

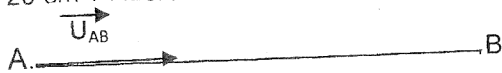
TRAVAUX DIRIGES DE PHYSIQUE N°2
FORCES ELECTRIQUES ; CHAMP ELECTRIQUE

On prendra : $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$; $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$; masse de l'électron : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; masse du proton = masse du neutron = $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$;

$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ SI}$

CONNAISSANCES THEORIQUES

1- On place au point A une charge $q_A = + 5,0 \mu\text{C}$.
Quelle est la force exercée par la charge q_A sur une charge $q_B = + 10 \mu\text{C}$ placée au point B tel que $AB = 20 \text{ cm}$? Représenter cette force.



2- Quelles sont les analogies et les différences entre la loi de Coulomb et la loi de gravitation universelle.

3- Compléter la phrase suivante :
Entre les armatures d'un condensateur..., le champ électrique est... ; le vecteur champ électrique E est... aux armatures et dirigé de l'armature de plus... potentiel vers l'armature de plus... potentiel.

EXERCICE 1 : Atome d'hélium.

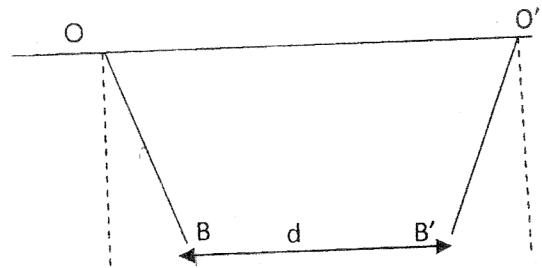
On considère l'isotope d'hélium, noté ${}^4_2\text{He}$, qui, dans certaines conditions, perd un électron pour donner l'ion He^+ .

1. Quelle est la charge de son noyau ?
2. La distance moyenne de l'électron au centre du noyau de l'ion est $r = 52 \text{ pm}$.
 - 2.1. Quelle est la valeur de la force électrique exercée par le noyau sur l'électron ?
 - 2.2. Comparer cette valeur à celle de la force gravitationnelle exercée par le noyau sur l'électron.
 - 2.3. Représenter, avec une échelle à préciser, la force électrique.

EXERCICE 2 : Boules électrisées.

Deux petites boules électrisées B et B', que l'on considérera comme ponctuelles, sont attachées respectivement aux points O et O' par deux fils isolants, de masse négligeable et de même longueur L.

Les deux boules ont la même masse $m = 3 \text{ cg}$. La boule B porte une charge $q = + 100 \text{ nC}$ et la boule B' une charge $|q'| = 50 \text{ nC}$. On approche les deux boules et l'on obtient un équilibre représenté sur le schéma suivant.



Les deux boules sont alors distantes de $d = 5 \text{ cm}$.

1.
 - 1.1) Quel est le signe de la charge q' ?
 - 1.2) La boule B' présente-t-elle un excès ou un défaut d'électrons ? De combien d'électrons ?
 - 1.3) Que peut-on dire de α et α' , angles d'inclinaison des deux fils par rapport à la verticale ?

2. Dans la suite du problème, on s'intéresse à la boule B et on néglige les forces d'interaction gravitationnelle entre B et B'.

- 2.1) Déterminer l'angle d'inclinaison α
- 2.2) Donner les caractéristiques du champ électrique créé par la boule B' sur la boule B.

EXERCICE 3 : Expérience de Millikan.

Le livre "l'électron", publié à Chicago en 1917, écrit par le physicien américain Millikan, est un grand classique de la physique. On y apprend que si un pulvérisateur d'huile faisant tomber lentement des gouttelettes d'huile électrisées dans un espace où règne un champ électrostatique uniforme, on constate alors que la vitesse de chute serait brusquement modifiée, ce qui manifesterait l'entrée en jeu d'une force, Millikan mesura alors la valeur de la charge élémentaire : $e = 1,6017 \cdot 10^{-19} \text{ coulomb}$.

1. Qu'est-ce qu'un champ électrostatique uniforme ? Comment peut-on le réaliser ?

De quelle force parle-t-on dans ce texte ?

Pourquoi parle-t-on de charge élémentaire ?

2. Considérons alors une goutte d'huile M, de rayon r , de masse m , en équilibre entre deux plaques P et Q chargées, horizontales et distantes de $d = 32$ mm. La différence de potentiel entre les deux plateaux est $U_{PQ} = 3350$ V.

Etablir l'expression de la masse de la goutte. Calculer sa valeur.

3. Compléter le schéma en précisant le signe des plaques, le champ électrostatique et les forces mises en jeu.
4. Sachant que la goutte d'huile porte 12 électrons, retrouver la valeur de la charge élémentaire.
5. De nos jours les théories sur la matière permettent de penser que le proton est constitué de 3 quarks. Que pouvez-vous dire à propos de cette charge élémentaire ?

Données : $\rho_{\text{huile}} = 0,85 \text{ g.cm}^{-3}$;
 $r_{\text{goutte}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$.

EXERCICE 4 : Champ électrique.

1. Deux charges électriques ponctuelles q_A et q_B , placées respectivement en deux points A et B, sont telles que $q_A = -4 \mu\text{C}$, $q_B = +1 \mu\text{C}$ et $AB = 20 \text{ cm}$.

- 1.1. Représenter les lignes de champ électrique créé par l'ensemble des charges (q_A et q_B).
- 1.2. Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique au point M, milieu de AB, et au point P tel que $AP = BP = 15 \text{ cm}$.
- 1.3. En quel(s) point(s) de la droite passant par A et B le champ électrique est-il nul ?

2. Une boule électrisée ponctuelle, de masse $m = 5,0 \cdot 10^{-2} \text{ g}$, porte une charge $q < 0$. Elle est placée en un point O situé entre les armatures horizontales A et B d'un condensateur plan, A étant l'armature supérieure.

- 2.1. Lorsqu'on applique entre les armatures distantes de $d = 5,0 \text{ cm}$, une tension U_{AB} telle que $|U_{AB}| = 2 \cdot 10^3 \text{ V}$, la boule est en équilibre. Quel est le signe de la tension U_{AB} ?

- 2.2. Quelle est la relation entre la force électrique \vec{F} subie par la boule et le poids \vec{P} de cette boule ? En déduire la valeur de la charge q portée par la boule.

EXERCICE 5 : Champ électrique uniforme

Une petite boule de charge q et de masse m est suspendue par un fil isolant de longueur $L = 2 \text{ m}$ entre les plaques verticales (A) et (B) d'un condensateur plan.

Les plaques n'étant pas mises sous tension, le fil est vertical. On établit une tension positive U_{AB} entre les plaques. On constate que la boule s'écarte de sa position initiale d'équilibre, vers la plaque (B), d'une distance d .

On admettra que la boule n'entre pas en contact avec les plaques et qu'elle ne perturbe pas la répartition des charges électriques sur les plaques.

On donne :

- distance entre les plaques : $D = 15 \text{ cm}$
- intensité de la pesanteur : $g = 10 \text{ N/kg}$.

1. Montrer que l'angle α dont le fil s'écarte de la verticale est tel que

$$\tan \alpha = \frac{d}{\sqrt{L^2 - d^2}}$$

2. Donner le signe de la charge q de la boule.

Exprimer $|q|$ en fonction de m , g , α et E : valeur du champ électrique entre les plaques (A) et (B).

3. Afin de déterminer la valeur E du champ électrique, on utilise différentes petites boules de masse $m = 1 \text{ g}$ et de charges q positives. On note pour chaque charge q , la distance d dont la boule s'écarte de position initiale d'équilibre :

q (nC)	9,5	23,8	30,5	38,1	57,1
d (mm)	21	50	64	80	120
$\tan \alpha$					

- 3.1. Compléter le tableau.

- 3.2. Tracer la graphe $q = f(\tan \alpha)$.

Echelles : 1 cm pour $q = 5 \text{ nC}$ et 1 cm pour

$\tan \alpha = 10^{-2}$.

3.3. En déduire E.

EXERCICE 6 : Interaction électrique, champ électrique.

On place dans le vide, en deux points A et B distants de $d = 20 \text{ cm}$, deux charges ponctuelles $q_A = +q$ et $q_B = -5q$, où $q = 3 \mu\text{C}$.

1. L'interaction électrique entre q_A et q_B est-elle attractive ou répulsive ? Justifier votre réponse et calculer sa valeur. Représenter la force électrique exercée par q_B sur q_A .

