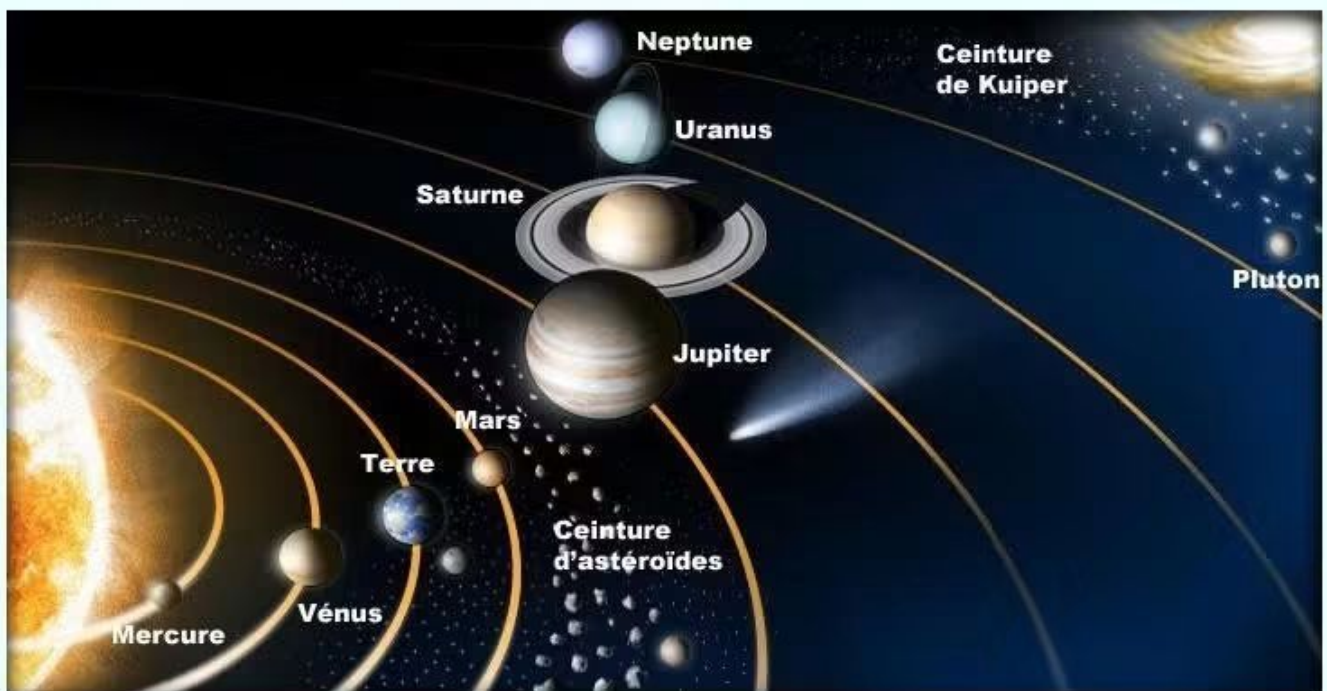


Interaction gravitationnelle

- Dans le voisinage de la Terre, règne le champ de pesanteur ; il se manifeste par une force attractive exercée par la Terre sur tout objet se trouvant dans ce champ, pouvant provoquer sa chute libre : poids $\vec{P}$
- Pour un corps de masse (m) ; $\vec{P} = m \cdot \vec{g} (M)$, où $\vec{g} (M)$ est le vecteur champ de pesanteur au point (M) où se trouve le centre de gravité du corps considéré : $\vec{g}$ est approximativement radial, dirigé vers la Terre, et son intensité diminue avec l'altitude.
- Soit $\|\vec{g}_0\|$ l'intensité du champ de pesanteur au niveau de la surface de la mer (altitude zéro) ; les mesures montrent qu'elle varie légèrement d'un endroit à l'autre : elle est minimale à l'équateur, et augmente légèrement en allant vers les pôles.

❖ Le système solaire :

- Il est constitué d'une étoile (le soleil), autour de laquelle gravitent des planètes selon des trajectoires presque circulaires (orbites). Ainsi que des millions d'astéroïdes, dont la plupart gravite autour du soleil au sein de la ceinture d'astéroïdes (ceinture principale) et la ceinture de Kuiper à la limite du système solaire. Il y en a aussi des comètes et des météoroïdes.



- Certaines planètes possèdent un ou plusieurs satellites naturels (des lunes), gravitant autour d'elles selon des trajectoires presque circulaires.



Jupiter et ses 16 lunes



La Terre et sa Lune ; la Terre possède un satellite naturel unique (la Lune), et plusieurs satellites artificiels placés sur orbite par l'Homme.

Physique TN
1



En étudiant les mouvements des astres du système solaire (et, selon la légende, en recevant un coup de pomme sur la tête) ;
Isaak Newton énonça la loi de gravitation universelle en 1687.
En particulier ; puisque la Terre attire la Lune (ou la pomme), d'après la 3^{ème} loi de Newton la Lune (ou la pomme) attire la Terre à son tour,

I- Loi de gravitation universelle

1) Enoncé de la loi de gravitation

Entre deux corps ponctuels A et B, de masses respectives m_A et m_B ; s'établit une interaction, toujours attractive, appelée interaction gravitationnelle.

Les éléments de l'interaction sont : $\begin{cases} \vec{F}_{A/B} : \text{Force exercée par A sur B} \\ \vec{F}_{B/A} : \text{Force exercée par B sur A} \end{cases}$, elles sont portées par la droite (AB) et

leur valeur commune est : $\|\vec{F}_{A/B}\| = \|\vec{F}_{B/A}\| = G \frac{m_A \cdot m_B}{AB^2}$, où G est une constante appelée constante de Gravitation universelle ; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I.

2) Expression vectorielle de la loi de gravitation

Soit $\vec{u} = \frac{\vec{AB}}{AB}$; $\vec{F}_{A/B} = - \|\vec{F}_{A/B}\| \cdot \vec{u} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{AB^2} \cdot \vec{u}$

D'après la 3^{ème} loi de Newton $\vec{F}_{B/A} = - \vec{F}_{A/B} = G \frac{m_A \cdot m_B}{AB^2} \cdot \vec{u}$

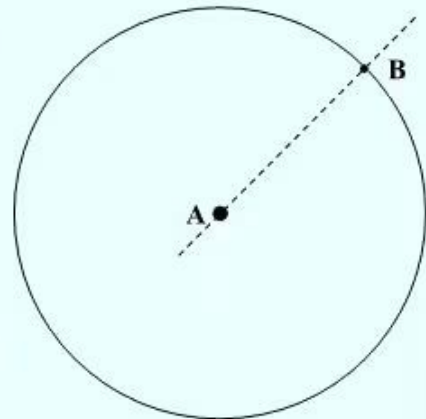


Application-1

Un atome d'hydrogène est constitué d'un noyau (A) contenant un proton, autour duquel se meut un électron (B) sur une trajectoire supposée circulaire de rayon $r = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m.

