

La loi de gravitation universelle

Prof.ahmed boulouiha

4 – L'échelle des longueurs de l'univers:

Les **microscopes** nous permettent d'explorer **le cœur de la matière** et donc de mesurer des grandeurs **extrêmement petite**. Au contraire, les **télescopes** nous permettent d'explorer **les abords de l'univers** et donc de mesurer des longueurs **très grandes**. Cherchons un moyen aisément de comparer ces différentes distances.

4-1- Unités des longueurs :

Dans le (S.I), l'**unité de longueur** est **le mètre** ; symbole **m**.

On exprime souvent les longueurs avec des multiples ou des sous-multiples du mètre.

أجزاء المتر les sous-multiples du mètre		
Nom	Valeur	Symbol
Millimètre	$10^{-3}m$	mm
Micromètre	$10^{-6}m$	μm
Nanomètre	$10^{-9}m$	nm
Picomètre	$10^{-12}m$	pm
Femtomètre	$10^{-15}m$	fm

مضاعفات المتر les multiples du mètre		
Nom	Valeur	Symbol
Kilomètre	10^3m	Km
Mégamètre	10^6m	Mm
Gigamètre	10^9m	Gm
Téramètre	$10^{12}m$	Tm

4-2- Unités utilisées en Astronomie :

- ⊕ **Unité Astronomique (U.A)** est la distance moyenne entre le centre de la Terre et le centre du Soleil tel que $1 \text{ U.A} = 150.10^6 \text{ km}$.
- ⊕ **Année Lumière (A.L)** est la distance parcourue par la lumière au cours d'une année avec la vitesse $C = 3.10^8 \text{ m/s}$ dans le vide tel que $1 \text{ A.L} \approx 9,5.10^{15} \text{ m}$.

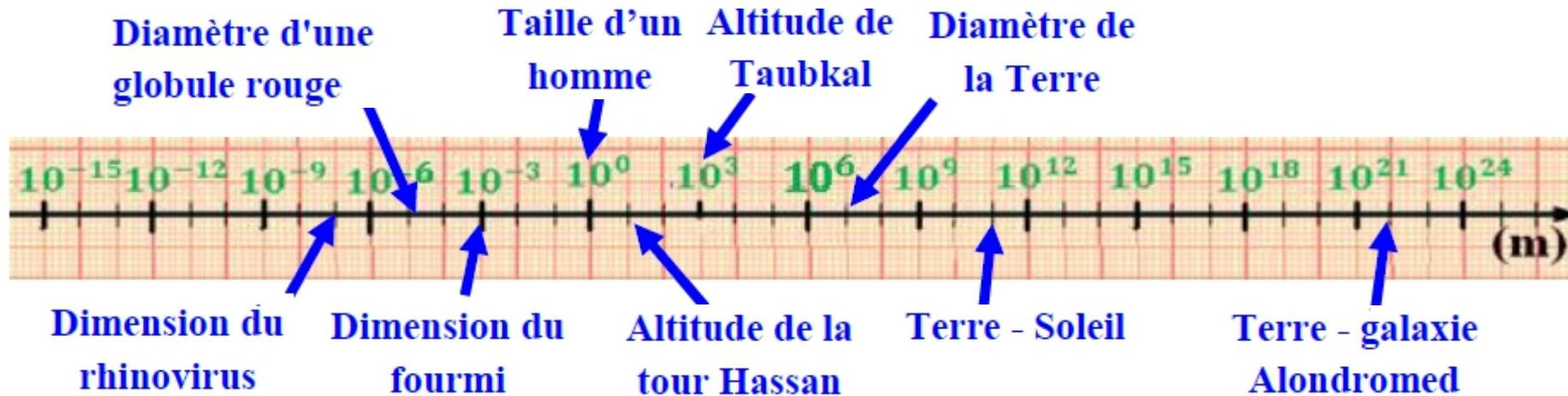
4-3- Axe de l'échelle des longueurs :

Pour explorer et décrire l'Univers, les physiciens construisent une échelle des longueurs de l'infiniment petit (atome) vers l'infiniment grand (galaxie). Cet axe est graduée en puissance de 10 .

a- Completer le tableau ci-dessous .

