

MOUVEMENT DANS UN CHAMP DE GRAVITATION – EXERCICES

Exercice 1 :

On se propose d'étudier la zone d'habitabilité d'une planète du système HD 189733 située en dehors du système solaire.

Données :

Période de révolution de la planète : $T = 1,9 \times 10^5 \text{ s}$.

Masse du soleil : $1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$

La masse de l'étoile HD189733 est égale à 82 % de la masse du soleil.

Document 3 : Zone d'habitabilité d'une planète

La zone d'habitabilité se définit par une fourchette de distance entre une planète et son étoile. Elle correspond à une zone dans laquelle la quantité d'énergie reçue par la planète permet à l'eau d'exister sous forme liquide. Dans notre système solaire, c'est le cas de la Terre située à 1 U.A. qui reçoit environ 1000 Watts par mètre carré d'énergie rayonnée par le Soleil. Si l'on s'approche du Soleil et que l'on dépasse Vénus situé à 0,723 U.A., la quantité d'énergie reçue est trop importante et l'eau se vaporise. Si on s'en éloigne et que l'on dépasse Mars située à 1,52 U.A., alors l'eau n'existe plus que sous forme de glace. Or, seule l'eau liquide permet à la vie d'exister sous la forme que nous lui connaissons.

La taille et la position de la zone d'habitabilité dépend naturellement de la puissance de l'étoile qui émet le rayonnement lumineux. Si l'étoile est petite, la zone d'habitabilité sera beaucoup plus proche d'elle que s'il s'agit d'une étoile géante.

Donnée : 1 U.A. = $1,50 \times 10^8 \text{ km}$

D'après <http://www.sciencesetavenir.fr>

1.1 Sachant que la trajectoire de la planète autour son étoile est circulaire, justifier, sans aucun calcul, que le mouvement est uniforme.

1.2 Représenter à l'aide d'un schéma, la planète, son étoile ainsi que la force exercée par l'étoile sur la planète.

On se propose à présent de déterminer la distance séparant l'étoile de son exoplanète.

2.1. Énoncer la troisième loi de Kepler.

2.2. Montrer, en utilisant la deuxième loi de Newton et en explicitant les différents termes, que pour une trajectoire circulaire cette loi s'écrit :

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

2.3. En déduire la distance moyenne entre la planète et l'étoile ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$).

2.4. La planète du système HD 189733 appartient-elle à la zone d'habitabilité ?

2.5 Quel est la vitesse moyenne de la planète ?

Exercice 2

La station spatiale internationale, supposée ponctuelle et notée S, évolue sur une orbite qu'on admettra circulaire, dont le plan est incliné de $51,6^\circ$ par rapport au plan de l'équateur. Son altitude est environ égale à 400 km.

Données :

- rayon de la Terre : $R = 6380 \text{ km}$
 - masse de la station : $m = 435 \text{ tonnes}$
 - masse de la Terre, supposée ponctuelle : $M = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
 - altitude de la station ISS : h
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$

1. Représenter sur un schéma :

- la Terre et la station S, supposée ponctuelle ;
- un vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté de la station S vers la Terre (T) ;
- la force d'interaction gravitationnelle exercée par la Terre sur la station S.

Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction du vecteur unitaire $\vec{u}$.

2. En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération $\vec{a}_s$ de la station dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen, en fonction de G , M , h , R et du vecteur unitaire $\vec{u}$.

3. Vitesse du satellite.

3.1. Montrer que, dans le cas d'un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse du satellite de la

station a pour expression : $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$.

3.2. Calculer la valeur de la vitesse de la station en m.s^{-1} .

4. Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station spatiale internationale fait-il en 24h ?

Exercice 3

Passionné d'astronomie, un élève a collecté sur le réseau Internet de nombreuses informations concernant les satellites artificiels terrestres. Il met en oeuvre ses connaissances de physique pour les vérifier et les approfondir.

Dans tout l'exercice, on notera :

Masse de la Terre: M_T (répartition de masse à symétrie sphérique de centre O)

Rayon de la Terre: R_T

Masse du satellite étudié: m_s

Altitude du satellite étudié: h

Constante de gravitation universelle: G

Les questions 2 et 3 sont indépendantes.

1. Le premier satellite artificiel.

Si la possibilité théorique de mettre un satellite sur orbite autour de la Terre fut signalée en 1687 par Isaac Newton, il a fallu attendre le 4 octobre 1957 pour voir le lancement du premier satellite artificiel, Spoutnik 1, par les soviétiques.

