

Chapitre 8 : Interactions fondamentales et champs

Cours

A. Des forces dans l'univers

1. Force de gravitation

Pour expliquer le mouvement de la lune autour de la Terre ainsi que le mouvement des planètes autour du soleil, Isaac Newton postule l'existence (en 1687) d'une force d'attraction entre tous les corps massifs. Il formule cette loi d'attraction sous la forme suivante :

Tous les corps matériels s'attirent mutuellement avec une force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare, et proportionnelle à leurs masses respectives.

La loi de Newton s'écrit avec les notations modernes :

$$F_g = \frac{G m_A m_B}{d^2}$$

F_g : valeur de la force de gravitation (N)

G : constante de gravitation universelle ($\text{N.m}^2.\text{kg}^{-2}$)

m_A, m_B : masses (kg)

d : distance entre les masses (m)

La constante de la gravitation universelle est $G = 6,67.10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$.

Application

Jupiter est la plus grosse et la plus massive des planètes du système solaire. Sa masse est $M_J = 1,90.10^{27} \text{ kg}$. Exprimer puis calculer la valeur de la force F_g exercée par le soleil sur Jupiter.

Données

$$G = 6,67.10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$$

$$M_S = 1,99.10^{30} \text{ kg}$$

$$d_{JS} = 7,79.10^8 \text{ km}$$

Appliquons la loi de gravitation de Newton

$$\begin{aligned} F_g &= \frac{G M_S M_J}{d_{JS}^2} \\ &= \frac{6,67.10^{-11} \times 1,99.10^{30} \times 1,90.10^{27}}{(7,79.10^8.10^3)^2} \end{aligned}$$

$$F_g = 4,16.10^{23} \text{ N.}$$

Rappel de seconde

Au voisinage du sol on peut assimiler la valeur de la force de gravitation exercée par la Terre sur un objet de masse m à la valeur du poids de l'objet défini par

$$P = m g$$

P : valeur du poids (N)

m : masse (kg)

g : intensité de la pesanteur (N/kg)

L'égalité des deux valeurs des forces citées permet d'écrire

$$m g = \frac{G M_T m}{R_T^2}$$

Par simplification par la masse m on obtient l'intensité de la pesanteur au niveau du sol :

$$g = \frac{G M_T}{R_T^2}$$

Application

Sachant que $M_T = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg et $R_T = 6,4 \cdot 10^6$ m déterminer l'intensité de la pesanteur au niveau du sol.

$$g = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \times 6,0 \cdot 10^{24}}{(6,4 \cdot 10^6)^2}$$

$$g = \underline{9,8 \text{ N.kg}^{-1}}.$$

On place une masse m_A au point A et une masse m_B au point B, séparés par la distance d , alors la force exercée par m_A sur m_B , notée $\vec{F}_g$ ou $\vec{F}_{A/B}$ est donnée par l'expression vectorielle

$$\vec{F}_g = - G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

Le vecteur $\overrightarrow{u_{A \rightarrow B}}$ est colinéaire et de même sens que $\overrightarrow{AB}$, il est unitaire.
 En permutant A et B dans l'expression de $\overrightarrow{F_{A/B}}$, on retrouve bien le principe de l'action et de la réaction :

$$\overrightarrow{F_{B/A}} = - \overrightarrow{F_{A/B}} .$$

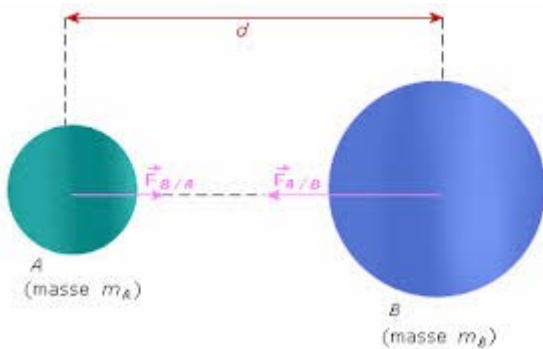


Figure 1

2. Force électrostatique

<https://youtu.be/D4hDy3xHc00>

Le lien ci-dessus prouve l'existence de deux types d'électricité :

- Electricité vitreuse (positive par convention),
- Electricité résineuse (négative par convention).

