

Chapitre 7

Gravitation universelle

RÉVISION ET RÉSUMÉ

Où commencer ? En plus de l'apprentissage du cours, que vous devez recopier, réciter, re-recopier, jusqu'à en savoir la moindre virgule, re-faites les deux exemples résolus pages 294 et 297 du livre, puis réfléchissez aux questions, et enfin abordez les exercices.

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) ;

$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ 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 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 **On a marché... sur la Lune !** Formulez l'explication de Tintin en termes scientifiques.



Q3 **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.

Calcul de l'intensité de la force

7.1 N°8 p. 298 : Terre, Soleil et Lune**7.2** La Station Orbitale Internationale

La station orbitale internationale est située à 6 790 km du centre de la Terre.

- 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.

Calcul avec l'altitude

7.3 N°7 p. 298 : Météosat**7.4** ER n°26 p. 301 : La Station Spatiale

Représentation de la force

7.5 N°3 p. 298 : Entre la Terre et la Lune**7.6** 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 ».

Influence de la distance

7.7 N°27 p. 302 : La distance Terre-Vénus**7.8** Le système Terre-Soleil

- On considère un astronaute A, en sortie extravéhiculaire dans l'espace, se trouvant à une distance :

$$d_{L-A} = 3,84 \times 10^7 \text{ m}$$

du centre de la Lune L. Donnez la formule littérale de l'intensité de la force exercée par la Lune sur l'astronaute, et effectuez l'application numérique, sachant que l'astronaute muni de son scaphandre spatial a une masse totale $m_A = 140$ kg.

- Le centre de contrôle de Toulouse informe l'astronaute A qu'il se trouve à une distance considérable de la Terre T, à savoir exactement :



$$d_{T-A} = 3,47 \times 10^8 \text{ m}$$

Donnez la formule littérale de l'intensité de la force exercée par la Terre sur l'astronaute, et effectuez l'application numérique.

- Donnez les quatre caractéristiques de chacun des deux vecteurs forces précédents, et les représenter sur le schéma fourni en annexe, sans souci d'échelle.
- De retour sur Terre, l'astronaute se fait photographier avec son scaphandre, afin d'illustrer le succès complet de la mission. Calculez l'intensité P du poids de l'ensemble (formule littérale + calcul).
- Comparez la valeur des trois forces précédentes ; conclure.

Intensité de la pesanteur

7.9 N°19 p. 300 : Intensités de pesanteur**7.10** ER n°10 p. 299 : Brochure d'une voiture

Mouvement d'un projectile

7.11 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 ?

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

7.12 Mouvement de la Lune

Dans son cours de Mécanique destiné aux premières années de faculté, le génial Professeur Feynman écrit :

« Cette idée que la Lune « tombe » risque de créer la confusion parce que, comme vous le voyez, elle ne se rapproche absolument pas. Cette idée est suffisamment intéressante pour mériter une explication supplémentaire : la Lune tombe en ce sens qu'elle s'écarte en tombant de la ligne droite qu'elle suivrait s'il n'y avait pas de forces. »



- a. À quelle force la Lune est-elle soumise ? Pourquoi peut-on considérer la Lune comme un projectile en chute libre ?
- b. Pourquoi la Lune ne tombe-t-elle pas sur la Terre ?

Données pour l'ensemble des exercices

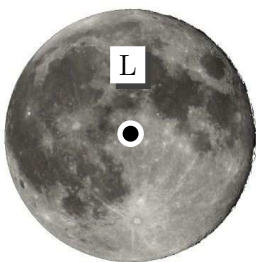
$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

$$g = 9,81 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ à Paris (45}^\circ \text{ de latitude)}$$