On donne ; pour le proton $\begin{cases} m_A = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \\ q_A = e \end{cases}$, et pour l'électron $\begin{cases} m_B = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \\ q_B = -e \end{cases}$
 $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I., $K = 9 \cdot 10^9$ S.I., $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

- Soient $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ les éléments de l'interaction gravitationnelle entre le proton et l'électron :
 - Donne leurs expressions vectorielles, et les représenter.
 - Calculer leur valeur.
- Soient $\vec{F}'_{A/B}$ et $\vec{F}'_{B/A}$ les éléments de l'interaction électrostatique entre le proton et l'électron :
 - Calculer leur valeur.
 - Comparer à la valeur des forces de l'interaction gravitationnelle ; laquelle de ces interactions assure, en fait, la cohésion de l'atome.
- Faire une analogie formelle entre les interactions gravitationnelle et électrostatique.



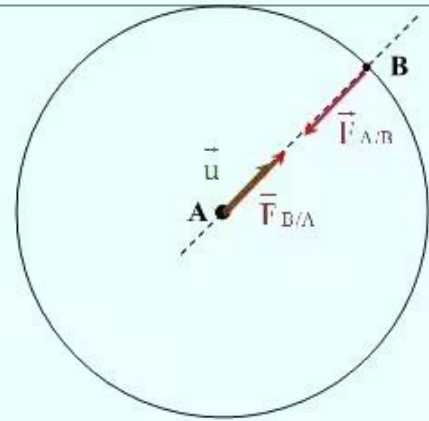
1.

a) Soit $\vec{u} = \frac{\vec{AB}}{AB}$

$$\vec{F}_{A/B} = - \left\| \vec{F}_{A/B} \right\| \cdot \vec{u} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \cdot \vec{u}$$

$$\vec{F}_{B/A} = \left\| \vec{F}_{B/A} \right\| \cdot \vec{u} = G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \cdot \vec{u}$$

b) $\left\| \vec{F}_{A/B} \right\| = \left\| \vec{F}_{B/A} \right\| = G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2}$
 $= 3,6 \cdot 10^{-47} \text{ N}$



2.

a) $\left\| \vec{F}'_{A/B} \right\| = \left\| \vec{F}'_{B/A} \right\| = K \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{r^2} = K \frac{e^2}{r^2} = K \left(\frac{e}{r} \right)^2 = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{5,3 \cdot 10^{-11}} \right)^2 = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$

b) $\frac{\left\| \vec{F}_{A/B} \right\|}{\left\| \vec{F}'_{A/B} \right\|} = \frac{3,6 \cdot 10^{-47} \text{ N}}{8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}} = 4,4 \cdot 10^{-40} \approx 0$: l'interaction gravitationnelle est négligeable devant

l'interaction électrostatique $\Rightarrow$ C'est l'attraction électrostatique qui assure, en fait, la cohésion de l'atome.

3. La force de gravitation de valeur $\left\| \vec{F}_{A/B} \right\| = G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2}$, et la force électrostatique de valeur

$\left\| \vec{F}'_{A/B} \right\| = K \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{r^2}$ présentent les similitudes suivantes :

- * L'intensité est inversement proportionnelle au carré de la distance séparant les deux corps ou les deux charges.
- * La direction est dans les deux cas la droite passant par les deux corps ponctuels ou les deux charges ponctuelles.

Elles présentent les différences suivantes :

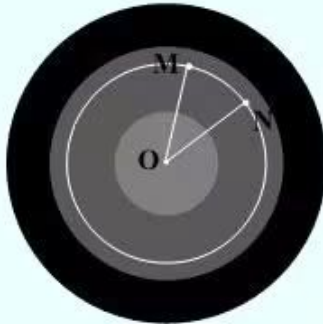
- * La source de l'interaction est la masse pour l'une, et la charge pour l'autre.
- * La masse étant toujours positive ; l'interaction gravitationnelle est toujours attractive, alors que l'interaction électrostatique peut être attractive ou répulsive selon les signes des charges.

Physique TN
3

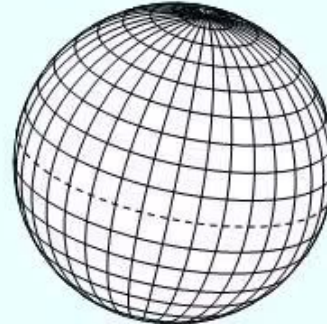
3) Cas d'un corps non ponctuel, mais à répartition de masse à symétrie sphérique

C'est un corps sphérique dont la densité est la même pour tous les points situés à une même distance de son centre (O) (Fig-1)

Figure-1



OM = ON : la densité est la même en M et en N



Une sphère homogène, en est l'exemple le plus simple



La Terre, ainsi que les autres planètes, le Soleil, et la plupart des satellites naturels sont des corps presque à répartition de masse à symétrie sphérique.

Un tel corps interagit gravitationnellement comme un corps ponctuel (O) possédant toute sa masse (M).

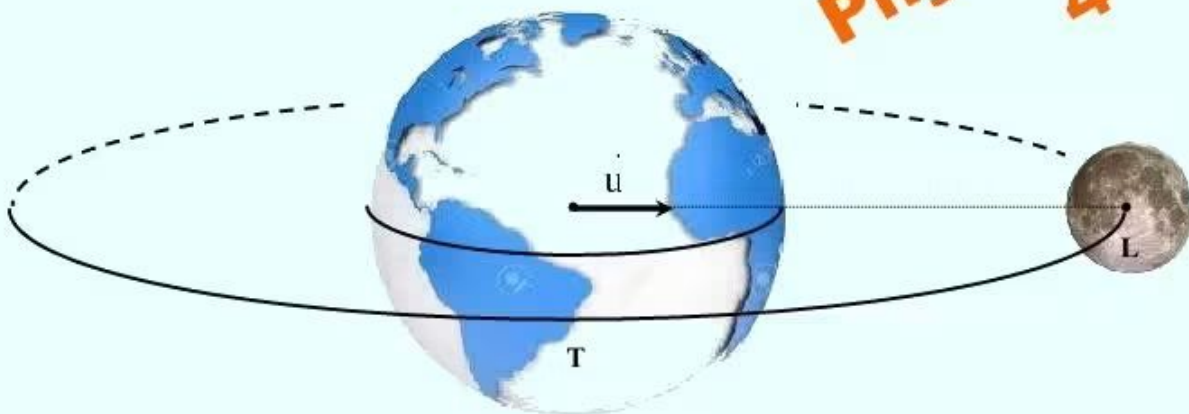
Application-2

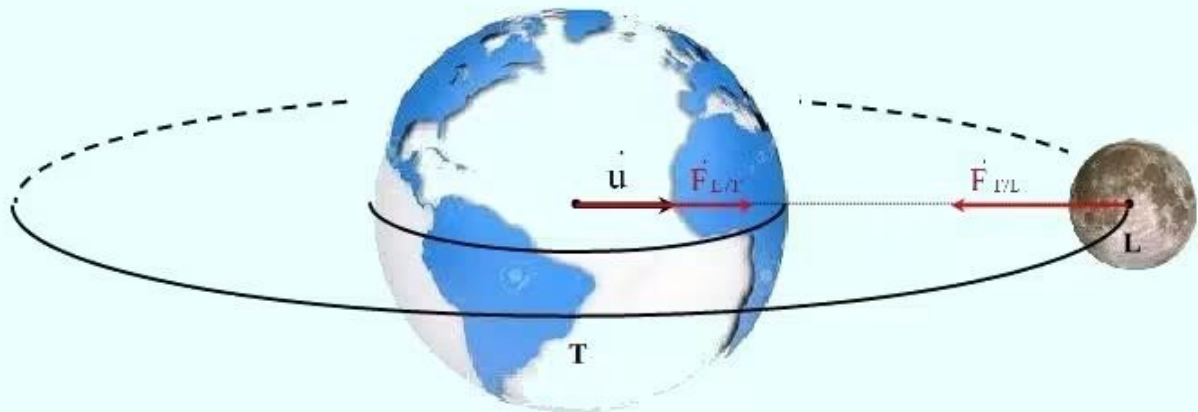
Représenter les éléments de l'interaction gravitationnelle entre la Terre et la Lune, écrire leurs expressions vectorielles, et calculer leur valeur.

