

COMPÉTENCES ATTENDUES

- Comprendre comment la notion de champ a émergé historiquement d'observations expérimentales.
- Initialisation à la démarche de résolution de problèmes scientifiques.

LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES SCIENTIFIQUES

Lors de la démarche de résolution de problèmes scientifiques, il faut :

- ↻ analyser le problème posé pour en comprendre le sens,
- ↻ établir une stratégie de résolution, construire des étapes de résolution,
- ↻ les mettre en œuvre,
- ↻ porter un regard critique sur le résultat.

Vous êtes amené à présenter de façon objective et critique, structurée et claire, les éléments que vous aurez extraits et exploités des 6 documents scientifiques mis à sa disposition.

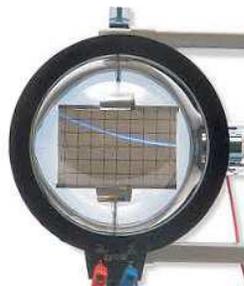
Problème scientifique : QUELLE EST LA MASSE D'UN ÉLECTRON ?

DOCUMENT 1 : LA MESURE DU RAPPORT q / m POUR L'ÉLECTRON : EXPÉRIENCE DE J.J. THOMSON (1896-1897)



En 1737, des expériences menées sur les interactions entre objets électrisés amènent **Du Fay** à postuler l'existence de deux formes d'électricité, qu'il nomme « vitreuse » et « résineuse ». Quelques années plus tard, Benjamin Franklin donnera à ces deux formes leur nomenclature actuelle d'électricité respectivement « positive » et « négative ». Au milieu du 19^{ème} siècle, de nombreux scientifiques cherchent à expliquer les propriétés électriques de la matière et arrivent à la conclusion qu'il doit exister une particule subatomique (plus petite qu'un atome) qui porte une charge électrique indivisible. L'expérience de Crookes, menée dans les années 1870, montre qu'un faisceau constitué de ces particules est chargé négativement et est dévié par la présence d'un champ magnétique. La particule est alors nommée « électron ». En 1896, le physicien anglais J.J. Thomson met au point l'ancêtre du spectromètre de masse et détermine avec précision le rapport q / m pour l'électron (q : charge électrique de l'électron et m : masse de l'électron). Il constate que ce rapport est environ 1 000 fois plus grand que pour l'atome d'hydrogène ce qui suppose, si la notion de charge élémentaire est confirmée, que l'électron serait « 1 000 fois plus léger que le plus petit des atomes ».

Le dispositif utilisé est constitué d'un canon à électrons. Une cathode chaude émet des électrons qui sont accélérés par un champ électrique E uniforme existant entre la cathode et une anode cylindrique, alimentées par une haute tension U . Celui-ci se retrouve ensuite entre deux bobines alimentées par un courant électrique créant entre elles un champ magnétique uniforme d'intensité B .



La théorie montre que le rapport q / m est défini en fonction de la vitesse des électrons v , de l'intensité du champ magnétique B et du rayon de la trajectoire circulaire du faisceau d'électrons r telle que :

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{r \times B}$$

avec les unités du système international :

v en mètre par seconde ($m.s^{-1}$), q en Coulomb (C) m en kilogrammes (kg),
 $r = 5,30 \text{ cm}$, $B = 1,80 \text{ mT}$, et $U = 800 \text{ V}$.

Remarque

La vitesse d'un électron se détermine à partir d'un raisonnement basé sur l'énergie qu'il possède. Cela aboutit à la relation suivante :

$$\frac{1}{2} m v^2 = q \times U$$

avec les unités du système international

DOCUMENT 2 : LA MESURE DE LA CHARGE ÉLÉMENTAIRE : L'EXPÉRIENCE DE MILLIKAN (1906-1913)

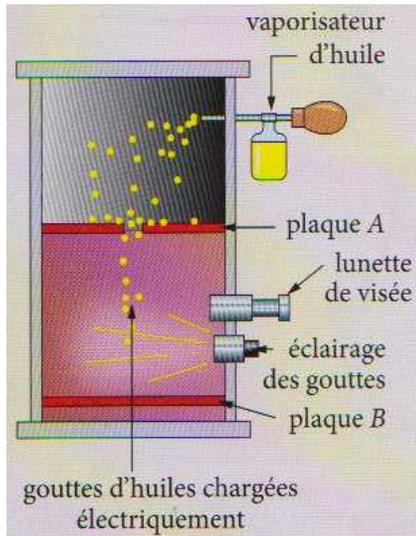


Entre 1906 et 1911, le physicien américain Robert A. Millikan travaille sur une expérience dite « expérience des gouttes d'huile » afin de prouver l'existence de la charge élémentaire indivisible supposée depuis un demi-siècle et d'en trouver la valeur. Les résultats de ses expériences sont publiés en 1913.

Millikan a utilisé le champ électrique uniforme qui règne entre les bornes d'un condensateur pour établir l'existence de cette charge élémentaire et déterminer sa valeur « q ».

