

Mouvements dans l'espace

I Lois de Kepler

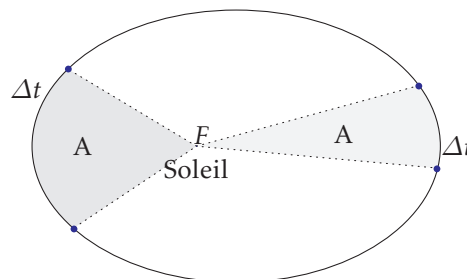
1 Première loi

Les planètes décrivent une ellipse dont le Soleil occupe un des deux foyers.

Le mouvement est donc plan !

2 Deuxième loi (loi des aires)

Le segment Soleil-Planète balaie des aires égales pendant des durées égales.



3 Troisième loi

Le rapport du carré de la période de révolution par le cube du demi-grand axe de l'ellipse est constante.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{cste}$$

II Mouvement des planètes et des satellites

Pour simplifier, le mouvement de la planète ou du satellite sera considéré circulaire.

a. Choix du référentiel.

Pour un satellite autour de la Terre (comme la Lune), l'étude sera menée dans un référentiel géocentrique.

Pour une planète autour du Soleil, on utilisera un référentiel héliocentrique.

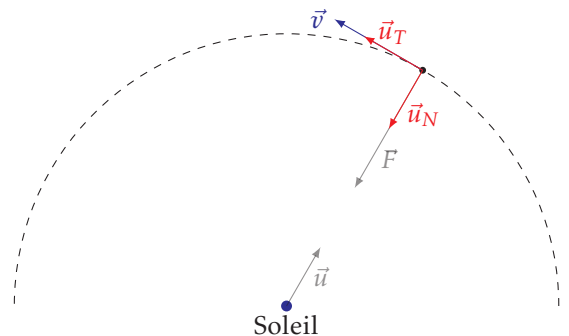
b. Bilan des actions extérieures.

La planète ou le satellite se déplaçant dans le vide, la seule force agissant est donc la force de gravitation.

c. Application de la deuxième loi de Newton.

L'application de la deuxième loi de Newton amène à :

$$\vec{F} = -G \frac{mM_S}{r^2} \cdot \vec{u} = m\vec{a}$$



On définit une nouvelle base, dite **base de Frenet**, dont l'origine se trouve au centre de la planète et deux vecteurs unitaires, l'un tangent \vec{u}_T et l'autre normal \vec{u}_N à la trajectoire.

On montre que dans la base de Frenet :

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{u}_T + \frac{v^2}{r} \cdot \vec{u}_N$$

Dans la base de Frenet, l'équation (c.) devient :

$$\vec{F} = G \frac{mM_S}{r^2} \cdot \vec{u}_N = m \frac{dv}{dt} \cdot \vec{u}_T + m \frac{v^2}{r} \cdot \vec{u}_N$$

En comparant les termes suivant les deux vecteurs unitaires \vec{u}_T et \vec{u}_N , on trouve :

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = 0 \\ \frac{GM_S}{r^2} = \frac{v^2}{r} \end{cases}$$

Si $\frac{dv}{dt} = 0$, alors, le mouvement est uniforme !
 La force radiale induit une modification de la direction du mouvement, mais n'influe pas la valeur de la vitesse.
 La deuxième expression montre un lien entre la vitesse de la planète dans sa rotation autour du Soleil et la distance à laquelle elle se trouve de lui.

À chaque orbite correspond une vitesse déterminée !

$$v = \sqrt{\frac{GM_S}{r}}$$

Sachant que la période de révolution de la planète est le temps mis pour réaliser un tour complet :

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

on en déduit : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_S}$: la troisième loi de Kepler !

III Applications

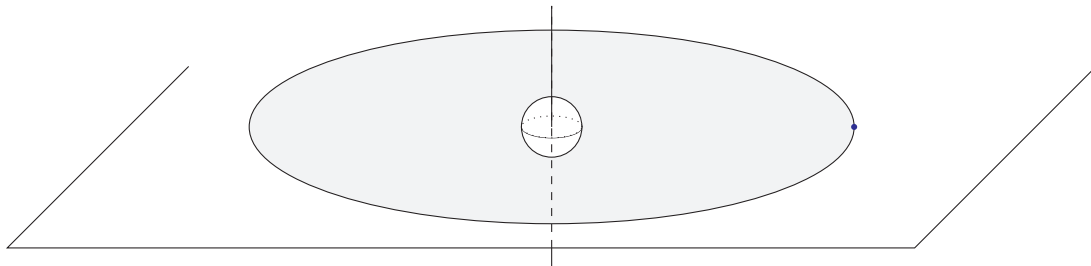
1 Les satellites géostationnaires

Définition

Un satellite est dit géostationnaire lorsqu'il semble immobile vu de la Terre. Pourtant, il tourne autour de la Terre.

