

## **Exercices Gravitation universelle**

Exercice 1 :

### **Étudier le mouvement d'un satellite**

La station orbitale I.S.S. tourne autour de la Terre sur une orbite circulaire à une altitude de 274 km.

1. la station n'est soumise qu'à une seule force. Qui exerce cette force sur la station orbitale ?
2. Quel est le rayon de l'orbite de la station ?

**Donnée :** Rayon de la Terre :  $R = 6380$  km

1. Rayon de l'orbite de la station et vitesse de la station :

- Rayon de l'orbite :
- $R = R_T + h$
- $R = 6380 + 274$
- $R \approx 6,65 \times 10^3$  km

Exercice 2 :

### **Calculer une force de gravitation**

Le satellite Phobos de la planète Mars décrit une trajectoire circulaire dont le centre est confondu avec le centre de Mars. Le rayon de cette trajectoire a pour valeur  $R = 9378$  km.

On considérera que Phobos et Mars ont des masses régulièrement réparties autour de leur centre.

1. Exprimer littéralement la valeur  $F_{M/P}$  de la force exercée par Mars sur le satellite Phobos.
2. Calculer la valeur de cette force.
3. Déterminer la valeur de la force  $F_{P/M}$  exercée par Phobos sur la planète Mars.

**Données :**

- Masse de la planète Mars :  $m_M = 6,42 \times 10^{23}$  kg
- Masse du satellite Photos :  $m_P = 9,6 \times 10^{15}$  kg
- Constante de gravitation Universelle :  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  S.I

1. Expression littérale de  $F_{M/P}$ :

$$F_{M/P} = G \cdot \frac{m_M \cdot m_P}{R^2}$$

2. Valeur de la force  $F_{P/M}$ :

$$F_{M/P} = G \cdot \frac{m_M \cdot m_P}{R^2}$$

$$F_{M/P} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{6,42 \times 10^{23} \times 9,6 \times 10^{15}}{(9378 \times 10^3)^2}$$

$$F_{M/P} \approx 4,7 \times 10^{15} \text{ N}$$

3. Valeur de la force  $F_{P/M}$ : De la loi de la gravitation Universelle, on déduit

$$F_{M/P} = G \cdot \frac{m_M \cdot m_P}{R^2} = F_{P/M} \approx 4,7 \times 10^{15} \text{ N}$$

Exercice 3 :

### Comparer poids et force de gravitation

On suppose que la Terre a une masse régulièrement répartie autour de son centre. Son rayon est  $R = 6,38 \times 10^3$  km, sa masse est  $M = 5,98 \times 10^{24}$  kg et la constante de gravitation Universelle est  $G = 6,67 \times 10^{-11}$  S.I.

1. Déterminer la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur un ballon de masse  $m = 0,60$  kg posé sur le sol.
2. Déterminer le poids du même ballon placé dans un lieu où l'intensité de la pesanteur vaut :  $g = 9,8 \text{ N / kg}$ .
3. Comparer les valeurs des deux forces et conclure.

1. Force exercée par la Terre sur le ballon :

- La loi de la gravitation Universelle donne :

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \cdot \frac{\mathbf{M} \cdot \mathbf{m}}{\mathbf{R}^2}$$

$$\mathbf{F}_{\mathbf{M}/\mathbf{P}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,98 \times 10^{24} \times 0,60}{(6,38 \times 10^3 \times 10^3)^2}$$

$$\mathbf{F}_{\mathbf{M}/\mathbf{P}} \approx 5,9 \text{ N}$$

- 2. Poids du ballon :
- $\mathbf{P} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$
- $\mathbf{P} \approx 0,60 \times 9,8$
- $\mathbf{P} \approx 5,8 \text{ N}$
- 3. Comparaison :  $\mathbf{P} \approx \mathbf{F}$ .

#### Exercice 4

##### Comparer la force de gravitation à d'autres forces

Deux boules de pétanque, de masse  $\mathbf{m} = 650 \text{ g}$ , sont posées sur le sol l'une à côté de l'autre.

Leurs centre sont distants de  $\mathbf{d} = 20 \text{ cm}$ .

- 1. Calculer la valeur du poids  $\mathbf{P}$  d'une boule.
- 2. Quelle est la valeur de la force  $\mathbf{F}$  de gravitation exercée par une boule sur l'autre ?
- 3. Pourquoi, lorsqu'on étudie l'équilibre de l'une des boules, ne tient-on pas compte de la force de gravitation exercée par l'autre boule ?

**Donnée :** Constante de gravitation Universelle est  $\mathbf{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

L'intensité de la pesanteur vaut :  $\mathbf{g} = 9,8 \text{ N / kg}$ .

