

Thème 2 : Mouvements et interactions

Partie 2. Relier les forces appliquées à un système à son mouvement

CHAP 14-EXOS Mouvement des Satellites et des Planètes

EXOS en autonomie : QCM p. 385/ER p. 386 à 389/EC n°30* et 45*

EXERCICES p. 390 et suiv. : n° 33.a-34 Q⁺-35-41-42-47.d-49-50-52-55-57+type

BAC n° 60 et 61

33 On considère les différents satellites d'un même astre attracteur.

a. Schématiser l'orbite elliptique d'un de ces satellites et, à l'aide de la deuxième loi de Kepler, déterminer les points de l'orbite où la vitesse du satellite est minimale ou maximale.

34 Le tableau ci-dessous regroupe les demi-grands axes a et les périodes de révolution T de quelques satellites d'Uranus.

Satellite	Ariel	Umbriel	Titania	Obéron
a (en km)	193 020	266 300		
T (en j)	2,52		8,71	13,46

■ À l'aide de la troisième loi de Kepler, déterminer les données manquantes.

Q⁺ : sachant que $T^2/a^3 = 4\pi^2/GM$, déterminer la masse d'Uranus

35 ~~☒~~ Le demi-grand axe de l'orbite de la Terre autour du Soleil vaut 1 ua (unité astronomique).

a. Quelle serait, en années, la période de révolution d'une planète située sur une orbite de demi-grand axe égal à 4 ua ?

b. Quelle serait, en ua, la valeur du demi-grand axe de l'orbite d'une planète de période de révolution égale à 27 ans ?

41 Phobos et Deimos

Utiliser un modèle • Effectuer un calcul

Les deux satellites naturels de Mars sont Phobos (de période de révolution $T_p = 7,66$ h) et Deimos (de période $T_D = 30,35$ h).

a. Lequel des deux approche Mars au plus près ? Justifier.

b. Le demi-grand axe de l'orbite du satellite Phobos est $a_p = 9\,377$ km.

À l'aide de la troisième loi de Kepler, déterminer le demi-grand axe a_D de l'orbite de Deimos.



42 Au tableau

Établir une loi • Formuler des hypothèses

Les satellites terrestres sont souvent lancés sur des orbites quasi circulaires.

a. À l'aide de la deuxième loi de Kepler, montrer que si un satellite est en mouvement circulaire, alors il est nécessairement uniforme.

b. Montrer ce résultat à l'aide de la deuxième loi de Newton et de l'expression de l'accélération du satellite dans le repère de Frenet.

On définira soigneusement les notations utilisées et on précisera les hypothèses effectuées.

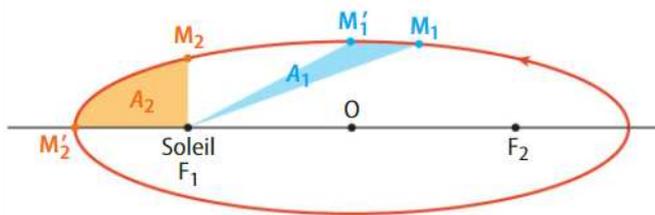
c. Retrouver ensuite la troisième loi de Kepler dans le cas d'une orbite circulaire.

47 Chercher l'erreur

BAC

Exploiter un énoncé • Exercer son esprit critique

La figure suivante présente la trajectoire elliptique du centre de masse M d'une planète du système solaire dans le référentiel héliocentrique. Les foyers F_1 et F_2 et le centre O de l'ellipse sont indiqués.



a. En utilisant une des lois de Kepler, justifier la position du Soleil indiquée sur la figure.

b. Les durées de parcours entre M_1 et M_1' puis M_2 et M_2' sont égales. En utilisant une loi de Kepler, trouver la relation entre les aires A_1 et A_2 .

c. Où la vitesse moyenne est-elle la plus élevée : entre M_1 et M_1' ou entre M_2 et M_2' ? Justifier.

d. Quelle grosse erreur comporte cette figure ?

Adapté du sujet de Bac Métropole, septembre 2007.