T : Terre S : Soleil L : Lune V : Vénus M : Mercure

Rayons	Masses	Distances
$R_T = 6\,380 \text{ km}$	$m_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$	$d_{T-S} = 1,50 \times 10^{11} \text{ m}$
$R_S = 6,960 \times 10^5 \text{ km}$	$m_S = 1,98 \times 10^{30} \text{ kg}$	$d_{T-L} = 3,85 \times 10^8 \text{ m}$
$R_L = 1\,740 \text{ km}$	$m_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$	$d_{V-S} = 1,08 \times 10^{11} \text{ m}$
$R_V = 6\,052 \text{ km}$	$m_V = 4,87 \times 10^{24} \text{ kg}$	$d_{M-S} = 5,79 \times 10^9 \text{ m}$
$R_M = 2\,440 \text{ km}$	$m_M = 3,30 \times 10^{23} \text{ kg}$	

Graphique à compléter pour l'exercice 7.8



A

•

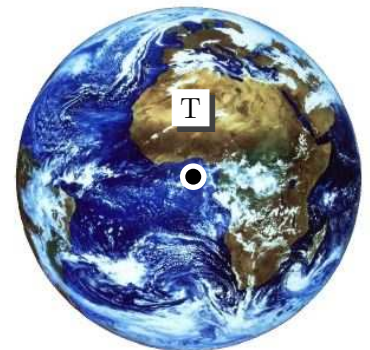
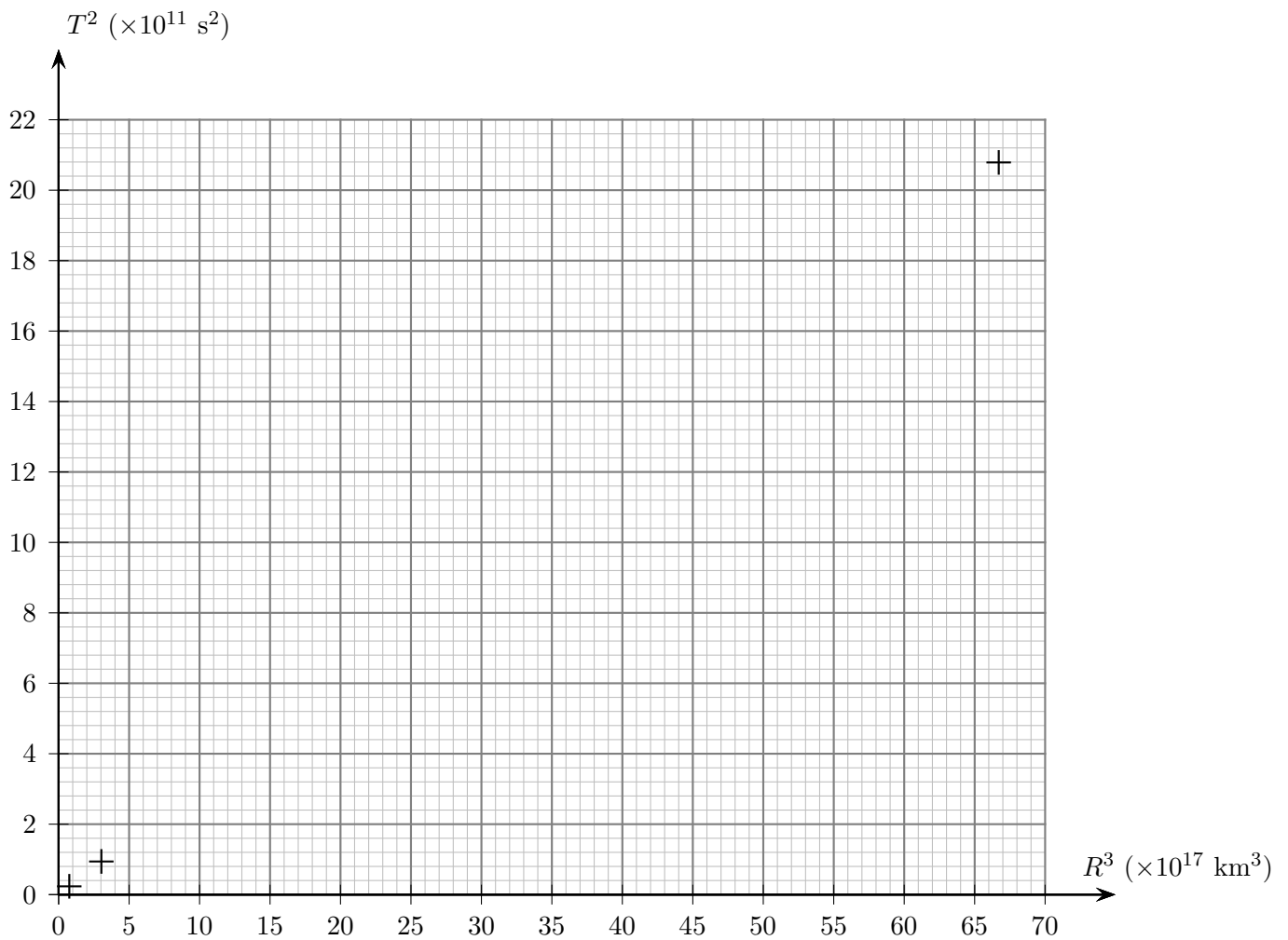


