

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 aisé 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.

| les sous-multiples du mètre أجزاء المتر | | |
|---|-------------|---------|
| Nom | Valeur | Symbole |
| 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 |

| les multiples du mètre مضاعفات المتر | | |
|--------------------------------------|------------|---------|
| Nom | Valeur | Symbole |
| 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 :

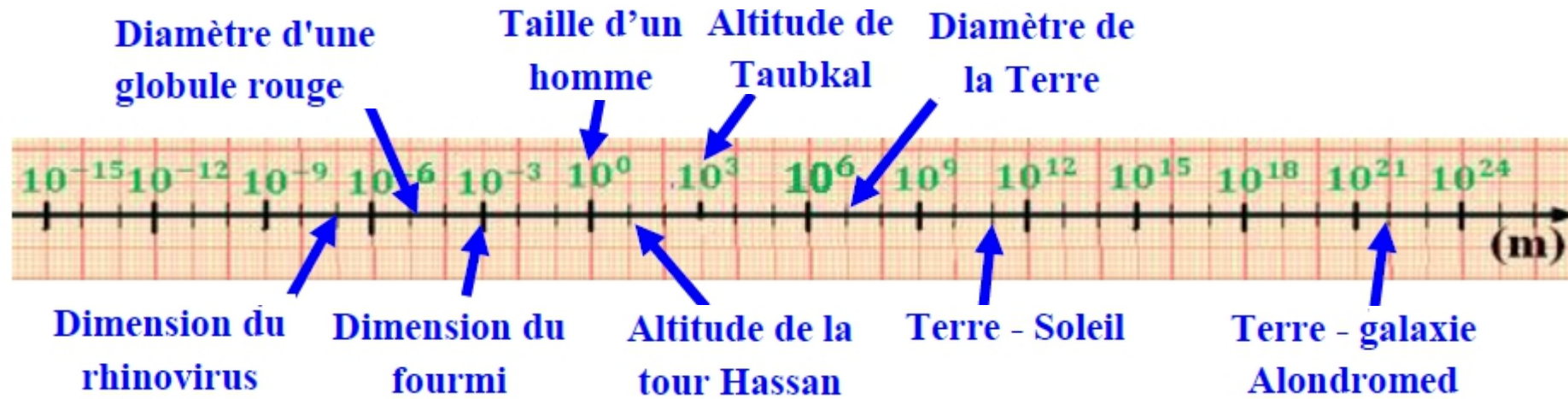
Pour **explorer** et **décrire l'Univers**, les physiciens construits une échelle des longueurs de **l'infiniment petit (atome)** vers **l'infiniment grand (galaxie)**. Cet axe est **graduée en puissance de 10** .

5 – Application :

a- Compléter le tableau ci-dessous .

| distance | valeur | Ecriture Scientifique $a. 10^n$ | 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 | 23.10^{18} km | | | |
| la distance moyenne Terre - Soleil | 150.10^9 m | | | |

