

# Chapitre 17

## Gravitation universelle

### RÉVISION ET RÉSUMÉ

**Où commencer ?** En plus de l'apprentissage du cours, faites avant toutes choses les deux applications résolues pages 97 et 98 du livre, puis réfléchissez aux questions, et enfin abordez les exercices (les questions ne peuvent être abordées qu'une fois le cours du chapitre 17 terminé).

**Attraction gravitationnelle** Deux objets de centres d'inerties A et B, de masses  $m_A$  et  $m_B$ , exercent l'un sur l'autre des vecteurs forces d'attraction gravitationnelle, de caractéristiques :

- direction : la droite (AB) ;
- sens : la force exercée par A sur B est dirigée vers A, celle exercée par B sur A est dirigée vers B ;
- origine : le point A ou B ;
- valeur :  $F$ , telle que :

$$F = G \frac{m_A m_B}{AB^2}$$

$F$  est la valeur de la force en Newton (N) ;

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$  est la constante de gravitation universelle ;

$m_A$  et  $m_B$  sont les masses des corps en kilogrammes (kg) ;

AB est la distance séparant les deux corps en mètres (m).

**Poids** Le poids d'un objet est la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre, de caractéristiques :

- direction : verticale ;
- sens : vers le bas ;
- point d'application : le centre d'inertie G de l'objet ;
- valeur :  $P = mg$ .

$P$  est le poids du corps en Newton (N) ;

$m$  est la masse du corps en kilogrammes (kg) ;

$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$  est l'intensité de la pesanteur (à Paris — la valeur du poids varie légèrement selon le lieu).

**Projectile** Les forces agissant sur un corps en chute libre (= sans frottements) ne se compensent pas. Le corps n'est soumis qu'à son poids. Le mouvement de son centre d'inertie n'est pas rectiligne uniforme, mais dépend du vecteur vitesse initial :

- si le vecteur initial est nul ou vertical, la trajectoire du corps est rectiligne ;
- si le vecteur initial est oblique, la trajectoire du corps est parabolique.

### QUESTIONS

- Q1** Qu'appelle-t-on chute libre d'un corps ?
- Q2** Les forces exercées sur un projectile dans l'air se compensent-elles ?
- Q3** **On a marché... sur la Lune !** Formulez l'explication de Tintin en termes scientifiques.



- Q4** QCM Plusieurs réponses sont parfois possibles.
- a. Le poids sur la Lune n'est pas le même que sur Terre, car :
- il est très loin de la Terre ;
  - la masse et le rayon de la Lune sont différents ;
  - la masse de l'homme a changé.

- b. Un corps qui ne tombe pas sur la Terre :
- n'est pas soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre ;
  - est soumis à une seconde force qui compense la force gravitationnelle ;
  - est en orbite autour de la Terre.
- c. La Lune subit l'attraction gravitationnelle :
- de la Terre mais pas du Soleil ;
  - seulement de la Terre et du Soleil ;
  - de toutes les planètes et du Soleil.
- d. Quand on lance un objet dans l'air :
- il retombe toujours verticalement ;
  - sa trajectoire dépend de sa vitesse initiale ;
  - sa trajectoire est toujours une parabole.
- e. Un satellite ne retombe pas sur la Terre car :
- il n'est plus soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre ;
  - il est attiré par la Lune ;
  - il a été lancé avec une vitesse suffisante, adaptée en direction, sens et valeur.

## L'interaction gravitationnelle → lundi 15 mars

**17.1** N°15 p. 105 : **Orbite de Vénus****17.2** **Jupiter et ses quatre satellites**

Les lunes galiléennes sont quatre satellites naturels de Jupiter découverts par Galilée : Io, Europe, Ganymède et Callisto. Le 7 janvier 1610, il écrivit une lettre portant la première mention de ces objets. Ce furent les premiers objets célestes découverts au moyen d'un instrument optique autre que l'œil nu, la fameuse lunette astronomique de Galilée.

