http://web.ccr.jussieu.fr/iheb/

Concours Général de Physique Minko Balkanski

Mai 2002

La clarté et la précision de la rédaction, qui doit être obligatoirement en **français**, *seront prises en compte dans la note finale.*

Les deux problèmes sont indépandents entre eux et peuvent être abordés dans n'importe quel ordre.

La durée de la composition est de **4 heures**.

Problème I (16 points)

On considère une balle de masse m accrochée à un ressort de masse négligeable, de raideur k et de longueur au repos l_0. L'autre extrémité du ressort est accrochée au point O qui est fixe. Le ressort ne peut se déformer que selon sa longueur.

Dans la suite on négligera toute force de frottements. Le mouvement s'effectue toujours dans le plan des figures, et il n'y a pas de forces de pesanteur.

1.1.a.(0.5pt) La balle possède une vitesse $\vec{v}$ quelconque et la longueur du ressort est l. Donner l'énergie mécanique totale du système.

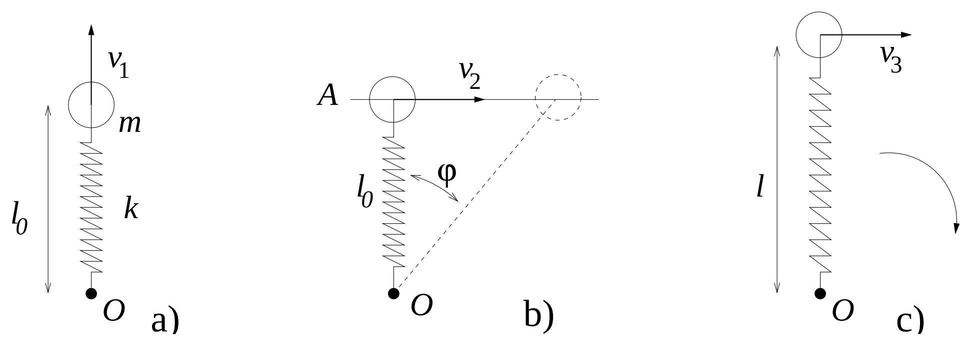

Figure 1.1

b.(0.5pt) Dans la figure 1.1.a. le ressort est initialement au repos et la balle est lancée avec une vitesse v_1 parallèlement à l'axe du ressort. Donner l'élongation maximale du ressort.

c.(1pt) Dans la figure 1.1.b. le ressort est initialement au repos. La balle est contrainte de se déplacer selon l'axe A perpendiculaire au ressort au repos. Si la vitesse initiale de la balle est v_2, quel est l'angle φ correspondant à la position extrême de la balle sur l'axe?

1.2. Dans la figure 1.1.c. la balle tourne autour le point O avec une vitesse v_3.

a.(1pt) Quelle sont les forces agissant sur la balle? Écrire une équation carrée pour la longueur du ressort en fonction des paramètres.

b.(2pt) Donner les deux solutions de cette équation. Que deviennent-elles lorsque $v_3 = 0$? En déduire la solution physiquement acceptable.

c.(0.5pt) Donner la période du mouvement.

1.3. Dans la figure 1.2 le ressort est initialement au repos et la balle est lancée avec une vitesse initiale v perpendiculaire au ressort. Pour une position antérieure de la balle, on notera par v_r et v_ϑ les composantes de la vitesse respectivement parallèle et perpendiculaire au ressort.

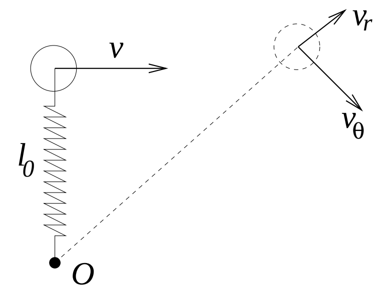

Figure 1.2

a.(1pt) En s'appuyant sur le résultat de la question 1.1.a. écrire la relation existante entre v, v_r, v_ϑ, l_0 et l - la longueur du ressort à la position antérieure.

b*.(1pt) Montrer que la conservation du moment cinétique implique la relation:

$$l_0 v = l v_\vartheta .$$

c.(2pt) En déduire une équation pour l'élongation maximale l_{max} du ressort. La simplifier en supposant $l_{max} - l_0 \ll l_0$. Que vaut l_{max} dans ces conditions?

1.4*. On se propose dans cette question de déterminer (de façon approchée) le mouvement de la balle de la question précédente.

a.(1pt) Ecrire l'équation de la dynamique pour la vitesse v_r.

b.(1pt) En se servant de la conservation du moment cinétique, éliminer la vitesse v_ϑ. On posera $x = l - l_0$. Écrire une équation différentielle du second ordre vérifiée par x.

c.(1pt) Simplifier l'équation en supposant x petit. Quelles sont les conditions initiales pour cette équation? On rappelle la formule approchée:

$$(1+y)^\alpha \approx 1 + \alpha y$$

pour $y \ll 1$ et $\forall \alpha \in \mathbb{R}$.

d.(2pt) Résoudre l'équation pour ces conditions initiales. Que pouvez-vous dire pour le mouvement radiale de la balle? Donner l'amplitude et la période du mouvement.

e.(2pt) Expliciter une condition sur l'amplitude pour que l'approximation faite plus haut soit applicable. Pour quelle gamme de vitesses initiales cette condition est satisfaite?

f.(0.5pt) Comparer les périodes du mouvement radiale et de rotation.

