C) $L = 334 \text{ J.g}^{-1}$

1 °G.L. correspond à 1 cm^3 d'alcool dans 100 cm^3 de solution.

TH0210 - Neige artificielle

Un canon à neige pulvérise dans l'air à la température $T_e = -15\text{°C}$ des gouttelettes d'eau de rayon $R = 10 \text{ }\mu\text{m}$ et de température $T_i = 10 \text{ °C}$ supposée uniforme. La gouttelette entretient avec l'air des échanges thermiques de puissance :

$$P_{th} = 4.\pi.R^2.h.(T(t) - T_e) \text{ où } h = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1},$$

$T(t)$ est la température instantanée de la gouttelette. La pression ambiante est constante $p_0 = 1 \text{ bar}$.

a) A l'aide du premier principe appliqué à l'eau de la gouttelette pendant une durée dt , établir l'équation différentielle d'évolution de sa température (supposée uniforme).

b) Calculer le temps nécessaire pour qu'une gouttelette atteigne la température $T_s = -5 \text{ °C}$, dite température de surfusion puisque l'eau reste liquide.

c) L'état de surfusion est alors rompu. Calculer alors la fraction massique de glace qui se forme. On supposera la transformation suffisamment rapide pour être considérée adiabatique et isobare.

d) Calculer le temps nécessaire à la solidification du reste de l'eau.

e) Calculer la variation d'entropie totale de la goutte.

Données : masse volumique de l'eau liquide : $\rho = 1,00.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

chaleur latente de fusion de la glace à 0°C : $\ell = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$

capacité thermique massique de la glace : $c_g = 2,08 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Second principe

TH034 - Mélange de deux masses d'eau

On mélange dans un calorimètre idéal deux masses d'eau liquide m et m' prises aux températures T et T' . La capacité thermique massique de l'eau c est supposée indépendante de la température.

1 - Calculer la variation d'entropie ΔS du système.

2 - Développer au 2^{ème} ordre ΔS pour $\left| \frac{T-T'}{T} \right| \ll 1$ c'est-à-dire $T' = T(1+\varepsilon)$ avec $\varepsilon \ll 1$. Commenter.

Donnée : Entropie d'une phase condensée idéale : $S = C.\ln T$

TH036 - Détente isotherme réversible

Un cylindre diathermane fermé par un piston constitue un système perméable à la chaleur. Il contient une mole de gaz parfait dans l'état initial $T_1 = 273 \text{ K}$ et $P_1 = 3.10^5 \text{ Pa}$

Ce système est plongé dans un bain eau-glace constituant un thermostat à 273 K .

On agit sur le piston mobile pour détendre réversiblement le gaz jusqu'à $P_2 = 2.10^5 \text{ Pa}$.

On donne $R = 8,315 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

1 - Déterminer la masse de glace apparaissant dans le thermostat. L'enthalpie massique de fusion de la glace est $L = 334 \text{ J.g}^{-1}$

2 - Calculer la variation d'entropie du gaz et celle du thermostat.

★ TH032 - Variation d'entropie lors d'un effet Joule

Un courant d'intensité $I = 1,0 \text{ A}$ circule pendant $\tau = 1,0 \text{ min}$ dans un conducteur ohmique de résistance $R = 20 \text{ } \Omega$ et de capacité thermique supposée constante $C = 8,4 \text{ J.K}^{-1}$.

On supposera que pour le conducteur ohmique, son énergie interne et son enthalpie ne dépendent que de sa température.

1 - Calculer la variation d'entropie de la résistance ainsi que celle de l'univers dans les deux cas suivants :

a - la température de la résistance est maintenue constante ($T_i = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$).

b - la résistance est thermiquement isolée (température initiale $T_i = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$).

2 - Dans le deuxième cas, on rétablit, après l'extinction de la source de courant, le contact de la résistance avec le thermostat à la température T_i . Déduire la variation d'entropie de l'univers au cours de cette dernière transformation.

Donnée : Entropie d'une phase condensée idéale : $S = C \cdot \ln T$

TH046 – Transformation d'un mélange liquide-vapeur de mercure (extrait DEUG 1998)

Un récipient de volume $V_0 = 1,00 \text{ m}^3$ contient $m_0 = 8,00 \text{ kg}$ de mercure de masse molaire $M = 200,6 \text{ g.mol}^{-1}$.

Les parois sont parfaitement calorifugées.

Un résistor, parcouru par un courant électrique permet un apport de chaleur à l'intérieur du récipient.