distance	valeur	Ecriture Scientifique $a \cdot 10^n$	Ordre de Grandeur	le nombre des Chiffres Significatifs
Taille d'un homme	1,70 m			
Dimension du fourmi	4 mm			
Altitude de la tour Hassan	44,3 m			
Altitude de Taubkal	4,16 km			
Dimension du rhinovirus	100 nm			
Diamètre d'une globule rouge	7 μm			
Diamètre de la Terre	12800 km			
La distance Terre - galaxie Alondromed	$23 \cdot 10^{18}$ km			
la distance moyenne Terre - Soleil	$150 \cdot 10^9$ m			

b- Représenter ces distances sur l'axe de l'échelle des longueurs .

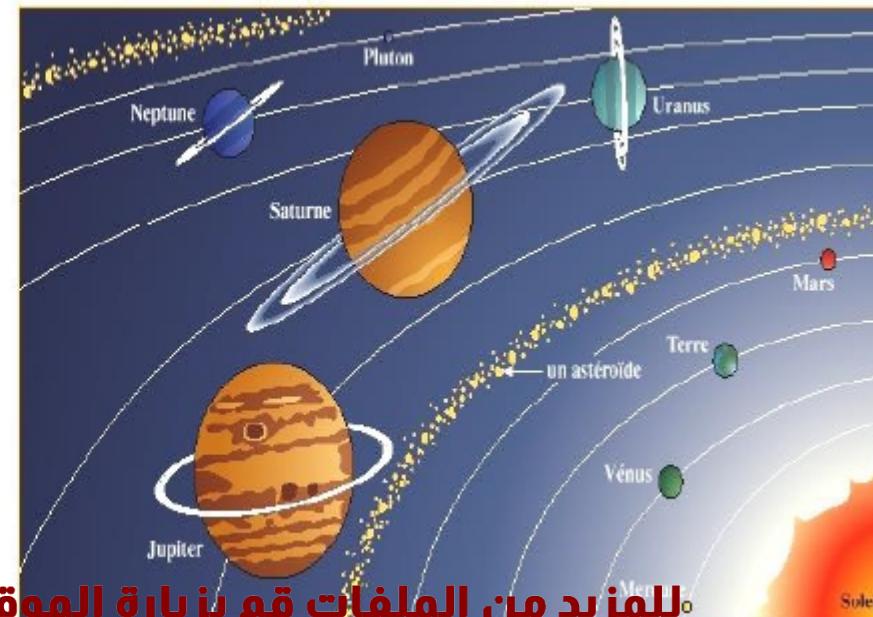


II – Loi de gravitation universelle (Newton 1687) :

1 – Mise en évidence de l'attraction universelle :

1-1- Activité :

Newton est assis sous un pommier, la nuit va tomber et la pleine Lune est déjà levée. Une pomme tombe, il se demande : Pourquoi la pomme tombe, alors que la Lune ne tombe pas ? Newton expliqua le chute des corps sur la Terre, le mouvement de la Lune autour de la Terre et le mouvement des planètes du système solaire autour du Soleil comme le résultat d'un même phénomène. C-à-d , par l'attraction universelle .



a- Comment expliquer la cohésion du système solaire ?

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

b- D'après Newton, quel est la cause de cette attraction universelle ?

Cette attraction universelle exercée par les corps **à cause de leurs masses**.
Alors, c'est une **force d'interaction mutuelle**.

c- Pourquoi la Terre tourne autour du Soleil ?

Par ce que **la masse du Soleil est supérieur à la masse de la Terre**.

1-2- Résumé :

La gravitation universelle est une des interactions **responsable de la cohésion de l'univers**. Elle est **prédominante** à l'échelle astronomique. C'est elle qui explique **la cohésion et la structure du système solaire**. Elle est **la cause** du **mouvement** des planètes et de leurs satellites.

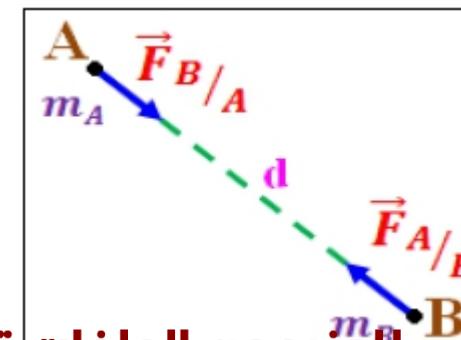
2 – Loi de gravitation universelle :

2-1- Énoncé :

A cause de leurs masses, les corps exercent, les uns sur les autres des forces attractives mutuelles.

