
PARTIEL DE THERMODYNAMIQUE

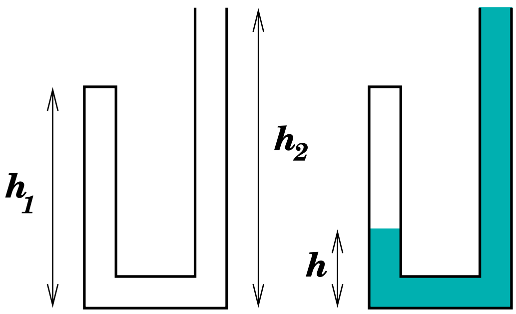
Durée : 2 heures

Les documents et les téléphones portables ne sont pas autorisés.
Les calculatrices sont autorisées.
Barème approximatif : 1$^{\text{er}}$ exercice 4 points ; 2$^{\text{ème}}$ exercice 4,5 points ; 3$^{\text{ème}}$ exercice 11,5 points.
Les trois exercices sont indépendants.

1 Tube en J

1/ *Question de cours*: La pression atmosphérique P_0 correspond à une hauteur de mercure h_0. Décrire une expérience permettant de mesurer cette quantité (on pourra faire un schéma). Déterminer la valeur numérique de h_0 sachant que le mercure a une masse volumique de 13600 kg.m^{-3}.

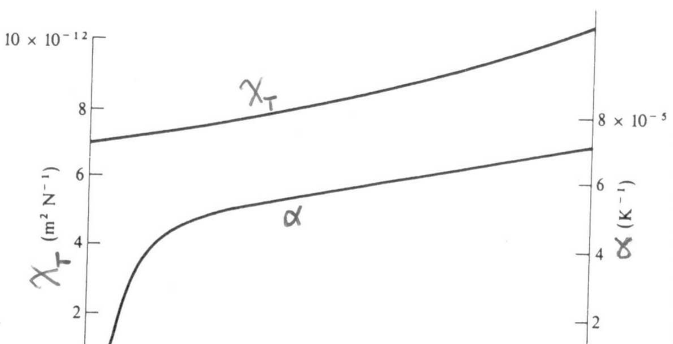
2/ Un tube en J, de section uniforme contient de l'air à la pression atmosphérique. On appellera h_1 la hauteur de la partie close du tube, et h_2 la hauteur de l'autre partie. On supposera que le volume de la partie horizontale est négligeable de sorte que le volume total du tube est simplement le produit de $h_1 + h_2$ par sa section.
On verse du mercure par l'extrémité ouverte en se débrouillant pour que l'air initialement contenu dans le tube y reste toujours piégé. On note h la hauteur de mercure dans la colonne close lorsque la colonne ouverte est remplie de mercure (cf. figure ci-contre).



En assimilant l'air à un gaz parfait et en supposant que le processus se déroule à température constante, donner l'expression de h en fonction de h_1, h_2 et h_0. Faire l'application numérique en prenant $h_1 = 2$ m et $h_2 = 3$ m.

2 Propriétés thermoélastiques du cuivre

Le coefficient α de dilatation isobare et le coefficient χ_T de compressibilité isotherme du cuivre ont été mesurés à pression atmosphérique (notée P_0) en phase solide dans la gamme $0 < T < 1200$ K. Les résultats sont reportés sur la figure ci-contre.



1/ Rappeler les expressions de α et χ_T en fonction des dérivées partielles de variables d'états appropriées.

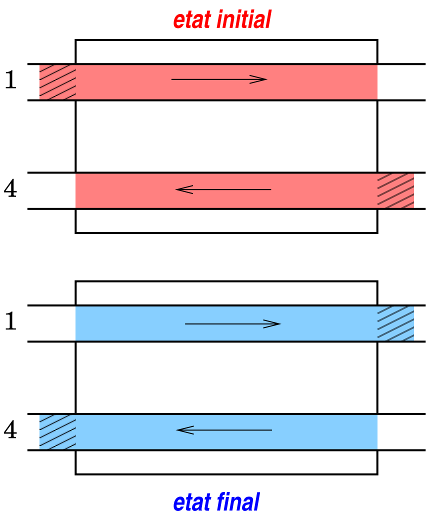
2/ La température du bloc de cuivre passe de 400 K à 410 K (sous pression initiale P_0). Quel changement de pression doit on effectuer pour garder le volume constant ? (on obtiendra les valeurs nécessaires à l'application numérique à partir de la figure ci-dessus).

Même question pour un gaz parfait. Commenter.

3 Échangeur thermique

0/ *Question de cours*: Exprimer la différence d'entropie de n moles d'un gaz parfait entre deux états A et B caractérisés par leurs températures (T_A et T_B) et leurs pressions (P_A et P_B). On supposera pour simplifier que le coefficient isentropique γ du gaz ne dépend pas de la température.

On considère l'échangeur thermique représenté sur la figure ci-contre. Il est constitué de deux circulations parallèles d'air. Dans l'une l'air évolue de l'état 1 vers l'état 2, dans l'autre de l'état 3 vers l'état 4. Ces étapes sont caractérisées par la même pression P_atm et des températures T_1, T_2, T_3 et T_4.
L'installation est parfaitement calorifugée : les conduits échangent de la chaleur entre eux, mais pas avec l'extérieur.
Le système fonctionne en régime stationnaire avec un débit massique identique dans les deux conduits.
L'air sera assimilé à un gaz parfait de masse molaire $\mathcal{M} = 29$ g.mol^{-1} et de coefficient isentropique $\gamma = 1,4$.
On donne $R = 8,314$ J.K^{-1}.mol^{-1}.



Le système Σ considéré est colorié sur la figure ci-dessus. Tout se passe comme si la transformation qu'il subit se résumait à transporter les quantités de gaz qui sont, dans l'état initial, sur le point de rentrer dans l'échangeur en 1 et 3 vers les sorties 2 et 4 dans l'état final (ces quantités sont hachurées sur la figure).

1/ En faisant le bilan thermique lors de la transformation subie par le système Σ, établir une relation entre T_1, T_2, T_3 et T_4.

2/ On veut savoir sous quelle condition l'échangeur peut fonctionner de manière réversible.

(a) On fait donc l'hypothèse que Σ subit une transformation réversible. En calculant sa variation d'entropie déterminer une nouvelle relation entre les températures.

(b) Déterminer alors les relations entre T_1 et T_4 d'une part et T_2 et T_3 d'autre part. Commenter.

3/ En réalité l'échangeur n'est pas parfaitement calorifugé, de sorte qu'il échange de la chaleur avec l'atmosphère, considérée comme un thermostat de température $T_\mathrm{th} = 293$ K. On a alors $T_1 = 350$ K, $T_2 = 290$ K, $T_3 = 280$ K et $T_4 = 330$ K.

(a) Calculer la quantité de chaleur reçue par le système lors du tranfert d'un kilogramme d'air dans chacun des conduits (on donnera l'expression littérale et la valeur numérique). Commenter.

(b) Calculer la variation d'entropie de l'univers, c'est à dire la somme de la variation d'entropie du système et de celle du thermostat (on donnera l'expression littérale et la valeur numérique). Commenter.