

Physique générale II - Section SV

EXAMEN (22 JUIN 2012)

Prof. A. Fasoli

*Centre de Recherches en Physique des Plasmas
École Polytechnique Fédérale de Lausanne*

Indications : Lisez complètement l'énoncé de chaque problème avant de commencer à le résoudre. Ne faites les applications numériques qu'à la fin de votre calcul.

Exercice 1

Un objet de masse $m_1 = 9$ kg est en équilibre sur un plan horizontal lorsque il est attaché à un ressort idéal de constante $k = 100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, à son tour fixé à une paroi verticale rigide. Un deuxième objet, de masse $m_2 = 7$ kg est pressé contre m_1 lentement, jusqu'à comprimer le ressort de 20 cm. Ensuite, le tout est relâché, et les deux objets commencent à bouger vers la droite, dans la direction opposée à la paroi, en glissant sur une surface sans frottement. Quand le premier objet arrive au point d'équilibre, le deuxième perd contact et bouge vers la droite avec une vitesse v .

- Déterminez la période et l'amplitude des oscillations de m_1 une fois que m_2 s'est détachée.
- Déterminez la valeur de v .
- Quelle est la distance entre les deux objets au moment où le ressort est en position d'allongement maximal pour la première fois ?
- Si le ressort a une section circulaire et est fait d'un matériau qui a une limite de rupture par traction de $2 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$, quel est le diamètre minimal de sa section pour qu'il ne se casse pas sous un effort de traction ?

Exercice 2

Vous êtes sur une fusée de 100 m de longueur, en voyage à $0.9 c$ pour visiter l'étoile Stella. Sur Terre, à la maison, votre mère se rend compte que vous n'avez pas pris vos chaussettes. Elle envoie un faisceau de lumière à la fusée pour vous le signaler. On peut définir le temps $t = t' = 0$ (dans les deux référentiels, Terre et fusée) comme étant le moment où le signal arrive à l'extrémité arrière de la fusée. On suppose que la fusée se déplace à vitesse constante sur une droite reliant la Terre à l'étoile Stella.

- À quel moment le signal arrive à l'avant de la fusée, selon votre montre ?
- À quel moment le signal arrive à l'avant de la fusée, selon la montre de votre mère ?
- Le signal est réfléchi par un miroir situé à l'avant de la fusée. À quel moment arrive-t-il à l'arrière pour la seconde fois, selon votre montre et celle de votre mère ?
- Déterminez la distance totale couverte par le signal lumineux entre $t = t' = 0$ et son arrivée, après réflexion, à l'arrière de la fusée, dans les deux référentiels.
- En effet votre mère ne savait pas que vous avez fait exprès de ne pas prendre vos chaussettes (qui font 100 g chacune), afin d'épargner de l'énergie dans la phase d'accélération au début de votre voyage spatial, entre une vitesse nulle et la vitesse finale de la fusée. Quelle quantité d'énergie avez-vous épargnée ?

Exercice 3

Une masse d'argon de 0.01 kg est initialement dans un état A avec une pression de $p_A = 300$ kPa, et une température de $T_A = 300$ K. Calculez la variation d'énergie interne, d'entropie, le travail fait par le gaz, et la chaleur échangée avec l'extérieur, si le gaz est amené à un état B à pression $p_B = 100$ kPa et température $T_B = 600$ K, à travers les transformations réversibles suivantes :

- de A à C à pression constante et de C à B à volume constant ;
- de A à D à volume constant et de D à B à pression constante ;
- de A à E à température constante et de E à B à pression constante.
- Calculez la variation d'entropie et d'énergie libre de A à E en supposant qu'il s'agisse d'une transformation irréversible.
- On aimerait comparer la différence d'énergie moyenne de chaque molécule entre A et B. Partez de la différence d'énergie interne calculée en (a), et comparez le résultat avec une estimation de l'énergie basée sur la vitesse moyenne des molécules obtenue à travers la formule $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$. Discuter brièvement la raison de la différence entre les deux résultats.

Indications : Considérez l'argon comme un gaz parfait monoatomique, de masse molaire de 49 g/mol. Constante des gaz parfaits : $R = 8.315 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, constante de Boltzmann : $k_B = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, nombre d'Avogadro : $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Exercice 4

Deux moles de gaz parfait diatomique, à $T_A = -30$ °C et $p_A = 2$ atm parcourent un cycle réversible formé par les transformations suivantes : expansion isobare du point A jusqu'à un point B, expansion adiabatique du point B jusqu'à un point C, avec $p_C = 1$ atm et $T_C = T_A$, et enfin, compression isotherme pour revenir au point A. Calculez :

- les valeurs de p , V et T pour chaque état ;
- les chaleurs échangées lors de chacune des transformations ;
- le rendement du cycle ;
- la variation d'entropie du gaz le long de la transformation isotherme de C à A.
- Dessinez le cycle sur un diagramme $p - V$.
- Dessinez le cycle sur un diagramme $T - S$.

Exercice 5

Pour faire des tests bactériologiques, des échantillons doivent être incubés pendant 24 h à une température constante de 37 °C. Dans des circonstances particulières, comme lors d'une guerre, qui empêchent un contrôle électrique continu de la température, on utilise une méthode basée sur une boîte bien isolée et des paquets d'une cire qui fond à 37 °C, que l'on peut disposer autour des échantillons. La cire est d'abord fondue à l'extérieur, puis insérée dans la boîte pour garder les échantillons au chaud pendant qu'elle se solidifie. La chaleur latente de fusion de la cire est de $205 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. On utilise une boîte qui a la forme d'un cube de 1 m de côté avec des parois de 2 mm d'épaisseur, de conductibilité thermique de $0.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et d'émissivité e . Pour garantir une bonne isolation, les parois de la boîte sont recouvertes par une couche isolante de 10 mm d'épaisseur et de conductibilité thermique de $0.01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. L'extérieur est à 23 °C la journée (pendant 14 h) et à 16 °C la nuit (pendant 10 h). On néglige le transfert thermique par rayonnement.

- Dans quelles conditions peut-on calculer la masse de cire nécessaire pour compléter les tests sans connaître la masse des échantillons ?
- Dans ces conditions, calculez la masse de cire nécessaire.

On aimerait justifier l'approximation que nous avons faites de négliger le rayonnement.

- Trouvez une condition sur l'émissivité e pour que l'approximation soit bonne.
- Que pouvons-nous faire en pratique pour respecter cette condition ?

Indication : Constante de Stefan-Boltzmann : $\sigma_B = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$