Le lien ci-dessous relate l'expérience de Coulomb et sa fameuse loi.

<https://youtu.be/Mr7ecUUwDhE>

Pour expliquer l'interaction électrique, on affecte à chaque objet électrisé une charge électrique notée q . Suivant le signe des charges en présence, on aura une attraction ou une répulsion.

Signe	$q_2 > 0$	$q_2 < 0$
$q_1 > 0$	répulsion	attraction
$q_1 < 0$	attraction	répulsion

La loi de Coulomb (énoncée en 1785) s'écrit :

"La force répulsive de deux petits globes électrisés de la même nature d'électricité est en raison inverse du carré de la distance du centre des deux globes"

La loi de Coulomb s'écrit avec les notations modernes :

$$F_e = \frac{k |q_A q_B|}{d^2}$$

F_e : valeur de la force électrique (N)

k : constante de la loi de Coulomb ($N.m^2.C^{-2}$)

q_A, q_B : charges électriques (C)

d : distance entre les charges (m)

La constante de la loi de Coulomb, dans l'air, est $k = 9,0.10^9 N.m^2.C^{-2}$.

Remarques

- La charge électrique d'un objet provient toujours d'un transfert d'électrons de charge individuelle $q = -1,60.10^{-19} C$.
- La valeur absolue de cette charge est appelée charge électrique élémentaire positive et notée e .
- En définitive $|q|$ est toujours un multiple de e .

Application

Deux électrons e_1 et e_2 se repoussent par la force électrostatique. La distance est $d = 1,0.10^{-10} m$.

Exprimer puis calculer la valeur de la force de répulsion.

Appliquons la loi de Coulomb

$$\begin{aligned} F_e &= \frac{k |(-e).(-e)|}{d^2} \\ &= \frac{9,0.10^9 \times |(-1,6.10^{-19}) \times (-1,6.10^{-19})|}{(1,0.10^{-10})^2} \end{aligned}$$

$$F_e = 2,3.10^{-8} N.$$

Si on place une charge q_A au point A et une charge q_B au point B, séparés par la distance d , alors la force exercée par q_A sur q_B , notée $\vec{F}_e$ ou $\vec{F}_{A/B}$ est donnée par l'expression

$$\vec{F}_e = k \frac{q_A q_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

Le vecteur $\overrightarrow{u_{A \rightarrow B}}$ est colinéaire et de même sens que $\overrightarrow{AB}$, il est unitaire.

En permutant A et B dans l'expression de $\overrightarrow{F_{A/B}}$, on retrouve bien le principe de l'action et de la réaction :

$$\overrightarrow{F_{B/A}} = - \overrightarrow{F_{A/B}} .$$

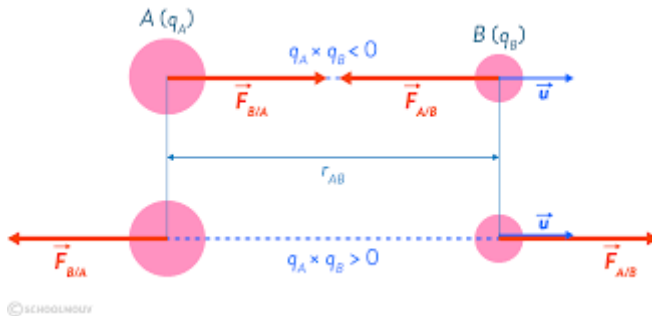


Figure 2

3. Comparaison entre les deux forces

- La force de gravitation est toujours attractive. La force électrique est attractive lorsque les deux charges en interaction sont de signe contraire ($q_A q_B < 0$). Dans le cas de deux charges de même signe ($q_A q_B > 0$), elle est répulsive.
- La force de gravitation et la force électrique sont toutes deux dirigées selon une droite qui joint le centre des deux corps en interaction.
- Leur valeur est proportionnelle aux masses ou aux charges des corps en interaction et inversement proportionnelle au carré de la distance.

B. La notion de champ en physique

1. Champ de gravitation

Si on considère les deux masses m_A et m_B , le champ de gravitation $\vec{g}$ créé par la masse m_A au point B est le quotient de $\overrightarrow{F_{A/B}}$ par m_B , soit :

$$\vec{g} = - \frac{G m_A}{d^2} \overrightarrow{u_{AB}}$$

Remarques

-Connaissant $\vec{g}$ et m_B on peut exprimer $\vec{F}_g$ par la relation :

$$\vec{F}_g = m_B \vec{g}$$

-La valeur du champ de gravitation est donc en N/kg.

-La valeur du champ de gravitation créé par la masse m_A est alors

$$g = \frac{G m_A}{d^2}$$

Ci-dessous (figure 3) le champ de gravitation exercé par la Terre.

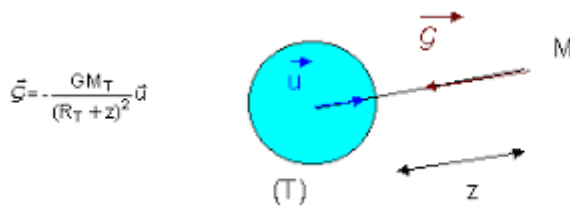


Figure 3

2. Champ électrostatique

Si on considère les deux charges q_A et q_B , le champ électrique $\vec{E}$ créé par la charge q_A au point B est le quotient de $\vec{F}_{A/B}$ par q_B , soit :

$$\vec{E} = k \frac{q_A}{d^2} \vec{u}_{AB}$$

Remarques

-Connaissant $\vec{E}$ et q_B on peut exprimer $\vec{F}_e$ par la relation :

$$\vec{F}_e = q_B \vec{E}$$

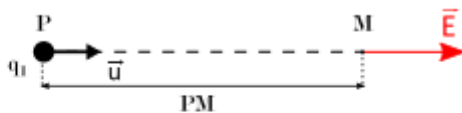
-La valeur du champ électrostatique est donc en N/C.

-La valeur du champ électrostatique créé par la charge q_A est alors

$$E = \frac{k |q_A|}{d^2} .$$

Ci-dessous (Figure 4) le champ électrique exercé par une charge ponctuelle.

- Si $q_1 > 0$:



- Si $q_1 < 0$:

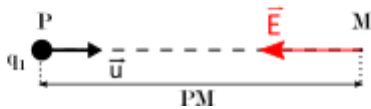


Figure 4

3. Lignes de champ

Un champ vectoriel est représenté par un vecteur.

Cartographier un champ consiste à déterminer ses caractéristiques en plusieurs points de l'espace puis à le représenter.

Une ligne de champ vectoriel est une ligne tangente en chacun de ses points au vecteur champ. Elle est orientée par une flèche dans le sens du champ.

gravitationnel

En rouge sur la figure 5 des lignes du champ de gravitation existant autour d'une masse située au centre de la figure. En considérant la masse centrale comme immobile, on peut considérer une ligne de champ comme étant la trajectoire d'une masse test située autour et sans vitesse initiale.

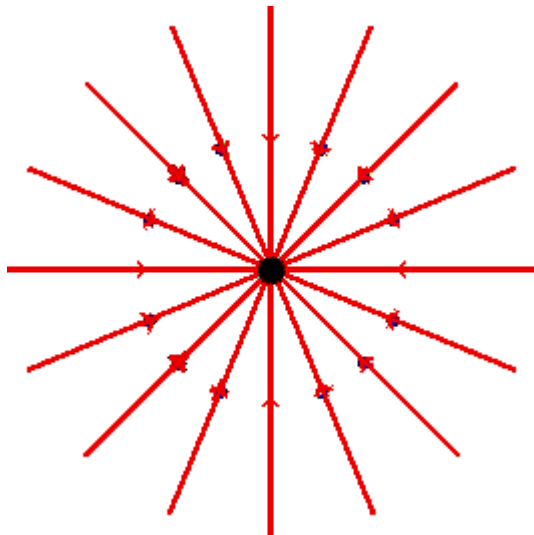


Figure 5

électrostatique

En noir sur la figure 6 des lignes du champ électrostatique existant autour d'une charge située au centre de la figure. En considérant la charge centrale comme immobile, on peut considérer une ligne de champ comme étant la trajectoire d'une charge test positive située autour et sans vitesse initiale. La force de gravitation appliquée à la charge n'est pas prise en compte.

