

Physique générale II - Section SV

EXAMEN (20 JUIN 2014)

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.

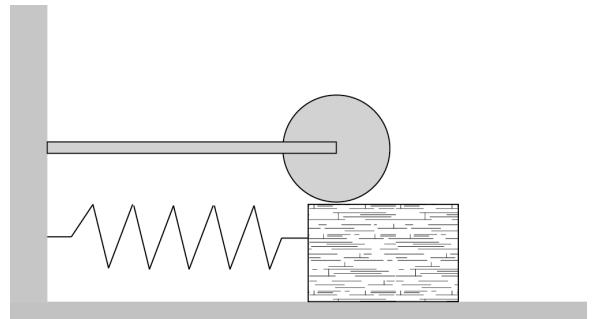
Exercice 1

Une plaque avec une masse de 10 kg est posée sur un plan horizontal, avec frottement négligeable, et est attachée à un ressort dont l'autre extrémité est fixée à une paroi verticale. La constante de raideur du ressort est $k=400 \text{ N/m}$. La plaque est déplacée de 20 cm par rapport à sa position d'équilibre, dans la direction opposée à la paroi, puis laissée libre de bouger avec une vitesse initiale nulle.

- (a) Evaluer le temps qu'il faut pour que la plaque atteigne la position la plus proche de la paroi ;
- (b) Calculer la vitesse avec laquelle le centre de la plaque croise la position d'équilibre.

Sur la plaque est posée ensuite une roue pleine de 15 kg de masse et de 10 cm de diamètre, soutenue par son axe par une tige de masse négligeable et attachée à la paroi verticale (voir dessin). Comme dans le cas précédent, la plaque est déplacée de 20 cm par rapport à sa position d'équilibre, puis laissée libre de bouger. On suppose que dans ce mouvement la roue roule sans glisser sur la plaque.

- (c) Montrer que le mouvement est celui d'un oscillateur harmonique simple ;
- (d) Quel est le retard que la plaque a par rapport au cas précédent lors de son premier passage par la position d'équilibre ?
- (e) Quelle est la valeur minimale du coefficient de frottement statique entre la plaque et la roue pour que la roue ne glisse pas ?



Indication : Le moment d'inertie pour une roue pleine est $\frac{1}{2}mR^2$.

Exercice 2

Les footballeurs qui participent à la coupe du monde 2014 au Brésil se sont tellement bien entraînés qu'ils arrivent à courir et à lancer le ballon à des vitesses relativistes. Dans le match de finale, Brésil-Italie, il y a une action dans laquelle le brésilien Silva a le ballon et son coéquipier Neymar court vers le but italien, qui est gardé par Buffon. Silva lance le ballon à Neymar. Quand la passe de Silva part, exactement à la 20ème minute du match, Silva est à 40 m du but de Buffon, Neymar à 30 m, et le dernier défenseur italien à 15 m. Le dernier défenseur et Buffon sont arrêtés sur le terrain, alors que la vitesse, par rapport à eux, du ballon est de $0.8c$ et celle de Neymar de $0.5c$.

- (a) A quelle distance du but est Neymar quand il reçoit la passe, vu par lui-même, vu par Buffon ?
- (b) Est-il au-delà du dernier défenseur quand il reçoit la passe ?
- (c) A quel moment du match reçoit-il la passe, selon sa montre et selon celle de Buffon ?
- (d) Si le ballon a une masse au repos de 0.5 kg, quelle est la différence entre la valeur du travail utilisé par Silva pour faire la passe calculée dans le cas classique et calculée dans le cas relativiste ?

Exercice 3

Deux bulles d'air identiques se forment au fond d'un lac, puis montent à la surface. Comme la pression est beaucoup moins élevée à la surface, elles subissent une expansion. Alors que la première bulle monte sans obstacles très rapidement vers la surface, sans avoir le temps d'échanger de la chaleur avec l'eau du lac, la deuxième monte lentement, par exemple à cause de la présence d'algues sur son chemin, de façon à être en équilibre thermique avec l'eau (que l'on suppose avoir la même température partout).

- (a) Laquelle des deux bulles est plus grande à la surface du lac ? Discuter bien du raisonnement suivi et des approximations faites ;
- (b) De quelles données aurait-on besoin pour calculer le volume de chaque bulle à la surface ?

Exercice 4

Trois moles de gaz parfait di-atomique parcourront un cycle réversible à partir d'un état d'équilibre initial avec $p_i=20$ atm, $V_i=4$ l, composé d'une transformation isochore, suivie par une expansion isobare, jusqu'à un volume de xV_i (avec $x > 1$), et finalement une compression isotherme.

- (a) Dessiner le cycle sur un plan $p - V$ et indiquer s'il s'agit d'un moteur ou d'un réfrigérateur ;
- (b) Déterminer la température T_i de l'état initial ;
- (c) Calculer le rendement du cycle (si c'est un moteur) ou son coefficient de performance (si c'est un réfrigérateur) en fonction de x . Est-ce que le rendement (ou la performance) augmente ou diminue en fonction de x ? Quelle est sa dépendance avec T_i ?
- (d) Considérer la valeur $x=4$, et calculer le travail total sur le cycle ;
- (e) Calculer la variation d'entropie et d'énergie libre de Gibbs sur la compression isotherme, troisième étape du cycle.

Indication : Constante des gaz parfaits $R=8.314 \text{ J}/(\text{mol K})$; $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$.

Exercice 5

Après l'avoir remplie et mise au congélateur suffisamment longtemps, on a une bouteille thermos entièrement remplie de glace à -6°C . La bouteille est constituée de deux cylindres concentriques de 20 cm de longueur et 5 cm et 7 cm de diamètre, respectivement. Entre les cylindres, on a fait le vide. De plus, les parois ont une émissivité de $\epsilon=0.2$. On suppose que le fond et le bouchon de la bouteille sont parfaitement isolants. La température de la paroi externe est de 30°C , la même que l'air ambiant autour.

- (a) Calculer combien de temps il faut pour que la glace fonde complètement ; .
- (b) Supposons maintenant que la bouteille ait perdu sa capacité de garder le vide. Entre les deux cylindres, il y a donc de l'air. Combien de temps faut-il pour que le sorbet fonde complètement dans ce cas ?
- (c) Quelle est la vitesse moyenne avec laquelle les molécules d'air tapent depuis l'extérieur contre la paroi externe de la bouteille (on suppose 80% N₂, 20% O₂) ? En considérant la pression atmosphérique (1 atm), quel serait l'ordre de grandeur de la force nette exercée par ces molécules d'air sur la bouteille si 1% de leurs vitesses étaient dirigées selon une direction particulière ?

Indications : Dans le calcul, indiquez clairement les approximations faites et justifiez-les brièvement.

Constante de Stefan-Boltzmann $\sigma_B = 5.8 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Constante de Boltzmann $k_B = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$. Conductibilité thermique de l'air $k_{\text{air}} = 0.025 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Masse volumique de la glace : $\rho_{\text{glace}} = 917 \text{ kg/m}^{-3}$. Chaleur latente de fusion de la glace à 0°C : $L_f = 333.6 \text{ kJ/kg}$. Chaleur spécifique à pression constante de la glace à 0°C : $c_{\text{glace}} = 2110 \text{ J/kg/K}$. $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$.