Problème II (19 points)

On considère l'expérience décrite sur la figure 2.1.

Une source S de rayonnement de fréquence ν illumine une plaque métallique reliée à la terre. A distance L_1 de la plaque se trouve une électrode sphérique E_1 de rayon r reliée à un condensateur plan de capacité C à travers un interrupteur I. Une autre électrode E_2, de rayon r et maintenue à une tension constante V_g est placée à une distance L_2 du E_1.

On supposera $r \ll L_1, L_2$.

L'ensemble se trouve dans un tube de verre et maintenu sous vide.

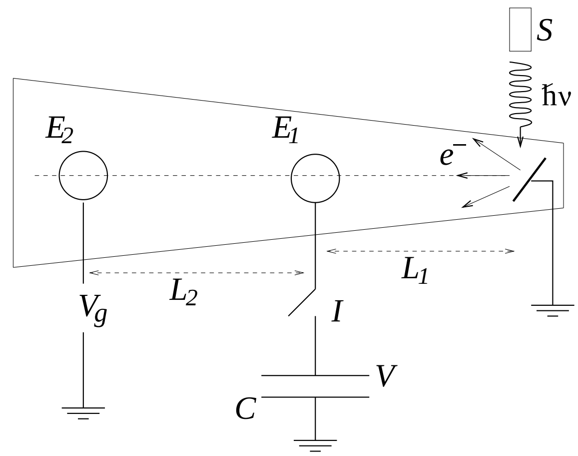

Figure 2.1

2.1.(1pt)Quand la source illumine la plaque, les photons éjectent des électrons par effet photoélectrique. En supposant que chaque électron est éjecté par un photon unique, donner l'énergie cinétique et la vitesse de l'électron. On donne A - le travail pour détacher un électron de la surface de la plaque, $\hbar$ - la constante de Planck et e la charge de l'électron.

2.2. Pour cette question l'interrupteur I est ouvert.

a.(2pt) La charge initiale de E_1 est zéro. Donner le potentiel du champ électrostatique créé par E_2 au point où se trouve E_1.(Vous pouvez assimiler l'électrode à une sphère de rayon r uniformément chargée, sous potentiel V_g).

b.(1pt) La charge de E_1 est maintenant Q. Que vaut le potentiel total au centre de E_1?

c.(1pt) Un électron, éjecté par effet photoélectrique avec une vitesse v, arrive en E_1 lorsque celle-ci porte une charge Q. Avec quelle vitesse arrive cet électron?

d.(2pt) Lorsqu'un électron arrive en E_1, il est capté par l'électrode. Quelle est le nombre maximal d'électrons emmagasiné par E_1 si elle est initialement neutre?

2.3. Pour la suite on ferme l'interrupteur I. La charge totale de l'ensemble E_1 + *condensateur* est Q. Elle se distribue en une partie Q_1 dans la balle et Q_2 dans le condensateur.

a.(0.5pt) Quelle est la tension V au bornes du condensateur en fonction de Q_2?

b.(0.5pt) En équilibre électrostatique le potentiel d'un conducteur électrique est le même dans tout les points du conducteur. Donner la relation qui s'ensuit entre Q_1 et Q_2.

c.(3pt) Exprimer V en fonction de Q. Montrer que si E_1 se charge avec les électrons obtenus par effet photoélectrique, la valeur maximale de V est:

$$V_{max} = \frac{\hbar\nu - A}{e} \frac{1}{1 + C/4\pi\varepsilon_0 r}$$

2.4. On imagine une situation où la source du rayonnement ne peut marcher que par coups de durée finie et très courte, et sa puissance est calibrée de façon qu'après chaque coup un et un seul électron est éjecté vers E_1. On a $V_g = 0$ pour cette question.

a.(2pt) A $t = 0$, on a $V = 0$ et la source est déclenchée une seule fois. Dessiner l'allure qualitative de $V(t)$. Soyez aussi précis que possible.

b.(3pt) La source et le condensateur sont reliés à une circuit électronique qui déclenche la source chaque fois que la dérivée dV/dt s'annule. Dessiner alors l'allure qualitative de $V(t)$. Soyez aussi précis que possible.

c*.(3pt) Lorsqu'il y a un seul électron capté par E_1, il semblerait que sa charge est repartie entre l'électrode et le condensateur, alors que les manuels de physique nous instruisent que l'électron porte la charge électrique le plus petit possible. Comment expliquez-vous que, par exemple, le condensateur peut porter une charge électrique e fractionnaire?

FIN