

Thermodynamique - 23 mai 2011

L2 - physique - Université Paul Sabatier
Documents interdits, calculatrice autorisée - Durée : 2 heures

1 Gaz parfait chauffé par une résistance électrique

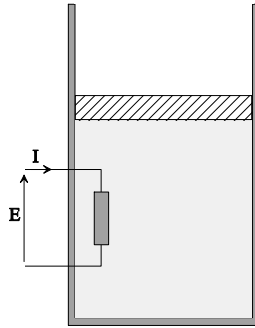


Figure 1: *schéma du dispositif.*

Un cylindre fermé par un piston contient 5 litres d'azote gazeux à la pression $p_1 = 400 \text{ kPa}$ et à la température $T_1 = 27^\circ\text{C}$. Un courant $I = 1 \text{ A}$ circule pendant 1 min dans une résistance électrique placée dans le cylindre (voir Fig. 1) sous la tension $E = 120 \text{ V}$. L'azote, supposé se comporter comme un gaz parfait, se détend de manière isobare. Au cours de cette transformation, 2800 J sont transférés à l'ambiance au travers des parois sous forme thermique.

Déterminer la température de l'azote au bout d'une minute.

Données : masse molaire de l'azote $M = 28 \text{ g mol}^{-1}$; capacité thermique massique à pression constante de l'azote $c_p = 1,039 \text{ kJ K}^{-1}\text{kg}^{-1}$; $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

2 Transformation d'un gaz parfait

Un nombre n de moles d'un gaz parfait est confiné dans un cylindre fermé par un piston de masse négligeable, dans les conditions initiales p_1 , T_1 , V_1 . Les parois du cylindre et le piston sont adiabatiques. La pression extérieure p_o est très différente de p_1 . On libère brusquement le piston.

1. Quelle est la nature de la transformation subie par le gaz?
2. Etablir l'expression du travail reçu par le gaz en fonction de p_o , de V_1 et du volume final V_2 .
3. Donner l'expression des variations de l'énergie interne du gaz ΔU et de l'enthalpie ΔH en fonction de n , de T_1 , de la température finale T_2 et du coefficient $\gamma = c_p/c_v$. Quel lien existe-t-il entre ΔU et ΔH ?

4. Donner les expressions de la température finale T_2 en fonction de p_o , p_1 , T_1 et γ , puis du volume final V_2 en fonction de p_o , p_1 , V_1 et γ .

3 Centrale électrique

Une centrale électrique fonctionne suivant un cycle ditherme irréversible. Cette centrale est constituée d'une machine thermique qui entraîne un turbo-alternateur produisant l'électricité. L'efficacité globale de la centrale $r = \frac{-P_e}{\phi}$, où $-P_e$ est la puissance électrique produite et ϕ la puissance thermique fournie par la combustion du combustible, vérifie

$$r = \frac{-P_e}{\phi} = k_o k_1 k_2 r_c$$

où :

- r_c est l'efficacité de la machine thermique fonctionnant suivant un cycle de Carnot (ditherme réversible);
- $k_o = 0,95$ est le rendement de la transformation de l'énergie mécanique produite par la turbine en énergie électrique;
- $k_1 = \frac{\phi_1}{\phi}$ est un coefficient tenant compte des pertes thermiques de la centrale dans l'environnement extérieur, ϕ_1 étant la puissance calorifique cédée à la machine thermique par la chaudière;
- $k_2 = \frac{r_i}{r_c}$ est un coefficient tenant compte des irréversibilités, r_i étant le rendement de la machine thermique fonctionnant suivant le cycle ditherme irréversible.

1. La source chaude est la température $T_1 = 620 \text{ K}$ et la source froide à la température $T_2 = 300 \text{ K}$.

- (a) Démontrer, en utilisant les premier et second principes de la thermodynamique, que

$$r_c = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

- (b) Pour une efficacité globale $r = 0,38$, calculer la puissance électrique produite $-P_e$ si $\phi = 3000 \text{ MW}$.
- (c) Les pertes thermiques sont de 15%. En déduire les valeurs numériques de k_1 et de ϕ_1 .
- (d) Calculer la puissance mécanique P produite par la machine thermique. En déduire la puissance calorifique échangée avec la source froide ϕ_2 .
- (e) Quelle est la valeur de l'efficacité réelle r_i de la machine thermique? En déduire la valeur numérique de k_2 .

2. On s'intéresse à une pompe à chaleur fonctionnant suivant un cycle de Carnot entre les températures $T'_1 = 70^\circ\text{C}$ et $T'_2 = -30^\circ\text{C}$.