Le résistor sera considéré comme un thermostat à la température $T_3 = 800 \text{ K}$. Cette source de chaleur est capable d'apporter une puissance thermique constante $P_0 = 10 \text{ kW}$ pendant la durée Δt de chauffage nécessaire pour faire passer le mercure de $T_1 = 573 \text{ K}$ à la température $T_2 = 673 \text{ K}$.

On appelle $x = \frac{m_v}{m_0}$ la fraction massique de vapeur dans le récipient.

Données :	$T \text{ (K)}$	573	673
	$p_s \text{ (bar)}$	0,330	2,10
	$\ell_v \text{ (kJ.kg}^{-1}\text{)}$	297,0	293,7
	$v_v \text{ (m}^3\text{.kg}^{-1}\text{)}$	0,700	0,128

p_s : pression de vapeur saturante

$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}\text{.mol}^{-1}$.

ℓ_v : chaleur latente massique de vaporisation

v_v = volume massique de la vapeur saturante assimilée à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,67$

On considérera le mercure à l'état liquide incompressible et indilatable de volume massique $v_L = 7,70 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3\text{.kg}^{-1}$ et de capacité thermique $c_L = 0,135 \text{ kJ.kg}^{-1}\text{.K}^{-1}$.

1 – Etude de l'équilibre liquide-vapeur à la température T_1

Calculer la masse initiale m_{v1} et le titre initial x_1 de vapeur.

2 – Etude de l'équilibre liquide-vapeur à la température T_2

Calculer la masse initiale m_{v2} et le titre initial x_2 de vapeur.

3 – Diagramme du corps pur

Représenter la transformation du mercure, de l'état (1) à l'état (2) dans le diagramme de Clapeyron (p, v), v étant le volume massique. Tracer en particulier les isothermes d'Andrews.

Représenter la transformation dans le diagramme (p, T)

4 - Bilan thermique

Calculer la chaleur Q reçue par le mercure au cours de la transformation.

Calculer la durée Δt de fonctionnement du thermostat.

5 – Bilan entropique Calculer la variation d'entropie du mercure

Y a-t-il création d'entropie dans l'Univers ? Si oui, calculer sa valeur.

TH044 - Surfusion du phosphore

Dans un récipient calorifugé on a $m = 10 \text{ g}$ de phosphore surfondu à la température $T = 307 \text{ K}$ à la pression atmosphérique.

1 - On fait cesser la surfusion et on observe un nouvel état d'équilibre diphasé.

Déterminer la masse de chacune des phases

2 - Calculer la variation d'entropie du système.

3 - Quel serait l'état final du système si la température initiale du phosphore surfondu est $T = 290 \text{ K}$?

Données : sous la pression atmosphérique, $T_{\text{fusion}} = 317 \text{ K}$ $\ell_f = 20,9 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

$c_{p \text{ liq}} = 0,795 \text{ J.K}^{-1}\text{.g}^{-1}$. $c_{p \text{ sol}} = 0,840 \text{ J.K}^{-1}\text{.g}^{-1}$.

TH042 – Evaporation sous vide

Une masse m_0 d'eau liquide de volume V_0 de température T_0 est contenue dans une fiole reliée par un robinet enceinte de volume V_1 où règne initialement le vide.

L'ensemble est calorifugé et $V_1 \gg V_0$.

On ouvre le robinet et on attend l'état d'équilibre final. On remarque qu'une partie de l'eau liquide s'est vaporisée.

On appellera : T la température finale

P_s la pression de vapeur saturante de l'eau à la température finale.

c la capacité thermique massique de l'eau liquide.

ℓ_v la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à la température T .

1 – Etablir une relation entre ces grandeurs et les données du problème.

2 – Déterminer la variation d'entropie de l'eau. Commenter.

Machines thermiques

TH054-Thermopompe (ICARE 1999 – PSI - PT)

Une thermopompe est constituée d'un compresseur C parfaitement isolé, qui aspire en (1) l'air à la pression atmosphérique p_1 et à la température $T_1 = 280 \text{ K}$ et qui le refoule à la pression p_2 et à la température T_2 .

L'air circule dans un échangeur E où il produit son effet utile en se refroidissant, à pression constante, de T_2 à $T_3 = 330 \text{ K}$. On note $\dot{Q}_E$ la puissance thermique qu'il cède au second fluide traversant cet échangeur entre (5) et (6).

L'air se détend ensuite dans une turbine T parfaitement isolée, dont il sort à la pression $p_4 = p_1$ et à la température T_4 . Il se réchauffe ensuite par mélange avec l'air atmosphérique.