**1. Mouvement de Ganymède autour de Jupiter**

- En négligeant les effets des trois autres satellites, du Soleil et des autres planètes du Système Solaire, effectuez le bilan des forces s'appliquant sur le satellite Ganymède.
- Sans souci d'échelle, faire un schéma représentant Jupiter, le satellite Ganymède sur sa trajectoire et la force exercée par Jupiter sur son satellite.
- Dans quel référentiel le mouvement du satellite Ganymède est-il décrit ? Le nom de ce référentiel n'est pas demandé.
- Établissez l'expression littérale de la norme de cette force. Effectuez l'application numérique.

**2. Comparaison avec les trois autres satellites**

Le tableau fourni au verso rassemble les périodes  $T$  (durée d'un tour complet) et les rayons  $R$  des orbites des quatre principaux satellites de Jupiter. Ces données permettent de tracer la courbe donnant  $T^2$  en fonction de  $R^3$ , proposée aussi au verso.

- Complétez la ligne relative au satellite Ganymède.
- Placez le point correspondant dans le système d'axes proposés sur l'annexe, et tracer la courbe donnant  $T^2$  en fonction de  $R^3$ .
- Que peut-on déduire du tracé précédent ? Remarque : la loi ainsi trouvée est appelée « troisième loi de Képler ».

**17.3** **Station Orbitale Internationale**

La station orbitale internationale est située à 410 km d'altitude par rapport au sol.

- Calculez (à l'aide des données regroupées en fin d'énoncé) la force gravitationnelle exercée par la Terre sur un cosmonaute de la station, de masse  $m = 70$  kg.
- Expliquez pourquoi le cosmonaute est en état d'apesanteur.

## Le poids → mercredi 17 mars

**17.4** N°12 p. 105 : **Poids sur la Lune****17.5** N°18 p. 106 : **Influence de l'altitude**

**17.6** **Poids d'un objet sur la Lune** On considère que la Lune est un corps à répartition sphérique de masse.

- Donnez l'expression littérale de la force gravitationnelle exercée par la Lune sur un objet de masse  $m_{\text{objet}}$  situé à sa surface, en fonction de  $m_{\text{objet}}$ ,  $m_{\text{Lune}}$ ,  $R_{\text{objet}}$  et  $\mathcal{G}$ .
- En notant  $P = m_{\text{objet}}g_{\text{Lune}}$  le poids de l'objet sur la Lune, établir l'expression de l'intensité de la pesanteur  $g_{\text{Lune}}$  à la surface de la Lune, en fonction de  $m_{\text{Lune}}$ ,  $R_{\text{objet}}$  et  $\mathcal{G}$ .
- Calculez  $g_{\text{Lune}}$  numériquement, et comparez avec l'intensité de la pesanteur  $g_{\text{Terre}} = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$  à la surface de la Terre.

## Mouvement d'un projectile → jeudi 18 mars

**17.7** N°13 p. 105 : **Trajectoire parabolique****17.8** N°20 p. 106 : **Largage depuis un avion****17.9** **Record de lancer de poids**

Le record de lancer du « poids » masculin junior est de 21,96 m. Le poids a une masse de 6,00 kg. On néglige les frottements de l'air.

- Quelle est la forme de la trajectoire d'un poids ?
- Avec quel angle faut-il lancer le poids pour obtenir la portée la plus élevée ?
- Que peut-on dire du mouvement horizontal du poids ? En déduire un paramètre que l'élève peut modifier pour améliorer son tir.

### Données pour l'ensemble des exercices

$$\mathcal{G} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.kg}^{-2}.\text{m}^2$$

