

Approfondissement

Modéliser une action : forces

Point d'équigravité, pesanteur en altitude, marées, ballon-sonde, balance de Cavendish

5 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 2 h 30 · calculatrice autorisée

Exercice 1 Le point où la Terre et la Lune se disputent une sonde

●●●

Une sonde de masse m se déplace sur la droite qui joint le centre de la Terre au centre de la Lune. On note x sa distance au centre de la Terre ; sa distance au centre de la Lune vaut donc $D - x$.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • sur Terre $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ • $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$ • distance Terre-Lune $D = 3,84 \times 10^8 \text{ m}$

- 1.1 Exprimer, en fonction de G , M_T , m et x , la valeur F_T de la force exercée par la Terre sur la sonde, puis, en fonction de G , M_L , m , D et x , la valeur F_L de la force exercée par la Lune.
- 1.2 On cherche la position où ces deux forces ont la même valeur. Montrer que cette condition s'écrit, indépendamment de la masse m de la sonde :

$$\frac{D - x}{x} = \sqrt{\frac{M_L}{M_T}}.$$

- 1.3 Calculer $\sqrt{M_L/M_T}$, puis la distance x , en kilomètres. Quel pourcentage de la distance Terre-Lune cela représente-t-il ?
- 1.4 Une sonde qui a dépassé ce point est-elle davantage attirée par la Terre ou par la Lune ? Justifier.
- 1.5 Calculer, pour une sonde de 500 kg placée exactement en ce point, la valeur commune des deux forces. Comparer au poids de cette sonde au sol.

Exercice 2 L'intensité de la pesanteur avec l'altitude

●●●

Un objet de masse m se trouve à l'altitude h au-dessus du sol : la distance entre son centre et le centre de la Terre vaut alors $d = R_T + h$. On appelle $g(h)$ le quotient de la force gravitationnelle par la masse m .

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • sur Terre $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6\,371 \text{ km}$

- 2.1 Établir l'expression de $g(h)$ en fonction de G , M_T , R_T et h . Vérifier que $g(0)$ redonne bien la valeur usuelle de l'intensité de la pesanteur.
- 2.2 Calculer g à l'altitude de la Station spatiale internationale, $h = 400 \text{ km}$. Quel pourcentage de $g(0)$ cela représente-t-il ?
- 2.3 Un astronaute de masse 70 kg à bord de la Station a-t-il un poids nul ? Calculer la valeur de la force gravitationnelle qu'il subit. Pourquoi l'expression « absence de gravité » est-elle trompeuse ?
- 2.4 Un satellite géostationnaire est situé à la distance $d = 42\,164 \text{ km}$ du centre de la Terre. Calculer g à cette distance ; par quel nombre a-t-elle été divisée par rapport au sol ?
- 2.5 À quelle altitude g vaut-elle la moitié de sa valeur au sol ? (On pourra utiliser $\sqrt{2} \approx 1,414$.)

Exercice 3 Pourquoi la Lune fait-elle les marées ?

●●●

On s'intéresse à la force gravitationnelle exercée par la Lune sur 1,0 kg d'eau situé sur Terre. On note A le point de la surface terrestre le plus proche de la Lune, C le centre de la Terre et B le point le plus éloigné : leurs distances au centre de la Lune valent respectivement $D - R_T$, D et $D + R_T$.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6\,371 \text{ km}$ • Lune : $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$, distance Terre-Lune $D = 3,84 \times 10^8 \text{ m}$ • Soleil : $M_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$, distance Terre-Soleil $1,50 \times 10^{11} \text{ m}$

- 3.1 Calculer, avec quatre chiffres significatifs, la valeur de la force exercée par la Lune sur 1,0 kg d'eau placé en A, puis en C, puis en B.
- 3.2 Classer ces trois valeurs. En raisonnant sur les différences entre elles, expliquer pourquoi l'eau des océans a tendance à s'accumuler à la fois du côté de la Lune et du côté opposé. (*Hors programme — pour aller plus loin.*)
- 3.3 Calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre, puis celle exercée par la Lune sur la Terre. Quel est le rapport entre ces deux valeurs ?
- 3.4 Le Soleil attire donc la Terre bien plus fortement que la Lune. Pourtant, l'effet de marée du Soleil est environ deux fois plus faible que celui de la Lune. À l'aide de la question 1, expliquer en une phrase pourquoi c'est l'écart entre les forces, et non leur valeur, qui compte.

Exercice 4 Le ballon-sonde



Un club scientifique lance un ballon-sonde : une enveloppe souple de volume $V = 5,0 \text{ m}^3$ remplie d'hélium, à laquelle est accrochée une nacelle. L'ensemble {enveloppe + nacelle}, hélium non compris, a une masse $m_0 = 1,2 \text{ kg}$.

Donnée fournie (*hors programme*) : l'air exerce sur le ballon une poussée d'Archimède verticale, dirigée vers le haut, de valeur $\Pi = \rho_{\text{air}} \times V \times g$.

■ **DONNÉES** sur Terre $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ • $\rho_{\text{He}} = 0,18 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

- 4.1 Calculer la masse d'hélium contenue dans l'enveloppe, puis la masse totale du ballon et son poids.
- 4.2 Calculer la valeur de la poussée d'Archimède au niveau du sol.
- 4.3 Faire un schéma du ballon, assimilé à un point G, et représenter les deux forces avec l'échelle $1 \text{ cm} \leftrightarrow 10 \text{ N}$. Indiquer la longueur des flèches.
- 4.4 Quelle masse supplémentaire (matériel embarqué) peut-on au maximum accrocher à la nacelle pour que le ballon puisse encore décoller ?
- 4.5 En altitude, l'air est moins dense : à 10 km, $\rho_{\text{air}} = 0,41 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. En supposant que le volume du ballon reste égal à $5,0 \text{ m}^3$, calculer la nouvelle poussée d'Archimède et conclure sur la possibilité pour le ballon (sans charge supplémentaire) de continuer à monter.

Exercice 5 Peser la Terre : la balance de Cavendish



En 1798, Henry Cavendish réalise la première mesure de l'attraction gravitationnelle entre deux corps de laboratoire. Deux petites sphères de plomb de masse $m = 0,73 \text{ kg}$ sont fixées aux extrémités d'une tige horizontale suspendue à un fil très fin ; on approche de chacune d'elles une grosse sphère de plomb de masse $M = 158 \text{ kg}$, dont le centre est alors à la distance $d = 23 \text{ cm}$ du centre de la petite. La tige tourne alors très légèrement.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ • sur Terre $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$ • Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$, $R_T = 6\,371 \text{ km}$

- 5.1 Calculer la valeur de la force gravitationnelle exercée par une grosse sphère sur la petite sphère voisine.
- 5.2 Calculer le poids de la petite sphère et le rapport entre ce poids et la force précédente. Commenter la difficulté de l'expérience.
- 5.3 Cavendish ne connaissait pas G : c'est justement cette expérience qui a permis de le déterminer. Expliquer, à partir de la loi de la gravitation, quelles grandeurs il devait mesurer pour en déduire G .
- 5.4 Connaissant G , on peut « peser la Terre ». En écrivant que le poids d'un corps de masse m au sol est égal à la force gravitationnelle exercée par la Terre, exprimer M_T en fonction de g , R_T et G , puis calculer M_T . Comparer à la valeur donnée.