Cours · Physique | Tronc Commun Scientifique

La gravitation universelle

التجاذب الكوني

Cours de physique Tronc Commun : ordres de grandeur, loi de gravitation universelle de Newton, poids et intensité de la pesanteur, 2 exercices corrigés et lexique français-arabe.

Rédigé et vérifié par Mohammed TAOUFIK, professeur et fondateur de MORAJA3A

Télécharger le cours complet (PDF)

Objectifs de la séance

- Écrire un nombre en notation scientifique et donner son ordre de grandeur.
- Énoncer et appliquer la loi de gravitation universelle de Newton.
- Représenter les forces d'interaction gravitationnelle entre deux corps.
- Calculer le poids d'un corps et l'intensité de la pesanteur au sol et en altitude.

بالعربية 💡 في هذا الدرس سنفهم لماذا تسقط الأجسام نحو الأرض، ولماذا يدور القمر حول الأرض: إنها قوة التجاذب الكوني. كل جسمين لهما كتلة يتجاذبان، وهذه القوة هي التي تفسر وزن الأجسام.

00 Données utiles pour tout le cours

معطيات مفيدة

Grandeur	Valeur	بالعربية
Constante de gravitation universelle	$G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$	ثابتة التجاذب الكوني
Masse de la Terre	$M_T = 5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}$	كتلة الأرض
Rayon de la Terre	$R_T = 6\,370\ \text{km} = 6{,}37 \times 10^{6}\ \text{m}$	شعاع الأرض
Masse de la Lune	$M_L = 7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}$	كتلة القمر
Rayon de la Lune	$R_L = 1\,740\ \text{km}$	شعاع القمر
Distance Terre–Lune (centre à centre)	$d = 3{,}84 \times 10^{5}\ \text{km}$	المسافة أرض-قمر

01 Échelle des distances et ordres de grandeur

سلم المسافات ورتبة القدر

DÉFINITION — NOTATION SCIENTIFIQUE

Tout nombre positif peut s'écrire sous la forme :

$$a \times 10^{n} \quad \text{avec} \quad 1 \leq a < 10 \quad \text{et} \quad n \text{ entier relatif}$$

Exemples : $6\,370\,000\ \text{m} = 6{,}37 \times 10^{6}\ \text{m}$; $0{,}000\,52\ \text{m} = 5{,}2 \times 10^{-4}\ \text{m}$.

DÉFINITION — ORDRE DE GRANDEUR

L'ordre de grandeur d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre. Pour $a \times 10^{n}$:

$$\text{si } a < 5 \Rightarrow 10^{n} \quad ; \quad \text{si } a \geq 5 \Rightarrow 10^{n+1}$$

بالعربية 💡 الكتابة العلمية: نكتب العدد على شكل $a \times 10^{n}$ حيث $1 \leq a < 10$. رتبة القدر هي قوة العدد 10 الأقرب إلى هذا العدد: إذا كان $a < 5$ نأخذ 10^{n}، وإذا كان $a \geq 5$ نأخذ 10^{n+1}.

L'échelle des distances dans l'Univers — سلم المسافات

Objet / distance	Valeur	Ordre de grandeur
Rayon d'un atome d'hydrogène	$5{,}3 \times 10^{-11}\ \text{m}$	$10^{-10}\ \text{m}$
Taille d'un être humain	$1{,}7\ \text{m}$	$10^{0}\ \text{m} = 1\ \text{m}$
Rayon de la Terre	$6{,}37 \times 10^{6}\ \text{m}$	$10^{7}\ \text{m}$
Distance Terre-Lune	$3{,}84 \times 10^{8}\ \text{m}$	$10^{8}\ \text{m}$
Distance Terre-Soleil	$1{,}5 \times 10^{11}\ \text{m}$	$10^{11}\ \text{m}$
Étoile la plus proche (Proxima du Centaure)	$4{,}0 \times 10^{16}\ \text{m}$	$10^{16}\ \text{m}$

UNITÉS ADAPTÉES AUX GRANDES DISTANCES

Unité astronomique (UA) : distance moyenne Terre-Soleil. $1\ \text{UA} \approx 1{,}5 \times 10^{11}\ \text{m}$.

$$1\ \text{a.l.} = c \times \Delta t = 3 \times 10^{8}\ \text{m/s} \times (365{,}25 \times 24 \times 3600\ \text{s}) \approx 9{,}46 \times 10^{15}\ \text{m}$$

Année-lumière (a.l.) : distance parcourue par la lumière dans le vide en une année.