2-2- Formule mathématique :

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 des **forces d'interactions gravitationnelles attractives $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$** ayant :



$F_{A/B}$: La force exercée par le corps A sur le corps B

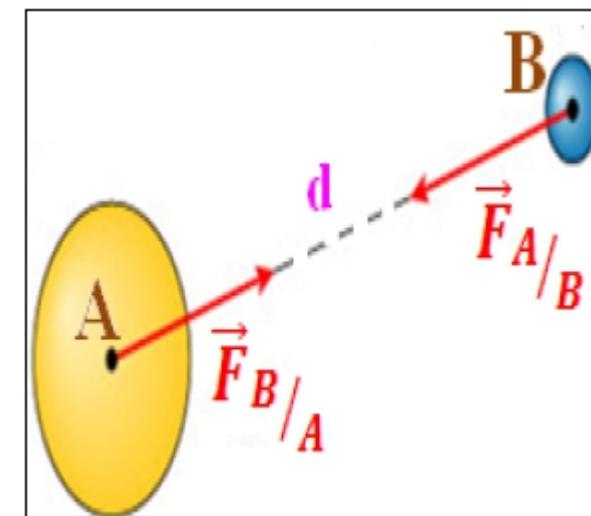
$F_{B/A}$: La force exercée par le corps B sur le corps A

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

G : Constante de gravitation universelle $G = 6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$

Remarques :

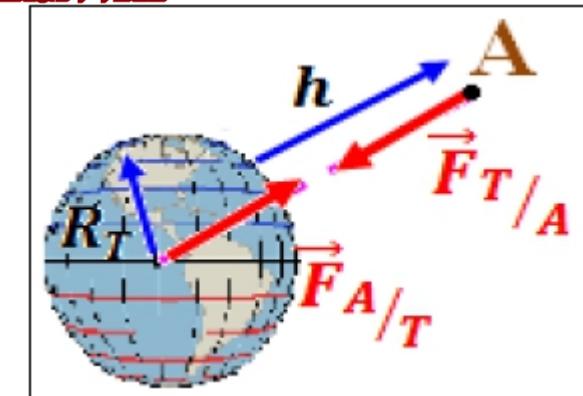
- ⊕ Les 2 forces d'interactions ont même droite d'action, des sens opposés et d'intensités égales : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$
- ⊕ Cette loi est aussi valable pour des corps volumineux présentant une répartition sphérique de masse (même répartition de masse autour du centre de l'objet). C'est le cas des planètes et des étoiles, dont la distance d est celle qui sépare leurs centres.



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

$$F_{T/A} = F_{A/T} = F = G \frac{M_T \times m_A}{(R_T + h)^2} \quad \text{Avec } M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

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

$AB = 50 \text{ cm}$.

2- Représenter les deux forces à une échelle adaptée.

Solution

III – Poids d'un corps :

1 – Définition :

Le poids \bar{P} d'un corps S de masse m est la force d'attraction universelle qu'il subit lorsqu'il est situé au voisinage de la Terre, appliquée par la Terre sur lui.

L'intensité du poids est : $P = G \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2}$

2 – Caractéristiques du poids :

Les caractéristiques du poids d'un corps S sont :

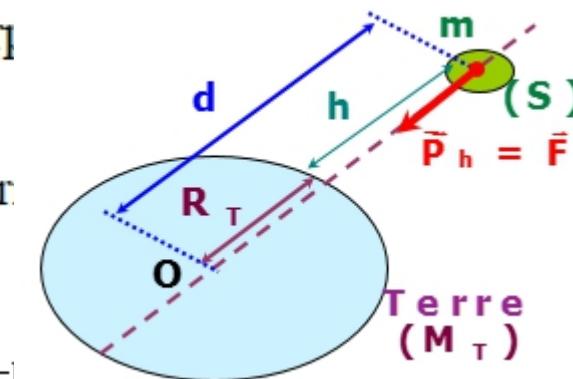
- ⊕ point d'application : le centre de gravité G du corps
- ⊕ direction : la verticale
- ⊕ sens : de haut en bas (dirigé vers le centre de la Terre)
- ⊕ intensité (ou valeur) : $P = m \cdot g$

