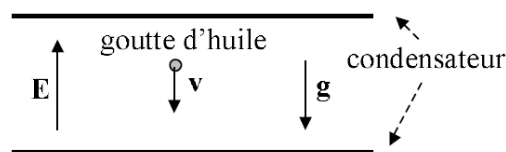


## TD1 : Force électromagnétique

Remarque : les grandeurs vectorielles sont notées **en gras**.

- Dans la structure cristalline du chlorure de césium, les ions  $Cs^+$  occupent les coins d'un cube d'arête 0,4nm alors qu'un ion  $Cl^-$  est au centre. La force électrostatique  $\mathbf{F}^e$  exercée par une charge  $q_1$  sur une charge  $q_2$  est donnée par la loi de Coulomb :  $\mathbf{F}^e = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{u}_{12}$ , avec  $\epsilon_0 \simeq 8.85 \cdot 10^{-12}$  (SI) la permittivité diélectrique du vide,  $r$  la distance entre les deux charges et  $\mathbf{u}_{12}$  le vecteur unitaire orienté de  $q_1$  vers  $q_2$ .
  - Quelle est la force électrostatique qu'exercent les huit ions  $Cs^+$  sur l'ion  $Cl^-$  ?
  - Le cristal est imparfait et un ion  $Cs^+$  manque. Quelle est la force électrostatique qu'exercent les sept ions  $Cs^+$  présents sur l'ion  $Cl^-$  ?
- Recherche d'un point d'équilibre pour des charges ponctuelles alignées*  
Deux charges ponctuelles sont placées fixement sur l'axe des  $x$  : la première en  $x_1 = 0$  porte une charge  $q_1 = +3\mu C$  et la seconde en  $x_2 = 40\text{cm}$  une charge  $q_2 = -5\mu C$ .
  - Calculer la force électrostatique exercée sur une troisième particule de position  $x$  sur l'axe et de charge  $q$ .
  - En déduire les positions d'équilibre.
  - Discuter la stabilité de ces équilibres.
- Un électron pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrique uniforme. Sous quelle condition sa trajectoire sera-t-elle rectiligne ? Quelle doit alors être le sens du champ pour que l'électron soit freiné ?
- Deux boules de liège identiques de masse  $m=30\text{g}$  et charge  $q$  pendent d'un plafond par des fils de longueur identique  $l=15\text{cm}$ , dont les points d'attache sont espacés de  $d = 10\text{ cm}$ . Soit  $\theta=30^\circ$  l'angle entre les fils et la verticale à l'équilibre. Trouver la charge de chaque sphère. Qu'arrive-t-il si les charges ne sont pas égales ?

### 5. Expérience de Millikan



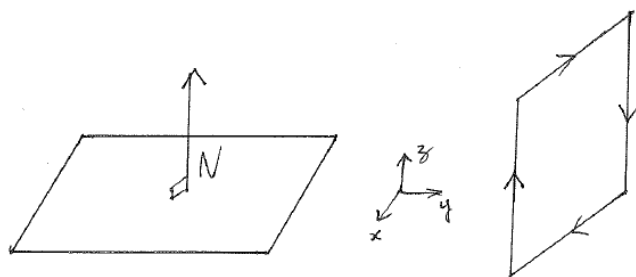
Des gouttelettes d'huile sont pulvérisées dans un condensateur à l'intérieur duquel le champ électrique  $\vec{E}$  est constant. Une gouttelette se déplace par effet de la gravité, du champ et de la friction visqueuse. On supposera que la force de frottement est donnée par la formule :  $F_f = -6\pi\eta r v$ , où  $\eta = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.s}$  est la viscosité de l'air et  $r$  le rayon de la gouttelette. On néglige la poussée d'Archimède.

- Calculer la vitesse (en fonction du temps) de la goutte lorsque le champ électrique est nul.
- Déduire l'existence d'une vitesse limite  $v_l$  et calculer sa valeur.
- On applique un champ électrique  $\vec{E}$  (colinéaire à la gravité) jusqu'à ce que la gouttelette se trouve à l'arrêt. Calculer la charge d'une gouttelette en fonction du champ électrique et de la vitesse limite à champ nul,  $v_l$ .

**A.N.** : La masse volumique de l'huile est  $\rho_h = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $E = \|\vec{E}\| = 524 \text{ kV.m}^{-1}$ ,  $r = 1.8 \cdot 10^{-6}$ .