- 1. Valeur du poids  $\mathbf{P}$  de la boule :

- $\mathbf{P} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{g}$
- $\mathbf{P} \approx 0,650 \times 9,8$
- $\mathbf{P} \approx 6,4 \text{ N}$

- 2. Valeur de la force  $\mathbf{F}$  de gravitation :

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \cdot \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{m}}{\mathbf{d}^2}$$

$$\mathbf{F}_{\mathbf{M}/\mathbf{P}} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{0,650 \times 0,650}{(20 \times 10^{-2})^2}$$

$$\mathbf{F}_{\mathbf{M}/\mathbf{P}} \approx 7,0 \times 10^{-10} \text{ N}$$

3. La valeur de la force de gravitation exercée entre les boules est négligeable devant la valeur du poids des boules :  $\mathbf{P} \gg \mathbf{F}$ .

$$\frac{\mathbf{P}}{\mathbf{F}} = \frac{6,4}{7,0 \times 10^{-10}} \approx 9,1 \times 10^9$$

Exercice 5 :

Déterminer des forces sur la Lune

La Lune est assimilable à un solide dont la masse est régulièrement répartie autour de son centre.

1. Écrire l'expression de la force de gravitation exercée par la Lune de masse  $\mathbf{m}_L$  sur un objet de masse  $\mathbf{m}$ , situé à la distance  $\mathbf{d}$  du centre de la Lune.
2. En déduire l'expression littérale de l'intensité de la pesanteur  $\mathbf{g}_{OL}$  à la surface de la Lune.
3. Des astronautes (Apollo XVII) ont rapporté  $\mathbf{m}_r = 117 \text{ kg}$  de roches. Déterminer le poids de ces roches :
  - a. À la surface de la Lune ;
  - b. Dans la capsule en orbite autour de la Lune, à l'altitude  $\mathbf{h} = 100 \text{ km}$ .

Données :  $\mathbf{m}_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$  ;  $\mathbf{R}_L = 1,74 \times 10^3 \text{ km}$  ;  $\mathbf{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

1. Expression de la force de gravitation exercée par la Lune sur un objet :

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \cdot \frac{\mathbf{m}_L \cdot \mathbf{m}}{\mathbf{R}_L^2}$$

2. Expression littérale de l'intensité de la pesanteur à la surface de la Lune :

- On utilise le fait que le poids d'un objet sur la Lune est dû essentiellement à la force de gravitation exercée par la Lune sur l'objet. On écrit :  $P \approx F$

$$F = G \cdot \frac{m_L \cdot m}{R_L^2} \approx P = m \cdot g_{OL}$$
$$g_{OL} \approx G \cdot \frac{m_L}{R_L^2}$$

- 3. Poids des roches :

- a. Poids au niveau du sol :

$$P = m \cdot g_{OL}$$
$$P \approx m \cdot G \cdot \frac{m_L}{R_L^2}$$

$$P \approx 117 \times 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{7,34 \times 10^{22}}{(1,74 \times 10^6)^2}$$

$$P \approx 189 \text{ N}$$

- b. Poids dans la capsule spatiale :

$$P_h = m \cdot g_{hL}$$
$$P \approx m \cdot G \cdot \frac{m_L}{(R_L + h)^2}$$

$$P \approx 117 \times 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{7,34 \times 10^{22}}{(1,74 \times 10^6 + 100 \times 10^3)^2}$$

$$P \approx 169 \text{ N}$$

### Exercice 6

- a)- Exprimer et calculer les valeurs des forces d'interaction gravitationnelle  $F$  et  $F'$  exercées l'une sur l'autre par deux balles de tennis de masse  $m$  lorsque ces deux balles sont séparées par une distance d'un mètre. On

prendra  $m = 58$  g.

- b)- Représenter ces forces  $F$  et  $F'$  sur un schéma :
- c)- Refaire le calcul de la question a)- lorsque la distance a diminué de moitié.
- d)- Comparer la force exercée par une balle sur l'autre, à la force exercée par la Terre sur cette balle et conclure.

- a)- Expression et calcul des valeurs des forces d'interaction gravitationnelle  $F$  et  $F'$ .

- Expression littérale :

$$F = F' = G \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

- Valeur :

$$F = F' = G \frac{m \cdot m'}{r^2} \quad p \quad F = F' = 6,67 \times 10^{-11} \frac{(58 \times 10^{-3})^2}{1,0^2}$$

$$F = F' \approx 2,24 \times 10^{-13} \text{ N}$$

- b)- Schéma :

- Échelle :  $1,0 \times 10^{-13} \text{ N} \leftrightarrow 1 \text{ cm}$



- c)- Calcul lorsque la distance a diminué de moitié.

