PHYSIQUE-CHIMIE · TERMINALE / COURS

Mouvement des planètes et des satellites

Astrolab Cours · astrolabcours.fr

01 Le problème

La Station spatiale internationale fait le tour de la Terre en 92 minutes environ. Un satellite de télévision, lui, reste toujours au-dessus du même point de l'équateur. Pourquoi ces deux satellites, soumis à la même attraction terrestre, ont-ils des mouvements si différents ? Et pourquoi ne tombent-ils pas ?

01 L'idée : le boulet qui tombe à côté

Du sommet d'une très haute montagne, on tire un boulet de canon à l'horizontale. Il tombe un peu plus loin. Plus fort : il tombe encore plus loin. Mais la Terre est ronde : le sol se dérobe sous le boulet à mesure qu'il avance.

Si on tire assez fort, le boulet tombe exactement aussi vite que le sol s'éloigne sous lui. Il **tombe en permanence**, mais ne touche jamais le sol : il est en orbite.

Un satellite ne flotte pas : il est en chute libre permanente. C'est aussi pour cela que les astronautes de la station paraissent en apesanteur : eux et la station tombent ensemble.

01 Les lois de Kepler

Kepler les a tirées des observations des planètes, avant Newton. Elles s'appliquent à tout corps en orbite autour d'un astre.

Première loi (orbites). Dans le référentiel héliocentrique, chaque planète décrit une **ellipse** dont le Soleil occupe un des foyers.

Deuxième loi (aires). Le segment Soleil-planète balaie des **aires égales pendant des durées égales**. La planète va plus vite quand elle est proche du Soleil.

Troisième loi (périodes). Pour toutes les planètes d'un même astre, le rapport entre le carré de la période T et le cube du demi-grand axe a est le même :

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

Les orbites des planètes du Système solaire sont presque circulaires. On les modélise souvent par des cercles, et l'on remplace a par le rayon r.

Le mouvement circulaire d'un satellite

Un satellite de masse m tourne autour d'un astre de masse M sur un cercle de rayon r (distance entre les **centres**). Seule force : l'attraction gravitationnelle, dirigée vers le centre de l'astre,

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/planetes-et-satellites/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits

$$F = \frac{G\,m\,M}{r^2} \qquad G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$$

On applique la deuxième loi de Newton dans le **repère de Frenet** (référentiel géocentrique pour un satellite de la Terre, héliocentrique pour une planète) :

$$m\,a = \frac{GmM}{r^2}\,u_N \quad \Longrightarrow \quad \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0 \quad \text{et} \quad \frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}$$

Le mouvement circulaire d'un satellite est **uniforme**, de vitesse

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

et de période (durée d'un tour, $T = \frac{2\pi r}{v}$)

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}} \qquad \Longleftrightarrow \qquad \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

On retrouve la troisième loi de Kepler, et on apprend ce que vaut la constante : elle ne dépend que de la masse de l'astre central. Mesurer la période et le rayon d'une lune permet donc de **peser** sa planète.

Plus le satellite est loin, plus il est lent et plus sa période est longue. La station spatiale, à environ 400 km d'altitude, fait un tour en une heure et demie ; la Lune, à 384 000 km, en un peu plus de 27 jours.

Le satellite géostationnaire

Un satellite **géostationnaire** reste immobile pour un observateur terrestre. Il faut pour cela :

- une orbite circulaire dans le **plan de l'équateur** ;
- un mouvement dans le **même sens** que la rotation de la Terre ;
- une période égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même, le **jour sidéral**, $T \approx 86\,164\ \mathrm{s}$ (23 h 56 min).

La troisième loi impose alors le rayon de l'orbite : $r \approx 42\,200$ km, soit une altitude d'environ 35 800 km.

Exemple guidé

La Station spatiale internationale tourne à 400 km d'altitude. Calcule sa vitesse et sa période. Données : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ SI, $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}$ kg, $R_T = 6\,370$ km.

1. **Le rayon de l'orbite** : $r = R_T + h = 6{,}77 \times 10^{6}$ m.
2. **La deuxième loi de Newton** pour un mouvement circulaire uniforme : $\frac{GM_Tm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$, donc $v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}$.
3. **La vitesse** : $v = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}97 \times 10^{24}}{6{,}77 \times 10^{6}}} \approx 7{,}67 \times 10^{3}\ \mathrm{m/s}$, soit près de 28 000 km/h.
4. **La période** : $T = \frac{2\pi r}{v} \approx 5\,550\ \mathrm{s}$, soit environ 92 minutes.

La masse de la Station disparaît du calcul : un boulon et la Station, sur la même orbite, vont à la même vitesse.

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/planetes-et-satellites/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits

Retour au problème

Plus un satellite est loin, plus il va lentement et plus sa période est longue. À 400 km, la Station fait le tour en 92 minutes ; à 35 800 km, la période atteint un jour et le satellite reste au-dessus du même point. Aucun ne tombe : ils tombent en permanence, mais vont assez vite pour toujours manquer la Terre.

Les pièges

- r est la distance **entre les centres** : rayon de l'astre + altitude.
- La vitesse et la période ne dépendent **pas** de la masse du satellite.
- La période d'un géostationnaire est le jour **sidéral** (23 h 56 min), pas 24 h.
- La deuxième loi de Kepler interdit une vitesse constante sur une ellipse : seule l'orbite circulaire donne un mouvement uniforme.

© Astrolab Cours · astrolabcours.fr/physique/terminale/planetes-et-satellites/ · Tous droits réservés : usage personnel uniquement, republication et usage commercial interdits