PIÈGE

L'année-lumière est une unité de distance, pas de durée.

بالعربية 💡 السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال سنة واحدة، وهي وحدة لقياس المسافة وليست وحدة للزمن. الوحدة الفلكية هي متوسط المسافة بين الأرض والشمس.

02 La loi de gravitation universelle

قانون التجاذب الكوني لنيوتن

ÉNONCÉ — NEWTON (1687)

Deux corps ponctuels A et B, de masses m_A et m_B, séparés par une distance d, exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction. Ces forces ont la même droite d'action (la droite AB), des sens opposés et la même intensité :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = G\,\frac{m_A\,m_B}{d^2}$$

Symbole	Signification	Unité (S.I.)
F	intensité de la force	newton (N)
m_A, m_B	masses des deux corps	kilogramme (kg)
d	distance entre les deux corps (centre à centre)	mètre (m)
G	constante de gravitation universelle : $6{,}67 \times 10^{-11}$	$\mathrm{N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}}$

Caractéristiques de la force $\vec{F}_{A/B}$

Caractéristique	Pour $\vec{F}_{A/B}$	بالعربية
Point d'application	le centre de B	نقطة التأثير
Droite d'action	la droite (AB)	خط التأثير
Sens	de B vers A (attraction)	المنحى
Intensité	$F = G\,\frac{m_A\,m_B}{d^2}$	الشدة

On a toujours : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$ (principe des actions réciproques)

بالعربية 💡 كل جسمين لهما كتلة يتجاذبان. القوتان لهما نفس خط التأثير (AB) ونفس الشدة، ومنحياهما متعاكسان. شدة القوة تتناسب طرداً مع جداء الكتلتين، وعكسياً مع مربع المسافة؛ إذا ضاعفنا المسافة، تُقسم القوة على 4.

CORPS À RÉPARTITION SPHÉRIQUE DE MASSE

Les astres (Terre, Lune, Soleil, ...) ont une masse répartie de façon sphérique. Ils se comportent comme si toute leur masse était concentrée en leur centre. La distance d est alors la distance entre les centres.

EXEMPLE — POURQUOI ON NE SENT PAS L'ATTRACTION ENTRE DEUX PERSONNES ?

Deux élèves de masses $70\ \mathrm{kg}$ et $60\ \mathrm{kg}$ sont à $1\ \mathrm{m}$ l'un de l'autre :

$$F = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 70 \times 60}{1^2} \approx 2{,}8 \times 10^{-7}\ \mathrm{N}$$

C'est une force minuscule ! La gravitation devient importante seulement quand au moins une des masses est énorme (un astre).

⚠ PIÈGES CLASSIQUES

- Oublier de mettre la distance au carré.
- Laisser la distance en km : il faut la convertir en mètres ($1\ \text{km} = 10^3\ \text{m}$).
- Prendre la distance entre les surfaces au lieu de la distance entre les centres.

03 Le poids et l'intensité de la pesanteur

الوزن وشدة الثقالة

LE POIDS D'UN CORPS

Le poids $\vec{P}$ d'un corps est la force d'attraction exercée par la Terre sur ce corps. En négligeant la rotation de la Terre, le poids est égal à la force de gravitation exercée par la Terre :

$$P = m\,g \qquad (P \text{ en N},\ m \text{ en kg},\ g \text{ en N/kg})$$

g est l'intensité de la pesanteur au lieu considéré.

- Point d'application : le centre de gravité G du corps.
- Direction : la verticale du lieu (vers le centre de la Terre).
- Sens : vers le bas.
- Intensité : $P = m\,g$.

بالعربية 💡 الوزن هو قوة جذب الأرض للجسم. نقطة تأثيره مركز الثقل، خط تأثيره الخط الرأسي، منحاه نحو الأسفل، وشدته $P = m\,g$.