- Valeur :

$$F = F' = G \frac{m \cdot m'}{r^2} \quad p \quad F = F' = 6,67 \times 10^{-11} \frac{(58 \times 10^{-3})^2}{0,5^2}$$

$$F = F' \approx 8,97 \times 10^{-13} \text{ N}$$

- d)- Comparaison de la force exercée par une balle sur l'autre, à la force exercée par la Terre sur cette balle :
- Force exercée par la Terre sur une balle :
  - $P = m \cdot g$   $P = 58 \times 10^{-3} \times 9,81$   $P \approx 0,57 \text{ N}$
  - Conclusion :
  - $P \gg F$  : La force d'interaction gravitationnelle est négligeable devant la force de pesanteur.

**Exercice 7 :**

Lors de la mission Apollo, les astronautes étaient équipés, pour leur sortie sur la Lune, d'une combinaison spatiale de masse  $m = 60,0 \text{ kg}$ .

- a)- Calculer le poids  $P_T(m)$  de cet équipement sur Terre, puis le poids  $P_L(m)$  sur la Lune.
- b)- Quelle est la masse  $m'$  d'un objet dont le poids  $P_T(m')$  sur Terre est égal au poids de la combinaison spatiale sur la Lune ?
- c)- La combinaison spatiale peut-elle être portée plus commodément sur la Terre ? Sur la Lune ? Justifier la réponse.

- a)- Poids  $P_T(m)$  de cet équipement sur Terre, puis le poids  $P_L(m)$  sur la Lune.

- Poids de l'équipement sur Terre :
  - $P_T(m) = m \cdot g_T$   $P_T(m) = 60,0 \times 9,81$   $P_T(m) \approx 589 \text{ N}$
  - Poids de l'équipement sur la Lune :
  - $P_L(m) = m \cdot g_L$   $P_L(m) = 60,0 \times 1,60$   $P_L(m) \approx 96 \text{ N}$

- b)- Masse  $m'$  d'un objet dont le poids  $P_T(m')$  sur Terre est égal au poids de la combinaison spatiale sur la Lune ?

- Valeur de la masse  $m'$  :

$$P_T(m') = m' \cdot g_T \quad P \quad m' = \frac{P_T(m')}{g_T} \quad P \quad m' = \frac{96}{9,81} \quad P \quad m' \approx 9,8 \text{ kg}$$

c)- La combinaison spatiale :

- La combinaison est portée plus commodément sur la Lune que sur la Terre.
- Cela revient à porter une combinaison de 10 kg environ lorsque l'on est sur la Lune :

a)- Poids  $P_T (m)$  de cet équipement sur Terre, puis le poids  $P_L (m)$  sur la Lune.

- Poids de l'équipement sur Terre :
- $P_T (m) = m \cdot g_T \quad P_T (m) = 60,0 \times 9,81 \quad P_T (m) \approx 589 \text{ N}$
- Poids de l'équipement sur la Lune :
- $P_L (m) = m \cdot g_L \quad P_L (m) = 60,0 \times 1,60 \quad P_L (m) \approx 96 \text{ N}$

b)- Masse  $m'$  d'un objet dont le poids  $P_T (m')$  sur Terre est égal au poids de la combinaison spatiale sur la Lune ?

- Valeur de la masse  $m'$  :

$$P_T (m') = m' \cdot g_T \quad m' = \frac{P_T (m')}{g_T} \quad m' = \frac{96}{9,81} \quad m' \approx 9,8 \text{ kg}$$

c)- La combinaison spatiale :

- La combinaison est portée plus commodément sur la Lune que sur la Terre.
- C'est environ 6 fois plus léger sur la Lune que sur la Terre.

## EXERCICE 8 :

En mars 1979, la sonde Voyager 1 (de masse  $m$ ) s'approche de Jupiter... que l'on assimile à une sphère de rayon  $R_J$  et de masse  $M_J$  répartie sphériquement.

Aux altitudes  $h_1 = 2,78 \cdot 10^5 \text{ km}$  et  $h_2 = 6,50 \cdot 10^5 \text{ km}$ , la sonde mesure  $g_J (h_1) = 1,04 \text{ N} \cdot \text{Kg}^{-1}$  et  $g_J (h_2) = 0,24 \text{ N} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , en déduire la masse de Jupiter.

