Université Paul Sabatier de Toulouse, année universitaire 2004-2005

CIMP, PHYSIQUE

ÉPREUVE 3 de CONTRÔLE CONTINU, SECTION A

14 Décembre 2004

Durée : 1 h

On rappelle que les correcteurs sont sensibles à la lisibilité des copies, à l'orthographe ainsi qu'au style, lequel, en aucun cas, ne doit être télégraphique.

A. Questions de cours (5 points)

1) Onde monochromatique plane progressive :
Expression réelle en fonction du temps t et du vecteur position $\mathbf{r}$, expression complexe, relation entre le vecteur d'onde $\mathbf{k}$, la pulsation ω et la vitesse de propagation v ; dimensions physiques de $\mathbf{k}$, ω et v.

2) Onde stationnaire :
Définition d'une onde stationnaire, dans le cas d'une seule variable spatiale x ; comment réalise-t-on une telle onde avec deux ondes monochromatiques planes ?

B. Problème (15 points)

Vitesses de satellisation et de libération dans les voisinages terrestre et solaire

En juillet 1969, lors de la mission américaine Apollo 11, on a satellisé sur une orbite circulaire d'attente, autour de la Terre, à une altitude $h = 200$ km, le module SIV-B de la fusée Saturne V. On souhaite calculer les vitesses de satellisation et de libération (dite aussi d'évasion) d'un tel module, que l'on représente par un point matériel A, de masse m, dans les voisinages terrestre et solaire (Fig. 1).

1. Voisinage terrestre

On néglige l'influence du Soleil, et on se place dans le référentiel $\mathcal{R}_T$, supposé galiléen, défini par trois étoiles éloignées et le centre T de La Terre.

a) Quel est le champ de gravitation qu'exerce la Terre, assimilée à un point de masse M_T, au point où se trouve le satellite, en fonction de $\mathbf{r} = \mathbf{TA}$? En déduire la force correspondante.

b) Exprimer les composantes normale et tangentielle de l'accélération du satellite dans la base de Frenet.

c) En appliquant la loi fondamentale de la dynamique appliquée à A, en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre, à la distance $TA = r$, sous l'effet de la seule gravitation, établir l'expression suivante de la vitesse de satellisation terrestre : $v_s = (A/r)^{1/2}$, A étant un coefficient que l'on précisera. La masse du satellite n'intervient pas ; commenter. Application numérique pour le module SIV-B.

d) Trouver, en fonction de r, l'énergie cinétique $\mathcal{E}_k$ de A, son énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ et son énergie mécanique $\mathcal{E}_m$. Représenter, sur un même graphe, $\mathcal{E}_k(r)$, $\mathcal{E}_p(r)$, $\mathcal{E}_m(r)$. Commenter le signe négatif de l'énergie potentielle et de l'énergie mécanique. Calculer, en MJ.kg^{-1}, l'énergie mécanique par unité de masse de SIV-B.

e) Le satellite est soumis, en outre, à l'action d'une force de frottement due aux collisions avec les molécules d'air de la haute atmosphère. Cette force modifie légèrement la trajectoire. À l'aide du théorème de l'énergie mécanique, étudier l'évolution de $\mathcal{E}_m$, $\mathcal{E}_p$ et $\mathcal{E}_k$ au cours du temps. L'effet d'une telle force de frottement est paradoxal ; commenter et justifier.

T.S.V.P.

f) La vitesse de libération terrestre de A est la vitesse v_l pour laquelle l'énergie mécanique est nulle. Exprimer l'énergie mécanique en fonction de v_l et de r. En déduire une relation simple entre la vitesse de libération et la vitesse de satellisation.
En 1969, on a communiqué au module SIV-B, en orbite circulaire d'attente, un excédent de vitesse, afin de passer de la satellisation à la libération. Calculer cet excédent de vitesse, ainsi que la variation d'énergie mécanique associée.

2. Voisinage solaire

On néglige l'influence de la Terre et on se place dans le référentiel $\mathcal{R}_S$, supposé galiléen, défini par trois étoiles éloignées et le centre S du Soleil. Ce dernier est assimilé au point S de masse M_S.

a) Quelle est l'expression de la vitesse de satellisation V de la Terre sur son orbite approximativement circulaire, de centre S et de rayon $ST = 149 \times 10^6$ km, autour du Soleil ? Application numérique.

b) Quelle serait sa vitesse de libération V_l ? Application numérique.

3. Voisinage terrestre et solaire (hors barême)

Le satellite A interagit à la fois avec la Terre et le Soleil.

Sur la figure 1, on a représenté la Terre, avec son centre T en mouvement de révolution quasi circulaire uniforme autour du Soleil, et le satellite A. On cherche à trouver la vitesse de libération du satellite lorsqu'on lui communique, par rapport à $\mathcal{R}_T$, une vitesse v_0, orientée selon la vitesse de T sur son orbite.

a) À une altitude suffisante, pour laquelle l'énergie potentielle de gravitation terrestre est négligeable, la vitesse de A, par rapport à $\mathcal{R}_T$, est v_1. Établir, à partir de l'énergie mécanique, la relation entre v_1, v_0 et v_l, sachant que l'on néglige toute force de frottement.

b) Par rapport à $\mathcal{R}_S$, la vitesse de A est alors $V = v_1 + V_T$. Montrer que v_0 est la vitesse de libération dans $\mathcal{R}_T$, en présence de la Terre et du Soleil, si elle est donnée par l'équation :

$$v_0 = [v_l^2 + (V_l - V_T)^2]^{1/2}$$

Application numérique. Calculer v_0, ainsi que l'énergie mécanique correspondante par unité de masse de satellite, en MJ.kg^{-1}.

Fig. 1

On rappelle les données physiques suivantes :

Constante de gravitation : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m^3.kg^{-1}s^{-2}

Masse de la Terre : $M_T = 6 \times 10^{24}$ kg

Rayon de la Terre : $R_T = 6\,400$ km

Masse du Soleil : $M_S = 2 \times 10^{30}$ kg

Rayon du Soleil : $R_S = 0,696 \times 10^9$ m.