49 Naissance et mort d'un satellite géostationnaire

Schématiser une situation • Effectuer un calcul

Les satellites géostationnaires sont en orbite circulaire à $h_{gs} = 3,58 \times 10^4$ km au-dessus de l'équateur.

1. Ces satellites sont mis en orbite par étapes.

Une possibilité consiste à amener le satellite en orbite basse, à $h_{bas} = 200$ km au-dessus du sol et à le placer sur une orbite de transfert dont l'apogée est sur l'orbite géostationnaire et le périégée à l'endroit où le satellite se sépare du lanceur sur l'orbite basse.

a. Faire un schéma représentant la Terre, son centre T, l'orbite géostationnaire, l'orbite de transfert, son apogée A, son périégée P, les distances h_{gs} , h_{bas} et le rayon terrestre R_T .

b. En déduire la valeur du demi-grand axe a de l'orbite de transfert.

c. Un satellite géostationnaire a une période de révolution $T_{sid} = 86\,164$ s. À l'aide de la troisième loi de Kepler, déterminer la période T_{trans} de révolution du satellite sur son orbite de transfert.

d. Déterminer la durée minimale passée par le satellite sur son orbite de transfert.

2. Lorsqu'un satellite géostationnaire a terminé sa mission, il doit être dirigé vers une orbite cimetière à 300 km environ au-dessus de l'orbite géostationnaire.

Déterminer la période de révolution d'un tel déchet.

50 Démontrer et appliquer le cours

Établir une loi • Effectuer un calcul

On étudie un satellite terrestre de masse m , en mouvement circulaire à une altitude h au-dessus du sol terrestre. On supposera que ce satellite ne subit que la force gravitationnelle terrestre.

Donnée Masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg

1. a. À l'aide de la deuxième loi de Newton dans un référentiel (supposé galiléen) à préciser, exprimer l'accélération \vec{a} du satellite.

On représentera le vecteur accélération, ainsi que les grandeurs utiles, sur un schéma.

b. Montrer que le mouvement du satellite est uniforme et

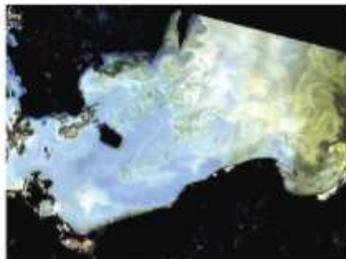
que sa vitesse s'écrit $v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$.

c. En déduire l'expression de la période T de révolution du satellite.

2. Le satellite Sentinel-3A, mis en orbite en 2016 par l'Agence spatiale européenne, a pour mission l'observation de l'environnement, notamment des océans.

Il est en orbite circulaire à 815 km du sol.

Combien de tours de la Terre fait-il chaque jour ?

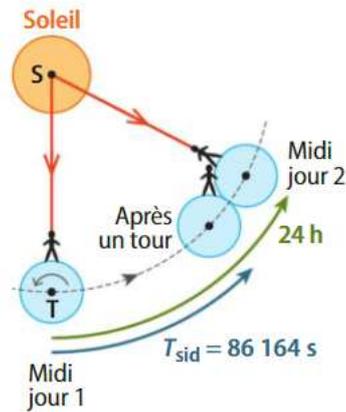


Le tapis d'algues vertes recouvrant la mer Baltique, photographié par Sentinel-3A.

52 Jour solaire et jour sidéral

Établir une loi • Effectuer un calcul

Le décompte du temps est basé sur le jour solaire (durée entre deux passages du Soleil à son zénith), découpé en 24 heures identiques, chacune découpée en 60 minutes, etc. Comme le montre le schéma ci-contre, le jour sidéral, durée mise par la Terre pour faire un tour sur elle-même, n'est pas identique au jour solaire car la Terre se déplace autour du Soleil.



- Calculer le jour solaire T_{sol} en secondes.
- En un an, soit 365 jours solaires, combien la Terre fait-elle de tours sur elle-même ?
- En déduire que le jour sidéral vaut $T_{\text{sid}} = 86\,164\text{ s}$. L'exprimer en heures, minutes, secondes.