Tableau pour l'exercice 7.6

Satellite	Rayon de la trajectoire R (km)	Période de révolution T (s)	R^3 (km ³)	T^2 (s ²)
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	$1,442 \times 10^6$	$6,67 \times 10^{18}$	$2,079 \times 10^{12}$

Papier millimétré pour l'exercice 7.6



Corrigé 7

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 dans le vide).

Q2 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 : $\frac{9,8}{1,6} = 6,1$.

Q3 QCM

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

EXERCICES

7.1 N°8 p. 298 : Terre, Soleil et Lune

7.2 Station Orbitale Internationale

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

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

La force gravitationnelle due à la Terre est :

$$F = G \frac{m_{\text{Terre}} m}{d^2}$$

$$F = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,98 \times 10^{24} \times 70}{(6\,790 \times 10^3)^2}$$

$$F = 606 \text{ N}$$

Pour comparer, on calcule le poids du cosmonaute sur Terre, avec $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$:

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

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.

7.3 N°7 p. 298 : Météosat

7.4 ER n°26 p. 301 : La Station Spatiale

7.5 N°3 p. 298 : Entre la Terre et la Lune

7.6 Jupiter et ses quatre satellites

1. a. Bilan des forces : une seule force, l'interaction gravitationnelle due à Jupiter : vecteur $\vec{F}_{J/G}$, quatre caractéristiques :

- direction : radiale (selon le rayon JG) ;
- sens : centripète (de G vers J) ;
- point d'application : le centre d'inertie G ;
- valeur : $F_{J/G}$.

b.



c. Il s'agit d'un référentiel formé d'une origine placée au centre J de Jupiter et de trois axes pointants vers trois étoiles fixes. Ce référentiel est appelé « référentiel joviocentrique ».

d. Conversion des kilomètres en mètres :

$$R = 1\,070\,000 \text{ km}$$

$$R = 1,07 \times 10^6 \times 10^3 = 1,07 \times 10^9 \text{ m}$$

Expression littérale puis application numérique :

$$F_{J/G} = G \frac{M_J M_G}{R^2}$$

$$F_{J/G} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{1,90 \times 10^{27} \times 1,48 \times 10^{23}}{(1,07 \times 10^9)^2}$$

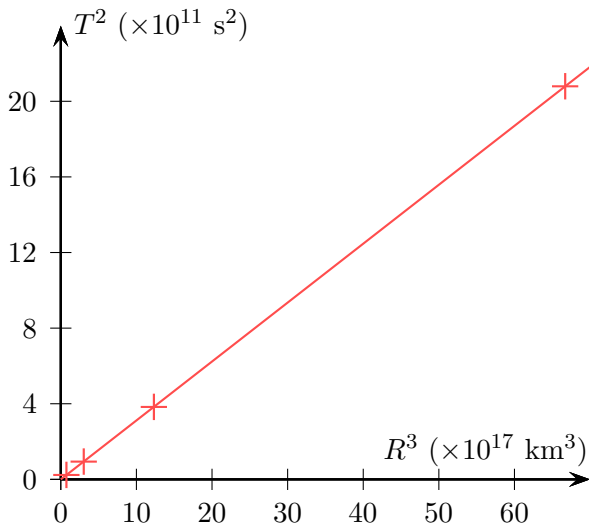
$$F_{J/G} = 1,64 \times 10^{22} \text{ N}$$