On donne :

$$\begin{cases} M_T = 6.10^{24} \text{ kg} : \text{masse de la Terre} \\ M_L = \frac{M_T}{81} : \text{masse de la Lune} \\ r = 380000 \text{ Km} : \text{distance du centre de la Terre au centre de la Lune} \\ G = 6,67.10^{-11} \text{ S.I} \end{cases}$$

**Physique TN
4**





$$* \quad \vec{F}_{T/L} = -G \frac{M_T \cdot M_L}{r^2} \cdot \vec{u} = -\vec{F}_{L/T}$$

$$* \quad \|\vec{F}_{T/L}\| = \|\vec{F}_{L/T}\| = G \frac{M_T \cdot M_L}{r^2} = G \frac{M_T \cdot \frac{M_T}{81}}{r^2} = G \frac{M_T^2}{81r^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{(6 \cdot 10^{24})^2}{81(3,8 \cdot 10^5 \cdot 10^3 \text{ m})^2} = 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$$

II- Le champ de gravitation (Fig-2)

1) Mise en évidence

Considérons un météoroïde de masse (m) ; ses dimensions négligeables devant l'espace dans lequel il évolue permettent de le considérer ponctuel. Là où son mouvement change brusquement, il y a un corps de masse gigantesque (M) à proximité, tel qu'une planète (la Terre par exemple) : on dit qu'il vient de pénétrer dans le champ de gravitation de cette planète.

Définition

Un champ de gravitation règne dans une région de l'espace si, dans cette région, tout corps subit une force de gravitation.

2) Vecteur champ de gravitation

Soit P une position quelconque de la région de l'espace où règne un champ de gravitation créé par un corps de masse M à répartition de masse à symétrie sphérique de centre O et de rayon R ; soit h l'altitude de la position P; tout corps (ponctuel) de masse m se trouvant en P subit une force de gravitation

$$\vec{F} = -G \frac{M \cdot m}{OP^2} \cdot \vec{u}, \text{ avec } \vec{u} = \frac{\overrightarrow{OP}}{OP}$$

$$= m \cdot \left(-G \frac{M}{(R+h)^2} \cdot \vec{u} \right)$$

$$\boxed{\vec{F} = m \cdot \vec{\mathcal{G}}(P)}; \text{ avec } \boxed{\vec{\mathcal{G}}(P) = -G \frac{M}{(R+h)^2} \cdot \vec{u}}$$

Un autre corps de masse m' placée en P subit une force $\vec{F}' = m' \cdot \vec{\mathcal{G}}(P)$

Un autre corps de masse m'' placée en P subit une force $\vec{F}'' = m'' \cdot \vec{\mathcal{G}}(P)$

-
-
etc

Physique TN
5

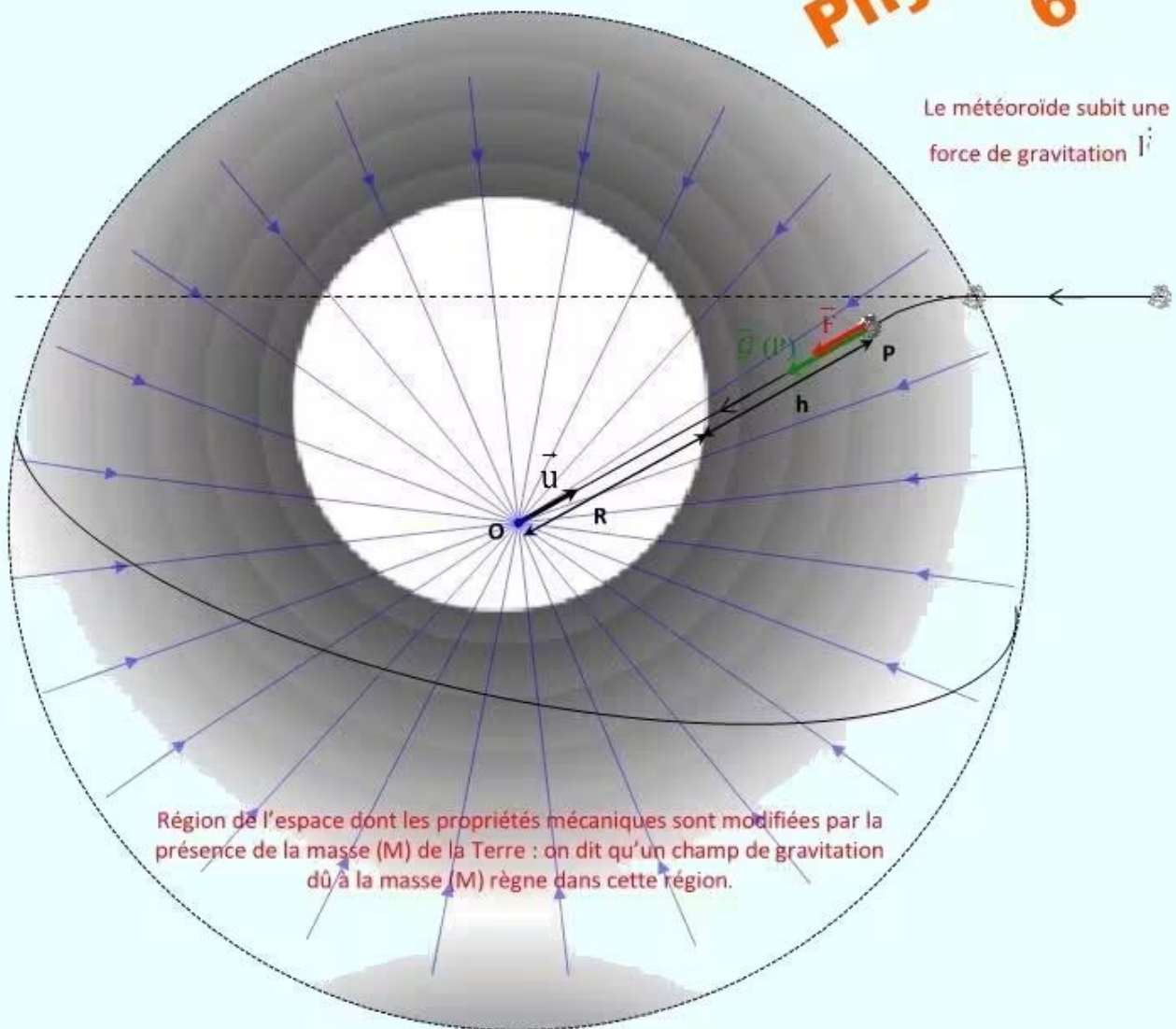
⇒ La masse change et la force de gravitation subie change, mais le vecteur $\vec{g}(P)$ est toujours le même : il ne dépend que de la masse M et la position P dans le champ de gravitation ; on l'appelle vecteur champ de gravitation en P , il existe indépendamment des masses $m, m', m'' \dots$ etc qui ne font que le mettre en évidence.

$$\text{Rq } \frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{F}'}{m'} = \frac{\vec{F}''}{m''} = \dots = \vec{g} \Rightarrow \|\vec{g}\| = \frac{\|\vec{F}\|}{m} ; \text{ d'où l'unité de } \|\vec{g}\| \text{ est le } \text{N.kg}^{-1} \text{ dans le S.I}$$

$$= G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Figure-2

Physique TN
6





Un météoroïde se rapprochant de la Terre



Le météoroïde s'enflamme et se consume au contact de l'atmosphère (météore)



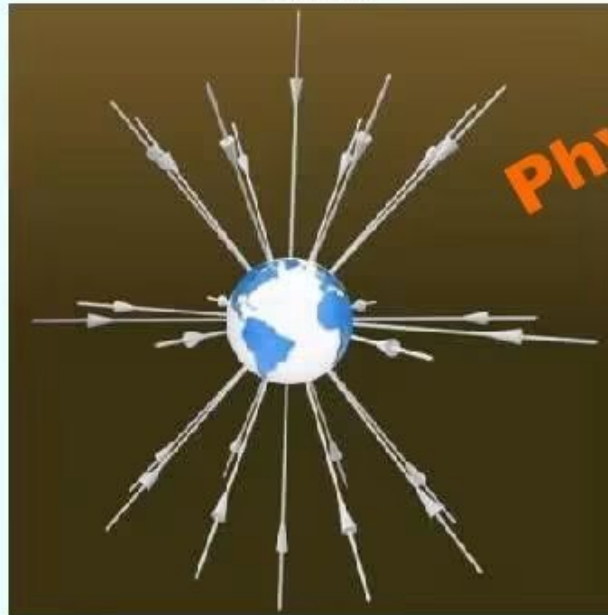
Parfois, des débris du météore atteignent le sol (météorite).
Tel que ceci, tombant sur Tcheliabinsk (Russie), le 15/02/2013, provoquant des dégâts de 1200 blessés et 33.10⁶ \$.

3) Lignes de champ de gravitation

Ce sont les lignes dont chacune est tangente en chacun de ses points au vecteur champ de gravitation $\vec{g}$ et orientée dans son sens : droites radiales et centripètes.

Rq : Les lignes de champ de gravitation sont en réalité dirigées dans toutes les directions de l'espace (Fig-3)

Figure-3



Physique TN
7

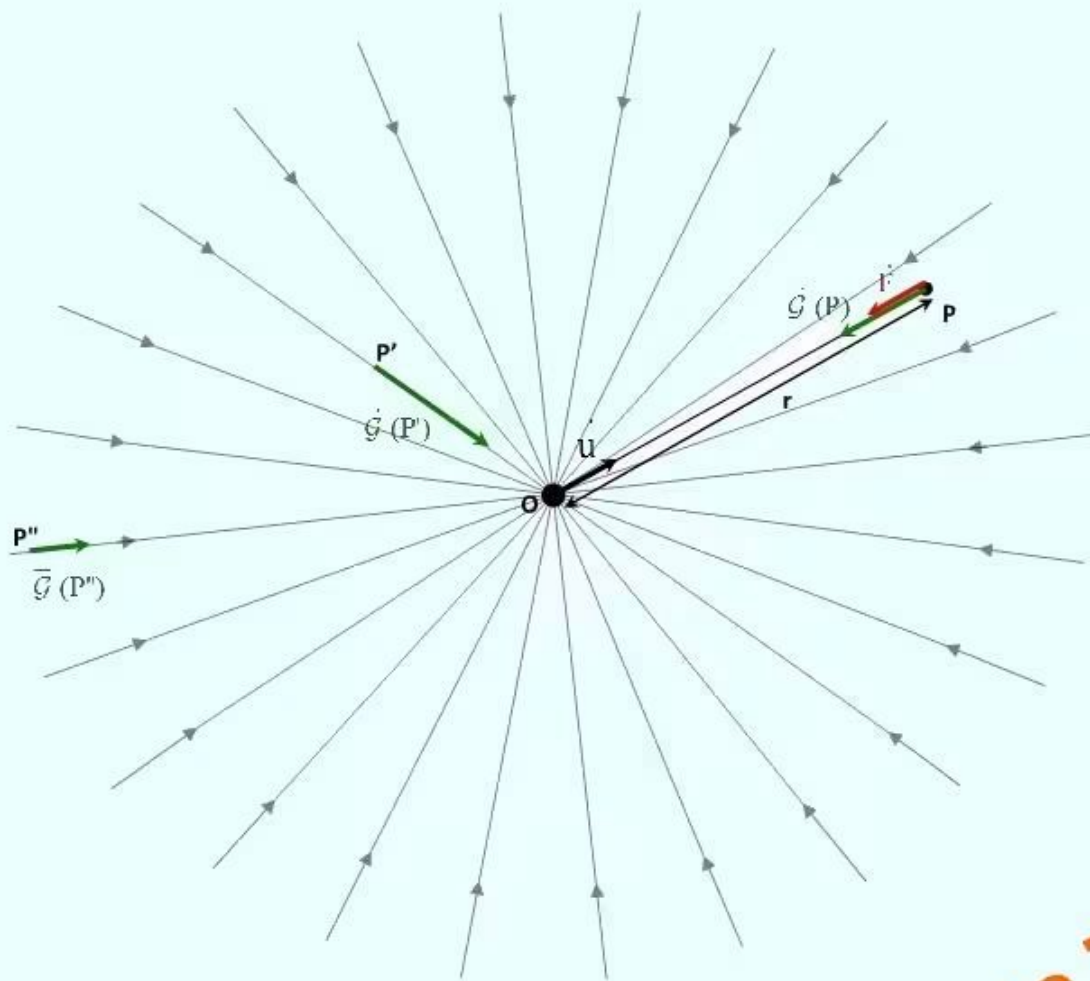
4) Cas d'un corps ponctuel (Fig-4)

Un corps ponctuel de masse M placé en un point O , crée en tout point P de l'espace un champ de gravitation centripète $\vec{g}(P) = -G \frac{M}{r^2} \cdot \vec{u}$, avec $\vec{u} = \frac{\vec{OP}}{OP}$.

Si un corps ponctuel de masse m est placé en P , il subit une force de gravitation $\vec{F} = m \cdot \vec{g}(P)$

Rq Que le corps placé en P soit ponctuel ou à répartition de masse à symétrie sphérique de centre P , il subit la même force de gravitation $\vec{F} = m \cdot \vec{g}(P)$

Figure-4



Physique TN
8

Application-3

On assimile le globe terrestre à un corps à répartition de masse à symétrie sphérique, de centre (O), de rayon $R_T = 6390 \text{ Km}$, et de masse $M_T = 6.10^{24} \text{ kg}$; tout point à la surface de la terre est considéré d'altitude $h = 0$, tout autre point de l'espace possède une altitude $h > 0$.