55 Masse de Jupiter

Réaliser et exploiter un graphique • Exercer son esprit critique

La troisième loi de Kepler lie le demi-grand axe a de l'orbite d'un satellite et sa période de révolution T :
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$
 où M est la masse de l'astre attracteur.

- En utilisant la page Wikipédia « Satellites naturels de Jupiter », relever T et a pour au moins sept satellites de Jupiter.

À l'aide du tracé de $\ln(T)$ en fonction de $\ln(a)$, en déduire la masse de Jupiter.

La comparer à la valeur tabulée $M_J = 1,898 \times 10^{27}\text{ kg}$ et commenter le résultat.



57 Satellite saturnostationnaire

Choisir un modèle • Établir une loi

La sonde spatiale Cassini, lancée par la NASA en 1997, a évolué dans le système saturnien entre 2004 et 2017 et a fourni de nombreuses informations sur Saturne, ses satellites et ses anneaux.

Le but de cet exercice est de chercher l'orbite sur laquelle il aurait fallu placer cette sonde pour qu'elle soit fixe par rapport au sol de Saturne (orbite saturnostationnaire).

Données

- Jour sidéral saturnien (durée mise par Saturne pour faire un tour sur elle-même) : $T_{\text{Sat}} = 10 \text{ h } 33 \text{ min}$
- Masse de Saturne : $M_S = 5,685 \times 10^{26} \text{ kg}$
- Rayon équatorial de Saturne : $R_S = 60\,268 \text{ km}$

a. On définit le référentiel de la planète Saturne, dans lequel Saturne est fixe, et le référentiel saturnocentrique, lié au centre de Saturne mais dans lequel Saturne tourne sur elle-même.

Lequel faut-il utiliser pour étudier le mouvement de la sonde ? Dans lequel de ces référentiels une sonde saturnostationnaire est-elle fixe ?

b. La période de révolution d'une sonde saturnostationnaire doit être le jour sidéral saturnien T_{Sat} .

Quelle autre condition la sonde doit-elle vérifier ?

c. En détaillant le raisonnement, montrer que la hauteur de l'orbite saturnostationnaire est :

$$h = \sqrt[3]{\frac{T_{\text{Sat}}^2 G M_S}{4\pi^2}} - R_S$$

Calculer sa valeur.

60 Voyage interplanétaire

Le lancement du robot Curiosity de la mission Mars Science Laboratory (MSL) a eu lieu le samedi 26 novembre 2011. Il s'est posé sur le sol martien le 6 août 2012.

Ce robot transporte du matériel scientifique destiné à l'analyse de la composition du sol et de l'atmosphère martienne.



Vue d'artiste du robot Curiosity sur Mars.

Le but de cet exercice est d'évaluer les conditions à respecter sur les positions relatives de la Terre et de Mars lors du lancement de la mission.

Données

- Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- Distance Soleil-Terre : $R_1 = 1,50 \times 10^8 \text{ km}$
- Distance Soleil-Mars : $R_2 = 2,28 \times 10^8 \text{ km}$
- Période de révolution de Mars autour du Soleil : 1,88 an
- Masse du Soleil : $M_s = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$

Doc. 1 Orbite de Hohmann

Dès les années 1920, Walter Hohmann étudie la manière la plus économique en énergie pour se rendre d'une planète à une autre.

Pour un voyage interplanétaire entre la Terre et Mars, la trajectoire du vaisseau est une ellipse de centre O. On appelle cette ellipse de demi-grand axe a l'orbite de Hohmann.

