

M4: Les interactions fondamentales

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

1. Interaction gravitationnelle

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 les mouvements célestes. 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.

Loi de Newton

En étudiant les mouvement des planètes et on faisant l'analogie avec la pomme qui tombe, Newton arrivait à la conclusion que tous les corps subissent une attraction entre eux.

Cette force est proportionnelle à la masse de chaque corps et elle diminue avec le carré de la distance.

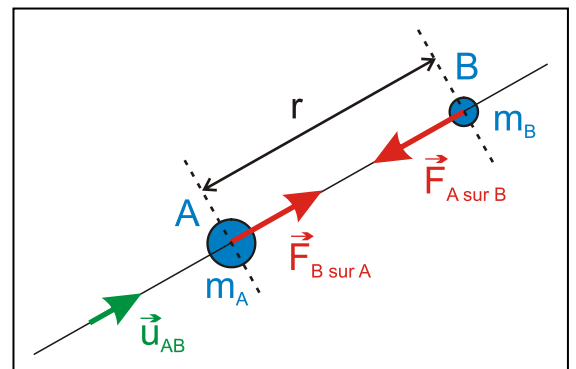
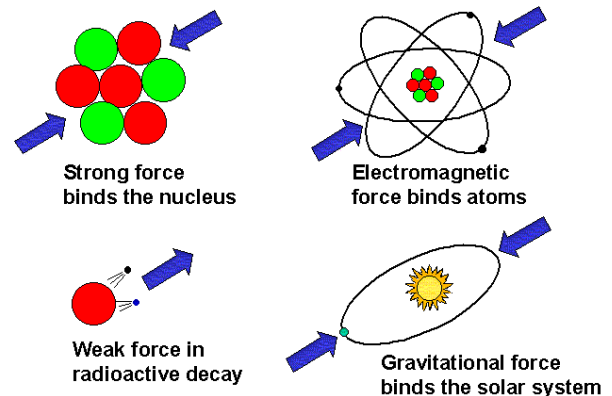
2 corps A et B de masses respectives m_A et m_B , situées l'une de l'autre à la distance r , **s'attirent** mutuellement avec une force d'intensité

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

* 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 $K = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$**

* Cette formulation de la loi de Newton ne s'applique en toute rigueur 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.



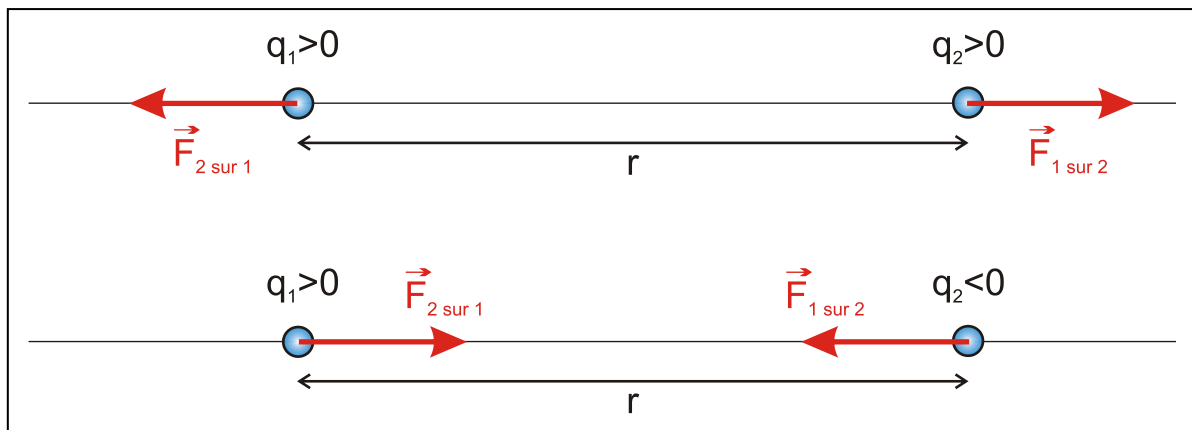
Expérience de Cavendish pour déterminer K: <https://www.youtube.com/watch?v=rpH5I9fN1sI>

2. Interaction électromagnétique

L'interaction électromagnétique est la force de liaison des objets plus petits tels que les atomes, les molécules mais aussi les corps inertes, les plantes et nous-mêmes. Elle agit à l'échelle microscopique et produit des effets macroscopiques. Elle engendre par exemple les forces de frottement ou d'adhérence, la rigidité ou l'élasticité. 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.



