**2007 Liban Exercice n°2 : La station spatiale internationale à l'heure atomique Pharao**
**Calculatrice interdite (5,5 points)**

*La station spatiale internationale (Internationale Space station, ISS) est le résultat d'une coopération internationale sans précédent qui va permettre, pendant plus de 10 ans, d'effectuer des expériences dans de nombreux domaines scientifiques.*
*Lorsqu'elle sera achevée, l'ISS sera la plus grande structure jamais réalisée par l'homme dans l'espace. La surface de cet immense complexe de plus de 100 m de long sera équivalente à celle d'un grand stade de football comprenant des laboratoires, un module d'habitation…*
*Le lancement du 1$^{er}$ élément de l'ISS, le module russe Zarya, a eu lieu en 1998 et, depuis novembre 2000, deux ou trois spationautes occupent en permanence la station.*
*Sa construction se poursuit au fur et à mesure des vols de la navette spatiale américaine.*
*L'horloge atomique Pharao (projet d'horloge atomique par refroidissement d'atomes en orbites), sera embarquée à l'horizon 2010 à bord de l'ISS. À la clé, de nouveaux tests en physique fondamentale. Cet instrument unique doit mesurer le temps avec une exactitude et une stabilité inégalées : l'horloge ne perdra qu'une petite seconde toutes les 300 millions d'années.*

*D'après le site du CNES (mars 2006)*

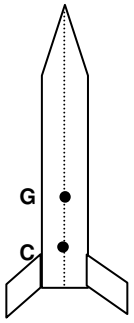
## I. Décollage de la navette spatiale (shuttle en anglais)

Au décollage, la navette comporte trois éléments : le gros réservoir extérieur, les deux fusées d'appoint (boosters) et la navette proprement dite (ou orbiter) avec ses ailes delta et ses trois moteurs SSME. L'ensemble a une masse au décollage voisine de $M_N = 2{,}0 \times 10^3$ tonnes.
Après une longue préparation, à $t_0 = 0$ s, les boosters sont mis à feu et le véhicule est libéré de ses attaches. Pendant les quinze premières secondes du vol, la trajectoire est verticale par rapport au référentiel terrestre. À $t_3 = 3{,}0$ s, la navette a une vitesse d'environ 50 km.h$^{-1}$ soit 14 m.s$^{-1}$ et à $t_5 = 5{,}0$ s, sa vitesse vaut environ 92 km.h$^{-1}$ soit 25 m.s$^{-1}$.
Après huit minutes et différentes manœuvres, elle atteindra son orbite stable.

*Données :*
- Accélération de la pesanteur terrestre : g = 10 m.s$^{-2}$.
- La durée d'étude étant très courte, on considère que la masse de la navette ne change pas, en réalité elle perd 1 % de sa masse).

**1.** Définir puis déterminer l'accélération de la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s.

**2.** Durant cette phase on peut négliger l'action de l'atmosphère (de l'air) et on supposera que la force de poussée due à l'éjection des gaz par les fusées est constante. Cette force s'applique au centre de poussée noté C sur le schéma ci-contre et situé sous le centre de gravité G.




2.1. Représenter les forces qui s'exercent sur la navette à la date $t_4 = 4{,}0$ s. On utilisera le schéma simplifié ci-contre à reproduire sur la copie.
2.2. Calculer la valeur de la poussée.

## II. Étude du mouvement de la station spatiale

Par rapport au référentiel géocentrique, la station S effectue seize révolutions par jour sur une orbite circulaire, inclinée de 51,6° par rapport à l'équateur et située à une altitude z (environ 400 km).

*Données :*
- $M_T$ : masse de la Terre
- $R_T$ : rayon de la Terre
- $M_S$ : masse de la station
- G : constante de gravitation universelle
- Z : altitude de la station
- La Terre a une répartition de masse à symétrie sphérique et la station a des dimensions faibles par rapport à la distance qui la sépare de la Terre.

**1.** Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle que la Terre exerce sur la station en fonction des données. Faire un schéma où seront représentées la Terre, la station et la force.

**2.** Étude de la vitesse

2.1. En supposant que seule la force gravitationnelle s'exerce sur la station, montrer que le mouvement de la station est uniforme et établir l'expression de sa vitesse en fonction des données.

2.2. La masse $M_S$ de la station croît au fur et à mesure de sa construction : elle valait 195 tonnes en septembre 2006 et vaudra 435 tonnes en 2010, date prévue pour la fin de sa construction. La vitesse de la station sur son orbite sera-t-elle modifiée ?

2.3. Quelle est la loi de Kepler qui prévoit que le mouvement circulaire d'un satellite est uniforme. L'énoncer.

**3.** Définir puis établir l'expression de la période de révolution de la station en fonction des données.

**4.** Satellite géostationnaire

4.1. Définir un satellite géostationnaire.

4.2. La station est-elle géostationnaire ? Justifier la réponse.

## III. L'horloge atomique à jet de césium

Depuis 1967, c'est l'horloge atomique au césium qui sert à définir la seconde. Cet appareil utilise les principes de la mécanique quantique : dans un atome, les niveaux d'énergie sont quantifiés.
Cette horloge comprend un oscillateur à quartz. Le signal électrique oscillant est utilisé pour générer une onde électromagnétique de fréquence $\nu$ = 9 192 631 770 Hz dans la cavité où on fait passer des atomes de césium 133.
Si le quartz oscille à la bonne fréquence, les atomes absorbent le rayonnement et passent d'un niveau d'énergie $E_A$ au niveau d'énergie $E_B$.
Si le quartz se dérègle, ce n'est plus le cas et un système électronique agit sur la fréquence d'oscillation du quartz jusqu'à ce que les atomes absorbent à nouveau le rayonnement.

*Données : utiliser les valeurs arrondies ci-dessous pour les calculs.*

- Constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s $\approx 7 \times 10^{-34}$ J.s
- Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air : $c = 299\,792\,458$ m.s$^{-1}$ $\approx 3 \times 10^{8}$ m.s$^{-1}$
- $\nu = 9\,192\,631\,770$ Hz $\approx 9 \times 10^{9}$ Hz

**1.** Expliquer la phrase : *« dans un atome les niveaux d'énergie sont quantifiés »*.

**2.** Calculer la longueur d'onde de l'onde électromagnétique émise.

**3.** Calculer la différence d'énergie entre les niveaux A et B de l'atome de césium 133.

**4.** Sur un diagramme, placer les niveaux d'énergie $E_A$ et $E_B$ puis représenter la transition effectuée par les atomes de césium qui absorbent l'onde.