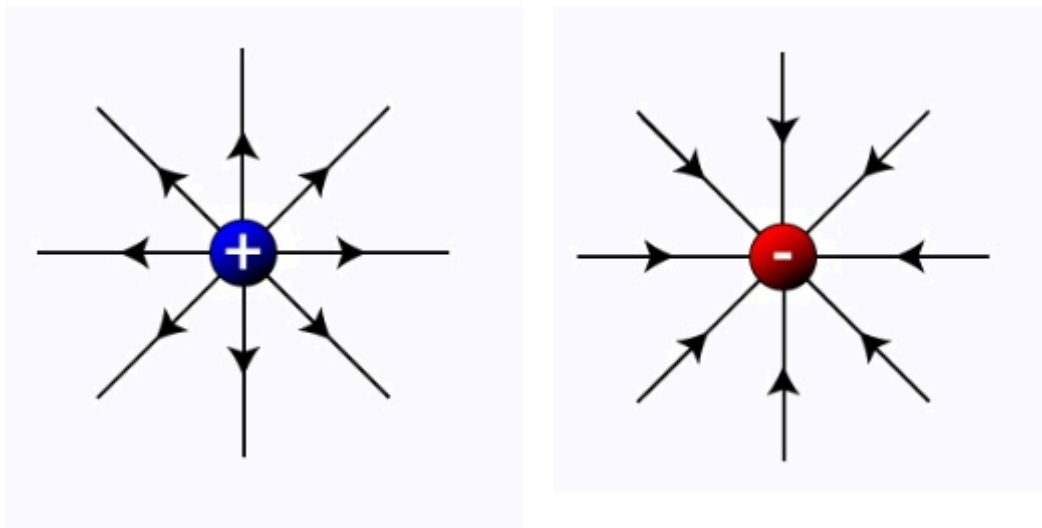


Figure 6

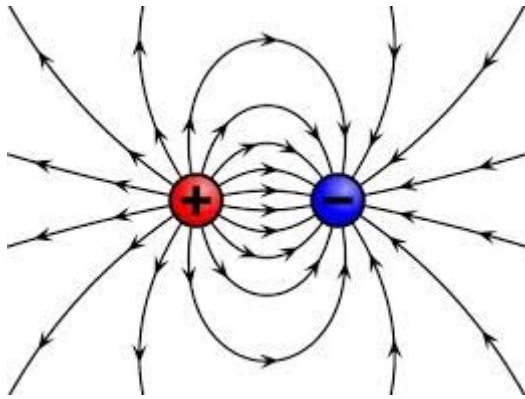


Figure 7

magnétique

En noir sur la figure 8, des lignes du champ magnétique existant autour d'un aimant droit. Une petite aiguille aimantée se met tangente à la ligne de champ. L'orientation de la ligne de champ se comprend car le pôle nord (sud) de l'aiguille est attiré par le pôle sud (nord) de l'aimant.

