

**CIMP, PHYSIQUE**

**ÉPREUVE 3 de Contrôle continu**

**Jeudi 5 janvier 2006, durée : 1 h**

*Aucun document n'est autorisé*

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

**A. Questions de cours (5 points)**

**Onde plane et onde sphérique monochromatiques**

- i) Qu'appelle-t-on onde plane et onde plane monochromatique ?*
- ii) Qu'appelle-t-on onde sphérique et onde sphérique monochromatique ?*
- iii) Exemple optique : quel est l'instrument capable de transformer une onde plane en une onde sphérique et vice-versa ? Justifier.*

**B. Problème (15 points)**

**Station spatiale internationale en orbite autour de la Terre**

Depuis 1998, la station spatiale internationale ISS( International Spatial Station), de masse  $m = 95$  tonnes, gravite autour de la Terre, sur une orbite circulaire de rayon  $r_0$ , à une altitude  $h = 400$  km, par rapport au référentiel géocentrique  $\mathcal{R}_g = Tx_0y_0z_0$  (Fig. 1).

On rappelle que  $\mathcal{R}_g$ , qui est défini par le centre de masse  $T$  de la Terre et trois étoiles éloignées, est une excellente approximation d'un référentiel galiléen. En outre, la Terre est supposée sphérique avec un rayon  $R_T = 6400$  km et une masse  $M_T = 6 \times 10^{24}$  kg ; on donne la valeur de la constante de gravitation  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$ .

Fig. 1

Fig. 2

- 1) a) Appliquer la deuxième loi de Newton, sous sa forme vectorielle, à ISS assimilé à un point matériel  $S$ , sachant que la force de gravitation terrestre est la seule qui ne soit pas négligeable. On néglige ainsi la force de frottement visqueux qu'exercent les molécules dans l'air sur l'ISS.
- b) Projeter l'équation vectorielle précédente dans la base de Frenet. En déduire l'expression de la vitesse de satellisation  $v_s$  en fonction de  $M_T$  et  $r_0$ . Application numérique.
- c) Quelle est, fonction de  $M_T$ ,  $m$  et  $r_0$ , l'énergie cinétique  $\mathcal{E}_k$  de  $S$  dans  $\mathcal{R}_g$  ? Calculer sa valeur en précisant son unité.

**T.S.V.P.**

**2.** a) Donner l'expression du travail élémentaire de la force de gravitation qui s'exerce sur l'ISS, lorsqu'on déplace son point d'application  $S$  d'un vecteur élémentaire  $d\mathbf{r}$ . En déduire l'énergie potentielle  $\mathcal{E}_p$  de  $S$ , associée à la force de gravitation, en fonction de  $M_T$ ,  $m$  et  $r_0$ , sachant que l'origine de cette énergie est prise pour  $r_0$  infini. Application numérique. Quelle signification donner au signe de cette énergie ?

b) On définit souvent l'énergie potentielle de façon opérationnelle par le travail qu'un opérateur doit fournir à  $S$  pour l'amener de l'infini à la position considérée, cela de façon infiniment lente et sans frottement.

Appliquer le théorème de l'énergie cinétique à  $S$  soumis à la force de gravitation, à la force exercée par l'opérateur et à une force de frottement. Justifier alors la définition précédente.

c) Quelle est, en fonction de  $M_T$ ,  $m$  et  $r_0$ , l'énergie mécanique  $\mathcal{E}_m$  de l'ISS ?

d) L'analyse attentive d'un tel mouvement montre que, au cours du temps, la distance  $r_0$  diminue légèrement. Comment varient alors  $\mathcal{E}_m$  et  $\mathcal{E}_k$  ? Justifier en analysant le rôle énergétique d'une force supplémentaire de frottement.

**3.** a) On souhaite communiquer à l'ISS une vitesse telle que la station puisse s'évader de l'environnement terrestre, précisément en lui donnant une énergie totale nulle. Exprimer, en fonction de  $M_T$  et  $r_0$ , la valeur  $v_l$  de cette vitesse. Montrer que  $v_l$  et  $v_s$  sont directement reliés par un simple facteur numérique. Lequel ? Calculer  $v_l$  en précisant son unité.

b) Quelle devrait être la masse  $M'_T$  de la Terre pour que la vitesse de libération atteigne la valeur de la constante d'Einstein,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ? Comparer cette masse à celle du Soleil qui vaut  $2 \times 10^{30} \text{ kg}$ . Commenter.

**4.** L'ISS émet en permanence, vers la Terre, une onde radioélectrique, plane, sinusoïdale, de fréquence  $\nu_s = 100 \text{ MHz}$  ( $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ ) et de vitesse de propagation  $c$  (Fig. 2).

a) Calculer, en précisant les unités, la période, la pulsation et la longueur d'onde correspondantes.

b) Les fréquences des ondes reçues par la station de réception située en  $O$  sur le sol terrestre varient entre les valeurs extrêmes suivantes :

$$\nu_{r,min} = \frac{\nu_s}{1 + (v/c)(R_T/r_0)} \quad \text{et} \quad \nu_{r,max} = \frac{\nu_s}{1 - (v/c)(R_T/r_0)}$$

Justifier qualitativement l'écart spectral de la fréquence reçue au sol, par rapport à  $\nu_s$ , ainsi que la variation de cet écart lorsque ISS se déplace sur sa trajectoire entre les points  $S_1$  et  $S_2$ . Calculer ces fréquences.

c) On compare la moyenne arithmétique  $\bar{\nu}_r$  des deux fréquences extrêmes précédentes à  $\nu_s$ . Calculer l'écart spectral relatif  $(\bar{\nu}_r - \nu_s)/\nu_s$ . Est-il mesurable selon vous ?