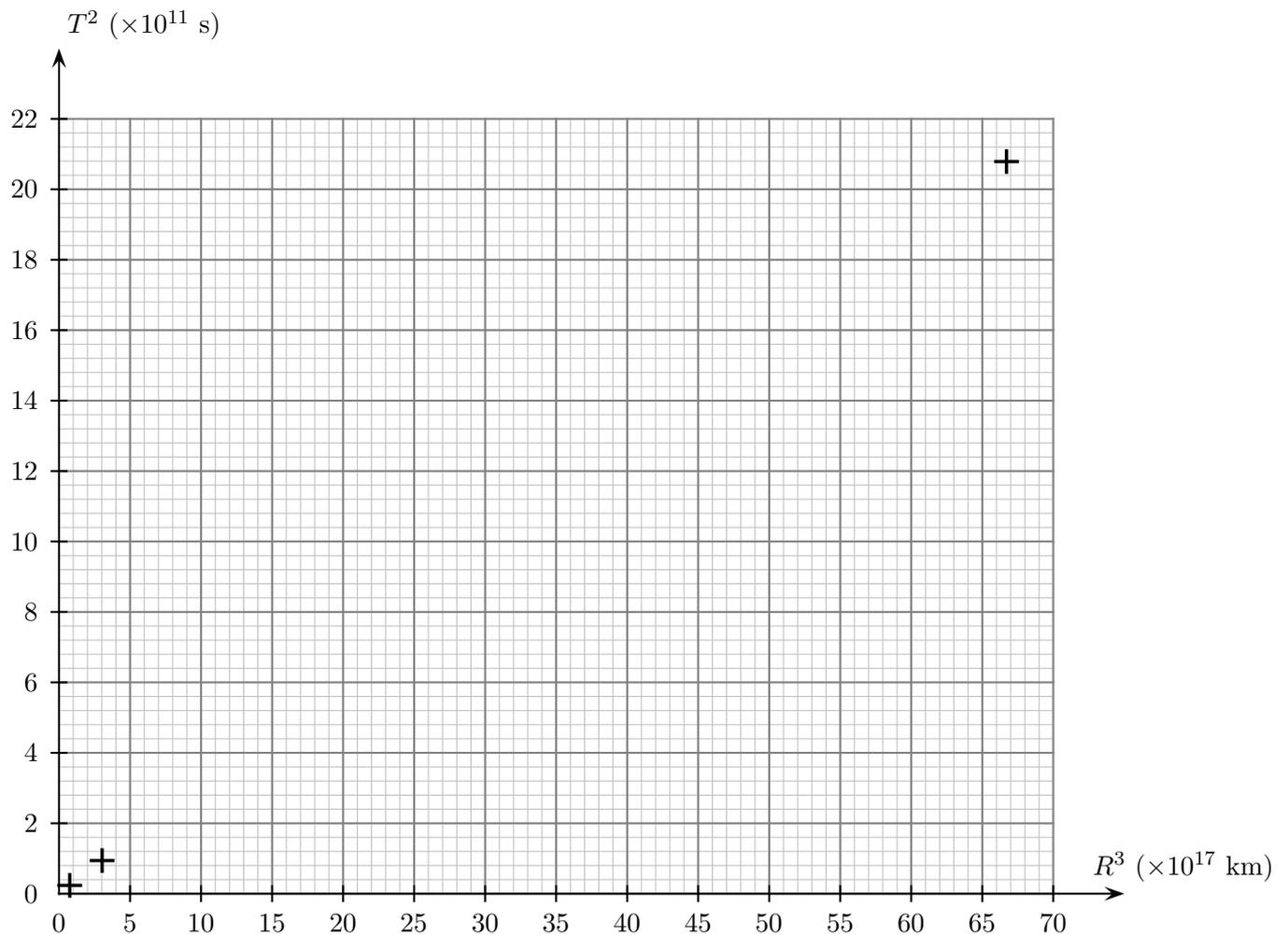
Rayons
$R_{\text{Terre}} = 6\,380 \text{ km}$
$R_{\text{Soleil}} = 109 \times R_{\text{Terre}}$
$R_{\text{Lune}} = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$
$R_{\text{Jupiter}} = 71\,500 \text{ km}$

Masses
$m_{\text{Terre}} = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
$m_{\text{Soleil}} = 1,98 \times 10^{30} \text{ kg}$
$m_{\text{Lune}} = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$
$m_{\text{Jupiter}} = 1,90 \times 10^{27} \text{ kg}$
$m_{\text{Ganymède}} = 1,48 \times 10^{23} \text{ kg}$

Distances
$d_{\text{Terre-Soleil}} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$
$d_{\text{Terre-Lune}} = 3,84 \times 10^8 \text{ m}$
$d_{\text{Soleil-Centre Galaxie}} = 2,7 \times 10^{20} \text{ m}$
$d_{\text{Jupiter-Ganymède}} = 1\,070\,000 \text{ km}$