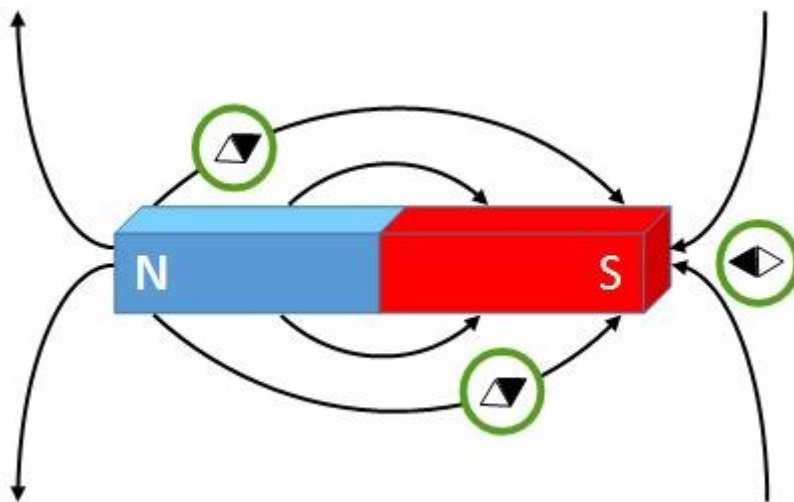


Figure 8

Avec le lien ci-dessous, on peut visualiser des lignes de champ.

<https://youtu.be/nLDO6M518fQ>

champ uniforme

Définition : Un champ est dit uniforme s'il ne dépend pas du lieu considéré.

Sur la figure 9 le champ de gravitation au niveau d'une petite région du sol. Dans ce cas le champ est noté $\vec{g}$ et est appelé champ de pesanteur de valeur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$ ou $9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

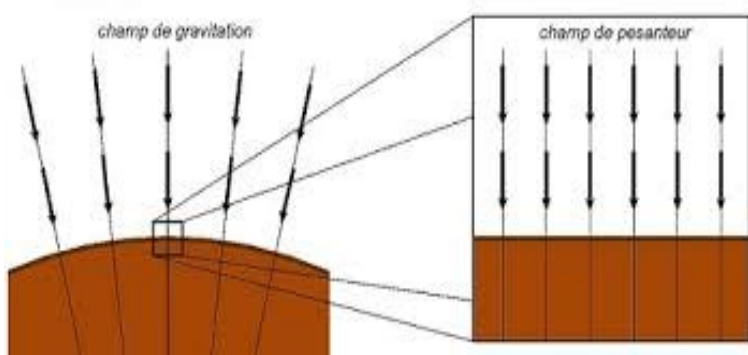


Figure 9

Sur la figure 10 le champ électrostatique au niveau d'une petite région située entre les deux plaques métalliques d'un condensateur reliées à un générateur de tension continue. La charge test (souvent choisie positive) mise entre les plaques sert à monter le sens du champ $\vec{E}$.

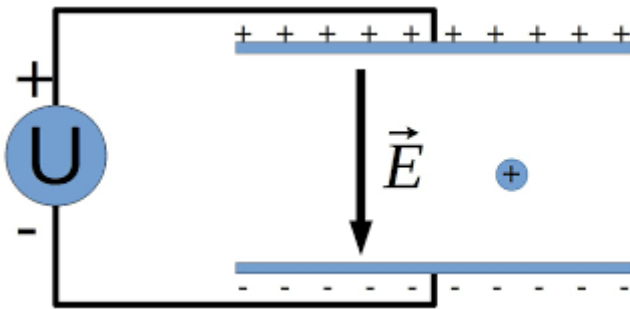


Figure 10

Sur la figure 11 sont représentées des lignes de champ magnétique existant autour d'un aimant en U. On voit que le champ est uniforme au centre de ce type d'aimant.

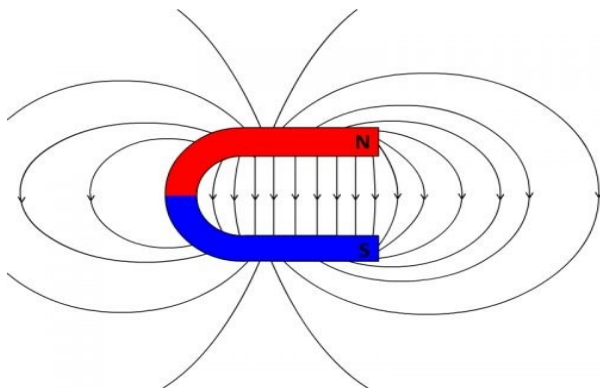


Figure 11

Exercices

N°	10	page	202
N°	13	page	203
N°	14	page	203
N°	15	page	203
N°	16	page	203
N°	17	page	204
N°	20	page	204
N°	26	page	206
N°	27	page	206
N°	29	page	207