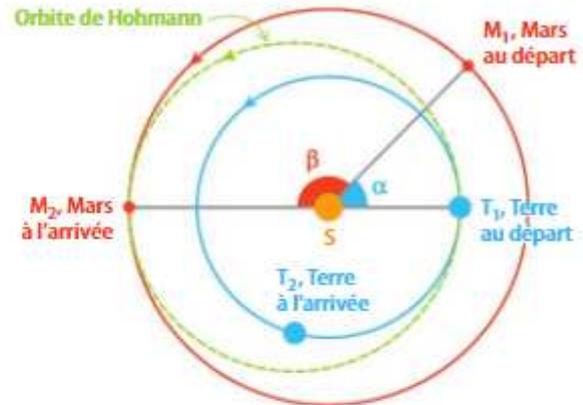
Le périhélie P (point le plus proche du Soleil) est sur l'orbite de la Terre et l'aphélie A (point le plus éloigné du Soleil) sur celle de Mars. Pour simplifier, les orbites de Mars et de la Terre autour du Soleil sont considérées comme circulaires et contenues dans le même plan.

Pour que ce voyage interplanétaire soit réussi, il faut d'abord que le vaisseau échappe à l'attraction de la Terre, puis qu'il utilise l'attraction du Soleil pour rejoindre le voisinage de Mars en empruntant l'orbite de Hohmann.

Dans l'étape finale c'est l'interaction gravitationnelle avec Mars qui doit être prépondérante pour que Curiosity puisse se poser sur son sol.

Doc. 2 Rencontre entre Curiosity et Mars

La figure ci-dessous donne les positions de la Terre et de la planète Mars au moment du départ et de l'arrivée de Curiosity.



On suppose que les deux planètes décrivent un mouvement circulaire et uniforme pendant le temps du voyage.

On lance le vaisseau de la Terre lorsque Mars se trouve au point M_1 sur son orbite, position initiale repérée par l'angle α représenté ci-dessus. Le point M_2 représente le lieu de rendez-vous entre le vaisseau et Mars.

On note β l'angle (SM_1, SM_2) .

1. Montrer que la valeur du demi-grand axe de l'orbite de Hohmann est $a = 1,89 \times 10^8 \text{ km}$.

2. La troisième loi de Kepler permet d'écrire $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_s}$,

où a est le demi-grand axe de l'ellipse, T la période pour parcourir la totalité de l'ellipse, G la constante gravitationnelle et M_s la masse du Soleil.

2.1. Exprimer la durée Δt du voyage de Curiosity en fonction de a , G et M_s et vérifier l'homogénéité de cette relation par une analyse dimensionnelle.

2.2. Calculer la durée Δt .

Commenter le résultat obtenu par rapport à la durée de la mission.

3. Déterminer la valeur de l'angle α qui repère la position de Mars au départ, condition nécessaire à la réussite de la mission.

Adapté du sujet de Bac Métropole, 2014.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1. Faire un schéma reprenant celui du doc. 2 et matérialiser les distances R_1 et R_2 , ainsi que le grand axe de l'orbite de Hohmann, de longueur $2a$.

2.1. Repérer sur le schéma la portion de l'orbite de Hohmann suivie par la mission.

📖 Fiche 5 p. 601

3. On connaît la durée Δt que met Mars pour parcourir l'angle β et la durée d'un tour complet : on peut en déduire β , puis α .

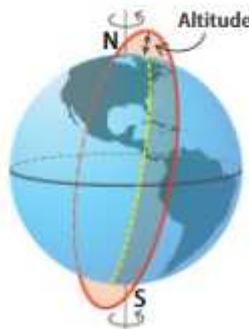
61 Satellites de télédétection

La télédétection par satellite permet d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre, l'atmosphère et les océans à des fins météorologique, océanographique, climatique, géographique, cartographique ou militaire. Cet exercice s'intéresse à deux familles de satellites de télédétection : SPOT (**doc. 1**) et Météosat (**doc. 2**).

Doc. 1 La filière SPOT

Depuis 1986, les satellites de la filière SPOT scrutent notre planète et fournissent des images d'une qualité remarquable, en décrivant une orbite circulaire à l'altitude $h_S = 832$ km, et quasi polaire, inclinée de $98,7^\circ$ par rapport au plan de l'équateur et décrite avec une période de 101,4 min.