1.1. Exprimer vectoriellement la force exercée par la Terre sur Spoutnik 1, supposé ponctuel, et la représenter sur un schéma.

1.2. L'étude se fait dans un référentiel géocentrique considéré comme galiléen.

En appliquant la deuxième loi de Newton établir l'expression vectorielle de l'accélération du satellite.

2. Les satellites artificiels à orbites circulaires.

Le télescope spatial Hubble, qui a permis de nombreuses découvertes en astronomie depuis son lancement en 1990, est en orbite circulaire à 600 km d'altitude et il effectue un tour complet de la Terre en 100 minutes.

2.1. Étude du mouvement du satellite Hubble dans un référentiel géocentrique

2.1.1. En reprenant les résultats de la partie 1, montrer sans calcul que le mouvement circulaire de Hubble est uniforme.

2.1.2. Exprimer littéralement sa vitesse en fonction des grandeurs M_T , R_T , h et G .

2.1.3. Exprimer la période T de son mouvement en fonction des grandeurs précédentes puis retrouver la troisième loi de Kepler appliquée à ce mouvement circulaire (l'énoncé de cette loi n'est pas demandé ici).

2.2. Cas d'un satellite géostationnaire

Les satellites météorologiques comme Météosat sont des appareils d'observation géostationnaires.

2.2.1. Qu'appelle-t-on satellite géostationnaire ?

2.2.2. On propose trois trajectoires hypothétiques de satellite en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre.

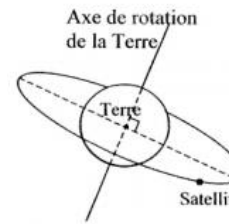


Figure 1

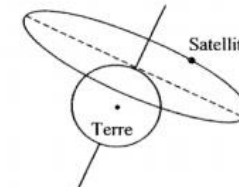


Figure 2

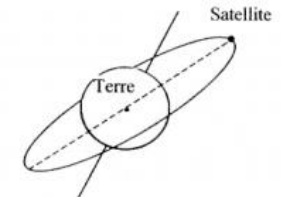


Figure 3

3. Les satellites artificiels à orbites elliptiques.

Les satellites peuvent être placés sur différentes orbites, en fonction de leur mission. Un incident lors de leur satellisation peut modifier l'orbite initialement prévue. Hipparcos, un satellite d'astrométrie lancé par la fusée Ariane le 8 août 1989, n'a jamais atteint son orbite prévue. Un moteur n'ayant pas fonctionné, il est resté sur une orbite elliptique entre 36 000 km et 500 km d'altitude.

3.1. Les satellites artificiels obéissent aux lois de Kepler.

La deuxième loi de Kepler, dite « loi des aires », précise que « des aires balayées par le rayon, reliant le satellite à l'astre attracteur, pendant des durées égales, sont égales ».

Énoncer les deux autres lois dans le cas général d'une orbite elliptique.

3.2. Sans souci exagéré d'échelle ni d'exactitude de la courbe mathématique, dessiner l'allure de l'orbite du satellite Hipparcos. Placer sur ce schéma le centre d'inertie de la Terre et les points A et P correspondant respectivement aux valeurs 36 000 km et 500 km données dans le texte.

3.3. En appliquant la loi des aires au schéma précédent montrer, sans calcul, que la vitesse d'Hipparcos sur son orbite n'est pas constante.

3.4. Préciser en quels points de son orbite sa vitesse est maximale, minimale.

4. Les missions des satellites artificiels.

Aujourd'hui, plus de 2600 satellites gravitent autour de la Terre. Ils interviennent dans de nombreux domaines: téléphonie, télévision, localisation, géodésie, télédétection, météorologie, astronomie ... Leur spectre d'observation est vaste, optique, radar, infrarouge, ultraviolet, écoute de signaux radioélectriques ...

4.1. Sachant que le spectre optique correspond à la lumière visible, donner les limites des longueurs d'onde dans le vide de ce spectre et situer l'infrarouge et l'ultraviolet.

4.2. La célérité de la lumière dans le vide est $3,0 \times 10^8$ m.s⁻¹, en déduire les limites en fréquence de la lumière visible.

4.3. Pourquoi doit-on préciser « dans le vide » pour donner les valeurs des longueurs d'onde ?