

Chapitre 5 : Les interactions fondamentales

Aujourd'hui la physique théorique affirme qu'il y a **4 types d'interactions** (forces) dans l'univers.

1. **interaction gravitationnelle**
2. **interaction électromagnétique**
3. **interaction nucléaire forte**
4. **interaction nucléaire faible**

1. Interaction gravitationnelle

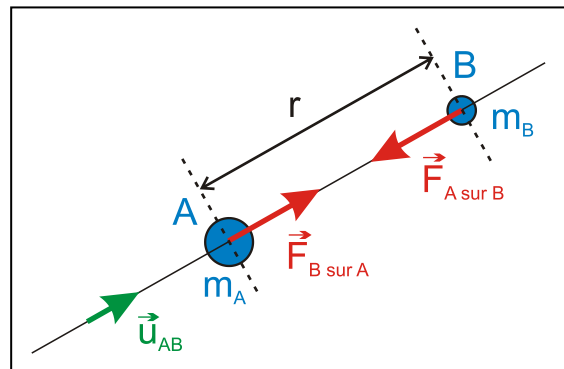
L'interaction gravitationnelle fait que tous les objets sur la surface de la Terre restent liés à la planète. Bien que la force gravitationnelle soit la plus faible des 4 interactions, elle est la moins sélective car elle agit sur toutes les particules. Etant de portée illimitée et seulement attractive, la gravité gouverne le cosmos à grande échelle, elle maintient la Terre sur son orbite autour du Soleil, maintient le Soleil à l'intérieur de la Galaxie qui contient cent milliards d'étoiles et son action s'étend sur quelques cent milliards de galaxies qui constituent l'Univers. Si elle était beaucoup plus intense, elle aurait empêché l'expansion de l'Univers et provoqué son anéantissement en faisant s'effondrer les galaxies les unes sur les autres. D'ailleurs, la cosmologie ne prévoit plus la possibilité que cette implosion commence à se produire un jour.

Loi de Newton

En analysant les mouvements planétaires, Newton a pu montrer que la forme elliptique des trajectoires observées résulte d'une force

- * dirigée vers le centre du soleil
- * d'intensité inversement proportionnelle au carré de la distance à ce centre.

Cette constatation l'a amené à généraliser cette conclusion et à formuler la **loi d'attraction des masses** qui est une propriété universelle de la matière :



Deux particules matérielles ponctuelles A et B de masses respectives m_A et m_B , situées l'une de l'autre à la distance r , **s'attirent** mutuellement avec une force d'intensité

$$F_{A \text{ sur } B} = F_{B \text{ sur } A} = K \frac{m_A m_B}{r^2}$$

* $\vec{F}_{A \text{ sur } B}$ est la force gravitationnelle que A exerce sur B

$\vec{F}_{B \text{ sur } A}$ est la force gravitationnelle que B exerce sur A

d'après le principe de l'action et de la réaction :

$$\vec{F}_{A \text{ sur } B} = -\vec{F}_{B \text{ sur } A}$$

* K est la **constante de gravitation universelle** qui vaut $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

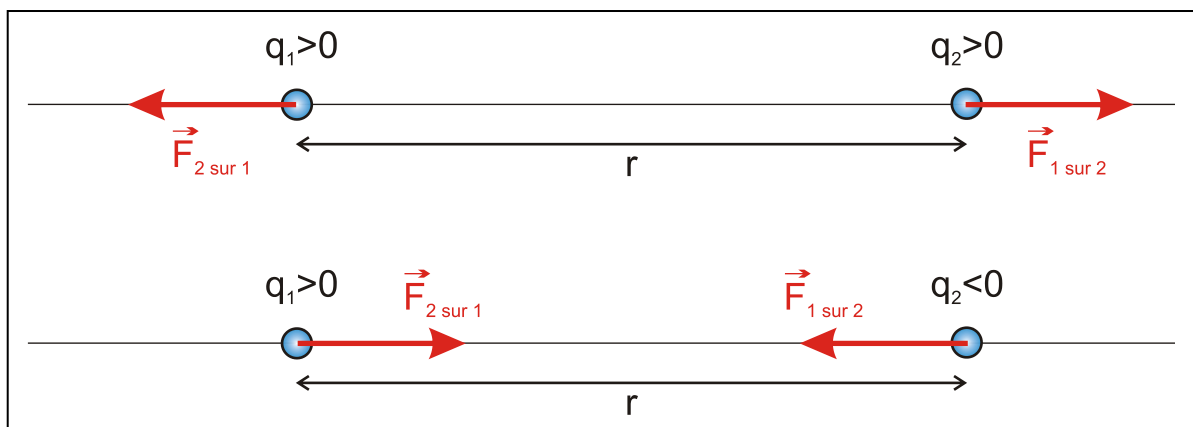
* **Remarque** Cette formulation de la loi de Newton ne s'applique qu'à des masses ponctuelles ; cependant on démontre qu'une sphère homogène de masse m et de rayon R équivaut à un point matériel se trouvant au centre de la sphère et dont la masse est égale à m. Ceci est notamment le cas pour la plupart des corps célestes.

2. Interaction électromagnétique

L'interaction électromagnétique est la force de liaison des objets plus petits tels que les atomes, les molécules mais aussi les plantes et nous-mêmes. Comme pour la force gravitationnelle, les conséquences de la force électromagnétique se manifestent dans le monde macroscopique. Elle agit à l'échelle microscopique et produit des effets macroscopiques. Elle engendre par exemple les forces de frottement, produit l'étirement, l'adhérence et la cohésion. Sa portée est elle aussi illimitée mais elle peut être soit attractive soit répulsive. Elle est plus forte que l'interaction gravitationnelle.