On donne $G = 6,67.10^{-11} \text{ S.I.}$

1. Donner l'expression du vecteur champ de gravitation $\vec{G}(P)$, créé par la Terre en un point (P) quelconque d'altitude (h).
 - a) Calculer sa valeur $\|\vec{G}_0\|$ à la surface de la Terre.
 - b) Ecrire sa valeur $\|\vec{G}_h\|$ à une altitude (h), en fonction de $\|\vec{G}_0\|$.
 - c) Etablir l'expression de la variation relative de l'intensité du champ gravitationnel terrestre, entre le sol et une altitude (h).
 - d) AN : $\begin{cases} h = 32 \text{ Km} ; \text{commenter} \\ h = 9.R_T ; \text{commenter} \end{cases}$

2. Une pomme, assimilée à un point matériel (A) de masse $m_P = 100 \text{ g}$, se trouve à son pommier à une hauteur négligeable au-dessus du sol (Figure ci-dessous) :
 - a) Calculer la valeur des forces d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{TP}$ et $\vec{F}_{PT}$ s'exerçant entre la Terre et la Pomme, et les représenter à l'échelle $0,98 \text{ N} \rightarrow 1 \text{ cm}$.
 - b) Donner la valeur du vecteur champ de gravitation $\vec{G}(A)$ créé par la Terre au point (A) ; le représenter à l'échelle $9,8 \text{ N.kg}^{-1} \rightarrow 2 \text{ cm}$
 - c) Donner l'expression du vecteur champ de gravitation $\vec{G}_P(O)$ créé par la pomme au centre (O) de la Terre ; calculer sa valeur, et le représenter à la même échelle $9,8 \text{ N.kg}^{-1} \rightarrow 2 \text{ cm}$
 - d) On sait que si la pomme se détache du pommier, c'est elle qui se déplace en chute libre vers la Terre, et non l'inverse malgré que les forces s'exerçant entre la Terre et la pomme sont de même intensité : quelle raison peut expliquer cela ?
3. Un satellite géostationnaire (immobile par rapport à la surface de la Terre), est assimilée à un point matériel (B) de masse $m_S = 1500 \text{ kg}$ se trouvant à une altitude $h_S = 36000 \text{ Km}$ ($\sim 5,6.R_T$) au-dessus du sol (Figure ci-dessous) :
 - a) Représenter la ligne de champ de gravitation passant par B.
 - b) Donner les caractéristiques du vecteur champ de gravitation $\vec{G}(B)$ créé par la Terre au point B.
 - c) En déduire la valeur de la force de gravitation $\vec{F}_{TS}$ exercée par la Terre sur le satellite.
 - d) Calculer la variation relative de l'intensité du champ gravitationnel terrestre entre le sol et la position B
4. La lune est assimilée à un corps à répartition de masse à symétrie sphérique de masse $M_L = 7,4.10^{22} \text{ kg}$ ($\sim \frac{M_T}{81}$), et de centre (C) se trouvant à une altitude $h_L = 373610 \text{ Km}$ ($\sim 58,5.R_T$) (Figure ci-dessous) :
 - a) Représenter la ligne de champ de gravitation passant par C.
 - b) Donner les caractéristiques du vecteur champ de gravitation $\vec{G}(C)$ créé par la Terre au point C.
 - c) En déduire la valeur de la force de gravitation $\vec{F}_{TL}$ exercée par la Terre sur la Lune.
 - d) Calculer la variation relative de l'intensité du champ gravitationnel terrestre entre le sol et la position C



Physique TN
9

$$1. \quad \vec{g}(P) = -G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}, \text{ avec } \vec{u} = \frac{\vec{OP}}{OP}$$

$$a) \quad \|\vec{g}(P)\| = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \Rightarrow \|\vec{g}_0\| = G \frac{M_T}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24}}{(6390 \cdot 10^3 \text{ m})^2}$$

$$\boxed{\|\vec{g}_0\| = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}}$$

$$b) \quad \|\vec{g}_h\| = \|\vec{g}(P)\| = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \frac{R_T^2}{R_T^2} = G \frac{M_T}{R_T^2} \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\|\vec{g}_h\| = \|\vec{g}_0\| \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + h}\right)^2}$$

$$c) \quad \frac{\Delta \|\vec{g}\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{\|\vec{g}_0\| - \|\vec{g}_h\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{\|\vec{g}_0\| - \|\vec{g}_0\| \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + h}\right)^2}{\|\vec{g}_0\|} = \cancel{\|\vec{g}_0\|} \cdot \frac{1 - \left(\frac{R_T}{R_T + h}\right)^2}{\cancel{\|\vec{g}_0\|}} = \boxed{1 - \left(\frac{R_T}{R_T + h}\right)^2}$$

d)

$$* \quad h = 32 \text{ Km} : \frac{\Delta \|\vec{g}\|}{\|\vec{g}_0\|} = 1 - \left(\frac{6390 \text{ Km}}{6390 \text{ Km} + 32 \text{ Km}}\right)^2 \simeq 0,01 = 1 \% : \text{Jusqu'à 32 Km d'altitude, le champ de gravitation terrestre ne perd que 1 \% de sa valeur au sol.}$$

$$* \quad h = 9 \cdot R_T : \frac{\Delta \|\vec{g}\|}{\|\vec{g}_0\|} = 1 - \left(\frac{R_T}{R_T + 9R_T}\right)^2 = 1 - \left(\frac{R_T}{10R_T}\right)^2 = 1 - \left(\frac{1}{10}\right)^2 = 0,99 = 99 \% : \text{Il faut monter à une altitude 9 fois le rayon de la Terre pour que le champ de gravitation terrestre perde 99 \% de sa valeur au sol.}$$

2.

$$a) \quad \|\vec{F}_{TP}\| = \|\vec{F}_{PT}\| = G \frac{M_T \cdot m_p}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{6 \cdot 10^{24} \cdot 0,1 \text{ kg}}{(6390 \cdot 10^3 \text{ m})^2} = 0,98 \text{ N} \rightarrow 1 \text{ cm}$$

$$b) \quad \|\vec{g}(A)\| = \|\vec{g}_0\| = 9,8 \text{ N.kg}^{-1} \rightarrow 2 \text{ cm}$$

$$c) \quad \vec{g}_p(O) = -G \frac{m_p}{R_T^2} \cdot \frac{\vec{AO}}{AO} \Rightarrow \|\vec{g}_p(O)\| = G \frac{m_p}{R_T^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{0,1 \text{ kg}}{(6390 \cdot 10^3 \text{ m})^2} = 1,63 \cdot 10^{-25} \text{ N.kg}^{-1} \sim 0 !$$

d) Le champ de gravitation créé par la pomme au niveau de la Terre est négligeable devant celui créé par la Terre au niveau de la pomme :

$$\frac{\|\vec{g}(A)\|}{\|\vec{g}_p(O)\|} = \frac{9,8}{1,63 \cdot 10^{-25}} = 6 \cdot 10^{25} ! ; \text{c'est la raison pour laquelle la pomme}$$

se déplace vers la Terre, et non l'inverse. On constate aussi que $6 \cdot 10^{25} = \frac{M_T}{m_p}$: la pomme de masse négligeable se déplace vers la Terre, et non l'inverse.

Physique TN
10

3.

a)

$$\text{b) } \vec{g}(B) : \begin{cases} \text{Direction : Droite (O,B)} \\ \text{Sens : B} \rightarrow \text{O} \\ \text{Intensité : } \|\vec{g}(B)\| = \|\vec{g}_{hs}\| = \|\vec{g}_0\| \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + h_s} \right)^2 = 9,8 \cdot \left(\frac{6390}{6390 + 36000} \right)^2 = 0,22 \text{ N.kg}^{-1} \end{cases}$$

$$\text{c) } \vec{F}_{T/S} = m_s \cdot \vec{g}(B) \Rightarrow \|\vec{F}_{T/S}\| = m_s \cdot \|\vec{g}(B)\| = 1500 \cdot 0,22 = 330 \text{ N}$$

$$\text{d) } \frac{\Delta \|\vec{g}\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{\|\vec{g}_0\| - \|\vec{g}_{hs}\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{9,8 - 0,22}{9,8} \simeq 0,98 = 98 \%$$

4.

