

Physique générale II - Section SV

EXAMEN (21 JUIN 2013)

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

Une poulie constituée d'un cylindre homogène avec une masse de 6 kg et un rayon de 15 cm tourne autour d'un axe horizontal, sans frottement. Un câble sans masse et qui ne peut pas glisser, passe autour de la poulie. Une extrémité du câble est attachée à un ressort (sans masse) de constante $k = 600$ N/m. À l'autre extrémité est suspendu un objet avec une masse de 3 kg.

- Faites un schéma du système ;
- Calculez l'allongement du ressort par rapport à sa position au repos, en condition d'équilibre statique ;
- Démontrez que l'objet est sujet à un mouvement harmonique simple lorsque le système est éloigné de sa position d'équilibre puis relâché ;
- Calculez la période de ses oscillations ;
- Quelle est la vitesse maximale de l'objet si l'amplitude maximale des oscillations est de 5 cm ?
- Le câble a un diamètre de 0.3 cm et est fait d'un matériau qui a une tension de rupture de 2×10^7 Pa, cassera-t-il ?

Indications : Le moment d'inertie d'un cylindre homogène de masse M et de rayon R par rapport à son axe de symétrie est $I = \frac{1}{2}MR^2$.

Exercice 2

Un train entre dans un tunnel à une vitesse de $0.8c$. Le train a une longueur au repos de 1 km et le tunnel a la même longueur lorsque l'on la mesure dans le référentiel de la Terre. L'avant du train entre dans le tunnel à 15h00 exactement, dans le référentiel de la Terre.

- Après combien de temps est-ce que l'avant du train sortira, selon la montre du conducteur du train ?
- Après combien de temps est-ce que l'arrière du train entrera dans le tunnel, dans le référentiel de la Terre ?
- Où se trouve l'arrière du train quand l'avant sortira, dans le référentiel de la Terre ?
- Est-ce que le train est contenu entièrement dans le tunnel, à un certain moment, dans le référentiel du conducteur ? Et dans celui de la Terre ?

Exercice 3

Un grand verre vide de liquide mais plein d'air, que l'on considère comme un gaz parfait diatomique, de forme cylindrique (diamètre de 16 cm, hauteur de 24 cm), est immergé rapidement, à l'envers, jusqu'à une profondeur de 10 m, dans une piscine remplie d'eau à 27 °C. L'air est initialement à pression atmosphérique et à la même température que l'eau. On suppose que la transformation subie par l'air dans ce premier processus est adiabatique et réversible. Une fois que l'équilibre thermique est atteint, la piscine est vidée lentement, jusqu'au moment où le niveau d'eau dans le verre atteint une hauteur de 6 cm.

- Identifiez les 3 étapes dans lesquelles on peut partager l'entièreté du processus ;
- Calculez le travail total fait par l'air dans le verre ;
- Déterminez la chaleur échangée avec l'environnement ;
- Quelle est la température maximale que l'air atteint ?

Indication : La pression à une profondeur h sous le niveau de l'eau est donnée par $p = \rho gh + p_{atm}$, où ρ est la densité de l'eau.

Exercice 4

Quatre moles d'un gaz parfait diatomique, occupant un volume de 3 l et à une pression de 20 atm subissent une détente adiabatique, puis une détente isobare et enfin une compression isotherme, qui réduit le volume d'un facteur 3 et ramène le système au point de départ.

- Dessinez le cycle sur un diagramme p-V ;
- De quel type de cycle s'agit-il, moteur ou réfrigérateur ?
- Calculez les valeurs de p, V et T pour chacun des 3 états ;
- Déterminez le rendement ou coefficient de performance de réfrigération du cycle ;
- Calculez la variation d'entropie du gaz le long de la transformation isobare et de l'isotherme ;
- Est-ce que le rendement (ou coefficient de performance) du cycle changerait si, à la place du gaz diatomique, on avait un gaz monoatomique ? Dans quel sens et pourquoi ?

Indication : Constante des gaz parfaits : $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Exercice 5

Le rayonnement du soleil sur la Terre (au-dessus de l'atmosphère) est de 1300 W/m^2 . Considérons la Terre comme un corps noir, mais avec un albédo de 0.3 (l'albédo mesure la fraction du rayonnement réfléchi), et les rayons solaires parallèles quand ils arrivent sur la Terre.

- Calculez la température de la terre à l'équilibre ;

Vous trouvez une valeur clairement trop basse, incompatible avec la vie. En effet, c'est grâce à l'effet de serre que la température de la Terre est plus élevée. Pour l'estimer, on modélise l'atmosphère avec 3 couches isothermes et uniformes ayant la même surface que la Terre. Chaque couche est transparente à la radiation venant du soleil, mais absorbe entièrement le rayonnement qui vient de la Terre ou des couches adjacentes.

- Calculez la température d'équilibre de chaque couche et de la surface de la Terre ;
- Au point précédant, nous avons négligé le phénomène de conduction. Est-ce que la conduction pourrait expliquer la différence entre le résultat trouvé et la réalité ($T_{Terre} \sim 17^\circ \text{C}$) ? Considérez une atmosphère avec une seule couche de 150 km d'épaisseur et évaluez l'ordre de grandeur du rapport entre la puissance transmise par rayonnement et celle transmise par conduction.
- Avez-vous une autre explication qualitative ?

Indication : Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma_B = 5.7 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$, conductibilité thermique de l'atmosphère $k = 0.03 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.