Interactions gravitationnelles - interactions électromagnétiques

1 La gravitation

a) Choix d'un référentiel

Un référentiel est déterminé par le choix d'un système de référence, d'un repère d'espace qui en est solidaire et d'un repère de temps.

- **Référentiel terrestre**
  Il est lié à la Terre dans son mouvement autour du Soleil et dans son mouvement propre autour de l'axe des pôles. Ainsi, le repère qui lui est couramment associé comporte deux axes horizontaux et un axe vertical.
- **Référentiel géocentrique**
  Il est lié à la Terre dans son mouvement autour du Soleil, mais pas dans son mouvement propre. Le repère qui lui est donc couramment associé a pour origine le centre de la Terre (d'où le nom " géocentrique "), et pour axes trois droites pointant vers trois étoiles considérées comme fixes.
- **Référentiel de Copernic**
  (ou héliocentrique) Le repère qui lui est couramment associé a comme origine le centre du Soleil (d'où le nom " héliocentrique) et comme axes trois droites pointant vers trois étoiles considérées comme fixes. Dans ce référentiel, la Terre décrit une orbite elliptique autour du Soleil en une année.

b) La loi de l'attraction universelle

Enoncé

Deux solides ponctuels de masse m_A et m_B, placés à une distance r l'un de l'autre exercent l'un sur l'autre une force d'attraction dirigée suivant la droite qui les joint de valeur :

$\boxed{F = G\frac{m_A . m_B}{r^2}}$ avec : F en N (Newton), m_A et m_B en kg et r en m.

G est une constante appelée constante d'attraction universelle et égale à : $G = 6{,}67.10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}

En pratique, il est important de noter que l'on considère comme ponctuels des solides dont les dimensions sont faibles par rapport aux distances qui les séparent.

Expression vectorielle de la loi de l'attraction universelle

Il s'agit de chercher l'expression de la force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par la masse ponctuelle m_A placée en A sur la masse ponctuelle m_B placée en B. Cette force gravitationnelle est attractive, dirigée de B vers A.

Elle s'écrit : $\boxed{\vec{F}_{A/B} = -G\dfrac{m_A.m_B}{r^2}\vec{u}}$, avec $\vec{u}$ vecteur unitaire orienté de A vers B.

De même, la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par la masse ponctuelle m_B placée en B sur la masse ponctuelle m_A placée en A a pour expression vectorielle :

$\boxed{\vec{F}_{B/A} = -G\dfrac{m_B.m_A}{r^2}\vec{u}'}$, avec $\vec{u}'$ vecteur unitaire orienté de B ver A.

Or, comme $\vec{u}' = -\vec{u}$ on peut écrire :

$$\boxed{\vec{F}_{B/A} = +G\frac{m_B.m_A}{r^2}\vec{u}}$$

On retrouve l'égalité du principe des actions réciproques : La valeur de la force gravitationnelle diminue fortement lorsque la distance r augmente, pour s'annuler lorsque r tend vers l'infini.

c) Champ de gravitation créé par une masse ponctuelle

L'expression vectorielle du champ gravitationnelle $\vec{A}(M)$ créé en M par la particule de masse m placée en O est :

$\boxed{\vec{A}(M) = -\dfrac{G.m}{r^2}\vec{u}}$ Ce champ est radial et centripète. Sa valeur décroît quand on s'éloigne de la masse source du champ.

d) Champ de gravitation créé par une répartition sphérique de masse

On démontre que le champ créé à l'extérieur du corps à symétrie sphérique a même expression que celui créé par une masse ponctuelle m placée en son centre, soit :

$$\boxed{\vec{A}(M) = -\frac{G.m}{r^2}\vec{u}}$$

Ainsi, à l'aide de ce résultat, nous montrerons que, étant donnés deux solides dont la répartition de masse possède la symétrie sphérique (la Terre, le Soleil, …), la force que chacun exerce sur l'autre est la même que si leur masse était concentrée en leur centre.

e) Comparaison entre les champs créés par deux corps de masses différentes

Soient deux points matériels M1 et M2 de masse m_1 et m_2 soumis chacun à la seule force de gravitation exercée par l'autre. Ces forces de gravitation ont pour valeur :

m_1 A(M1) = m_2 A(M2) d'où : $$\boxed{\frac{A(M1)}{A(M2)} = \frac{m_2}{m_1}}$$

2 Champ électrostatique et magnétique

a) La loi de Coulomb

La loi de Coulomb

La valeur de la force électrostatique existant entre deux charges ponctuelles est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare et proportionnelle à la valeur absolue du produit de leurs charges q_A et q_B.

$$F = k\frac{|q_A q_B|}{r^2}$$

avec : F en N (Newton), q_A et q_B en C (Coulomb) et r en m.