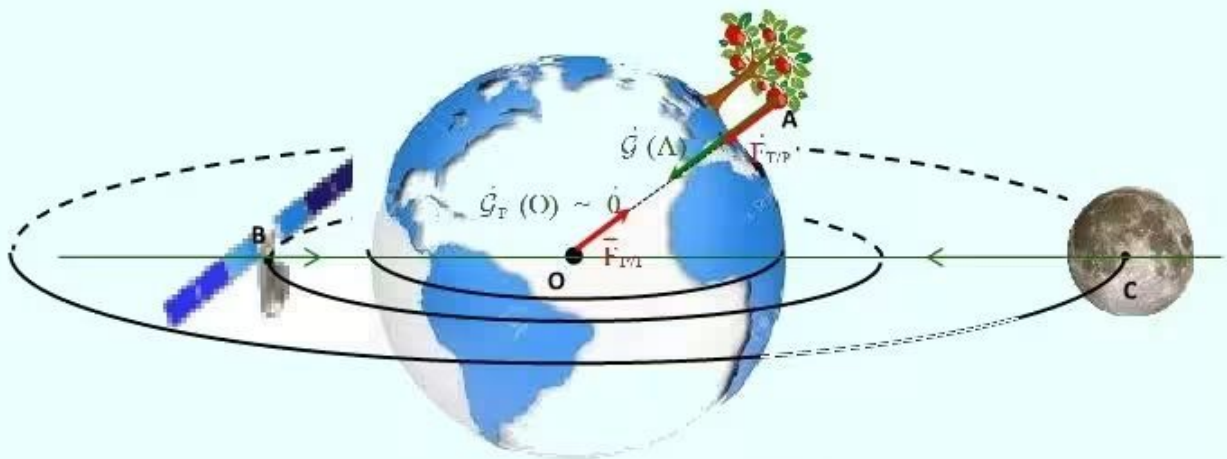
a)

$$\text{b) } \vec{g}(C) : \begin{cases} \text{Direction : Droite (O,C)} \\ \text{Sens : C} \rightarrow \text{O} \\ \text{Intensité : } \|\vec{g}(C)\| = \|\vec{g}_{hl}\| = \|\vec{g}_0\| \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + h_L} \right)^2 = 9,8 \cdot \left(\frac{6390}{6390 + 373610} \right)^2 = 0,0027 \text{ N.kg}^{-1} \end{cases}$$

$$\text{c) } \vec{F}_{T/L} = m_L \cdot \vec{g}(C) \Rightarrow \|\vec{F}_{T/L}\| = m_L \cdot \|\vec{g}(C)\| = 7,4 \cdot 10^{22} \cdot 0,0027 \simeq 2 \cdot 10^{20} \text{ N}$$

$$\text{d) } \frac{\Delta \|\vec{g}\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{\|\vec{g}_0\| - \|\vec{g}_{hl}\|}{\|\vec{g}_0\|} = \frac{9,8 - 0,0027}{9,8} \simeq 0,999 = 99,9 \%$$

Physique TN
11



III- Le champ de pesanteur (Fig-5)

1) Relation entre le champ de pesanteur et le champ de gravitation

Soit un corps ponctuel de masse m (ou à répartition de masse à symétrie sphérique de centre P), situé en un point P au voisinage de la Terre, à une altitude h par rapport à la surface de la mer :

- * Le vecteur champ de pesanteur en P est donné par $\vec{g}(P) = \frac{\vec{P}}{m}$, avec $\vec{P}$ le poids du corps.
- * Le vecteur champ de gravitation en P est donné par $\vec{g}(P) = \frac{\vec{F}}{m}$, avec $\vec{F}$ la force de gravitation subie par le corps de la part de la Terre.

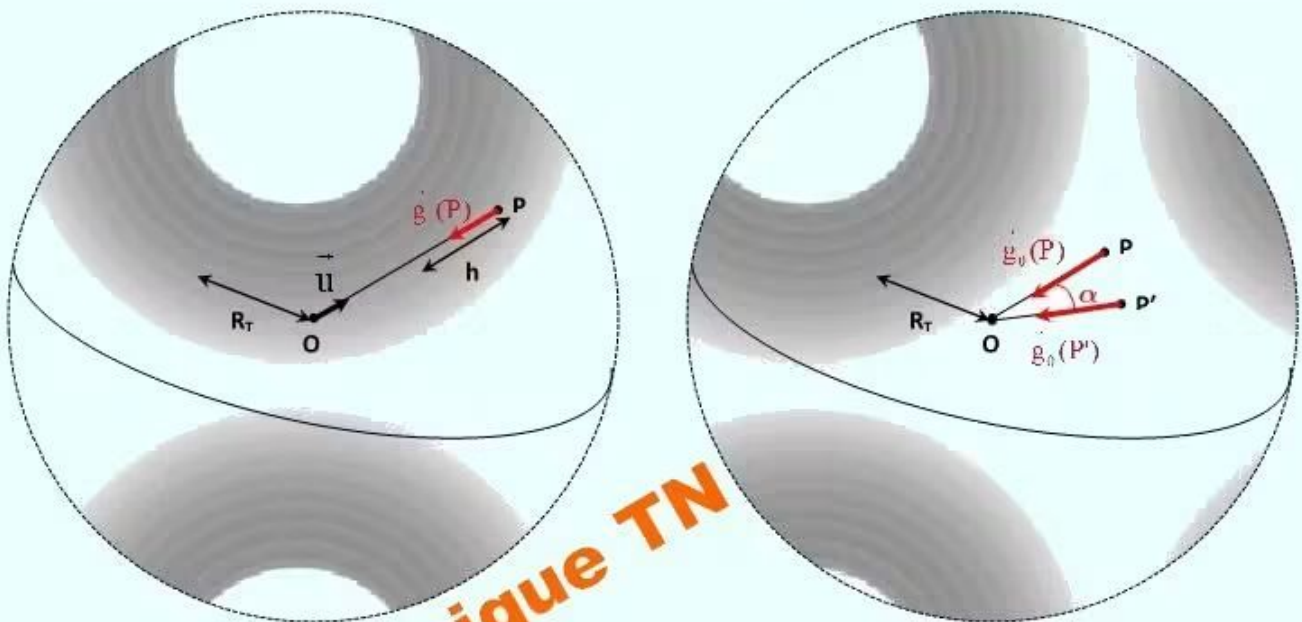
En négligeant l'effet de rotation de la Terre autour de son axe polaire : $\vec{P} = \vec{F} \Rightarrow$

$$\vec{g}(P) = \vec{g}(P) = -G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}, \text{ avec } \vec{u} = \frac{\vec{OP}}{OP} \text{ et } M_T \text{ masse de la Terre.}$$

$$\Rightarrow \|\vec{g}_h\| = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \Rightarrow \boxed{\|\vec{g}_0\| = G \frac{M_T}{R_T^2} = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}} : \text{ Intensité du champ de pesanteur au niveau de la mer } (h = 0)$$

$$\text{Rq A une altitude } h > 0 : \|\vec{g}_h\| = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \frac{R_T^2}{R_T^2} = G \frac{M_T}{R_T^2} \cdot \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2} = \|\vec{g}_0\| \left(\frac{R_T}{R_T + h} \right)^2 < \|\vec{g}_0\|$$

Figure-5



2) Uniformité du champ de pesanteur

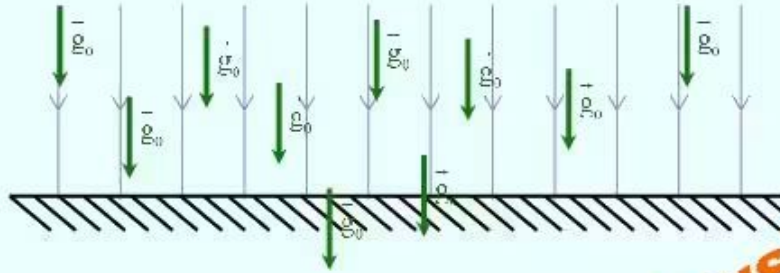
* Jusqu'à une hauteur de 32 Km, $\|\vec{g}\|$ ne perd que 1 % de sa valeur au niveau de la mer.