Loi de Coulomb

* Toute charge électrique exerce une force (à distance) sur toute autre charge: des charges de même signe se repoussent, des charges de signe contraire s'attirent.



* q_1 exerce $\vec{F}_{1 \text{ sur } 2}$ sur q_2 ; q_2 exerce $\vec{F}_{2 \text{ sur } 1}$ sur q_1 .

Principe des actions réciproques: $\vec{F}_{1 \text{ sur } 2} = -\vec{F}_{2 \text{ sur } 1}$

Normes: $F_{1 \text{ sur } 2} = F_{2 \text{ sur } 1} = F$

* L'expérience montre que:
$$\left. \begin{array}{l} F \sim |q_1| \\ F \sim |q_2| \\ F \sim \frac{1}{r^2} \end{array} \right\} \Rightarrow F \sim \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \Leftrightarrow F = k \cdot \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

* $k =$ constante de proportionnalité $\cong 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

La constante k peut être exprimée à l'aide d'une autre constante appelée **permittivité du vide**, notée ϵ_0 :

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad \text{avec } \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2.$$

* Énoncé de la loi de Coulomb:

La force qu'une charge q_1 exerce sur une charge q_2 se trouvant à la distance r de q_1 s'écrit:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

3. Interaction forte

Comme beaucoup d'autres particules, les protons et les neutrons (= nucléons) sont formés par des particules élémentaires appelées **quarks**. L'interaction nucléaire forte lie ces quarks à l'intérieur des neutrons et des protons mais lie aussi les protons et les neutrons entre eux pour former les noyaux atomiques. C'est cette force qui permet d'expliquer la stabilité du noyau atomique malgré l'importante force de répulsion électrique entre les protons.

Elle est **extrêmement intense** (10^{38} fois plus forte que la force gravitationnelle, 100 fois plus forte que l'interaction électromagnétique) mais de très **faible portée** qui n'excède pas le rayon atomique (10^{-14} m). Cette portée très courte empêche cette force de se manifester dans notre expérience quotidienne courante. Cela explique qu'elle n'a été découverte qu'au début du 20^{ème} siècle.

4. Interaction faible

L'interaction faible (force faible) est environ un million de fois plus faible que la force nucléaire forte et de portée environ cent fois plus courte. Elle est 10^{32} fois plus forte que l'interaction gravitationnelle. Elle est par exemple responsable de la désintégration radioactive β en changeant un nucléon en un autre. Une étoile comme le Soleil tire son énergie d'un four thermonucléaire interne. Il fait fusionner l'hydrogène en hélium, un processus dû à la transformation graduelle des protons en neutrons par interaction faible.

Exercices et applications

1. Déterminer la force, avec laquelle la Terre et la Lune s'attirent mutuellement ?
2. Calcule la force d'attraction gravitationnelle entre toi et ton voisin de banc, en supposant qu'il se trouve à 1m de distance. ($F_{\text{grav}}=0,320 \mu\text{N}$)
3. Supposons que tu aies une masse de 60kg et que tu te trouves au bord de la mer.
 - a) Quel est la force due uniquement à l'attraction terrestre ? ($P=590\text{N}$)
 - b) Si la lune se trouvait exactement au-dessus de ta position, avec quelle force t'attirerait-elle (tu te trouves encore toujours au bord de la mer). ($F_{\text{grav}}=1,8 \text{ mN}$)
 - c) Compare cette influence à ton poids.
4. Un objet qui se trouve quelque part dans l'espace entre la terre et la lune et soumis à la force d'attraction de la terre et à celle de la lune. Il doit donc exister un point précis où ces 2 forces se compensent exactement. A quelle distance du centre de la lune se trouve ce point ? On donne : $m_{\text{Lune}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$; $d_{\text{Terre-Lune}} = 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$. ($r = 3,46 \cdot 10^8 \text{ m}$)
5. Considérons 2 protons dans un noyau atomique. Dans un noyau, les protons se trouvent l'un collé à l'autre. La force électrostatique entre protons est-elle attractive ou répulsive ? Et la force gravitationnelle ? Pour voir laquelle est la plus forte, calcule le rapport entre ces deux forces. Conclusion ? ($F_{\text{el}}/F_{\text{grav}} = 1,24 \cdot 10^{36}$)
 En fait, il existe encore une autre force, beaucoup plus forte que les forces électrique et gravitationnelle, l'interaction nucléaire forte. C'est elle qui maintient les protons ensemble, d'ailleurs aussi les neutrons ainsi que les neutrons et les protons (rayon du proton = $(0,861 \pm 0,020) \text{ fm}$).
6. Ton poids n'est rien d'autre que la force gravitationnelle avec laquelle la Terre t'attire (si on néglige la rotation de la Terre). Calcule cette force si tu te trouves au bord de la mer, au sommet du Mount Everest (altitude $\approx 9000\text{m}$), et dans l'espace à une distance $2R$, R étant le rayon terrestre. Représente graphiquement la force avec laquelle la terre t'attire en fonction de ta distance x par rapport au centre de la terre, x allant de R à $4R$.
7. A l'aide de la relation donnant la force d'attraction gravitationnelle et de la formule $P = mg$, tu peux établir une expression théorique pour g (si on néglige la rotation de la Terre). Historiquement, cette relation a permis de déterminer la masse de la terre.
8. Deux corps de même masse m et portant des charges positives identiques q sont suspendus à des fils de même longueur L . A l'équilibre, les fils font un angle α entre eux.
 Déterminer la charge q des deux corps sachant que : $m = 10 \text{ g}$; $L = 20 \text{ cm}$; $\alpha = 40^\circ$.
($q = \pm 0,273 \mu\text{C}$)