À RETENIR — EXPRESSION DE G AU SOL ET EN ALTITUDE

À l'altitude h, la distance au centre de la Terre est $d = R_T + h$. On écrit $P = F$:

$$m\,g_h = \frac{G\,M_T\,m}{(R_T + h)^2} \quad \Rightarrow \quad g_h = \frac{G\,M_T}{(R_T + h)^2}$$

$$g_0 = \frac{G\,M_T}{R_T^2} \approx 9{,}8\ \text{N/kg}$$

$$g_h = g_0\,\frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

Au sol ($h = 0$) :

Relation utile entre les deux :

بالعربية 💡 شدة الثقالة g تنقص كلما ارتفعنا عن سطح الأرض، لأن المسافة إلى مركز الأرض تزداد. الكتلة m لا تتغير أبداً، لكن الوزن يتغير حسب المكان.

Lieu	g (N/kg)
Surface de la Terre	$\approx 9{,}8$
Surface de la Lune	$\approx 1{,}6$
Surface de Mars	$\approx 3{,}7$
Surface de Jupiter	$\approx 24{,}8$

⚠ **MASSE ≠ POIDS**

- La masse (kg) est la même partout. Le poids (N) dépend du lieu. On ne dit pas « je pèse 60 kg » en physique : on dit « ma masse est 60 kg » !
- Remarque : $1\ \text{N/kg} = 1\ \text{m/s}^2$. Les deux unités de g sont équivalentes.

04 Exercices corrigés

تمارين محلولة – حاول أولاً قبل قراءة الحل!

Utiliser les données du cours : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; $M_T = 5{,}98 \times 10^{24}\ \text{kg}$; $R_T = 6\,370\ \text{km}$; $M_L = 7{,}35 \times 10^{22}\ \text{kg}$; $R_L = 1\,740\ \text{km}$; $d_{TL} = 3{,}84 \times 10^{5}\ \text{km}$.

Exercice 1 — Interaction Terre-Lune

1. Écrire la distance Terre-Lune d en mètres, en notation scientifique, et donner son ordre de grandeur.
2. Calculer l'intensité $F_{T/L}$ de la force exercée par la Terre sur la Lune.
3. Comparer $F_{T/L}$ et $F_{L/T}$, puis donner les caractéristiques de $\vec{F}_{T/L}$.
4. Représenter les deux forces à l'échelle $1\ \text{cm} \leftrightarrow 1 \times 10^{20}\ \text{N}$.

---

1) $d = 3{,}84 \times 10^{5}\ \text{km} = 3{,}84 \times 10^{5} \times 10^{3}\ \text{m} = 3{,}84 \times 10^{8}\ \text{m}$. Comme $3{,}84 < 5$, l'ordre de grandeur est $10^{8}\ \text{m}$.

2) D'après la loi de gravitation universelle :

$$F_{T/L} = \frac{G\,M_T\,M_L}{d^2} = \frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}98 \times 10^{24} \times 7{,}35 \times 10^{22}}{(3{,}84 \times 10^{8})^2} = \frac{2{,}93 \times 10^{37}}{1{,}47 \times 10^{17}} \approx 1{,}99 \times 10^{20}\ \text{N}.$$

3) D'après le principe des actions réciproques : $F_{L/T} = F_{T/L} \approx 1{,}99 \times 10^{20}\ \text{N}$ (même intensité, sens opposés). Caractéristiques de $\vec{F}_{T/L}$: point d'application le centre de la Lune ; droite d'action la droite Terre–Lune ; sens de la Lune vers la Terre ; intensité $1{,}99 \times 10^{20}\ \text{N}$.

4) Longueur de chaque flèche : $\dfrac{1{,}99 \times 10^{20}}{1 \times 10^{20}} \approx 2\ \text{cm}$. Les deux flèches, de même longueur et de sens opposés, sont portées par la droite Terre–Lune et dirigées l'une vers l'autre (distances non à l'échelle).

Exercice 2 — Un astronaute sur Terre, dans l'ISS et sur la Lune

Un astronaute a une masse $m = 75\ \text{kg}$.

1. Montrer que l'intensité de la pesanteur au sol est $g_0 \approx 9{,}83\ \text{N/kg}$. En déduire le poids P_0 de l'astronaute sur Terre.
2. La Station spatiale internationale (ISS) tourne à l'altitude $h = 400\ \text{km}$. Calculer g_h à cette altitude, puis le poids de l'astronaute.
3. Calculer l'intensité de la pesanteur g_L à la surface de la Lune, puis le poids de l'astronaute sur la Lune. Quelle est sa masse sur la Lune ?
4. À quelle altitude h' l'intensité de la pesanteur est-elle égale à $\dfrac{g_0}{4}$?