* L'angle correspondant à un arc de longueur $PP' = 111$ Km à la surface de la Terre est

$$\alpha = \frac{PP'}{R_T} = \frac{111}{6390} = 0,017 \text{ rad} = 1^\circ \Rightarrow \text{Sur une distance de 111 Km à la surface de la Terre, la direction}$$

de $\vec{g}$ ne change que de 1° .

$\Rightarrow$ Sur un domaine restreint au voisinage de la Terre $\vec{g}$ est pratiquement uniforme : même direction verticale, même sens vers le bas, et même intensité $\|\vec{g}_0\| = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.



Physique TN
13

Application-4

1. La Terre est considérée un corps à répartition de masse à symétrie sphérique, de masse M_T et de rayon $R_T = 6390 \text{ Km}$. A un endroit de la surface de la Terre, on mesure le poids d'un corps supposé ponctuel de masse $m = 100 \text{ g}$ à l'aide d'un dynamomètre : $\|\vec{P}\| = 0,98 \text{ N}$.
 - a) Donner les caractéristiques du vecteur champ de pesanteur $\vec{g}$ en cet endroit.
 - b) Calculer la valeur de la masse de la Terre. On donne $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ S.I.}$
2. Supposons que ce corps est emmené sur la Lune, qui est considérée un corps à répartition de masse à symétrie sphérique de masse $M_L = 7,4 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ et de rayon $R_L = 1743 \text{ Km}$:
 - a) Calculer l'intensité du champ de gravitation lunaire $\vec{g}_{L_0}$ en un point de sa surface.
 - b) Calculer la valeur de la force de gravitation $\vec{F}$ exercée par la Lune sur ce corps ; la comparer à la valeur de son poids sur la Terre.
 - c) Que vous allez sentir, si jamais vous êtes sur la Lune ?

1.

- a) $\vec{g}$ étant pratiquement uniforme sur une faible étendue au voisinage de la Terre :

$$\vec{g} : \begin{cases} \text{Direction : verticale du lieu} \\ \text{Sens : vers le bas} \\ \text{Intensité : } \|\vec{g}\| = \frac{\|\vec{P}\|}{m} = \frac{0,98}{0,1 \text{ kg}} = 9,8 \text{ N.kg}^{-1} \end{cases}$$

b) $\|\vec{g}\| = \|\vec{g}_0\| = G \frac{M_T}{R_T^2} \Rightarrow G M_T = \|\vec{g}\| R_T^2 \Rightarrow M_T = \frac{\|\vec{g}\| R_T^2}{G} = \frac{9,8 (6390 \cdot 10^3 \text{ m})^2}{6,67 \cdot 10^{-11}} \simeq 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

2.

a) $\|\vec{g}_{L_0}\| = G \frac{M_L}{R_L^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{7,4 \cdot 10^{22}}{(1743 \cdot 10^3 \text{ m})^2} = 1,62 \text{ N.kg}^{-1}$

b)

- $\|\vec{F}\| = m \|\vec{g}_{L_0}\| = 0,1 \text{ kg} \cdot 1,62 = 0,162 \text{ N}$
- $\frac{\|\vec{P}\|}{\|\vec{F}\|} = \frac{0,98}{0,162} \simeq 6$: Ce corps est 6 fois plus attiré sur la Terre que sur la Lune.

c) On se sent 6 fois plus "légers", bien qu'ayant la même masse.

Physique TN
14

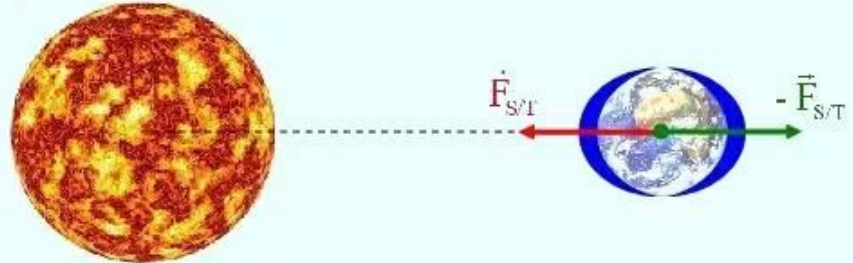
IV- Phénomènes expliqués par l'interaction gravitationnelle

1) Le phénomène des marées (Fig-6)

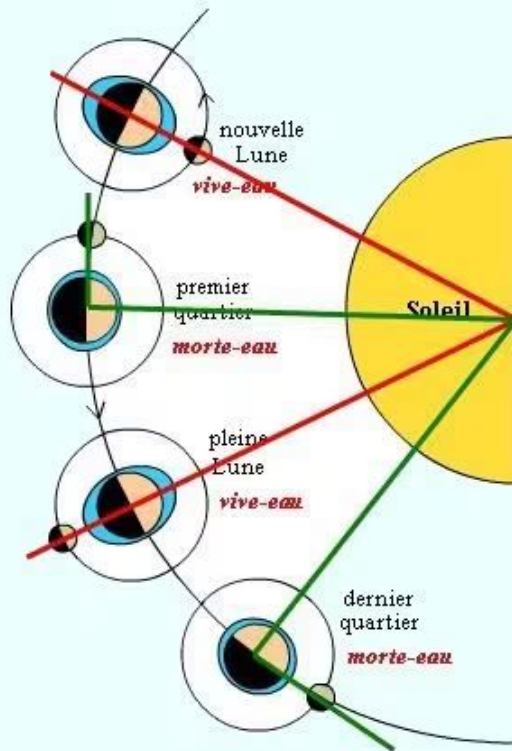
C'est le flux et le reflux périodiques de l'eau de la mer : le niveau de l'eau en un endroit donné monte et descend périodiquement sous l'action de l'attraction gravitationnelle combinée de la Lune et du Soleil.

Figure-6

- ❖ La Terre est en mouvement presque circulaire uniforme autour du soleil : si on considère ce mouvement pendant une durée très courte, on peut l'assimiler à un MRU ; d'après la 1^{ère} loi de Newton la somme des forces exercées sur la Terre doit être nulle $\Rightarrow$ à chaque instant il y a une autre force exercée sur la terre directement opposée à la force d'attraction solaire, appelée force centrifuge ; les forces $\vec{F}_{S/T}$ et $-\vec{F}_{S/T}$ étant exercées sur chaque point de la Terre, en particulier elles provoquent la déformation de la surface des mers en bourrelets.