Alors, comment lancer un satellite géostationnaire ?

- Le plan de révolution du satellite contient le centre de la Terre.
- Il doit suivre la rotation de la Terre sur elle-même... et donc se trouver dans le plan de l'équateur.
- Se trouver à la bonne altitude :



Calcul de l'altitude :

Sa période de révolution est égale à celle de la Terre sur elle-même : $T_s = T_T = 24 \text{ h}$

D'après la troisième loi de Kepler : $\frac{T_T^2}{(R_T + h)^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$

$$\text{d'où : } h = \sqrt[3]{\frac{GM_T T_T^2}{4\pi^2} - R_T} \approx 36000 \text{ km}$$

2 Impesanteur

Définition

On appelle **apesanteur**, l'absence totale de pesanteur (ou gravitation). Cela suppose de se trouver infiniment loin de tout objet massif.

On parle d'**impesanteur** lorsque tout se passe comme si... la pesanteur était inexistante.

Imaginons un astronaute à bord d'une fusée en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre. Se trouvant tous les deux à la même altitude, il possède forcément la même vitesse. Ils sont tous deux soumis à la même accélération de la part de la Terre.

L'astronaute semble n'être soumis à aucune force dans le référentiel "fusée".

3 Propulsion par réaction

Comment une fusée se déplace-t-elle dans l'espace ?

- a. Principe des actions réciproques. (troisième loi de Newton)

Définition

Dès qu'un objet A exerce une force sur un objet B, réciproquement, l'objet B exerce une force sur l'objet A telle que : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

b. Conservation de la quantité de mouvement.

Définition

Le vecteur quantité de mouvement d'un système pseudo-isolé se conserve au cours du temps.

En effet, d'après la deuxième loi de Newton, si la résultante des forces est nulle : $\frac{\Delta \vec{p}}{dt} = \vec{0}$

c. Propulsion.

- Sur le plancher des vaches !

Qu'est ce qui me pousse quand je marche ?

Mes jambes exercent une force sur le sol. En vertu de la troisième loi de Newton, le sol exerce une force réciproque sur moi dans le sens opposé.

Je pousse le sol et en bon camarade, il me le rend.

Comment un bateau à moteur avance-t-il sur l'eau ?

Il pousse l'eau vers l'arrière qui réciproquement le propulse vers l'avant. Il en va de même pour un avion à hélice(s).

- Dans l'espace.

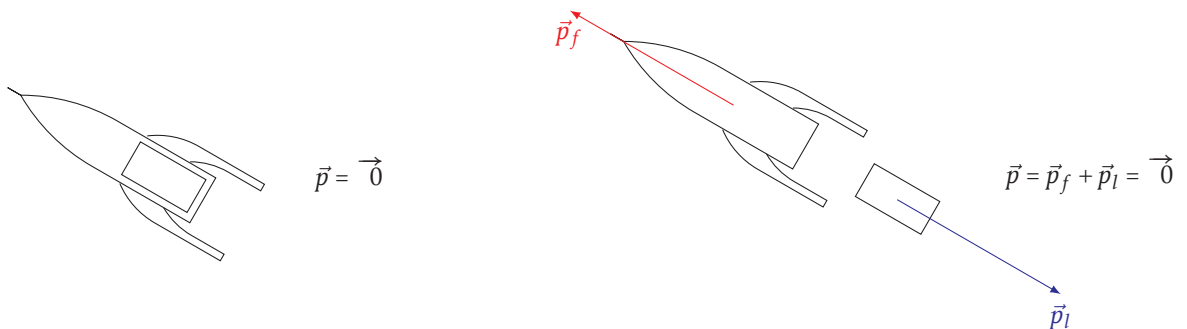
Sur quoi s'appuyer dans l'espace ?

Sur soi-même, à condition d'y laisser quelques plumes !

En effet, une fusée embarque du "lest".

Au départ immobile, le vecteur quantité de mouvement de l'ensemble {fusée + lest} est nul.

Le lest est ensuite lancé vers l'arrière et la fusée est alors propulsée vers l'avant, mais le vecteur quantité de mouvement de l'ensemble reste toujours nul en vertu du principe de conservation de la quantité de mouvement.



Et la fusée accélère !