1) $g_0 = \dfrac{G\,M_T}{R_T^2} = \dfrac{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}98\times10^{24}}{(6{,}37\times10^{6})^2} = \dfrac{3{,}99\times10^{14}}{4{,}06\times10^{13}} \approx 9{,}83\ \text{N/kg}$. $P_0 = m\,g_0 = 75\times9{,}83 \approx 737\ \text{N}$.

2) $R_T + h = 6\,370 + 400 = 6\,770\ \text{km} = 6{,}77\times10^{6}\ \text{m}$.
$g_h = g_0\,\dfrac{R_T^2}{(R_T+h)^2} = 9{,}83\times\left(\dfrac{6{,}37}{6{,}77}\right)^2 = 9{,}83\times0{,}885 \approx 8{,}70\ \text{N/kg}$. $P_h = 75\times8{,}70 \approx 653\ \text{N}$. L'astronaute garde 89 % de son poids : dans l'ISS, la pesanteur ne disparaît pas !

3) $g_L = \dfrac{G\,M_L}{R_L^2} = \dfrac{6{,}67\times10^{-11}\times7{,}35\times10^{22}}{(1{,}74\times10^{6})^2} = \dfrac{4{,}90\times10^{12}}{3{,}03\times10^{12}} \approx 1{,}62\ \text{N/kg}$. $P_L = 75\times1{,}62 \approx 121\ \text{N}$, soit environ 6 fois moins que sur Terre. Sa masse ne change pas : $m = 75\ \text{kg}$ sur la Lune aussi.

4) On cherche h' tel que $g_{h'} = \dfrac{g_0}{4} : g_0\,\dfrac{R_T^2}{(R_T+h')^2} = \dfrac{g_0}{4} \Leftrightarrow (R_T+h')^2 = 4R_T^2 \Leftrightarrow R_T + h' = 2R_T$. Donc $h' = R_T = 6\,370\ \text{km}$. Il faut s'éloigner d'un rayon terrestre pour diviser g par 4.

بالعربية 💡 ماذا نستنتج؟ الكتلة ثابتة ($75\ \text{kg}$) في كل مكان، أما الوزن فيتغير: $737\ \text{N}$ على الأرض، و $653\ \text{N}$ في المحطة الفضائية، و $121\ \text{N}$ على سطح القمر. كلما ابتعدنا عن مركز الأرض تتناقص شدة الثقالة.

05 Fiche résumé et lexique français-arabe

ملخص الدرس ومعجم المصطلحات

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

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

$$P = m\,g$$

$$g_0 = \frac{G\,M_T}{R_T^2}$$

$$g_h = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

$$g_h = g_0\,\frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}$$

$$1\ \text{a.l.} \approx 9{,}46\times10^{15}\ \text{m} \qquad ; \qquad 1\ \text{UA} \approx 1{,}5\times10^{11}\ \text{m}$$

⚠ TOP 5 DES ERREURS

- Garder les distances en km au lieu de m.
- Oublier le carré de la distance.
- Prendre h au lieu de $R_T + h$.
- Confondre masse (kg) et poids (N).

- Dessiner les deux forces de longueurs différentes.

Lexique français — arabe · معجم المصطلحات

Français	العربية
Gravitation universelle	التجاذب الكوني
Constante de gravitation	ثابتة التجاذب الكوني
Force d'attraction	قوة التجاذب
Interaction	تأثير بيني
Point d'application	نقطة التأثير
Droite d'action	خط التأثير
Sens	المنحى
Intensité	الشدة
Poids	الوزن
Masse	الكتلة
Intensité de la pesanteur	شدة الثقالة
Centre de gravité	مركز الثقل
Altitude	الارتفاع
Répartition sphérique de masse	توزيع كروي للكتلة
Notation scientifique	الكتابة العلمية
Ordre de grandeur	رتبة القدر
Année-lumière	السنة الضوئية
Unité astronomique	الوحدة الفلكية

Rédigé et vérifié par Mohammed TAOUFIK, professeur et fondateur de MORAJA3A