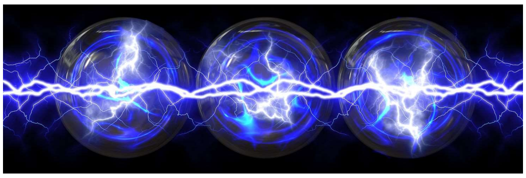
La valeur de k dépend du milieu dans lequel sont placées les charges. Elle s'exprime en fonction de ε, permittivité diélectrique du milieu, par :

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \qquad \text{d'où :} \qquad \boxed{F = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{|q_A q_B|}{r^2}}$$

La permittivité du vide, notée ε_0, a pour valeur : $\varepsilon_0 = 8{,}85.10^{-12}$ S.I.

Comme la permittivité de l'air dans les conditions normales de température et de pression (CNTP) est peu différente de e_0, on a, quand les deux charges sont placées dans l'air :

$$F = 9.10^9\frac{|q_A q_B|}{r^2}$$



Expression vectorielle de la force électrostatique de Coulomb

$\vec{F}_{A/B}$ représente la force exercée par la charge source q_A placée en A sur la charge essai q_B placée en B. Elle a pour direction AB et son sens dépend du signe des charges q_A et q_B. Elle est soit :

- attractive si qA.qB < 0
- répulsive si qAqB > 0

$\vec{u}_{AB}$ étant un vecteur unitaire de l'axe AB orienté de A vers B on a vectoriellement :

$$\boxed{\vec{F}_{A/B} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_A q_B}{r^2}\vec{u}_{AB}}$$

$\vec{F}_{B/A}$ Représente la force exercée par la charge q_B placée en B sur la charge q_A placée en A. Ces forces obéissent au principe des actions réciproques.

$$\boxed{\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}}$$

Si une charge *q* est soumise à l'action de plusieurs autres charges, elle subit une force électrostatique totale $\vec{F}$, égale à la somme vectorielle des forces $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \ldots$ produites par chacune des charges sources q1, q2, q3...

b) Champ électrostatique

Champ électrostatique

Considérons deux charges ponctuelles q_0 et *q*. La force s'exerçant sur *q* a pour expression :

$$\vec{F}_{(M)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}\frac{q_0 q}{r^2}\vec{u}$$

Par analogie avec ce qui a été fait dans l'étude de la gravitation, on peut écrire :

$\boxed{\vec{F}_{(M)} = q\vec{E}(M)}$ en posant : $\boxed{\vec{E}(M) = \frac{q_0}{4\pi\varepsilon r^2}\vec{u}}$

Le vecteur $\vec{E}(M)$ est appelé champ électrostatique créé en M par la particule source q_0 placée en O.

Différence de potentiel

Définition

La différence de potentiel entre deux points M et N placés dans un champ électrostatique uniforme est égale au produit scalaire.

$$\boxed{V_M - V_N = \vec{E}.\overrightarrow{MN}}$$

Surface équipotentielle

On appelle surface équipotentielle, l'ensemble des points ayant même valeur du potentiel. Soient deux points M et M'appartenant à une même surface équipotentielle, alors :

$$V_M - V_{M'} = \vec{E}.\overrightarrow{MM'} = 0$$

Les surfaces équipotentielles d'un champ uniforme sont les plans parallèles, perpendiculaires à la direction du champ.

c) Champ magnétique

Définition

Il existe une force agissant sur un fil conducteur parcouru par un courant placé perpendiculairement au champ magnétique. Cette force dépend de l'intensité *i*, de la longueur *l* du fil et du champ.

$\boxed{B = \frac{F}{i.l}}$ avec : *F* en N (Newton), *i* en A (Ampère), *l* en m et *B* en T (Tesla).

Champ à l'intérieur d'un solénoïde long

A l'intérieur d'un solénoïde, le champ est uniforme. On suppose le solénoïde suffisamment long et placé dans le vide, la valeur de $\vec{B}$ en son centre peut être calculée par la relation :

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 Ni}{l}}$$

μ_0 est la perméabilité du vide. Elle a pour valeur : $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ S.I.

N est le nombre total de spires du solénoïde et l sa longueur.

Champ des bobines de Helmholtz

Elles donnent un champ pratiquement uniforme au voisinage de leur centre de symétrie O, si *i* est l'intensité du courant les parcourant dans le même sens. *r* est le rayon des bobines de Helmoltz. L'air et la plupart des matériaux (sauf les ferromagnétiques) ont une perméabilité presque égale à m $_0$. On retiendra que l'intensité B du champ magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant.