

EXERCICES SUR LE MOUVEMENT CIRCULAIRE DES SATELLITES

EXERCICE 1

Un satellite évolue dans le plan équatorial de la terre à une altitude h . Il fait un tour en 12h 30mn.

1. Quelle est sa vitesse angulaire ?
2. Déterminer son altitude.
3. Calculer sa vitesse linéaire.

On donne $R_T = 6400$ km.

EXERCICE 2

Un satellite gravite sur une orbite supposé circulaire et sensiblement équatoriale, Ouest en Est dans un référentiel géocentrique (centré au centre de la Terre et dont les axes passent par 3 étoiles fixes).

Données :

- Rayon de la Terre : $R = 6\,400$ km ;
- Rayon de l'orbite circulaire : $r = 3,85 \cdot 10^8$ m ;
- Force attractive subie par le satellite : $F = 2 \cdot 10^{20}$ N ;
- Intensité de la pesanteur à la surface de la Terre : $g_0 = 9,81$ N.Kg⁻¹.
- la vitesse angulaire de rotation de la Terre $\omega_T = 7,29 \cdot 10^{-5}$ rad.s⁻¹.

1. En appliquant la deuxième loi de Newton, détermine l'expression de la vitesse du satellite et sa valeur.
2. Exprime la période de révolution du satellite en fonction de r , R et g_0 , puis fais l'application numérique. Comment varie cette période avec r ? Avec la masse m du satellite ?
3. Détermine la vitesse angulaire du satellite. Compte tenu de la rotation de la Terre, dis si l'on verra ce satellite se déplacer vers l'Est ou vers l'Ouest. Calcule la vitesse angulaire apparente.
4. Calcule l'accélération qu'il subit de la part de la Terre. En déduis sa masse.

EXERCICE 3

1. On suppose que la Terre a une distribution de masse à symétrie sphérique de centre O.
- 1.1. Établis l'expression de l'intensité du champ gravitationnel g créé par la Terre à une altitude h en fonction de G , R_T , h et M_T (masse de la Terre).
- 1.2. En déduis l'expression littérale de M_T en fonction de g_0 , G et R_T .
- 1.3. Calcule numériquement M_T (historiquement, c'est ainsi, à partir de G , que M_T a été déterminée).
2. On admet qu'un satellite de la Terre, assimilé à un point matériel de masse m , est soumis uniquement à la force gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par la Terre et décrit, dans le référentiel géocentrique, une trajectoire circulaire de centre O.
- 2.1. Montre que le mouvement du satellite est uniforme.
- 2.2. Exprime la vitesse v et la période T du satellite en fonction de M_T , G , R_T et h .
- 2.3. On pose $r = R_T + h$. Montre que le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est égal à une constante que l'on exprimera en fonction de M_T et G .
3. Le tableau ci-dessous rassemble les valeurs numériques des périodes de révolution T et des altitudes h des orbites de quelques satellites artificiels de la Terre.

Base de lancement	Kourou	Baïkonour	Chine	États-Unis
Satellite	Intelsat-V	Cosmos-1970	Fen-Yun 1	U.S.A-35
T	23 h 56 min	11 h 14 min	102,8 min	12 h
h (km)	$3,58 \cdot 10^4$	$1,91 \cdot 10^4$	$9,00 \cdot 10^2$	$2,02 \cdot 10^4$

- 3.1. Montre que ce tableau vérifie la troisième loi de Képler.
4. En déduis une valeur numérique de la masse M_T de la Terre.
5. Donne la caractéristique du satellite Intelsat-V

EXERCICE 4

Le mouvement est rapporté à un référentiel géocentrique considéré comme galiléen. La Terre est supposée sphérique, de rayon R , de masse M . La répartition des masses est à symétrie sphérique. Le champ de gravitation terrestre, à l'altitude Z , a pour expression : $g = \frac{G.M}{(R+Z)^2}$

G étant la constante de gravitation universelle.

On donne :

- la valeur du champ de gravitation au sol : $g_0 = 9,80$ m.s⁻² ;
- le rayon de la Terre : $R = 6\,370$ km ;
- la vitesse angulaire de rotation de la Terre $\omega_T = 7,29 \cdot 10^{-5}$ rad.s⁻¹.