**Tableau pour l'exercice 17.2**

Satellite	Rayon de la trajectoire $R$ (km)	Période de révolution $T$ (s)	$R^3$ (km <sup>3</sup> )	$T^2$ (s <sup>2</sup> )
Io	421 800	$1,53 \times 10^5$	$7,50 \times 10^{16}$	$2,34 \times 10^{10}$
Europe	671 100	$3,07 \times 10^5$	$3,02 \times 10^{17}$	$9,41 \times 10^{10}$
Ganymède	1 070 400	$6,19 \times 10^5$		
Callisto	1 882 700	$1,442 \times 10^6$	$6,67 \times 10^{18}$	$2,079 \times 10^{12}$



# Corrigé 17

## Gravitation universelle

### QUESTIONS

**Q1** La chute « libre » d'un corps est le mouvement de ce dernier sous l'effet d'une seule force, l'interaction gravitationnelle due à la Terre, ou poids du corps. Il n'y a donc aucun frottement (possible uniquement dans le vide).

**Q2** Les forces qui s'exercent sur un projectile en mouvement dans l'air ne se compensent pas en début de chute; c'est pour cette raison que le projectile a un mouvement *accélééré*, jusqu'à atteindre une vitesse assez élevée pour laquelle les frottements compensent exactement le poids.

**Q3** On a marché... sur la Lune! L'intensité de la pesanteur  $g$  vaut en moyenne 9,8 N/kg sur Terre, et 1,6 N/kg sur la Lune, il y a donc bien environ un facteur six :

$$\frac{9,8}{1,6} = 6,1$$

**Q4** QCM

- a. Deuxième réponse;      c. Troisième réponse;  
b. Réponses deux et      d. Deuxième réponse;  
trois, selon les cas;      e. Troisième réponse.

### EXERCICES

**17.1** N°15 p. 105 : **Orbite de Vénus**

**17.2** **Jupiter et ses quatre satellites**

**17.3** **Station Orbitale Internationale**

- a. Calculons tout d'abord la distance entre le centre de gravité de la Terre et la station orbitale :

$$d = R_{\text{Terre}} + h = 6\,380 + 410 = 6\,790 \text{ km.}$$

Ensuite, la force gravitationnelle due à la Terre s'exprime par :

$$F = G \frac{m_{\text{Terre}} m}{d^2}$$
$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5,98 \cdot 10^{24} \times 70}{(6\,790 \cdot 10^3)^2}$$
$$F = 606 \text{ N}$$

Pour comparer, on peut calculer le poids du cosmonaute à la surface de la Terre, avec  $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$  :

$$P = mg = 70 \times 9,8 = 686 \text{ N}$$

- b. La station spatiale est en orbite, ce qui correspond à une situation de chute libre constante, mais avec une vitesse de lancement telle que la chute se résume à un cercle autour de la Terre.

**17.4** N°12 p. 105 : **Poids sur la Lune**

**17.5** N°18 p. 106 : **Influence de l'altitude**

**17.6** **Poids d'un objet sur la Lune**

- a. Force gravitationnelle exercée par la Lune sur un objet à sa surface :

$$F = G \frac{m_{\text{Lune}} m_{\text{objet}}}{R_{\text{Lune}}^2}$$

- b. Il y a identité entre les deux forces, donc  $P = F$ , et par suite :

$$g_{\text{Lune}} = G \frac{m_{\text{Lune}}}{R_{\text{Lune}}^2}$$

- c. Application numérique :

$$g_{\text{Lune}} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{7,4 \cdot 10^{22}}{(1,74 \cdot 10^6)^2} = 1,63 \text{ N.kg}^{-1}$$

Le rapport des intensités des pesanteurs à la surface des deux astres :

$$\frac{g_{\text{Terre}}}{g_{\text{Lune}}} = \frac{9,80}{1,63} = 6,01$$

Donc la gravité est 6 fois plus faible sur la Lune que sur Terre.

**17.7** N°13 p. 105 : **Trajectoire parabolique**

**17.8** N°20 p. 106 : **Largage depuis un avion**

**17.9** **Record de lancer de poids**

- a. Trajectoire parabolique.  
b. À 45°.  
c. Le mouvement horizontale est uniforme. Pour obtenir la portée maximale, il faut lancer avec une vitesse horizontale maximale.