

ACCOMPAGNEMENT PERSONNALISE DE L'ATOME A L'UNIVERS

Compétences mises en œuvre :

- Trouver des informations
- Effectuer un calcul
- Interpréter un résultat
- Utiliser des ordres de grandeur

I. Calculer les valeurs de deux forces

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par un corps de masse m_A , situé en A, sur un corps de masse m_B , situé en B, est donnée par l'expression littérale :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$$

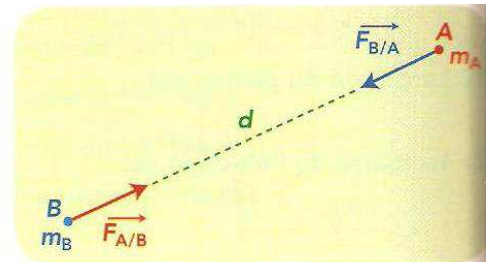
Les masses m_A et m_B sont exprimées en kilogramme et la distance d entre les points A et B est exprimée en mètre.

G est la constante universelle de gravitation ; sa valeur est : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$.

1. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle $F_{S/T}$ exercée par le Soleil sur la Terre.
2. Comparer cette valeur à celle de la force d'attraction gravitationnelle $F_{n/e}$ exercée par le noyau sur l'électron d'un atome d'hydrogène.

Données numériques :

- Masse du Soleil : $m_S = 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$.
- Masse de la Terre : $m_T = 6,0 \times 10^{24} \text{ kg}$.
- Distance Terre-Soleil : $d_{TS} = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$.
- Diamètre du Soleil : $D_S = 1,4 \times 10^9 \text{ m}$.
- Diamètre de la Terre : $D_T = 1,3 \times 10^7 \text{ m}$.
- Masse d'un noyau d'hydrogène : $m_H = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.
- Masse d'un électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.
- Rayon d'un atome d'hydrogène : $R_H = 5,3 \times 10^{-11} \text{ m}$.
- Rayon du noyau de l'atome d'hydrogène : $R_{\text{noyau}} = 1 \times 10^{-15} \text{ m}$.



Conseils

■ Comment calculer la valeur d'une force d'attraction gravitationnelle ?

1. Il faut rechercher les données utiles au calcul de la valeur de la force d'attraction gravitationnelle : les masses de la Terre et du Soleil, ainsi que la distance entre ces deux astres (en exprimant leurs valeurs dans les bonnes unités). Le calcul doit être fait en une seule étape, en utilisant convenablement la touche « Puissance de 10 » de la calculatrice (voir rabats II et III). Le résultat doit être écrit avec un nombre de chiffres significatifs adapté aux données.

■ Comment comparer deux valeurs de force ?

2. Pour comparer les valeurs de deux forces, il est judicieux de calculer l'ordre de grandeur du rapport de ces valeurs. Il faut donc commencer par calculer la valeur $F_{n/e}$ de la force d'attraction gravitationnelle entre le noyau et l'électron de l'atome d'hydrogène. La distance qui les sépare est égale au rayon de l'atome.

Application immédiate

3. Calculer la valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur la Lune.
Nouvelles données : masse de la Lune $m_L = 7,4 \times 10^{22} \text{ kg}$; distance Terre-Lune $d_{TL} = 3,84 \times 10^5 \text{ km}$.

II. Justifier un résultat

Des interactions « incroyables »

Considérons une interaction analogue à la gravitation qui varie comme l'inverse du carré de la distance, mais qui soit environ *un milliard de milliards de milliards de milliards de fois plus intense*. Et avec une autre différence; il y a deux

espèces de matière, que nous pouvons appeler positive et négative. Celles de même espèce se repoussent et celles d'espèces différentes s'attirent. Une telle interaction existe : c'est l'interaction électrostatique.

D'après Richard FEYNMAN.

Info

La valeur de la force électrostatique due à l'interaction

électromagnétique est $F_e = k \frac{|q \cdot q'|}{d^2}$

où q et q' sont les charges électriques des corps en interaction, exprimées en coulomb (C), d est la distance qui les sépare, exprimée en mètre (m), et $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

C'est la loi de Coulomb; elle sera détaillée au chapitre 9.

1. Rappeler l'expression de la valeur F_g des forces d'attraction gravitationnelle s'exerçant entre deux masses ponctuelles m et m' séparées d'une distance d .