1. Établis l'expression de l'intensité du champ de gravitation g à l'altitude z en fonction de z , R et g_0 .
2. Un satellite de la Terre, de masse m , décrit une orbite circulaire à une altitude z .
 - a) Démontre que le mouvement de ce satellite en orbite est uniforme.
 - b) Établis l'expression de la vitesse v de ce satellite en fonction de z , R et g_0 .
 - c) En déduis l'expression de sa période T en fonction de z , R et g_0 . Calcule sa valeur numérique sachant que $z = 150$ km.
3. Météosat est un satellite météorologique géostationnaire.
 - a) Définis le terme géostationnaire en précisant le plan de l'orbite.
 - b) Détermine la valeur de l'altitude h à laquelle est placée Météosat.
4. L'énergie potentielle d'un satellite de masse m placé dans le champ de gravitation terrestre est $E_p = -G \frac{M.m}{R+z}$, en choisissant de prendre conventionnellement $E_p = 0$ lorsque z est infiniment grand.
 - a) Détermine l'expression de l'énergie mécanique d'un satellite sur une orbite circulaire en fonction de m , g_0 , R et z .
 - b) En déduis la valeur numérique de l'énergie mécanique du satellite précédent dont la masse est $m = 5\,000$ kg.

EXERCICE 5

Les planètes et soleil sont considérés comme les corps à symétrie sphérique.

Venus est une planète de masse $M_v = 4,83 \cdot 10^{24}$ Kg et de rayon $R_v = 6,05 \cdot 10^3$ Km.

1. Calculer la norme du vecteur champ de gravitation à la surface du Venus.
2. Sachant que la trajectoire circulaire de la terre autour du soleil a un rayon $r_T = 1,5 \cdot 10^{11}$ m et celle de Vénus autour du soleil $r_v = 108 \cdot 10^6$ Km, Calculer :

2.1. La période de révolution de Vénus autour du soleil si $T_T = 365$ jours.

2.2. La masse M_s du soleil.

EXERCICE 6

Le satellite américain d'observation Landsat-5 est assimilable à un point matériel décrivant une orbite circulaire d'altitude $z = 705$ km au tour de la terre. Sa masse vaut $m_{sat} = 2$ t.

I.

- 1.1. Dans quel référentiel cette trajectoire est-elle définie ?
- 1.2. Montrer que la vitesse du satellite est constante dans ce référentiel.
- 1.3. Exprimer la vitesse de Landsat-5 en fonction de g_0 , R_T et z (altitude de la trajectoire).
2. Le satellite Landsat-5 est géostationnaire.
- 2.1. Définir ce terme.

EXERCICES SUR LE MOUVEMENT CIRCULAIRE DES SATELLITES

2.2. Calculer littéralement, puis numériquement le rayon de l'orbite de Landsat-5, en fonction de g_0 , R_T et ω_T (ω_T : vitesse angulaire de la terre autour de l'axe de pôles)

2.3. À quelles utilisations pratiques peut être consacré un tel satellite.

II.

1. Calculer la vitesse du satellite et en déduire son énergie cinétique.

2. L'énergie potentielle du satellite dans le champ de gravitation terrestre s'exprime par : $E_p = -G \frac{M.m}{r}$ en choisissant l'origine des énergies potentielles à distance infinie de la terre : calculer sa valeur dans le cas présent.

En déduire l'énergie mécanique du satellite.

3.1. Quelle énergie minimale faut-il fournir à Landsat-5 pour qu'il s'éloigne définitivement de la terre.

3.2. Calculer la vitesse de libération de ce satellite, supposé initialement sur son orbite autour de Terre. Comparer avec la valeur habituelle.

EXERCICE 7

La Terre est assimilée à une sphère de rayon $R = 6\,370$ km animée d'un mouvement de rotation uniforme autour de la ligne des pôles (qui est perpendiculaire au plan de l'équateur). On supposera que le repère géocentrique, dont l'origine coïncide avec le centre de la Terre et dont les axes ont une direction fixe par rapport aux étoiles, est galiléen. À la surface de la Terre, l'intensité du champ de pesanteur est $g_0 = 9,8$ N.Kg⁻¹. À l'altitude h , elle est égale à : $g_h = g_0 \frac{R^2}{(R+h)^2}$.