- ❖ A cela vient s'ajouter une déformation similaire due à l'attraction lunaire, qui selon la phase qu'elle traverse accentue ou atténue la déformation provoquée par le Soleil ; il en résulte une oscillation du niveau de la mer plusieurs fois à chaque cycle lunaire :



- A la nouvelle Lune et à la pleine Lune ; l'effet de la Lune s'ajoute à celui du Soleil : marée de vive-eau.

- Au 1^{er} quartier et au dernier quartier ; l'effet de la Lune s'oppose à celui du Soleil : marée de morte-eau.

- Les marées sont hautes dans les endroits situés sur l'axe Terre-Lune.

- Les marées sont basses dans les endroits situés sur l'axe perpendiculaire à l'axe Terre-Lune.

**Physique TN
15**

2) La chute des astéroïdes et des météoroïdes

Les astéroïdes et les météoroïdes errant dans l'espace interplanétaire finissent parfois par être captifs du champ gravitationnel d'une planète (ou de son satellite) ; selon la vitesse avec laquelle ils pénètrent dans le champ gravitationnel il peuvent tomber ou non.

Le plus dévastateur pour la Terre était celui de 1908 à Tunguska (Sibérie) : 2000 Km² de forêt partirent en poussière.

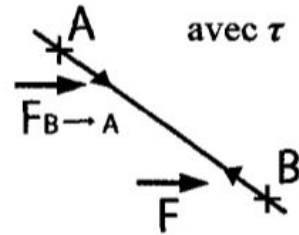
L'INTERACTION GRAVITATIONNELLE

Loi d'attraction universelle ou loi de newton :

Deux corps ponctuels A et B de masse m_A et m_B exercent l'un sur l'autre des forces d'attraction directement opposées, portées par la droite (AB), d'intensités proportionnelles à leurs masses et inversement proportionnelles au carré de leur distance.

$$\vec{F}_{A \rightarrow B} = -\vec{F}_{B \rightarrow A} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \vec{u}_{AB} \quad \text{avec } r = AB$$

$$\|\vec{F}_{A \rightarrow B}\| = \|\vec{F}_{B \rightarrow A}\| = G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2}$$



G est la constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ S.I.

Exemple : A est le centre de la Terre, B est un objet de 1 kg à sa surface.

Calculer la force d'attraction que la Terre exerce sur l'objet B.

On donne la masse de la Terre $m_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg et le rayon terrestre $R_T = 6400$ km.

Réponse : $F = 9,77$ N.

Analogie avec la loi de Coulomb en électrostatique :

Deux charges électriques peuvent s'attirer ou se repousser selon qu'elles sont de signes contraires ou de même signe.

$$\|\vec{F}\| = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} \frac{|q \cdot q'|}{r^2} \quad \epsilon_0 \text{ s'appelle la permittivité absolue du vide.}$$

On définit un champ électrostatique $\vec{E}$ tel que $\vec{F} = q\vec{E}$.

Interaction entre 2 solides a répartition sphérique de masse :

On admet qu'une répartition de masse à symétrie sphérique (corps homogène) peut être remplacée par une masse ponctuelle coïncidant avec son centre.

Champ gravitationnel $\vec{G}$

En un point de l'espace A, il existe un champ gravitationnel $\vec{G}_{(A)}$, si, amenant une masse quasi ponctuelle M en ce point, elle est soumise à une force gravitationnelle

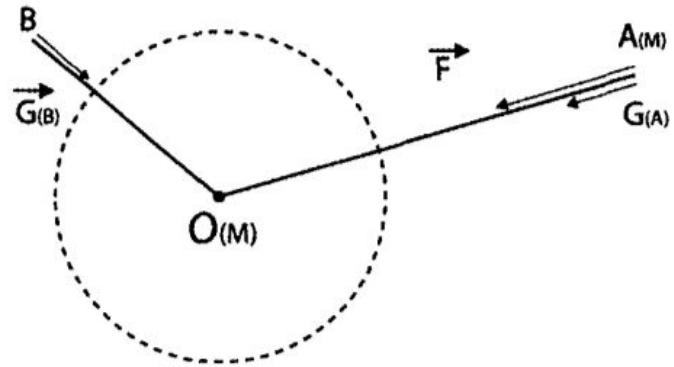
$$\vec{F} \text{ tel que } \boxed{\vec{F} = M \cdot \vec{G}_{(A)}}$$

$\vec{F}$ et $\vec{G}$ ont toujours même direction et même sens.

$\vec{G}$ est radial et centripète

$$\boxed{F = M \cdot G_{(A)}}$$

N. kg N.kg⁻¹



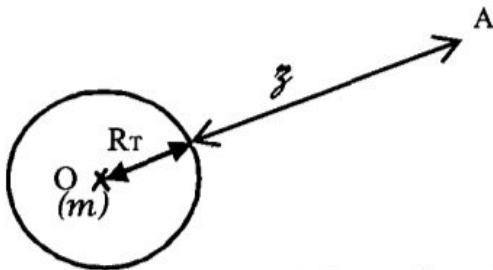
D'après la loi de Newton :

$$F = \mathcal{G} \frac{m M}{r^2} \quad G = \mathcal{G} \frac{m}{r^2}$$

G diminue quand la distance augmente.

Exemple pour la Terre :

$$r = R + z \quad z \text{ est l'altitude}$$

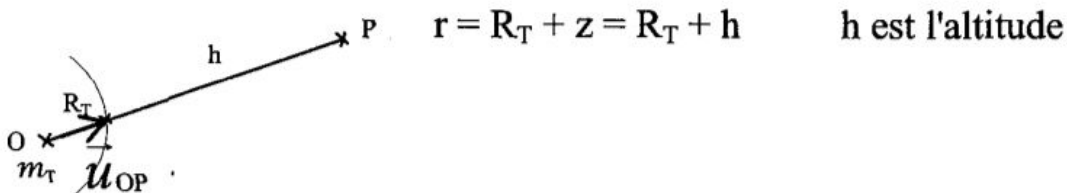


$$G_{(A)} = \mathcal{G} \frac{m}{(R + z)^2}$$

$$\text{A la surface de la Terre } G = 9,77 \text{ N.kg}^{-1} = G_0$$

CHAMP GRAVITATIONNEL TERRESTRE

La Terre crée dans tout l'espace qui l'environne un champ gravitationnel $\vec{G}$



$$r = R_T + z = R_T + h \quad h \text{ est l'altitude}$$

$$\boxed{\vec{G}_{(P)} = \mathcal{G} \frac{m_T}{r^2} \cdot \vec{u}_{OP}}$$

$$\boxed{\vec{G}_{(P)} = \mathcal{G} \frac{m_T}{(R_T + h)^2} \cdot \vec{u}_{OP}}$$

Au niveau du sol $h = 0$ $\|\vec{G}_0\| = \mathcal{G} \frac{m_T}{R_T^2}$

A une altitude h $\|\vec{G}_0\| = \mathcal{G} \frac{m_T}{(R_T + h)^2}$

On fait le rapport $\frac{\|\vec{G}_{(P)}\|}{\|\vec{G}_0\|} = \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$

Or $\|G_p\| \approx \|g_p\|$, on peut assimiler le champ de pesanteur au champ gravitationnel et le poids $\vec{P} = m \vec{g}$ à la force d'attraction gravitationnelle.