



TROISIÈME LOI DE KEPLER

Objectifs : exploiter une loi physique à l'aide d'un langage de programmation



Problématique : Au début du XVII^e siècle, afin de décrire le mouvement des planètes du système solaire, l'astronome et mathématicien allemand Johannes Kepler (1571-1630) énonce trois lois empiriques à partir des observations de son homologue danois Tycho Brahe (1546-1601). La loi d'interaction gravitationnelle énoncée par le physicien anglais Isaac Newton (1642-1727) apporte les notions théoriques permettant de les confirmer. Comment tester la troisième loi de Kepler à partir de données astronomiques ? Comment déduire la masse du Soleil à partir de la 3^{ème} loi de Kepler ?

La troisième loi de Kepler



La 3^{ème} loi de Kepler, énoncée en 1619, indique que pour toutes les planètes du système solaire, le carré de la période de révolution T d'une planète autour du Soleil est proportionnel au cube du demi grand axe a de son orbite :

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

En 1687, Newton établit la loi de la gravitation universelle et généralise les lois de Kepler à tous les systèmes en orbite autour d'un centre attracteur. Autour du Soleil, $k = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_{\text{Soleil}}}$

Données



La constante de gravitation universelle G intervenant dans la loi de la gravitation universelle de Newton vaut
 $G = 6,67 \times 10^{-23} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

L'unité astronomique (U.A.) est une unité de mesures de distances, utile à l'échelle du système solaire et
 $1 \text{ U.A.} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m.}$

Caractéristiques planétaires



Planète	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus
T / an	0,241	0,615	exactement 1	1,88	11,9	29,5	84
$a / \text{U.A.}$	0,387	0,723	exactement 1	1,52	5,2	9,54	19,2

Formulaire Python



En langage Python,

- le symbole de la multiplication est l'étoile « * »
- le séparateur décimal est le point « . »
- l'opérateur *puissance* est la double étoile « ** »
- multiplier par une puissance de dix s'écrit avec la lettre « e »
- le nombre π est obtenu avec la commande « np.pi »

Ex : 2×3 s'écrit $2*3$

Ex : $2,3$ s'écrit 2.3

Ex : 3^2 s'écrit $3**2$

Ex : 5×10^{-3} s'écrit $5e-3$

Ex : $4\pi^2$ s'écrit $4*np.pi**2$

S'APPROPRIER

Raisonnement sur les unités des grandeurs

A B C D

- Déterminer l'unité du Système International (l'unité légale) de la constante k de la troisième loi de Kepler.
- À l'aide du tableau des caractéristiques planétaires, proposer une définition de l'unité astronomique.

RÉALISER

Exploiter un programme informatique

A B C D

- Démarrer le programme Python « Kepler – programme à compléter » et compléter les lignes n° 11 et 12 avec les valeurs des constantes.
- Compléter la ligne n° 13 pour convertir une année (365,25 jours) en secondes.
- Compléter les lignes n° 17 à 36 pour définir les grandeurs $a_1, a_2, a_3, \dots$ et $T_1, T_2, T_3, \dots$ à l'aide des constantes « an » et « ua » introduites plus haut dans le code du programme.
- Compléter la ligne n° 55 en écrivant la formule qui calcule le carré de la période de révolution de chaque planète puis exécuter le programme (Ctrl+F9).

ANALYSER

Exploiter des résultats expérimentaux

A B C D

- Indiquer si la représentation graphique obtenue est compatible avec la troisième loi de Kepler. Auquel cas, consigner la valeur de k obtenue.
- Établir l'expression de la masse M_{Soleil} du Soleil en fonction de k .
- Calculer la masse du Soleil à l'aide des résultats expérimentaux obtenus.

La comète de Halley



Une comète est un petit objet céleste composé d'un noyau de glace et de poussière et qui décrit une orbite elliptique autour du Soleil.

Le passage d'une comète près de la Terre est un phénomène astronomique qui a longtemps intrigué les scientifiques. En 1682, Edmond Halley observe le passage d'une comète. Il constate au cours de ses recherches que cette comète ressemble à la description de deux autres comètes, observées depuis la Terre en 1531 et en 1607. En 1705, à l'aide des lois de Kepler et des travaux de Newton, il conclut que ces trois observations correspondent à une seule et même comète, décrivant une trajectoire elliptique autour du Soleil, avec une période de 76 ans environ. Il prévoit ainsi le retour de la célèbre comète, qui porte depuis son nom.

**VALIDER***Confronter un résultat expérimental avec une valeur de référence***A B C D**

- 10.** La valeur tabulée de la masse du Soleil est $M_{\text{Soleil}} = 1,989 \times 10^{24} \text{ kg}$. Vérifier si les résultats expérimentaux sont compatibles avec cette donnée en calculant la valeur du z-score :

$$z = \left| \frac{M_{\text{Soleil, exp}} - M_{\text{Soleil, ref}}}{u(M)} \right|$$

en sachant que l'incertitude-type sur la masse du Soleil déterminée expérimentalement vaut $1 \times 10^{28} \text{ kg}$.

- 11.** La comète de Halley met 76 ans pour parcourir son orbite autour du Soleil, dont le demi grande axe vaut 17,9 U.A. Montrer que ces données témoignent que la comète est bien en orbite autour du Soleil.