- 1) Un satellite, assimilé à un point matériel, décrit d'un mouvement uniforme une orbite circulaire à l'altitude $h = 400$ km (l'orbite est dans le plan de l'équateur).
 - a) Détermine dans le repère géocentrique la vitesse v , la période T et la vitesse angulaire ω_0 du satellite.
 - b) Le satellite se déplace vers l'Est. Calcule l'intervalle du temps qui sépare deux passages successifs du satellite à la verticale d'un point donné de l'équateur (la vitesse angulaire de rotation de la Terre dans le repère géocentrique est $\omega_T = 7,29 \cdot 10^{-5}$ rad.s⁻¹ et on rappelle que, dans ce repère, la vitesse d'un point de l'équateur est dirigée vers l'Est).
 - c) Le satellite se déplace vers l'Ouest. Calcule l'intervalle du temps qui sépare deux passages successifs du satellite à la verticale d'un point donné de l'équateur
- 2) Un satellite géostationnaire reste en permanence à la verticale d'un même point du globe. Son orbite est dans le plan de l'équateur.
 - a) Donne la vitesse angulaire de ce satellite dans le repère géocentrique.
 - b) Calcule le rayon de son orbite.

EXERCICE 8

Masse du satellite : $m = 2$ tonnes ; rayon de la Terre : $R = 6\,400$ km ; altitude : $h = 400$ km ; intensité de la pesanteur à la surface de la Terre : $g_0 = 10$ m.s⁻² ; énergie potentielle du satellite dans le champ de gravitation terrestre à l'altitude h : $E_p = -\frac{G.M.m}{R+h}$ (G : constante de gravitation universelle, M : masse de la Terre) avec $E_p = 0$ pour $h = \infty$; énergie supplémentaire fournie au satellite pour prendre une nouvelle orbite circulaire : $\Delta E = +6,3 \cdot 10^8$ J.

- 1) Établis l'expression de la valeur G du vecteur champ de gravitation à l'altitude h en fonction de sa valeur G_0 au niveau du sol, de R et h .
- 2) Détermine l'expression de la vitesse V du satellite ; sa période T ; son énergie cinétique E_c . Fais l'application numérique de ces grandeurs déterminées.

- 3) Justifie le signe (-) de l'expression $E_p = -\frac{G.M.m}{R+h}$. Exprime E_p en fonction de m , R , h et G_0 .

Détermine l'expression de l'énergie mécanique E du satellite puis compare E_p à E_c et E à E_c .

- 4) Utilise les résultats de 3) pour déterminer, lorsqu'une énergie ΔE est fournie au satellite :
 - a) sa nouvelle énergie cinétique et sa valeur ;
 - b) sa nouvelle énergie potentielle et son altitude.

EXERCICE 9

Dans un repère géocentrique, un satellite artificiel S est animé d'un mouvement circulaire dont le centre est au centre de la Terre.

- 1) Montre que ce mouvement est uniforme. Exprime sa vitesse v en fonction de l'altitude z , du rayon terrestre R , de l'accélération de la pesanteur au niveau de la mer g .
- 2) Exprime la durée d'une révolution du satellite en fonction de z , R et g .
- 3) L'orbite circulaire du satellite est dans le plan de l'Équateur terrestre. Le satellite reste constamment au-dessus d'un point M de l'Équateur, on dit qu'il est géostationnaire.

Calcule son altitude z .

$R = 6,4 \cdot 10^3$ km ; $g = 9,8$ m.s⁻² ; 1 jour sidéral = $8,6 \cdot 10^4$ s.

- 4) Une fusée met sur orbite un satellite géostationnaire de masse $m = 1$ t. On assimile le satellite à un point matériel et on néglige la résistance de l'air.

Quel travail W faut-il fournir au satellite, parti du point M de l'Équateur, où il était immobile par rapport à la Terre, pour réaliser cette opération ?

L'énergie potentielle du système (satellite, Terre) due à la gravitation est : $E_p = -\frac{m.g.R^2}{R+z}$ ($E_p = 0$ lorsque $z = \infty$)