Thermodynamique

Exercice 1 - Transformation polytropique

Sup - fiche Spé

On considère n moles de gaz parfait que l'on fait passer de manière quasistatique d'une volume initial V_i à un volume final $V_f < V_i$. La compression se fait à $PV^a = cste$ avec $a \geq 0$ constant.

1. Donner W_a et ΔT_a en fonction de R, T_i, V_i/V_f et a, puis exprimer W_a en fonction de ΔT_a.

2. En déduire que l'on peut écrire $Q_a = nC_a\Delta T_a$. Que représente C_a ? Ce résultat semble-t-il paradoxal ? Aurait-on pu le prévoir qualitativement ?

3. Donner les expression de C_a dans les 4 cas suivants : $a = 0$, $a = 1$, $a = \gamma$, $a = \infty$, et interpréter les résultats obtenus.

Exercice 2 - Expérience de Jean Perrin

Spé PC (pas MP)

On considère des petites billes en suspension dans l'eau d'un bocal. Les billes sont suffisamment petites pour être soumises à l'agitation thermique.

1. Quelle est la répartition des particules ?
2. En déduire le nombre d'Avogadro.
3. Que se passe-t-il si on pose le bocal sur une plaque chauffante ?

Exercice 3 - Récipient troué

Sup

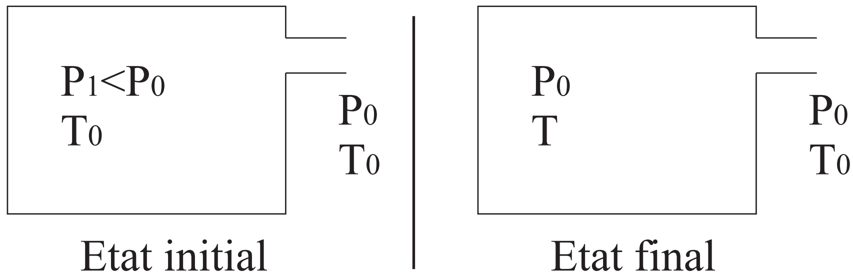

FIG. 3.1 – Les parois sont calorifugées

Calculer T en fonction de T_0, P_0, P_1, γ.

Exercice 4 - Cycle de moteur ditherme

Sup - fiche Spé

Le système est un gaz parfait. On part de $A(P_0, V_0, T_0)$ par une détente isotherme jusqu'en B où le volume est αV_0 (α est appelé rapport volumétrique). Entre B et C le gaz subit une transformation isobare amenant la température à βT_0. De C on revient à A par une transformation adiabatique réversible.

1.

a. Tracer le cycle dans un diagramme de Clapeyron. Relation entre α et β ?

b. Sur quel tronçon intervient la source chaude ? Trouver sa température T_1.

c. Sur quel tronçon intervient la source froide ? Trouver sa température T_2.

2.

a. Exprimer le rendement du cycle en fonction de α et de $\gamma = C_P/C_V$.

b. **A.N.** $\gamma = 1.4$, $\alpha = 10$. Vérifier qu'il est inférieur au rendement théorique maximal de Carnot.

c. Quelle est la variation d'entropie du gaz dans chacune des trois transformations ? Quel est l'accroissement d'entropie des sources ? Cas $\beta = 1 - \varepsilon$, avec $\varepsilon \ll 1$.

Exercice 5 - Thermodynamique du rayonnement

Sup, plutôt esprit Spé

Un rayonnement électromagnétique est en équilibre thermodynamique dans une enceinte de volume V dont les parois sont à la température absolue T. Dans cette situation, la densité volumique d'énergie du rayonnement $u(T)$ ne dépend que de la température. Une étude en théorie cinétique de ce gaz de photons conduit à y associer une pression $P = u(T)/3$.

1. Exprimer l'énergie interne U à l'aide de $u(T)$, puis sa différentielle dU en fonction de dV et de dT.

2. En déduire la différentielle dS de l'entropie de ce gaz en fonction des mêmes variables.

3. Déterminer la dépendance de u en fonction de T.

4. Déterminer la dépendance de l'entropie S de ce gaz en fonction de V et de T.

5. Pour l'univers en expansion, le rayonnement inclus dans un volume V subit une détente adiabatique et réversible ; comment évolue sa température ?

<u>Exercice 6</u> - Machine thermique

Sup

Le fluide d'une machine thermique, fonctionnant de manière cyclique, échange de l'énergie avec deux corps de mêmes capacités thermiques C et de températures initiales T_1^0 (chaud) et T_2^0 (froid).

1. Montrer que pour récupérer un travail, il faut nécessairement $dT_1 < 0$ et $dT_2 > 0$.

2. Comment s'y prendre pour récupérer un travail maximal ? Déterminer alors la température finale du système, le travail récupéré, le rendement initial, final et moyen.

<u>Exercice 7</u> - Entropies

Sup plutôt esprit Spé

1. Que vaut l'entropie d'un gaz parfait de N molécules, de volume V et de température T ? On donnera la réponse sous la forme suivante :

$$S/k_B = s_0(T) + f(N, V)$$

en n'explicitant que $f(N, V)$ et pas $s_0(T)$.

2. Chaque molécule occupe maintenant un volume b. Que devient la fonction f ?

Exercice 8 - Rayonnement du corps noir

Spé

A la fin du dix-neuvième siècle, les physiciens ont pu déterminer expérimentalement la densité spectrale $u(\nu, T)$ de l'énergie du rayonnement à l'équilibre thermodynamique avec un thermostat complètement absorbant à la température T, ou corps noir.
($u(\nu, T)$ est l'énergie par unité de volume rayonnée par le corps noir à la température T entre les fréquences ν et $\nu + d\nu$).
Ils constatèrent que $u(\nu, T)$ décroit avec la fréquence ν et tend vers 0 à grande fréquence.
Wien obtint un bon accord entre les données expérimentales haute fréquence et la loi empirique :

$$u(\nu, T) = \alpha\nu^3 e^{-\beta\nu/T}$$

Max Planck trouva en 1900 une formule plus générale valable à toute fréquence, de laquelle on déduit ici $\alpha = 2h/c^3$ et $\beta = h/k_B$.
Cet exercice se propose de partir de la formule de Wien et de refaire le raisonnement d'Albert Einstein exposé dans l'un de ses 3 célèbres articles publiés en 1905 (c'est dans le même article qu'il interprète l'effet photoélectrique, création de courant électrique par la lumière, interprétation pour laquelle il obtint le prix Nobel en 1921 (et pour ses "autres contributions à la physique").

1. Calculer l'entropie de ce rayonnement.

2. En déduire la variation d'entropie du rayonnement thermique lors d'une variation isotherme de volume.

3. Que vaut la variation d'entropie d'un gaz parfait lors d'une variation isotherme de volume ?

4. Conclure.

Autres exos :

- Spé PC :
  - Thermo d'un condensateur *tome 2 ou 3 exo 1.5*
  - Désaimantation adiabatique d'un milieu paramagnétique *tome 4 exo 9.4*
- Toutes Spé : *fiche exos Spé*