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

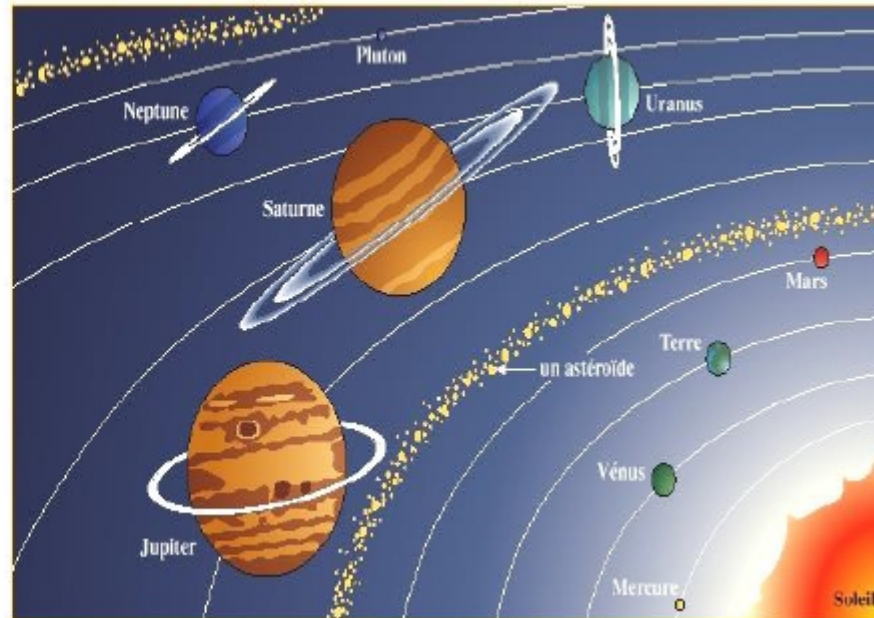


II – Loi de gravitation universelle (Newton 1687) :

1 – Mise en evidence 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.

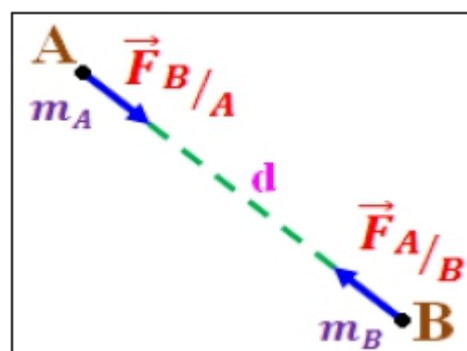
2 – Loi de gravitation universelle :

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 :



$\vec{F}_{A/B}$: La force exercée par le corps A sur le corps B

$\vec{F}_{B/A}$: 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)

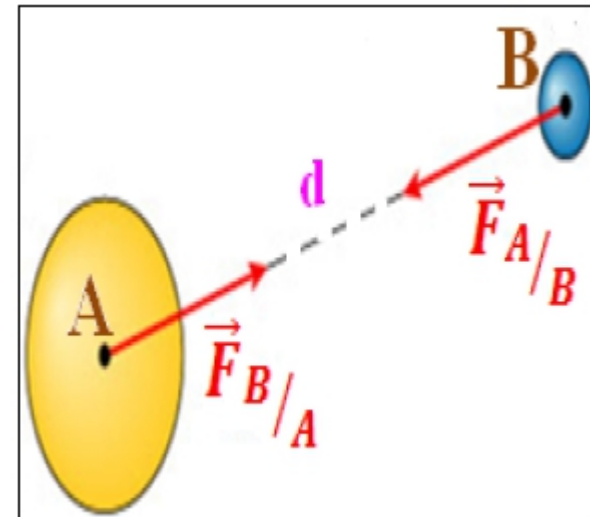
⊕ même intensité : $F_{A/B} = F_{B/A} = F = G \frac{m_A \times m_B}{d^2}$

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

Remarques :

⊕ Les 2 forces d'interactions ont **même droite d'action**,
des **sens opposés** et d'**intensités égales** : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

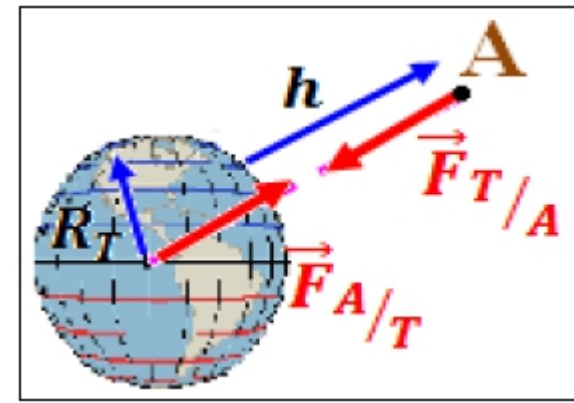
⊕ Cette loi est aussi **valable** pour **des corps volumineux**
présentant une **répartition sphérique de masse** (même
répartition de masse autour du centre de l'objet). C'est le
cas des **planètes** et des **étoiles**, dont la distance d est celle
qui **sépare leurs centres**.