2. a. Il s'agit d'un simple calcul, il n'y a même pas de conversion, les rayons n'étant pas exprimés en mètres (comme il le faudrait si on veut se placer en unités S. I.). $R^3 = 1,23 \times 10^{18} \text{ km}^3$ et $T^2 = 3,83 \times 10^{11} \text{ s}^2$.

b. En abscisse, on se place à la graduation 12,3 ; en ordonnée, à la graduation 3,83. Graphique page suivante.

c. On constate que les points sont alignés, sur une droite d'interpolation moyenne, passant par zéro, qui est un point certain. Pour tracer la droite à la main, il faut placer un maximum de points sur la droite, et à défaut autant de points de part et d'autre. Pour obtenir l'équation de la droite, on peut utiliser le mode statistique de la calculatrice ou même WolframAlpha.¹

1. Dans WolframAlpha, taper la requête « fit 0,0,0.750,0.234,3.02,0.941,12.3,3.83,66.7,20.79 linear », sans les guillemets bien sûr.



T^2 et R^3 sont en relation linéaire :

$$T^2 = a \times R^3 \text{ de la forme } y = ax$$

$$\Rightarrow T^2 = 0,312 R^3 \quad (T \text{ en s, } R \text{ en km})$$

7.7 N°27 p. 302 : La distance Terre-Vénus

7.8 Le système Terre-Lune

a. Force exercée par la Lune sur l'astronaute :

$$F_{L/A} = G \frac{m_A m_L}{(d_{L-A})^2}$$

$$F_{L/A} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{140 \times 7,35 \times 10^{22}}{(3,84 \times 10^7)^2}$$

$$F_{L/A} = 0,465 \text{ N}$$

b. Force exercée par la Terre sur l'astronaute :

$$F_{T/A} = G \frac{m_A m_T}{(d_{T-A})^2}$$

$$F_{T/A} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{140 \times 5,98 \times 10^{24}}{(3,47 \times 10^8)^2}$$

$$F_{T/A} = 0,464 \text{ N}$$

- c. Vecteur force $\vec{F}_{L/A}$:
- sens : de A vers L ;
 - direction : la droite reliant A et L ;
 - point d'application : A ;
 - valeur : $F_{L/A}$ calculée précédemment.

- Vecteur force $\vec{F}_{T/A}$:
- sens : de A vers T ;
 - direction : la droite reliant A et T ;
 - point d'application : A ;
 - valeur : $F_{T/A}$ calculée précédemment.

La représentation des deux vecteurs force est proposée en fin de sujet. Il est important que les deux vecteurs aient même point d'origine A, sens opposés, même direction et même longueur, conformément aux calculs précédents.

d. De retour sur Terre, la valeur du poids est :

$$P = m_A g = 140 \times 9,81 = 1,37 \times 10^3 \text{ N}$$

- e. Les deux premières forces sont égales : l'astronaute est en un point particulier de l'espace entre la Terre et la Lune, où leurs forces gravitationnelles s'égalent (et donc s'annulent l'une l'autre, étant opposées). Des projets futuristes imaginent placer une colonie humaine en ce point particulier (appelé point de Lagrange).

En revanche une fois sur Terre, le poids est bien plus important (l'astronaute est plus proche de la Terre...).

7.9 N°19 p. 300 : Intensités de pesanteur

7.10 ER n°10 p. 299 : Brochure d'une voiture

7.11 Record de lancer de poids

7.12 Mouvement de la Lune

- a. La Lune est uniquement soumise à l'attraction de la Terre, à ce titre elle est en chute libre.
- b. La Lune a une vitesse suffisante pour être *satellisée* autour de la Terre.

Schéma pour l'exercice 7.8