- (a) Représenter, sur un schéma où l'on symbolisera la pompe à chaleur et les sources de chaleur chaude et froide, les puissances calorifiques ϕ'_1 et ϕ'_2 avec les sources respectives chaude et froide et P' la puissance mécanique.

(b) Définir le coefficient de performance η' et montrer qu'il est égal à

$$\eta' = \frac{T_1'}{T_1' - T_2'}$$

(c) La puissance P' est d'origine électrique. Pour une habitation dont le besoin en chauffage est de 25 kW , comparer énergétiquement les 3 systèmes suivants :

- chaudière à condensation d'un rendement égal à 0,9;
- chauffage électrique à effet Joule avec centrale étudiée en 1;
- pompe à chaleur avec la centrale étudiée en 1.

4 Cocote-minute

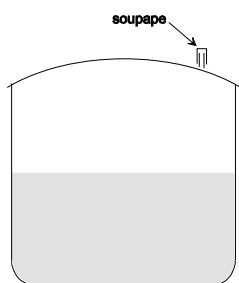


Figure 2: *représentation schématique d'une cocotte-minute.*

On considère une cocote-minute dont la soupape, qui chapeaute le petit tuyau par l'intermédiaire duquel sort la vapeur (voir Fig. 2), a une masse de 40 g . Le tuyau de soupape a une section droite de 4 mm^2 . La cocote-minute contient de l'eau et son couvercle est fermé. Elle est placée sur le brûleur d'une gazinière.

1. Quelles sont la pression puis la température à l'intérieur de la cocote-minute lorsque la soupape se met à tourner?
2. Par quel moyen peut-on faire varier cette température?

On fera l'hypothèse que la pression saturante de l'eau vérifie l'équation

$$p = p_o \exp \left[\frac{M \ell_v}{R} \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right) \right]$$

où $M = 18 \text{ g mol}^{-1}$ est la masse molaire de l'eau, $R = 8,31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ la constante des gaz parfaits, $\ell_v = 2260 \text{ kJ kg}^{-1}$ est la chaleur latente massique de vaporisation et $p_o = p_{\text{sat}}(T_o)$.

La pression atmosphérique est $p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ Pa}$.

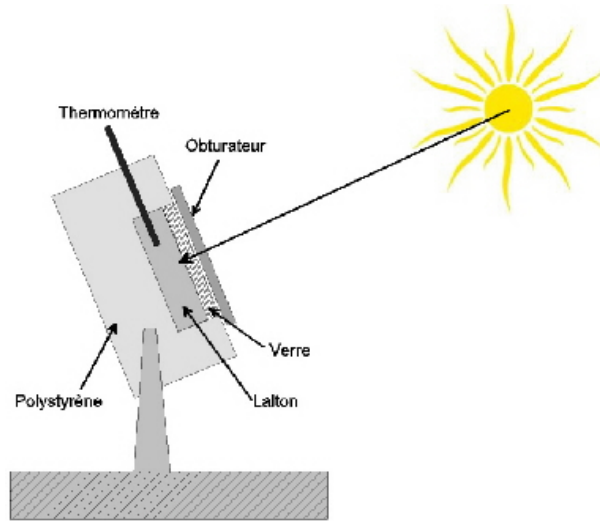


Figure 3: schéma du dispositif de mesure du flux solaire.

5 Mesure de la densité de flux solaire

Le dispositif expérimental représenté sur la Fig. 3 a pour objectif de déterminer la puissance du rayonnement solaire à la surface de la Terre.

Un dispositif non représenté sur cette figure maintient perpendiculairement aux rayons du soleil l'une des deux surfaces circulaires d'un cylindre droit en laiton. Les autres surfaces du cylindre sont entourées d'une épaisseur suffisamment importante de polystyrène pour que les échanges thermiques à travers ces surfaces puissent être négligés. La surface du cylindre qui pointe vers le soleil est peinte en noir. Elle est séparée de l'ambiance extérieure par une plaque de verre totalement transparente au rayonnement solaire et qui se comporte comme un corps noir pour les infra-rouges ; on supposera que sa température est égale à celle de la surface noire du cylindre. Cette plaque est protégée du soleil par un obturbateur.

A l'instant initial, la température du cylindre en laiton est $T_i = 20^\circ\text{C}$; l'obturbateur est retiré pendant $\Delta t = 10$ min, temps au bout duquel la température du cylindre est montée à $T_f = 34^\circ\text{C}$.

Calculer la densité de flux solaire (flux solaire par unité de surface) reçue par la surface noire du cylindre.

Données :

- diamètre du cylindre $D = 5\text{ cm}$
- hauteur du cylindre $H = 9,5\text{ mm}$
- masse volumique du laiton $\rho = 8\,600\text{ kg m}^{-3}$
- capacité thermique massique du laiton $c = 377\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$