



Les anneaux de Saturne

AVEC NOS ÉLÈVES

Marie-Agnès Lahellec

Marie-Agnès Lahellec nous propose ici un exercice adapté du document d'accompagnement du programme des Terminales S.

Il s'agit d'un exercice sur la gravitation (donné en contrôle) permettant de comparer les vitesses relatives des éléments constitutifs des anneaux de Saturne.

"On pourrait croire que les anneaux de Saturne sont d'un seul tenant. En fait, il s'agit de nuées de pierrailles, dispersées tout au long du plan équatorial, qui circulent en orbites individuelles autour de la planète"

Hubert Reeves (poussières d'étoiles)

C'est en 1610 que Galilée découvrit par l'observation dans sa lunette "quelque chose" autour de Saturne.

On sait, depuis les survols de 1980 et 1981 par les deux sondes américaines "Voyager", que les anneaux de Saturne sont constitués de milliards de cailloux de toutes tailles, entre le micromètre et plusieurs kilomètres.

Le but de cet exercice est d'utiliser les résultats de la loi de gravitation énoncée par Newton pour comprendre la deuxième phrase de la citation.

Résultats de cours :

On prend comme système un objet de masse m en orbite autour de la planète Saturne de masse M , l'étude est faite dans le repère centré sur Saturne et supposé galiléen.

On suppose que la planète a une symétrie sphérique.

On néglige les dimensions de l'objet devant celles de Saturne.

On suppose que l'objet est soumis uniquement à l'attraction gravitationnelle de Saturne.

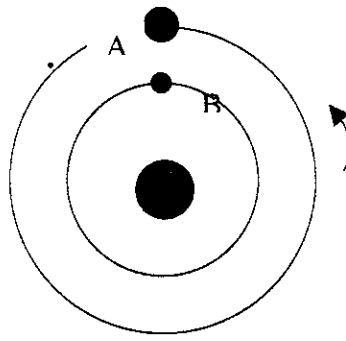
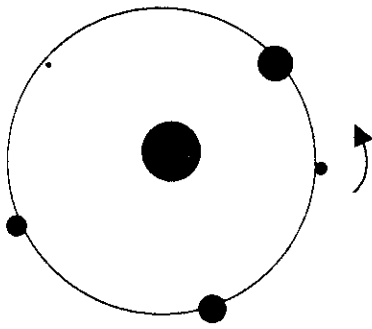
En appliquant les lois de Newton, on montre que si l'objet est animé d'un mouvement de rotation uniforme autour de Saturne de vitesse v , de rayon de trajectoire r , de période T , on a les expressions suivantes :

$$v = \sqrt{\frac{K.M}{r}} ; \frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{K.M}$$

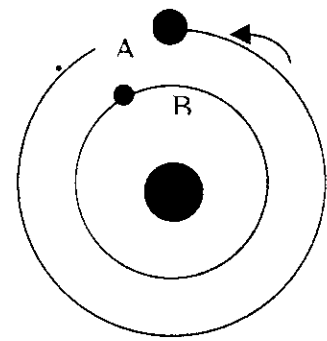
1) Pourquoi "*On pourrait croire que les anneaux de Saturne sont d'un seul tenant*" ?

2) K est une constante. La définir, en donnant une formule (autre que celles de l'énoncé) où elle intervient. Donner son unité. Aucune valeur ne doit être fournie.

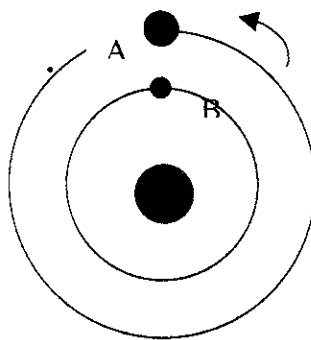
3) La figure suivante donne la configuration d'objets de tailles et de masses différentes, tournant dans le même sens, sur une même orbite circulaire centrée sur Saturne. Il n'y a aucun respect d'échelle.



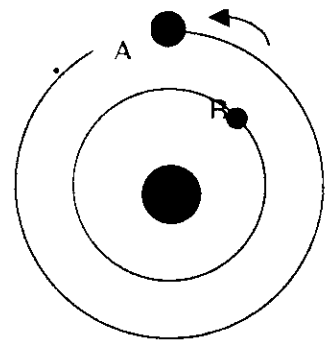
configuration à t_0



configuration 2



configuration 1



configuration 3

a) Tous ces objets ont-ils la même vitesse sur l'orbite ? Justifier.

b) Est ce que la structure de l'ensemble évolue au cours du temps ? Justifier.

4) On considère deux objets A et B, tournant dans le même sens sur deux orbites différentes de rayons r_A et r_B tels que $r_A = 1,05 r_B$.

La figure ci-contre donne la configuration de ces objets à une date t_0 donnée et t_0 est la première date permettant cette configuration. Il n'y a aucun respect d'échelle. Au bout d'une période T de rotation du satellite A dire quelle est la configuration parmi les trois proposées ? Justifier.

Corrigé

1) Pourquoi "On pourrait croire que les anneaux de Saturne sont d'un seul tenant" ?

A l'observation optique à travers des jumelles, une lunette, un télescope on voit un ou des anneaux. La distance entre la Terre et Saturne est trop grande pour pouvoir distinguer la structure d'un anneau.

2) On attend ou la loi d'attraction universelle (Newton) ou l'expression du champ de gravitation d'un corps de masse M .

3) a) Tous ces objets ont la même vitesse sur l'orbite de rayon r . D'après l'expression de la vitesse, v n'est fonction que de r et non de la masse des objets.

b) La structure de l'ensemble n'évolue pas au cours du temps. Puisque les objets ont la même vitesse leurs distances mutuelles ne varient pas.

4) Au bout d'une période T_A de rotation du satellite A, la configuration est la 2. D'après l'expression de la période : $r_A > r_B$ donc $T_A > T_B$

$$T_A = \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^{\frac{3}{2}} T_B = (1,05)^{\frac{3}{2}} T_B \approx 1,076 T_B$$

Quand A a fait un tour, B a fait environ 1/13 de tour de plus.

NDLR : un peu d'histoire.

En 1654, Christiaan Huyghens trouve que Saturne est entouré d'un anneau brillant situé dans le plan équatorial de la planète. Jean-Dominique Cassini découvre une division, démontrant ainsi que les anneaux ne sont pas homogènes et il suggère qu'ils sont formés d'une multitude de petits cailloux.

De nombreux astronomes des XVII^e et XVIII^e siècles croyaient que les anneaux étaient solides et c'est Laplace qui en 1754 démontre qu'un anneau solide serait instable et détruit par les effets de marée de la planète.

En 1867 James Clerk Maxwell démontre théoriquement que les anneaux sont constitués de particules

solides en rotation différentielle autour de la planète.

En 1998 James Edward Keeler obtient un spectre de Saturne et de ses anneaux et montre (effet Doppler Fizeau) que ces anneaux tournent autour de Saturne comme une multitude de petits satellites indépendants, (lois de Kepler). Les particules les plus proches tournent en moins de 8 h tandis que les plus éloignées en plus de 12 h.

On sait, grâce aux travaux successifs de Cassini, Laplace, Maxwell et Sophie Kovalevskia, qu'un tore fluide homogène de section méridienne ovoïde, pas forcément elliptique, peut, dans certaines conditions de géométrie et de masse volumique respecter les lois de Kepler et être stable. ■

Erratum : Potins 93

Page 40, première colonne, dernier paragraphe il faut remplacer mm par μm pour la taille des filtres.