

La gravitation universelle

I- Loi de gravitation universelle :

1-L'attraction universelle :

-La gravitation universelle est l'interaction responsable de la cohésion du système solaire.

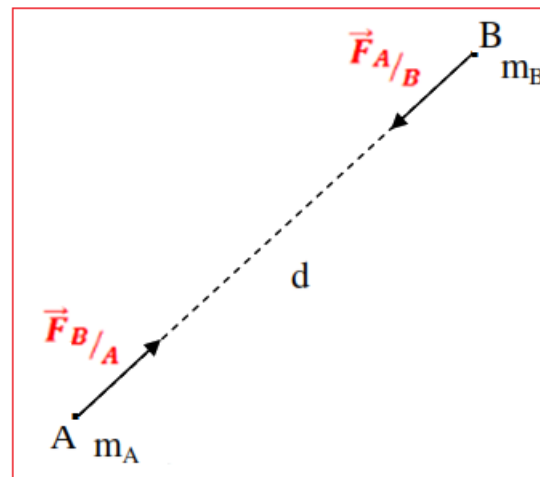
Cette attraction universelle exercée par les corps à cause de leurs masses, elle dépend de la masse des corps et de la distance qui les sépare.

2- Loi d'attraction universelle :

2-1-Cas des corps ponctuels :

Deux corps ponctuels A et B, de masses respectivement m_A et m_B , séparés par une distance $d=AB$, exercent l'un sur l'autre forces d'interactions gravitationnelles attractives $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- même droite d'action (AB)
- des sens opposés (vers le corps qui la force)
- même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A}$



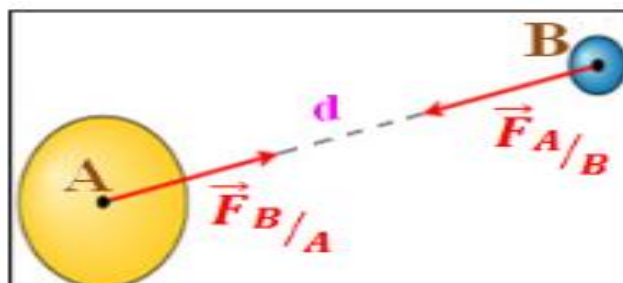
des

exerce

$$F = F_{A/B} = F_{B/A} = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2} \Rightarrow \begin{cases} G: \text{est appelé la constante de gravitation universelle :} \\ G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-2} \\ F : \text{Valeur de la force en Newton en N} \\ m_A \text{ et } m_B: \text{Valeur des masses en kg} \\ d: \text{Distance séparant les deux masses ponctuelles en m} \end{cases}$$

2-2- cas des corps volumineux :

Cette loi est aussi valable pour des corps volumineux présentant une répartition sphérique de masse (même répartition de masse autour du centre l'objet). C'est le cas des planètes et étoiles, dont la distance d est celle qui sépare leurs centres.



de
des

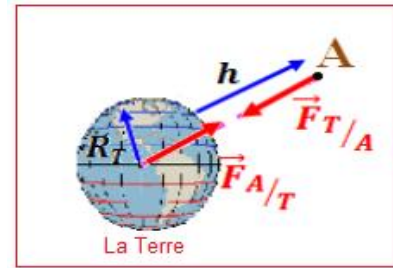
Remarques :

- Pour un corps ponctuel **A** de masse m_A à l'altitude h par rapport à la surface de Terre, on a :

$$F_{T/A} = F_{A/T} = G \cdot \frac{M_T \cdot m_A}{(R_T + h)^2}$$

Avec $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ la masse de la Terre et $R_T = 6380 \text{ km}$ son rayon.

- L'expression de l'intensité de la force d'attraction gravitationnelle reste valable pour **deux corps quelconques**, tel que d est la distance séparant leurs **centres de gravité** respectifs.



Application :

1-Déterminer les caractéristiques de la force d'attraction universelle qui s'exerce entre deux corps ponctuels **A** et **B**, de masses respectivement

$m_A = 45 \text{ g}$ et $m_B = 100 \text{ g}$, séparés par une distance $AB = d = 50 \text{ cm}$.

2-Représenter les deux forces à une échelle adaptée.

Solution

1-D'après la loi de Newton, les deux forces d'interactions gravitationnelles attractives $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ ayant :

- ❖ même droite d'action (**AB**)
- ❖ des sens opposés (vers le corps qui exerce la force)
- ❖ même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$

$$\text{A.N : } F = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{45 \cdot 10^{-3} \times 100 \cdot 10^{-3}}{(50 \cdot 10^{-2})^2} = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

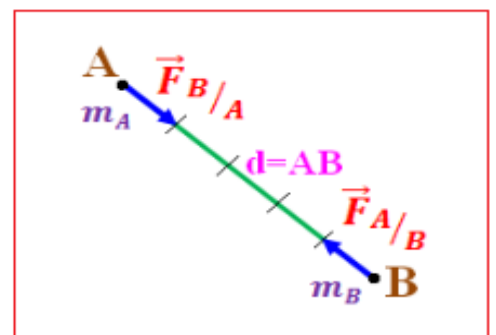
2-On choisie l'échelle suivante :

$$1 \text{ cm} \rightarrow 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

Pour la représentation des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$

$$1 \text{ cm} \rightarrow 10 \text{ cm}$$

Pour la représentation de la distance **AB**.



