

**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  $R = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$ , sa masse est  $M = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$  et la constante de gravitation Universelle est  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

1. Déterminer la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur un ballon de masse  $m = 0,60 \text{ kg}$  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 :

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

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

$$F_{M/P} \approx 5,9 \text{ N}$$

2. Poids du ballon :

$$- \quad P = m \cdot g$$

$$- \quad P \approx 0,60 \times 9,8$$

$$- \quad P \approx 5,8 \text{ N}$$

3. Comparaison :  $P \approx F$ .

Exercice 4

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

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

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

1. Calculer la valeur du poids  $P$  d'une boule.
2. Quelle est la valeur de la force  $F$  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  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I.}$

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

1. Valeur du poids  $P$  de la boule :

$$- \quad P = m \cdot g$$

$$- \quad P \approx 0,650 \times 9,8$$

$$- \quad P \approx 6,4 \text{ N}$$

2. Valeur de la force  $F$  de gravitation :

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

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

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

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

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

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  $m_L$  sur un objet de masse  $m$ , situé à la distance  $d$  du centre de la Lune.
2. En déduire l'expression littérale de l'intensité de la pesanteur  $g_{OL}$  à la surface de la Lune.
3. Des astronautes (Apollo XVII) ont rapporté  $m_r = 117 \text{ kg}$  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  $h = 100 \text{ km}$ .

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

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

$$F = G \cdot \frac{m_L \cdot m}{R_L^2}$$

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  $m = 58 \text{ g}$ .

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 :

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

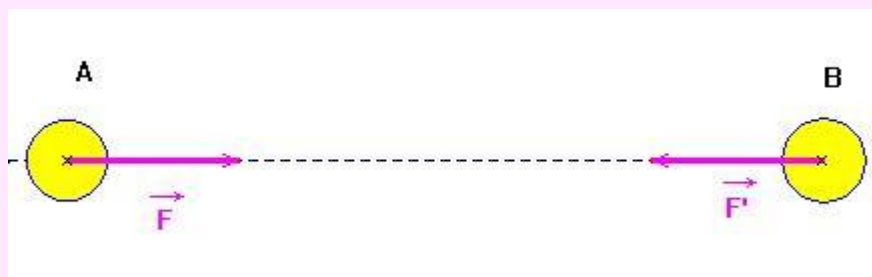
- Valeur :

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

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

b)- Schéma :

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



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

- Valeur :

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

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

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  $m'$  :

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

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  $m'$  :

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

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  $h_1 = 2,78 \cdot 10^5$  km et  $h_2 = 6,50 \cdot 10^5$  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 :

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

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

Ces 2 équations donnent :



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

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

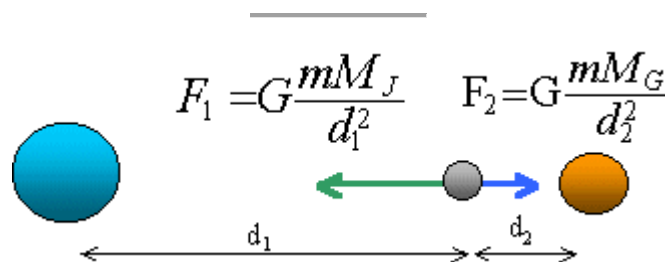
Formule Littérale Générale (FLG)

### 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  $F_1 / F_2$  :

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

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

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

$$d_2 = 1,15 \cdot 10^8 \text{ m}$$

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

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

**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  $500 \text{ g}$  à la surface de Io. Le comparer au poids à la surface de la Terre.

---

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

pesanteur à la surface de Io :

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

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

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

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

---

poids à la surface de Io :

masse en kg :  $0,5 \text{ kg}$

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

poids à la surface de la Terre, 5,33 fois plus grand soit :  $\mathbf{4,9 \text{ N}}$

---

**EXERCICE 11 :**

On considère une navette spatiale, de masse  $1800 \text{ kg}$ , 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.  $M_{\text{terre}} = 6 \cdot 10^{21} \text{ tonnes}$ .  $M_{\text{lune}} = 1 / 83 M_{\text{terre}}$ .  $D = 380 \cdot 000 \text{ km}$ .

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.