**Solution :**

1.  $h_1 = 2,78 \cdot 10^5 \text{ km} = 2,78 \cdot 10^8 \text{ m}$  ;  $h_2 = 6,50 \cdot 10^5 \text{ km} = h_2 = 6,50 \cdot 10^8 \text{ m}$

2... 9. On sait que  $G_J (h) = (G \cdot M_J) / r^2$  ; or (traduction Markus ?) :  $r = R_J + h$  ; d'où  $G_J (h_1) = (G \cdot M_J) / (R_J + h_1)^2$  et  $G_J (h_2) = (G \cdot M_J) / (R_J + h_2)^2$

Ces 2 équations donnent :

$R_J + h_1 = \sqrt{G^* M_J / G_J(h_1)}$  et  $R_J + h_2 = \sqrt{G^* M_J / G_J(h_2)}$  ; En éliminant  $R_J$  (en faisant la différence par exemple), on trouve :  $h_2 - h_1 = \sqrt{G^* M_J} * ((1/\sqrt{G_J(h_2)}) - 1/\sqrt{G_J(h_1)})$  d'où on sort

$$M_J = 1/G * [(h_2 - h_1) / ((1/\sqrt{G_J(h_2)}) - 1/\sqrt{G_J(h_1)})]^2 = 1,844 * 10^{27} \text{ kg} \approx 1,84 * 10^{27} \text{ kg} \quad (3 \text{ Chiffres significatifs C.S})$$

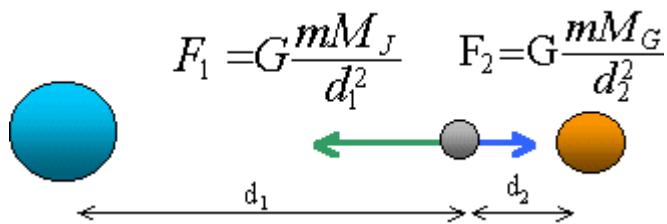
Formule Littérale Générale (FLG)

**EXERCICE 9 :**

Ganymède, un satellite de Jupiter a une trajectoire circulaire de rayon  $1,07 \cdot 10^6$  km centrée sur le centre de Jupiter. La sonde Voyager I est passée en 1979 entre Jupiter et ce satellite à  $1,15 \cdot 10^5$  km de Ganymède.

Calculer le rapport des forces d'interaction gravitationnelle exercées sur la sonde par Jupiter et Ganymède.

masse Ganymède :  $1,49 \cdot 10^{23}$  kg ; masse Jupiter :  $1,9 \cdot 10^{27}$  kg.



rapport des deux forces  $F_1 / F_2$  :

$$\frac{M_J}{M_G} \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

rapport des masses :  $1,9 \cdot 10^{27} / 1,49 \cdot 10^{23} = 1,27 \cdot 10^4$ .

$$D_1 = 1,07 \cdot 10^6 - 1,15 \cdot 10^5 = 9,55 \cdot 10^8 \text{ m}$$

$$d_2 = 1,15 \cdot 10^5 \text{ m}$$

rapport des distances :  $1,15 \cdot 10^8 / 9,55 \cdot 10^8 = 0,12$

rapport des forces :  $1,27 \cdot 10^4 * 0,12^2 = 184$ .

**EXERCICE 10 :**

1. La pesanteur à la surface d'un astre de masse  $M$  et de rayon  $R$  est donnée par la relation :  $g = 6,67 \cdot 10^{-11} M / R^2$ . Quelle est la valeur de la pesanteur à la surface de Io, l'un des satellites de Jupiter.  $M_{Io} = 8,933 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ .  $R_{Io} = 1,8 \cdot 10^3 \text{ km}$ .
2. Quel est le poids d'un corps de masse 500 g à la surface de Io. Le comparer au poids à la surface de la Terre.

masse en kg et distance en mètre  $R = 1,8 \cdot 10^6 \text{ m}$

pesanteur à la surface de Io :

$$6,67 \cdot 10^{-11} * 8,933 \cdot 10^{22} / (1,8 \cdot 10^6)^2$$

$$6,67 * 8,933 \cdot 10^{11} / (1,8 * 1,8 \cdot 10^{12})$$

$$6,67 * 8,933 / (1,8 * 1,8 \cdot 10) = 1,84 \text{ N kg}^{-1}$$

environ 5,33 fois plus faible qu'à la surface de la Terre.

poids à la surface de Io :

masse en kg : 0,5 kg

$$0,5 * 1,84 = 0,92 \text{ N}$$

poids à la surface de la Terre, 5,33 fois plus grand soit : 4,9 N

**EXERCICE 11 :**

On considère une navette spatiale, de masse 1800 kg, se trouvant entre la Terre et la Lune. On appelle  $d$  la distance du centre de la Terre à la navette et  $D$  la distance des centres de la Terre et de la Lune.  $M_{terre} = 6 \cdot 10^{21}$  tonnes.  $M_{lune} = 1 / 83 M_{terre}$ .  $D = 380 000 \text{ km}$ .

1. Exprimer la force de gravitation exercée par la Terre sur la navette.
2. Exprimer la force de gravitation exercée par la Lune sur la navette.
3. A quelle distance  $d_0$  de la Lune ces deux forces auront-elles la même valeur.