III- Poids d'un corps :

1-Définition : Le **poids** d'un corps est la force d'attraction universelle qu'il subit lorsqu'il est situé au voisinage de la Terre, ou à sa surface. Le poids est la force de gravitation que la Terre exerce sur lui.

2-Caractéristique du poids :

Les caractéristiques du poids d'un corps sont :

- ✓ **Point d'application** : le centre de gravité du corps
- ✓ **Droite d'action**: la verticale du lieu

✓ **Sens** : de haut vers le bas (dirigé vers le centre de la terre)

✓ **Intensité** : $P = m \cdot g$

g s'appelle intensité du champ pesanteur, s'exprime en $(N \cdot kg^{-1})$.

3- Expression de l'intensité de pesanteur :

3-1-A l'altitude h :

Le poids P d'un corps est la force F d'attraction universelle appliquée par la Terre sur ce corps :

$$P = F \Rightarrow \begin{cases} P = mg \\ F = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \end{cases} \Rightarrow m \cdot g = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \Rightarrow g = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$$

R_T : le rayon de la Terre en m

h : la distance entre la surface de la Terre et le corps en m

g : l'intensité de la pesanteur à l'altitude h en $N \cdot kg^{-1}$

M_T : la masse de la Terre en kg

3-2-A la surface de la Terre ($h=0$) :

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

g_0 : L'intensité de la pesanteur à la surface de la Terre.

3-3-Expression de l'intensité de pesanteur :

$$\begin{cases} g = G \cdot \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \\ g_0 = G \cdot \frac{M_T}{R_T^2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} G \cdot M_T = g \cdot (R_T + h)^2 \\ G \cdot M_T = g_0 \cdot R_T^2 \end{cases} \Rightarrow g \cdot (R_T + h)^2 = g_0 \cdot R_T^2$$
$$g = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

III- Echelle des longueurs

1-Quelques préfixe à connaitre :

	<i>Multiples</i>						<i>Sous – multiples</i>				
Préfixe	<i>téra</i>	<i>giga</i>	<i>méga</i>	<i>kilo</i>	<i>hecto</i>	<i>déca</i>	<i>milli</i>	<i>micro</i>	<i>nano</i>	<i>pico</i>	<i>femto</i>
Symbole	<i>T</i>	<i>G</i>	<i>M</i>	<i>k</i>	<i>h</i>	<i>da</i>	<i>m</i>	μ	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>F</i>
Puissance de dix	10^{12}	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

2- Ecriture scientifique :

L'écriture scientifique d'un nombre X s'écrit sous la forme du produit: $a \cdot 10^n$

Tel que a est un nombre décimal : $1 \leq a < 10$ et n est un nombre positif ou négatif.

$$X = a \cdot 10^n \text{ m Avec: } \begin{cases} 1 \leq a < 10 \\ n \in \mathbb{N}^* \end{cases}$$

Exemples :

Nombres	245	78456	0,0312	0,000796
Ecriture scientifique	$2,45 \cdot 10^2$	$7,8456 \cdot 10^4$	$3,12 \cdot 10^{-2}$	$7,96 \cdot 10^{-4}$

3- Ordre de grandeur :

L'ordre de grandeur d'un nombre est la puissance de 10 la plus proche de ce nombre dans l'écriture scientifique $X = a \cdot 10^n$:

- Si $a < 5$, on considère $a \approx 1$, alors, l'ordre de grandeur de ce nombre est 10^n .

- Si $a \geq 5$, on considère $a \approx 10$, alors, l'ordre de grandeur de ce nombre est 10^{n+1} .

Exemples :

Nombres	245	78456	0,0312	0,00796
Ordre de grandeur	10^2	10^5	10^{-2}	10^{-2}

Remarque : On utilise l'ordre de grandeur pour n'importe quelle grandeur physique (temps, masse, force...)

On assimile le chiffre devant la puissance de 10 soit à 1 si le chiffre a est entre 1 et 5 ou à 10 si a est compris entre 5 et 10.

Exemple 1 :

$$7,7 \mu\text{m} = 7,7 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (7,7 > 5 \text{ donc on le remplace par } 10) \approx 10 \times 10^{-6} = 10^{-5} \text{ m}$$

Exemple 2 :

$$4,22 \text{ Gm} = 4,22 \cdot 10^9 \text{ m} \quad (4,22 < 5 \text{ donc on le remplace par } 1) \approx 1 \times 10^9 = 10^9 \text{ m}$$

Les multiples et les sous multiples de mètre :

4- Une échelle de longueur :

Distance		Ecriture scientifique	Ordre de grandeur
Terre-Lune	380 000 km	$3,8 \cdot 10^8 \text{ m}$	10^8 m
Dimension d'une molécule	2 nm	$2 \cdot 10^{-9} \text{ m}$	10^{-9} m
Rayon de la Terre	6400 km	$6,4 \cdot 10^6 \text{ m}$	10^7 m
Taille de l'homme	170 cm	1,70 m	10^0 m
Distance Terre -soleil	$150 \cdot 10^6 \text{ km}$	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$	10^{11} m
Dimension d'une cellule humaine	10 μm	10^{-5} m	10^{-5} m

EXERCICE 1 :

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 $R = 9378 \text{ km}$. 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 : $m_M = 6,42 \times 10^{23} \text{ kg}$
- Masse du satellite Photos : $m_P = 9,6 \times 10^{15} \text{ kg}$
- Constante de gravitation Universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ S.I}$

EXERCICE 2:

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

EXERCICE 3:

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 : $g = 9,8 \text{ N / kg}$.