2. Exprimer littéralement le rapport $\frac{F_e}{F_g}$ des valeurs des deux forces citées dans le

texte et s'exerçant entre deux particules chargées, de masses m et m' , de charges q et q' , séparées d'une distance d (voir info ci-contre).

Ce rapport dépend-il de la distance entre les particules ?

3. Dans le cas de deux protons de masse $m_p \approx 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$ et de charge $q_p = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, vérifier, sans calculatrice, l'affirmation en italique.

Conseils

1. Cette expression a été vue en Seconde. Préciser la signification des notations utilisées. En cas de difficultés, il faut revoir l'exercice précédent.

2. Exprimer le rapport en divisant l'expression littérale de F_e par celle de F_g .

Simplifier le résultat avant de répondre à la seconde partie de la question.

3. Les corps étant deux protons on a :

$$q = q' = q_p \text{ et } m = m' = m_p.$$

En utilisant les données numériques, on calcule l'ordre de grandeur du rapport des valeurs des forces. Il n'a pas d'unité, car c'est le rapport de deux valeurs de force, donc de deux grandeurs de même unité.

Le résultat obtenu doit être comparé à la valeur indiquée dans le texte qui correspond, elle aussi, à un ordre de grandeur.

Application immédiate

4 Sans calculatrice, calculer l'ordre de grandeur du rapport $\frac{F_e}{F_g}$ dans le cas de deux électrons de masse $m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ et de charge $q_e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

CORRECTION**I. Calculer les valeurs de deux forces**

1. Avec les notations de l'énoncé, l'expression

$$\text{de la force à calculer est : } F_{S/T} = G \frac{m_S \cdot m_T}{d_{TS}^2}$$

Le calcul à effectuer (avec les unités adaptées) est :

$$F_{S/T} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{2,0 \times 10^{30} \times 6,0 \times 10^{24}}{(1,5 \times 10^{11})^2}$$

$$F_{S/T} \approx 3,6 \times 10^{22} \text{ N.}$$

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre est $3,6 \times 10^{22}$ N.

2.
$$F_{n/e} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,67 \times 10^{-27} \times 9,11 \times 10^{-31}}{(5,3 \times 10^{-11})^2}$$

$$F_{n/e} \approx 3,6 \times 10^{-47} \text{ N.}$$

Le rapport entre les valeurs des deux forces est :

$$\frac{F_{S/T}}{F_{n/e}} = \frac{3,6 \times 10^{22}}{3,6 \times 10^{-47}} \approx 10^{69}.$$

La valeur de la force d'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre est environ 10^{69} fois plus grande que celle exercée par le noyau sur l'électron.

II. Justifier un résultat

1. La valeur de la force d'attraction gravitationnelle est :

$$F_g = G \frac{m \cdot m'}{d^2}$$

2. Le rapport des valeurs des forces d'interaction vaut :

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{k \frac{|q \cdot q'|}{d^2}}{G \frac{m \cdot m'}{d^2}} = \frac{k}{G} \cdot \frac{|q \cdot q'|}{m \cdot m'}$$

Ce rapport ne dépend pas de la distance entre ces particules.

3. Dans le cas de deux protons, on a :

$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{k}{G} \cdot \frac{q_p^2}{m_p^2} = \frac{k}{G} \cdot \left(\frac{q_p}{m_p} \right)^2 \approx \frac{9,0 \times 10^9}{6,67 \times 10^{-11}} \times \left(\frac{1,6 \times 10^{-19}}{1,7 \times 10^{-27}} \right)^2$$

En observant que : $\frac{9,0}{6,67} \approx 1$ et $\frac{1,6^2}{1,7^2} \approx 1$, l'ordre de grandeur est :

$$\frac{F_e}{F_g} \approx \frac{10^9}{10^{-11}} \times \left(\frac{10^{-19}}{10^{-27}} \right)^2 = 10^{9+11} \times 10^{(-19+27) \times 2} = 10^{20} \times 10^{16} = 10^{36}.$$

Un milliard de milliards de milliards de milliards vaut :

$$10^9 \times 10^9 \times 10^9 \times 10^9 = 10^{36}.$$

On retrouve bien l'ordre de grandeur calculé.