Physique générale II - Section SV

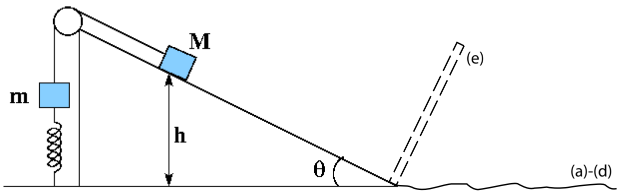
Examen (24 juin 2011)

Prof. A. Fasoli

Centre de Recherches en Physique des Plasmas
Ecole 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 $M = 0.5\,\text{kg}$ est posé à une hauteur $h = 50\,\text{cm}$ sur un plan incliné lisse qui forme un angle $\theta = 30°$ par rapport à l'horizontale (voir dessin ci-contre). L'objet est attaché par un fil inextensible de masse négligeable à un deuxième objet de masse $m = M/4$ à l'aide d'une poulie située à l'extrémité supérieure du plan incliné. Le deuxième objet appuie sur un ressort de constante $k = 30\,\text{N/m}$. A l'extrémité inférieure du plan incliné, il y a un plan horizontal rugueux ayant des coefficients de frottement dynamique et statique valant $\mu_d = 0.25$ et $\mu_s = 0.4$, respectivement. Initialement les deux masses sont à l'équilibre.

a) Calculer l'allongement du ressort par rapport à sa position au repos.

Ensuite, au temps $t = 0$, le fil qui relie les deux masses est coupé.

b) Démontrer que le mouvement de la masse m est celui d'un oscillateur harmonique simple. Calculer la période des oscillations de la masse m.

c) Calculer la vitesse de la masse m au temps $t = 10\,\text{s}$.

d) Calculer la distance parcourue sur le plan horizontal rugueux par la masse M.

On suppose maintenant que l'objet de masse M est un cube de côté $l = 5\,\text{mm}$, fait d'un matériau ayant une limite de rupture par compression de $30 \cdot 10^6\,\text{N/m}^2$ et par traction de $5 \cdot 10^6\,\text{N/m}^2$. On suppose également que le plan horizontal à la fin du plan incliné est remplacé par un mur perpendiculaire au plan incliné, capable d'arrêter l'objet sur une distance de $2\,\text{mm}$.

e) Déterminer si l'objet se casse contre le mur ou pas.

Exercice 2

Une trottinette de deux mètres de long doit passer à travers une entrée de garage constituée de deux portes successives. La distance entre les deux portes dans la direction du mouvement de la trottinette est également de deux mètres. Le garage est équipé avec un mécanisme spécial pour la fermeture des portes : quand l'avant de la trottinette coïncide avec la première porte, la porte s'ouvre ; quand l'avant de la trottinette coïncide ensuite avec la deuxième porte, celle-ci s'ouvre à son tour alors que la première porte se referme. On suppose que l'ouverture et la fermeture des portes est très rapide. La vitesse de la trottinette est telle que l'enfant qui la conduit voit la longueur de l'entrée du garage dans la direction du mouvement de la trottinette se contracter à $1.2\,\text{m}$.

a) Calculer la vitesse de la trottinette dans le référentiel du garage.

b) Calculer le temps que la trottinette passe dans l'entrée du garage (entre le passage de la roue avant à la première porte et le passage de la roue arrière à la deuxième porte), tel qu'il est mesuré par un observateur dans le référentiel du garage.

c) Calculer le temps que la trottinette passe dans l'entrée du garage (entre le passage de la roue avant à la première porte et le passage de la roue arrière à la deuxième porte), tel qu'il est mesuré par l'enfant.

d) Quelle fraction de la longueur de la trottinette sera coupée par la première porte quand elle se fermera ? Justifiez votre réponse.