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

$$F_{T/A} = F_{A/T} = F = G \frac{M_T \times m_A}{(R_T + h)^2} \quad \text{Avec } M_T = 6.10^{24} \text{ kg}$$

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 \vec{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 :

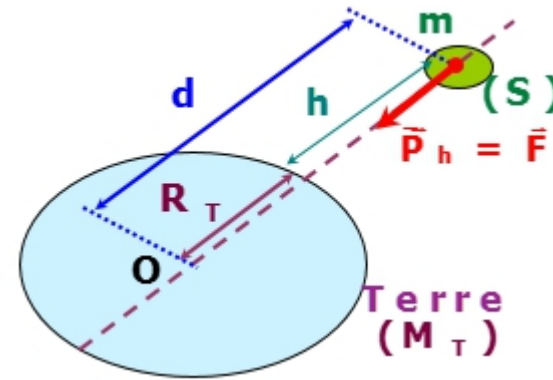
- ⊕ point d'application : le centre de gravité G du corps
- ⊕ direction : la verticale
- ⊕ sens : de haut en bas (dirigé vers le centre de la Terre)
- ⊕ intensité (ou valeur) : $P = m \cdot g$

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

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

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

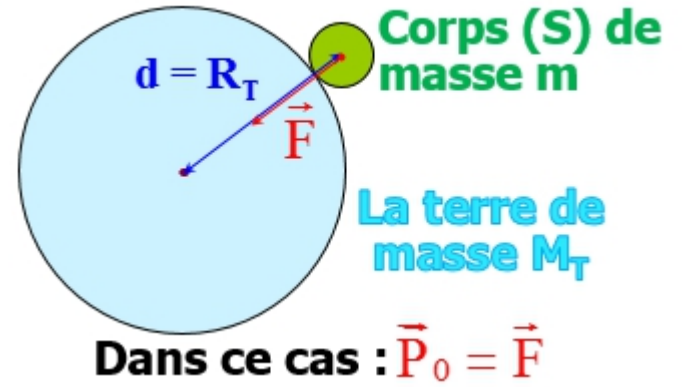
La relation (1) montre que l'intensité de la gravité varie avec la hauteur h pour la même latitude.



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 :



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

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 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|---------|---------|---------|
| $g_0 (\text{N} \cdot \text{kg}^{-1})$ | 9,789 | 9,80 | 9,796 | 9,810 | 9,832 |

3 – Généralisation de la notion du poids :

En general, 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 سلم المسافات
Ecriture Scientifique كتابة علمية

nombre décimal عدد عشري
nombre entier relatif عدد صحيح نسبي

Chiffres Significatifs أرقام معبرة
Ordre de Grandeur رتبة قدر

La précision de mesure دقة القياس
Unités des longueurs وحدات المسافات

Les microscopes المجهر
Les télescopes المنظار

Unité Astronomique الوحدة الفلكية
Année Lumière سنة ضوئية

Loi de gravitation universelle قانون التجاذب الكوني
Constante de gravitation ثابتة التجاذب
répartition sphérique de masse توزيع كروي للكتلة
Représenter à une échelle adaptée مثل بسلم مناسب

phénomène ظاهرة
cohésion تماسك
prédominante مهيمنة
ponctuel نقطي

systeme solaire المجموعة الشمسية
interaction mutuelle تأثير متبادل
respectivement على التوالي
droite d'action خط التأثير

Poids d'un corps وزن جسم
intensité du champ pesanteur شدة مجال الثقالة
Cractéristiques du poids مميزات الوزن
Généralisation de la notion du poids تعميم مفهوم الوزن

direction اتجاه
sens منحنى
intensité شدة
verticale رأسي

au voisinage بجوار
point d'application نقطة التأثير
centre de gravité مركز النقل
droite d'action خط التأثير