La zone terrestre observée évolue à chaque révolution du satellite dont le cycle orbital est de 26 jours ; c'est-à-dire que tous les 26 jours le satellite observe à nouveau la même région terrestre.



Données

- Rayon moyen de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^3$ km
- Les mouvements sont étudiés dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen.

Doc. 2 Le programme Météosat

Les satellites Météosat sont géostationnaires. Ils ont pour mission d'effectuer des observations météorologiques depuis l'espace pour la prévision immédiate et l'évolution à long terme du climat. Ils ont l'avantage de fournir des images de vastes portions de la surface terrestre et de l'atmosphère, mais présentent l'inconvénient qu'un seul satellite géostationnaire ne suffit pas pour observer toute la Terre. Par ailleurs, les régions polaires leur sont hors de portée.

1. Mouvements des satellites SPOT et Météosat

1.1. Énoncer la deuxième loi de Kepler dans le cas général d'un satellite terrestre en mouvement elliptique. Illustrer cette loi par un schéma.

1.2. En déduire la nature des mouvements dans le cas particulier des satellites SPOT et Météosat.

1.3. Dans quel sens le satellite Météosat tourne-t-il autour de la Terre ? On s'appuiera sur un dessin sur lequel figurera la Terre avec une indication explicite sur son sens de rotation.

1.4. Déterminer la valeur de la vitesse v du satellite SPOT par rapport au référentiel géocentrique.

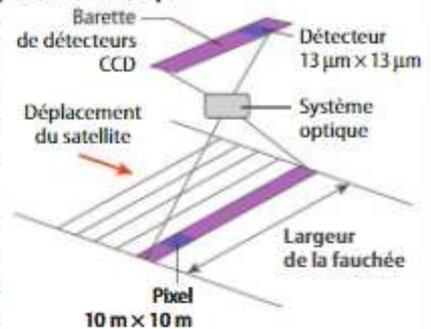
1.5. Énoncer la troisième loi de Kepler dans le cas d'un satellite terrestre en mouvement elliptique.

Préciser la signification de chaque terme.

1.6. En appliquant cette loi aux deux satellites étudiés, déduire la valeur de l'altitude h_M du satellite Météosat.

2. SPOT en mode panchromatique

Lorsque le satellite SPOT parcourt son orbite, il observe une large bande terrestre de plusieurs dizaines de kilomètres de large. Cette zone « couverte » est appelée la fauchée.



En mode panchromatique, les images réalisées par le satellite SPOT sont recueillies sur une barrette constituée de 6 000 détecteurs CCD et numérisées en niveaux de gris. Chaque détecteur est un carré de $13 \mu\text{m}$ de côté recueillant l'information provenant d'une zone terrestre de 10 m de côté.

2.1. Évaluer la largeur de la fauchée.

2.2. La fauchée correspondant à la n^{e} révolution de SPOT n'est pas identique à celle de la $(n-1)^{\text{e}}$ révolution. Se situe-t-elle davantage à l'est ou à l'ouest sur la Terre ? Illustrer par un schéma si nécessaire.

2.3. De quel angle la Terre tourne-t-elle entre deux révolutions du satellite ?

En déduire de quelle distance se déplace la fauchée au niveau de l'équateur entre deux révolutions.

2.4. Quelles sont les parties du globe les plus fréquemment « couvertes » par SPOT ?

2.5. Combien de révolutions SPOT doit-il effectuer pour réaliser une observation complète de la Terre ? Commenter cette valeur.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1.4. S'appuyer sur le **doc. 1**, où figurent des indications de période et d'altitude pour SPOT.

1.5. Attention, la troisième loi de Kepler où l'on explicite le second membre en fonction de la masse de l'astre attracteur ne sera jamais demandée à savoir par cœur, mais sera toujours redémontrée. Ici, ce n'est pas cela qui est attendu, comme l'indique la question **1.6.** qui mentionne deux satellites.

2.5. Raisonner sur la largeur de la fauchée et la longueur de l'équateur OU sur la durée d'une révolution et la durée écoulée entre deux observations du même point.

Adapté du sujet de Bac Pondichéry, 2014.