UNIVERSITE PIERRE & MARIE CURIE
LA SCIENCE A PARIS

L1 P101bis
ANNÉE 2004–2005

Examen partiel de Physique - Avril 2005

Durée de l'épreuve : 2 heures.
Les calculatrices ne sont pas autorisées. Les deux problèmes sont indépendants.

A. Potentiel de molécule diatomique

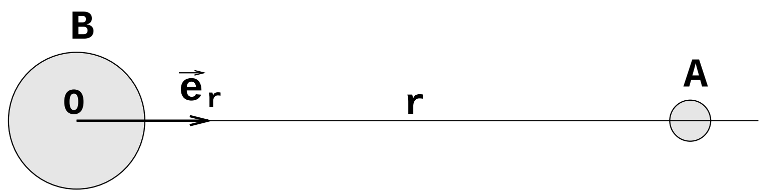

FIG. 1 –

On cherche à modéliser les propriétés d'une molécule diatomique en termes d'énergie et de forces d'interaction. Le système étudié (voir Fig.1) est constitué d'une particule fixe (B) placée à l'origine des coordonnées O et supposée immobile dans le référentiel considéré, et d'une particule (A) se trouvant à une distance $OA = r$ de O. Tous les mouvements éventuels de A se font suivant l'axe fixe orienté dans la direction OA et dont le vecteur unitaire est $\vec{e}_r$. La force d'interaction $\vec{F}$ exercée par B sur A est constituée de deux termes $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ ainsi définis :

$$
\begin{aligned}
\vec{F}_1 &= -\frac{a}{r^2}\vec{e}_r \\
\vec{F}_2 &= +\frac{b}{r^3}\vec{e}_r \\
\vec{F} &= \vec{F}_1 + \vec{F}_2
\end{aligned}
$$

où a et b sont des coefficients tous deux positifs.

1. Préciser, en le justifiant, la nature des forces $\vec{F}_1$ et $\vec{F}_2$ (attractive ou répulsive).

2. Sachant que la force $\vec{F}$ est une force conservative qui dérive d'une énergie potentielle E_p, donner l'expression de cette énergie potentielle quand les deux particules se trouvent à une distance r_0. On prendra l'énergie potentielle nulle quand les deux particules sont séparées par une distance infinie.

3. Le travail fourni par les forces <u>internes</u> dans une transformation est égale à la <u>diminution</u> de l'énergie potentielle du système. Calculez ce travail quand la particule A est transportée de la position r_0 à l'infini pour retrouver le résultat de la question précédente.

On va maintenant étudier dans le détail la fonction $E_p(r)$.

4. Quelles sont les valeurs asymptotiques de la fonction $E_p(r)$ quand $r \to +\infty$ et $r \to 0$?

5. Trouver la valeur r_0 de r pour laquelle l'énergie potentielle est extrémum. Cet extrémum est-il un minimum ou un maximum ?

6. Tracer la courbe (Γ) représentative de la fonction $E_p(r)$ en fonction de r à partir des indications obtenues dans les questions (4) et (5).

7. La position $r = r_0$ est une position d'équilibre du système. Justifier cette affirmation. Expliquez si l'équilibre est stable ou instable.

8. La particule A est abandonnée à une distance infinie de B sans vitesse initiale. Utilisez la courbe (Γ) pour expliquer, sans calcul, quel sera son mouvement. Indiquez en particulier, à l'aide de cette courbe, la distance minimale d'approche entre les deux particules. Que se passe-t-il une fois que la particule A a atteint cette position ?

9. La particule A a une énergie mécanique E_m telle que $E_p(r_0) < E_m < 0$. Indiquez sur la courbe (Γ), toujours sans calcul, le domaine de l'espace à l'intérieur duquel sont restreints les mouvements de la particule A. Quelle est la nature de ces mouvements ?

B. Glissement sans frottement sur un plan incliné

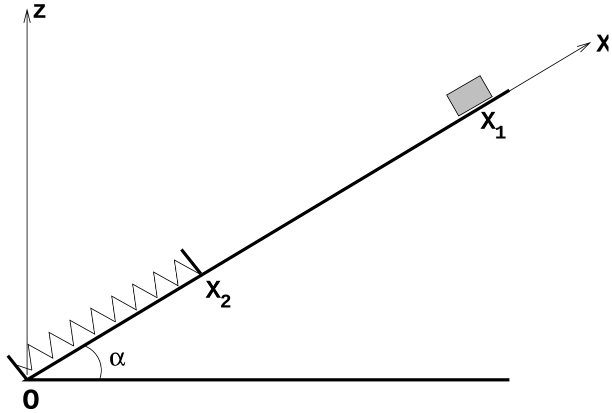

FIG. 2 –

Un objet de masse m est placé sur un plan incliné qui fait avec l'horizontale un angle $\alpha = 30°$. La ligne de plus grande pente de ce plan est repéré par l'axe OX et la verticale par l'axe Oz (voir Fig.2). La masse m est abandonnée sans vitesse initiale en un point d'abscisse X_1 (état 1), et glisse sans frottement sur le plan. Un ressort dont une extrémité est fixée au point O a, au repos, une butée qui se trouve à la position X_2 sur l'axe OX. Le ressort et ses butées ont des masses négligeables. On se propose d'étudier le mouvement de la masse m sous l'action des forces de pesanteur. On prendra l'accélération de la pesanteur $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$ pour les applications numériques.

1. On commence par étudier le mouvement entre X_1 et X_2. Quelles sont les forces qui s'exercent sur la masse m ? Indiquez-les sur un dessin. Calculez la résultante de ces forces, responsable du mouvement de l'objet. Quelle est la nature de ce mouvement ?
2. Calculez le module de la vitesse v_2 de l'objet quand il atteint la position X_2, butée du ressort (état 2) :
   (a) En appliquant le théorème de l'énergie cinétique entre les états 1 et 2 (on prendra l'énergie potentielle du système masse + Terre nulle en $z = 0$).
   (b) En utilisant la conservation de l'énergie mécanique de ce système entre les mêmes états.
   (c) En utilisant le principe fondamental de la dynamique (ou 2$^{\text{ème}}$ loi de Newton).
3. Après le contact de la masse avec la butée du ressort, celui-ci est comprimé jusqu'à ce que la masse atteigne une position X_3 (état 3) avant de s'immobiliser. Quelle est l'énergie potentielle du système masse + Terre + ressort quand la butée du ressort se trouve à la position X_3 ? On rappelle que la force exercée par un ressort comprimé d'une longueur ΔX s'écrit $F = -k\Delta X$ où k est la *raideur* du ressort, et que cette force est conservative.
4. Application numérique. On veut utiliser ce système pour mesurer la vitesse d'impact de la masse sur la butée du ressort. Sachant que la raideur du ressort est $k = 91\,\mathrm{N/m}$ et que le ressort a été comprimé d'une longueur $\Delta X = 1\,\mathrm{m}$, calculer v_2. En déduire la distance $X_1 - X_2$ que la masse a parcourue avant l'impact.