- Un courant continu d'intensité 1A passe pendant 1 minute dans une résistance de  $1\Omega$ . Quelle quantité de charge est déplacée ?

7. Un proton de charge  $q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$  et de vitesse  $\mathbf{v}$  entre dans une zone où règnent un champ électrique  $\mathbf{E} = E\mathbf{e}_x$  et un champ magnétique  $\mathbf{B} = B\mathbf{e}_y$ . Si  $E = 10 \text{ V/m}$  et  $B = 10 \text{ mT}$ , caractériser la vitesse  $\mathbf{v}$  pour qu'elle ne soit pas modifiée lors de la traversée de la zone.
8. Un électron initialement au repos est accéléré sur une distance d'un mètre par un champ électrique d'amplitude  $1 \text{ kV/m}$ , puis le champ électrique est coupé et remplacé par un champ magnétique de  $0.1 \text{ mT}$  orthogonal au vecteur vitesse obtenu. Déterminer la période et le rayon de l'orbite circulaire qui est ainsi générée.
9. Dans la molécule d'eau, l'électronégativité plus forte de l'oxygène par rapport à l'hydrogène lui apporte une charge négative  $-2q$ , chaque atome d'hydrogène portant alors la charge  $+q$ . L'angle formé par les atomes d'hydrogène par rapport à celui d'oxygène est de  $104.45^\circ$ , la distance O-H est de  $96 \text{ pm}$ , et on donne  $q = 0.5 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . On considère ici une molécule d'eau soumise à un champ électrique uniforme  $\mathbf{E}$ .
- Calculer la somme des moments des forces exercées sur chaque atome, par rapport à un point quelconque noté  $C$ .
  - Montrer que ce couple permet de faire apparaître le moment dipolaire électrique  $\mathbf{p}$  de la molécule et calculer sa valeur numérique.
  - La molécule étant initialement à l'équilibre,  $\mathbf{E}$  tourne brusquement de  $120^\circ$ . Quelle est alors la variation d'énergie potentielle de la molécule ? (prendre  $E = 300 \text{ V/m}$  pour l'application numérique)
10. Une surface ouverte est orientée en choisissant le sens d'un vecteur normal à cette surface (le vecteur normal émerge alors de la face nord de la surface). Or l'orientation de la surface impose l'orientation de la circulation sur le contour de cette surface. Associez les bonnes orientations de la surface et du contour sur les schémas suivants :



11. Une bobine plate de 50 spires rigides rectangulaires de largeur  $8 \text{ cm}$  et de longueur  $12 \text{ cm}$ , de résistance totale  $6 \Omega$  est branchée sur une alimentation stabilisée de  $12 \text{ V}$ . Quel est le moment magnétique de la bobine ?
12. Cette bobine est placée dans un champ magnétique de  $20 \text{ mT}$  perpendiculaire à sa normale. Quelle force et quel couple s'exerce sur la bobine ?
13. Une ligne électrique transporte un courant de  $1 \text{ kA}$  d'ouest en est. Le champ magnétique terrestre est horizontal, orienté vers le nord, et a une amplitude de  $0,5 \text{ mT}$ . Quelle force est exercée sur chaque mètre de ligne ?

### Bibliographie pour le module S3 SPI Electromagnétisme

#### Remise à niveau

- livres de lycée, filières scientifiques et techniques
- Physique générale et appliquée, Bueche et Hecht, série Schaum's

#### Très accessibles

- Electricité et magnétisme, Halliday, Resnick et Walker, Dunod
- Electromagnétisme, Edminister, série Schaum's

#### Université

- Les bases de l'électromagnétisme, Hulin et Maury, Dunod

#### Classes préparatoires aux grandes écoles

- Bertin, Faroux et Renaud, tomes 1 et 3, Dunod
- Gié et Sarmant, Tech&Doc Lavoisier
- Lumbroso, Edisciences, pour les problèmes

#### Université américaines

- Electricité et magnétisme, cours de Berkeley, Dunod
- Electromagnétisme 1 et 2, Feynman, InterEditions

#### Deuxième et troisième cycles

- Electromagnétisme, Pérez, Dunod
- Electrodynamique classique, Jackson, Dunod
- Electrodynamique des milieux continus, Landau et Lifchitz, Physique théorique tome 8, éditions MIR