2. On oriente la droite (AB) de A vers B : $\vec{i} = \frac{\overline{AB}}{d}$.

Soit O le milieu de AB, et, P un point tel que $\overline{OP} = x \vec{i}$.

- 2.1. Définir : champ électrique.
- 2.2. Exprimer le champ électrique $\vec{E}(P)$ créé en P par les charges q_A et q_B . On fera apparaître les grandeurs k , q , x et d .
- 2.3. En quel(s) point(s) de la droite (AB) le champ électrique créé par les charges q_A et q_B est-il nul ? On déterminera la (les) position(s) de ce(s) point(s) par rapport à O.

EXERCICE 7 : Champ d'un dipôle.

Dans la molécule de chlorure d'hydrogène, on peut considérer que les atomes d'hydrogène portent respectivement les charges $+q$ et $-q$ placées à a distance d l'une de l'autre.

1. La molécule de chlorure d'hydrogène est caractérisée par un moment dipolaire $p = q \cdot d$, de valeur $3,5 \cdot 10^{-30} \text{ C}$, avec $d = 126 \text{ pm}$. Calculer q .
2. Soit O le milieu du segment joignant les centres A et B des atomes de chlore et d'hydrogène et P un point de la droite (AB). On pose $OP = x$, on

oriente la droite de A vers B : $\vec{i} = \frac{\overline{AB}}{AB}$

Calculer en P :

- a) Le champ $\vec{E}_1(P)$ créé par la charge $-q$ placée en A, en fonction de x et de d ;
 - b) Le champ $\vec{E}_2(P)$ créé par la charge $+q$ placée en B, en fonction de x et de d ;
 - c) Le champ $\vec{E}(P)$ créé par les deux charges.
3. On se place à une distance x très grande devant d . Montrer que $\vec{E}(P)$ se met sous la forme :

$$\vec{E}(P) = K \frac{p}{x^3} \vec{i}, \text{ où } K \text{ est une constante à}$$

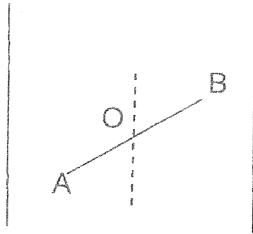
calculer.

EXERCICE 8 : charges ponctuelles, champ et force électriques

1. Quatre objets quasi ponctuels sont placés aux sommets d'un carré ABCD dont la longueur d'un côté est $a = 10 \text{ cm}$. Les charges de ces objets sont respectivement $q_A = q$; $q_B = -2q$; $q_C = 3q$; $q_D = 4q$, avec $q = 1,00 \text{ nC}$. Donner les caractéristiques du champ électrique au centre O du carré.
2. Deux sphères métalliques A et B identiques, électrisées et quasi ponctuelles, sont placées dans l'air à $r_1 = 1 \text{ m}$ l'une de l'autre et s'attirent avec une force électrique \vec{F}_1 d'intensité $1,76 \cdot 10^{-6} \text{ N}$. On les met en contact, puis on les place à $r_2 = 50 \text{ cm}$ l'une de l'autre ; elles se repoussent alors avec une force \vec{F}_2 d'intensité $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ N}$.
 - 2.1. Quelles sont, avant et après leur contact, les charges des deux sphères ?
 - 2.2. Quelle est la valeur du champ électrique au point I, milieu de AB, après le contact ?
3. Soit deux charges immobiles placées dans le vide en A ($q_1 = 10 \text{ nC}$) et en B ($q_2 = -48 \text{ nC}$). La distance ente A et B est $r = 5 \text{ cm}$. Déterminer les caractéristiques du champ électrique en un point M situé à 3 cm de A et 4 cm de B.

EXERCICE 9 : champ électrique uniforme.