- * 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:
$$\left. \begin{array}{l} F \propto |q_1| \\ F \propto |q_2| \\ F \propto \frac{1}{r^2} \end{array} \right\} \Rightarrow F \propto \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \Leftrightarrow F = k \cdot \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

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

- * Enoncé 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:

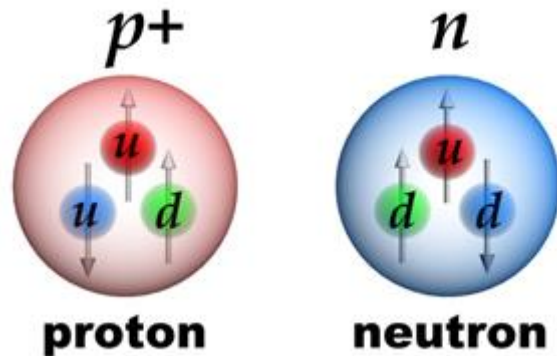
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

Expérience de Coulomb pour vérifier les proportionnalités :

https://www.youtube.com/watch?v=B5LVoU_a08c

3. Interaction forte

Comme beaucoup d'autres particules, les protons et les neutrons sont formés par des particules élémentaires appelées **quarks**. L'interaction nucléaire forte lie ces quarks à l'intérieur des neutrons et des protons (gluons) mais lie indirectement 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. Comme l'interaction forte garantit la stabilité des noyaux, elle est à la base même de notre existence.

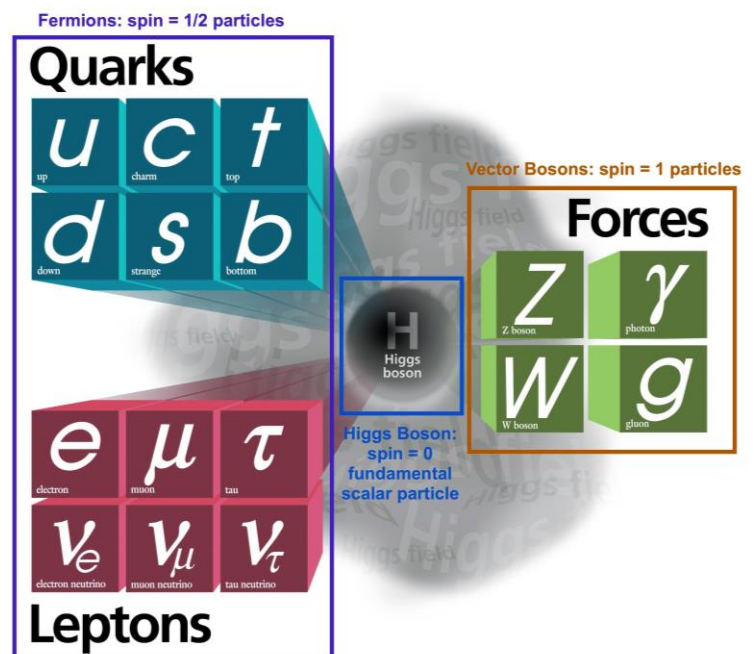


Elle est extrêmement intense (100 fois plus forte que l'interaction électromagnétique) mais de très faible portée qui n'excède pas le noyau atomique (10^{-15} m). Cette portée très courte empêche cette force de se manifester dans notre expérience quotidienne courante.

Higgs, Mass and Vacuum and Quarks : <https://www.youtube.com/watch?v=Ztc6QPNUqls>

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 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 par interaction faible.



Film : CERN Standard Modell : <https://www.youtube.com/watch?v=V0KjXsGRvoA>

Film : Standard Model : Quarks => Atoms

Exercices M4: Interactions fondamentales

- 1) Quels sont les ordres de grandeur des intensités des forces de gravitation :
 - a) la Lune sur la Terre ? ($M_{\text{Terre}}=5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $M_{\text{Lune}}=7,348 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ $r_{\text{TL}}= 384\,400 \text{ km}$)
 - b) le Soleil sur la Terre ? ($M_{\text{Soleil}}=1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$ $r_{\text{ST}}= 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}= 1 \text{ u.a.}$)
 - c) la Terre sur le Soleil ?

- 2) À partir masses et rayons des planètes (Wikipedia) calculer la force de gravitation F et l'intensité du champ de gravitation $G_0=F/m$ exercée sur une personne de 65 kg se trouvant :
 - a) sur Terre $M=5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $R=6370 \text{ km}$
 - b) sur la Lune
 - c) sur Mars

- 3) Que devient le poids d'un objet si sa masse est doublée et si sa distance par rapport au centre de la Terre double aussi ?

- 4) A quelle hauteur au-dessus du sol doit-on monter pour que g diminue à 8 m/s^2 ?

- 5) Quelle charge égale serait nécessaire sur la Terre et sur la Lune pour que la répulsion électrique compense l'attraction gravitationnelle ?

- 6) Deux petites sphères chargées électriquement se trouvent à la distance d . Comment varie la force électrique si :
 - a) on double la charge des 2 sphères
 - b) on triple la charge d'une sphère
 - c) on double la distance entre les deux sphères

- 7) Deux sphères chargées sont distantes de $d=60 \text{ mm}$, $q_1=0,3 \mu\text{C}$, $q_2=-0,4 \mu\text{C}$. Déterminer la direction, le sens et l'intensité des deux forces.

- 8) Par frottement on enlève $6 \cdot 10^{10}$ électrons d'une boule initialement neutre et on les dépose sur une deuxième initialement neutre. Calculer la charge de chaque boule et la distance qui les sépare si la force d'attraction $F=5 \text{ mN}$.

- 9) Evaluer la force de répulsion entre deux protons d'un noyau d'hélium. Pourquoi ils restent ensemble à une distance $r=10^{-15} \text{ m}$?