Le compresseur et la turbine fonctionnent de façon réversible. Il sont couplés mécaniquement et un moteur M entraîne le groupe ainsi constitué.

L'air est assimilable à un gaz parfait de chaleur massique à pression constante indépendante de la température: $C_p = 1,0 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ et de rapport des chaleurs massiques :

$$\gamma = C_p / C_v = 1,4$$

Cette thermopompe fonctionne avec un débit d'air constant $D = 0,01 \text{ kg.s}^{-1}$.

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = x = 1,5$$

1 - Représenter le cycle 1-2-3-4-1 sur un diagramme de Clapeyron (p, V).

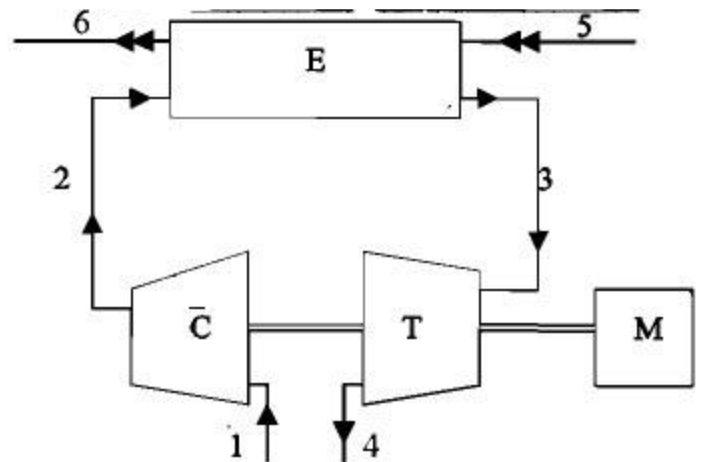
2 - Calculer la pression p_2 .

3 - Exprimer la puissance $\dot{W}_C$ du compresseur en fonction de D , c_p , T_1 et T_2 . Calculer $\dot{W}_C$.

4 - Calculer la puissance $\dot{W}_T$ de la turbine et celle du moteur d'entraînement $\dot{W}_M$.

5 - Calculer la puissance thermique de l'échangeur $\dot{Q}_E$.

6 - Définir l'efficacité η de la thermopompe. Donner son expression en fonction du seul paramètre x et calculer T_1 .



TH058 - Thermodynamique physique : Moteur réversible

Un moteur thermique ditherme réversible fonctionne à l'aide des deux pseudo-sources de chaleur de même capacité thermique $C = 400 \text{ kJ.K}^{-1}$ et de températures $T_f(t)$ et $T_c(t) \geq T_f(t)$ a priori non constantes.

Les températures initiales des sources sont : $T_1 = 385 \text{ K}$
 $T_2 = 285 \text{ K}$

- 1 – Etablir une relation entre T_1 , T_2 , $T_f(t)$ et $T_c(t)$.
- 2 – A quelle condition sur les températures des sources le moteur cesse-t-il fonctionner ?
- 3 – Calculer le travail total fourni par le moteur jusqu'à son arrêt.

Application numérique.

- 4 – Calculer le rendement du moteur à partir des énergies totales échangées.

Application numérique.

- 5 – Quel serait ce rendement si les sources avaient gardé leurs températures initiales ?

★ TH052 – Régime transitoire d'un réfrigérateur

L'intérieur d'un réfrigérateur est assimilé à un système de capacité calorifique C de température T_2 lentement variable. Son isolation thermique étant imparfaite, il échange avec l'extérieur de température T_1 , une puissance thermique proportionnelle à la différence de température : $P_1 = G.(T_1 - T_2)$.

Le moteur qui fait fonctionner la machine frigorifique, fournit une puissance mécanique P_m . On suppose que l'efficacité frigorifique de la machine est égale à celle d'une machine réversible fonctionnant entre T_1 et T_2 , affectée d'un coefficient η .

- 1 – Etablir l'équation différentielle vérifiée par $T_2(t)$.
- 2 – Déterminer la valeur de T_2 au bout d'un temps suffisamment long.
- 3 – Exprimer sous la forme d'une intégrale le temps mis pour atteindre la température T_2 .

Données : $C = 10 \text{ kJ.K}^{-1}$; $G = 10 \text{ W.K}^{-1}$; $\eta = 0,5$; $P_m = 120 \text{ W}$; $T_1 = 300 \text{ K}$.