Exercice 3

Pour satisfaire votre soif, vous remplissez un verre de 1 dl avec de l'eau du robinet à 20°C. Vous refroidissez ensuite le verre d'eau avec de la glace prélevée d'un congélateur maintenu à -13°C. En négligeant les échanges de chaleur avec le verre et avec l'extérieur, calculez :

a) La quantité minimale de glace que vous devez ajouter pour amener l'eau à 0°C.

b) Les variations d'entropie de l'eau, de la glace et de l'univers dans ce processus.

c) Refaites les calculs des points a) et b), mais cette fois-ci avec de l'eau à 0.5°C et de la glace à -0.05°C.

d) Comparez les valeurs des variations d'entropies obtenues aux points b) avec celles obtenues au point c). Expliquer qualitativement votre résultat.

Supposez maintenant que l'on mélange 1 dl d'eau à 20°C à 150 g de glace à -13°C.

e) Calculez la température finale et la composition finale (en grammes) du mélange.

Indication : chaleur spécifique de l'eau = 1 cal/(g°C) ; chaleur spécifique de la glace = 0.5 cal/(g°C) ; chaleur latente de fusion de la glace = 80 cal/g ; 1 cal = 4.19 J.

Exercice 4

Deux moles d'un gaz parfait mono-atomique parcourent un cycle $ABCD$ composé des transformations suivantes : une détente isotherme irréversible AB ; une détente adiabatique réversible BC ; une compression isobare réversible CD ; une compression adiabatique réversible DA. On connaît $p_A = 12$ atm, $V_A = 3$ l, $V_B = 12$ l, $p_C = 1$ atm = 101.3 kPa, et on sait que le gaz fournit un travail de 4000 J pendant l'isotherme AB.

a) S'agit-il d'un cycle moteur ou réfrigérateur ? Justifier votre réponse.

b) Représenter le cycle dans un diagramme p-V.

c) Déterminer la température, le volume et la pression aux points A, B, C et D.

d) Calculer le rendement (ou le coefficient de performance) du cycle.

e) Répondre à la question d) en supposant maintenant que l'isotherme AB est réversible.

f) Calculer la variation de l'entropie, de l'enthalpie et de l'énergie libre du gaz durant l'isotherme AB dans les deux cas (réversible et irréversible).

Indication : constante des gaz parfaits $R = 8.314$ J/(mol K)

Exercice 5

Une caravane de 2.5 m de haut, 2.3 m de large et 5 m de long est isolée de l'extérieur par une paroi composée de deux couches de 5 cm et 2 cm, ayant des coefficients de conductibilité thermique de 0.5 J/(smK) et 0.3 J/(smK), respectivement. L'extérieur est à 3°C. On veut chauffer l'intérieur et faire passer sa température de 10°C à 20°C. Pour cela, on utilise un chauffage qui fournit une puissance thermique de 20 MJ/h et un ventilateur qui consomme une puissance électrique de 300 W et qui distribue uniformément l'air chaud dans la pièce. La pression initiale de l'air dans la pièce, considéré comme un gaz parfait diatomique, est de 100 kPa. On néglige les pertes de chaleur de la caravane dues au rayonnement.

a) Calculer la puissance thermique perdue par conduction de la caravane vers l'extérieur, en considérant une température interne moyenne constante et égale à 15°C tout au long du processus de chauffage.

b) Calculer le temps nécessaire pour chauffer la caravane.

c) Vérifier la validité de l'approximation faite en négligeant les pertes de chaleur par rayonnement. Pour cela, comparer l'énergie thermique perdue par conduction avec celle perdue par rayonnement durant tout le processus. Considérer que la surface extérieure de la caravane est un corps gris avec une émissivité de 0.3 et qu'il n'y a pas d'échange de chaleur par rayonnement au niveau de la face inférieure de la caravane. Faites des hypothèses pour simplifier ce calcul et discutez-les brièvement.

Indications : constante de Stefan-Boltzmann $\sigma_B = 5.7 \cdot 10^{-8}$ W/(m^{2}K^4)