Si nous négligeons la rotation de la Terre autour d'elle-

Nous écrivons : $P = F$ Alors $m \cdot g = G \frac{M_T \times m}{(R_T + h)^2}$

On obtient

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



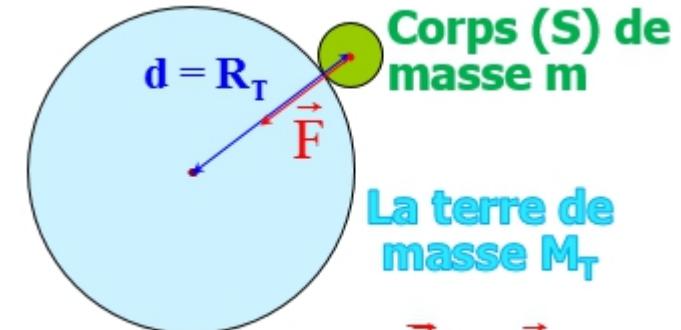
La relation (1) montre que l'intensité de la gravité varie avec la hauteur h pour la même latitude.

L'intensité de pesanteur à l'altitude h est : (1) $g_h = G \frac{M_T}{(R_T+h)^2}$

L'intensité de pesanteur à la surface de la terre $h = 0$ est : (2) $g_0 = G \frac{M_T}{R_T^2} \approx 9,73 \text{ N/Kg}$

Devisons la relation (2) par la relation (1), On obtient :

$$\frac{g_h}{g_0} = \frac{G \frac{M_T}{(R_T+h)^2}}{G \frac{M_T}{R_T^2}} \quad \Rightarrow \quad g_h = g_0 \cdot \frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}$$



Dans ce cas : $\vec{P}_0 = \vec{F}$

Puisque $R_T + h \geq R_T$ alors $g_0 \geq g_h$

Lieux	à l'équateur	à Casablanca	à Rabat	A Paris	Au pôle
$g_0 (\text{N.Kg}^{-1})$	9,789	9,80	9,796	9,810	9,832

3 – Généralisation de la notion du poids :

En général, on appellera **poids P** d'un corps **S** de masse **m** , **la force d'attraction universelle**, appliquée par **un astre quelconque** (Terre, Soleil, Lune,...) sur ce corps. L'**intensité** du poids est toujours : $P_A = m \cdot g_A$ avec g_A l'**intensité du champ pesanteur de cet astre**.

Par exemple : $g_{0L} = G \frac{M_T}{R_L^2}$ l'**intensité de pesanteur** à la surface **de la Lune**.

Application	A quelle altitude h on trouve la relation $g_h = \frac{g_0}{4}$?
Solution	

Echelle des longueurs Ecriture Scientifique	سلم المسافات كتابة علمية	nombre décimal nombre entier relatif	عدد عشري عدد صحيح نسبي	Chiffres Significatifs Ordre de Grandeur	أرقام معبرة رتبة قدر
La précision de mesure Unités des longueurs	دقة القياس وحدات المسافات	Les microscopes Les télescopes	المجهر المنظار	Unité Astronomique Année Lumière	الوحدة الفلكية سنة ضوئية
Loi de gravitation universelle Constante de gravitation répartition sphérique de masse Représenter à une échelle adaptée	قانون التجاذب الكوني ثابتة التجاذب توزيع كروي للكتلة مثل بسلم مناسب	phénomène cohésion prédominante ponctuel	ظاهرة تماسك مهيمنة نقطي	système solaire interaction mutuelle respectivement droite d'action	المجموعة الشمسية تأثير متبادل على التوالي خط التأثير
Poids d'un corps intensité du champ pesant Cractéristiques du poids Généralisation de la notion du poids	وزن جسم شدة مجال الثقالة مميزات الوزن تعميم مفهوم الوزن	direction sens intensité verticale	اتجاه منحي شدة رأسية	au voisinage point d'application centre de gravité droite d'action	بجوار نقطة التأثير مركز الثقل خط التأثير