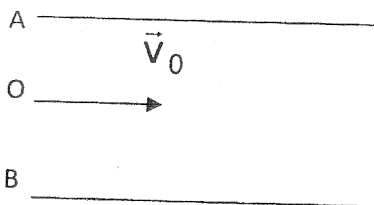
1. Un fil de torsion en argent, de constante de torsion $C = 1,35 \times 10^{-6} \text{ N.m.rad}^{-1}$, supporte une barre isolante équilibrée et horizontale. Deux petites sphères métalliques et identiques sont fixées aux extrémités A et B de la barre ($AO = OB = 12 \text{ cm}$). Elles portent respectivement les charges 1 nC et -1 nC .
On introduit ce dispositif entre deux plaques métalliques parallèles de surface $S = 4,2 \text{ dm}^2$. Lorsque celles-ci sont branchées à la terre, la barre AOB est parallèle aux plaques et le fil n'est pas tordu. Lorsque les plaques, branchées à un générateur haute tension, portent les charges Q et $-Q$, il existe un champ électrique uniforme \vec{E} perpendiculaire à celles-ci. La barre AOB fait alors un angle $\alpha = 30^\circ$ avec la direction précédente.



1.1 Montrer que la barre AOB est soumise à deux couples de forces et écrire sa condition d'équilibre.

1.2 Calculer la valeur du champ électrique \vec{E} . Quelle est la valeur de la charge Q portée par la plaque positive ?

1. Un électron arrive en un point O, entre les plaques A et B d'un condensateur plan avec une vitesse \vec{V}_0 .



On établit entre les plaques une tension $U_{AB} = -40 \text{ kV}$. La distance entre les armatures vaut $d = 20 \text{ cm}$.

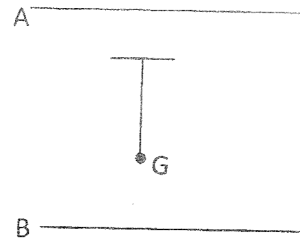
- 1.1. Représenter quelques lignes de champ électrique entre les armatures A et B.
- 1.2. Déterminer les caractéristiques de la force électrique s'exerçant sur l'électron.
- 1.3. Comparer la valeur de cette force à celle du poids de l'électron. Conclure.
- 1.4. La particule conserve-t-elle sa trajectoire initiale ?

Justifier votre réponse.

2. On place face à face et horizontalement, deux plaques métalliques rectangulaires A et B, à une distance $d = 40 \text{ cm}$. Ces plaques sont reliées aux bornes d'un générateur de tension constante $U = 4 \cdot 10^4 \text{ V}$.

- 3.1. Calculer la valeur du champ électrique entre ces plaques.

- 3.2. On introduit, entre les plaques, un pendule électrique constitué d'une boule électrisée négativement en surface et assimilable à un point G. Sa masse vaut $m = 2,5 \text{ g}$, sa charge $q = -1,5 \mu\text{C}$ et elle est suspendue à un fil isolant inextensible.



Faire le bilan des forces s'exerçant sur la boule à l'équilibre.

- Quel doit être le signe de la tension U_{AB} pour que le fil soit tendu ? Préciser alors les signes des plaques A et B.

EXERCICE 10: champ électrique et champ de gravitation.

1. Une charge ponctuelle de 1 nC est placée en un point O.
 - a) Calculer les valeurs du champ électrique $\vec{E}(P)$ en divers points P d'une demi-droite $[Ox)$ tels que $OP_1 = 5 \text{ cm}$; $OP_2 = 10 \text{ cm}$ et $OP_3 = 20 \text{ cm}$.
 - b) Représenter à l'échelle les vecteurs champs en chacun de ces points.
 - c) Quelle est la forme des lignes de champ ? Comment qualifier ce champ ?
 - d) Représenter la courbe donnant la répartition des points pour lesquels le champ électrique a même valeur qu'en P_1 .
2. Un solide ponctuel de masse $0,1 \text{ kg}$ est placé en un point O.
 - a) Calculer les valeurs du champ de gravitation en divers points M d'une demi-droite $[Oz)$ tels que $OM_1 = 5 \text{ cm}$; $OM_2 = 10 \text{ cm}$ et $OM_3 = 20 \text{ cm}$.
 - b) Représenter à l'échelle les vecteurs champs en chacun de ces points.
 - c) Quelle est la forme des lignes de champ ? Comment qualifier ce champ ?
 - d) Représenter la courbe donnant la répartition des points pour lesquels le champ gravitationnel a même valeur qu'en M_1 .
3. Etablir des comparaisons entre le champ électrique et le champ de gravitation
4. Ressortir dans un tableau les analogies et les différences entre la loi de gravitation et la loi de Coulomb.