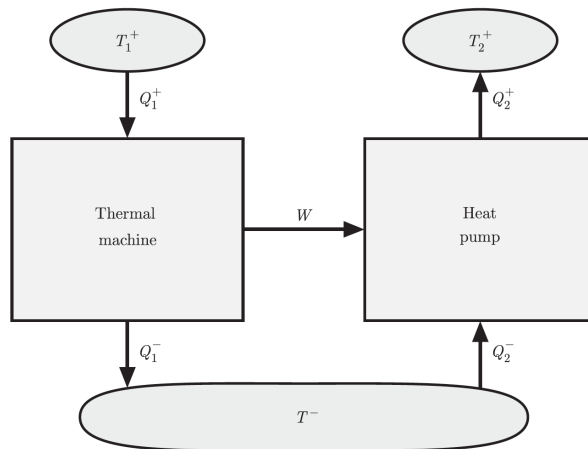


Physique II – Thermodynamique

Exercices 6

PROBLÈME I POMPE À CHALEUR

On veut chauffer un bâtiment utilisant une machine thermique qui exerce un travail sur une pompe à chaleur (voir ci-dessus). Pendant chaque cycle, la machine extrait une quantité de chaleur Q_1^+ d'un réservoir chaud à la température T_1^+ , relâche une quantité de chaleur Q_1^- dans le réservoir froid à la température T^- et fournit un travail W à la pompe à chaleur. Pendant chaque cycle, la pompe à chaleur utilise le travail W de la machine thermique pour extraire une quantité de chaleur Q_2^- du réservoir froid à la température T^- et relâche la quantité de chaleur Q_2^+ dans un réservoir chaud, qui est le bâtiment qui doit être réchauffé, à la température T_2^+ . Les températures satisfont la relation $T_1^+ > T_2^+ > T^-$. On considère que la machine thermique et la pompe à chaleur opèrent des cycles réversibles de Carnot. Montrez que $|Q_2^+| > |Q_1^+|$.



PROBLÈME II CYCLE D'OTTO

Le cycle d'Otto ou encore le cycle à quatre temps est un cycle thermodynamique théorique. Son principal intérêt pratique réside dans le fait qu'il décrit les moteurs à combustion interne à allumage commandé, généralement des moteurs à essence tels que ceux utilisés dans les automobiles. Le cycle est modélisé comme suit :

- Un cylindre de volume initial V_B admet le mélange à travers d'une soupape d'admission jusqu'à son volume devient V_A (portion IA du cycle) ;
- Les soupapes sont fermées et le mélange subit une compression adiabatique jusqu'à un volume V_B (portion AB). Au point B se produit l'explosion du mélange qui augmente la pression de B à C ;
- Les soupapes sont toujours fermées et les produits de la combustion subissent une détente adiabatique en repoussant le piston jusqu'à sa position initiale (portion CD) ;
- La soupape d'échappement s'ouvre : la pression chute brutalement (portion DA), et les gaz brûlés sont évacués.

On néglige les phénomènes dus à l'admission et l'évacuation des gaz. Le cycle est caractérisé par le taux de compression volumétrique α qui vaut $\frac{V_A}{V_B}$. Les températures du mélange en A et C valent $T_A = 293 \text{ K}$ et $T_C = 1220 \text{ K}$.

1. Tracer schématiquement ce cycle d'Otto dans le diagramme (p,V) en faisant figurer les 5 points I, A, B, C, et D.
2. Identifier sur le cycle les quantités de chaleur échangées et leurs signes, les travaux fournis et leurs signes, et écrire le bilan thermique sur un cycle.
3. Donner l'expression des quantités de chaleur échangées et donner l'expression de l'efficacité de ce moteur thermique. Faire l'application numérique.
4. Montrer que l'efficacité de ce moteur ne dépend que du taux de compression α .
5. Calculer l'efficacité par rapport au moteur de Carnot idéal de ce cycle.

Pour l'application numérique, on considère : $\gamma = 1.4$ et $\alpha = 9$.

PROBLÈME III CYCLE À L'ÉCHELLE

Un cycle thermodynamique composé de n mol de gaz parfait monoatomique est composé de 4 transformations, qui sont dans l'ordre:

- $1 \rightarrow 2$: Une transformation isobare
- $2 \rightarrow 3$: Une transformation adiabatique
- $3 \rightarrow 4$: Une transformation isotherme
- $4 \rightarrow 1$: Une transformation isochore

Sachant que l'on connaît les pression, température et volume de l'état 1, respectivement p_0, T_0, V_0 , les pression et volume de l'état 3, respectivement $0.4 p_0, 2 V_0$ et les valeurs caractéristiques de notre gaz γ et C_V

1. Construisez un tableau p, V, T et remplissez le pour chacun des quatre états, puis tracez le graphe sur un système d'axes p, V à l'échelle.
2. Pour chacune des transformations, calculez ΔU et Q en fonction des variables de l'énoncé.
3. Finalement, calculez $\Delta U_{1 \rightarrow 3}$. En comparant ce résultat avec vos valeurs trouvées au sous-point 2, que remarquez-vous? Comment expliquer ce résultat qualitativement?

PROBLÈME IV CENTRALE NUCLÉAIRE (ADAPTÉ DE L'EXAMEN 2013, AUTRE PROFESSEUR)

Une centrale nucléaire est installée le long d'un fleuve dont l'eau à la température T_f est utilisée comme source froide. La source chaude est constituée par le réacteur à la température T_c . La turbine de la centrale fonctionne comme un moteur thermique et échange par cycle de durée τ les quantités de chaleur Q_c et Q_f avec les sources chaudes et froides et un travail W avec l'extérieur.

1. Préciser les signes de Q_c et Q_f .
2. En supposant toutes les transformations réversibles, écrire les relations entre :
 - (a) Q_c, Q_f et la puissance p délivrée à l'extérieur par la centrale ($p = W_{ext}/\tau$).
 - (b) T_c, T_f, Q_c et Q_f .
 - (c) Le rendement η_m de la centrale en fonction de Q_c et Q_f .
 - (d) Le rendement maximum possible de la centrale en fonction de T_c et T_f .
3. En pratique le rendement réel η_r est plus faible que le rendement maximum, $\eta_r < \eta_m$, à cause de phénomènes irréversibles. Pour une même puissance p , la centrale échange une quantité de chaleur par cycle Q_c^r avec la source chaude et Q_f^r avec la source froide. Exprimer η_r en fonction de Q_f^r et Q_c^r .
4. Le gouvernement du pays refuse de communiquer des informations sur la puissance de la centrale. Un citoyen ordinaire mesure la différence de température du fleuve entre l'amont et l'aval de la centrale, il trouve $T_f = 27^\circ\text{C}$ et $\Delta T = T_{\text{aval}} - T_{\text{amont}} = 1,5\text{ K}$. Selon un club de pêche local, le débit volumique du fleuve est $D = 400\text{ m}^3/\text{s}$ (D est donc le volume d'eau qui s'écoule par unité de temps). Exprimer Q_f^r en fonction de $\Delta T, D$, la capacité calorifique massique de l'eau et la masse volumique de l'eau ρ et τ .
5. Exprimer p en fonction de η_r et Q_f^r . Par ailleurs, ce citoyen a trouvé que ce type de centrale fonctionne généralement avec $T_c = 900\text{ K}$ et que le rendement de la turbine est de l'ordre de $\epsilon = 50\%$ du rendement maximum de Carnot, η_m . Quelle est la puissance de la centrale ? On donne $C = 4000\text{ J/(K kg)}$ et $\rho = 1000\text{ kg/m}^3$.