Étudions le protocole de cette « expérience des gouttes d'huile ».

Description de l'expérience



De petites gouttes d'huile sont pulvérisées dans la chambre supérieure de l'appareil où elles acquièrent une charge électrique négative (sous l'effet de rayons X). Elles tombent ensuite, par gravitation, dans la chambre inférieure.

Pour mesurer la valeur de leur charge, on crée un champ électrique uniforme E entre deux plaques A et B, tel que des charges électriques peuvent y être immobilisées. L'analyse des forces qui s'exercent sur la goutte d'huile permet alors de calculer la valeur de la charge q.

Ce calcul nécessite de déterminer la masse de la goutte.

En reproduisant un très grand nombre de fois l'expérience, avec des conditions d'ionisation différentes, Millikan a établi que la charge des gouttes était quantifiée, c'est-à-dire que les gouttes d'huile portaient une charge toujours multiple de celle d'un électron.

Observation

On observe que lorsqu'on applique une tension électrique $U = 3,80 \text{ kV}$ entre les deux plaques A et B, une goutte d'huile sphérique de diamètre $d = 3,28 \text{ }\mu\text{m}$ reste en équilibre entre ces deux plaques et donc ne chutent plus.

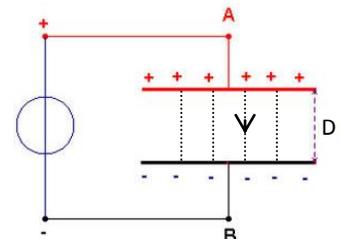
Cette goutte d'huile particulière possède une charge électrique 5 fois plus importante que celle d'un électron.

Quelques données :

- la distance séparant ces deux plaques est de $D = 20,0 \text{ mm}$;
- la masse volumique de l'huile vaut $\rho = 851 \text{ kg/m}^3$;
- volume d'une sphère : $V = 4/3 \times \pi \times (\text{rayon de la sphère})^3$.

DOCUMENT 3 : CHAMP ÉLECTRIQUE CRÉÉ ENTRE DEUX PLAQUES CONDUCTRICES SÉPARÉES PAR UN ISOLANT, COMME L'AIR

Lorsqu'on applique une tension continue entre ces plaques, il se crée un champ électrique \vec{E} . En tout point de l'espace situé entre les plaques, les lignes de champ sont parallèles et orientées de l'armature positive vers l'armature négative.



La valeur E du champ électrique dépend de la tension U (en V) entre les armatures et de la distance D (en m) qui les sépare :

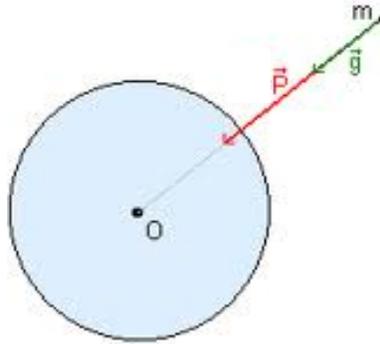
$$E = \frac{U}{D} \quad \text{avec } E \text{ en } \text{V.m}^{-1}$$

Par conséquent, une particule de charge Q placée entre les plaque est soumise à une force \vec{F}_E telle que :

$$\vec{F}_E = Q \times \vec{E} \quad \text{avec } F \text{ en newton (N), } Q \text{ en coulomb (C) et } E \text{ en } \text{V.m}^{-1}$$

DOCUMENT 4 : CHAMP DE PESANTEUR

Au voisinage de la Terre, un objet de masse m est soumis à son poids \vec{P} . Ceci s'explique par le fait que la Terre crée autour d'elle un champ, appelé **champ de pesanteur**. C'est un **champ vectoriel** représenté en chaque point par un vecteur noté \vec{g} , vertical vers le bas tel que : $\vec{P} = m \times \vec{g}$ soit en valeur $P = m \times g$ avec P en newton (N), m en kg et $g = 9,80 \text{ N/kg}$

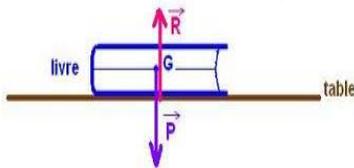


DOCUMENT 5 : LE PRINCIPE D'INERTIE OU 1^{ÈRE} LOI DE NEWTON, 1686

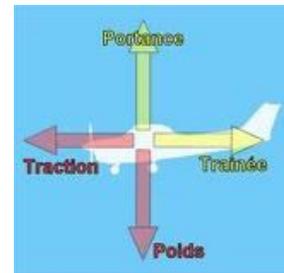
Un corps est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme si et seulement si les forces extérieures qui s'exercent sur lui se compensent. Des forces qui se compensent, cela veut dire que la somme des vecteurs-force qui s'appliquent sur ce corps est nulle : $\sum \vec{F} = \vec{0}$. Si seulement deux forces sont mises en jeu, alors elles ont la même intensité.

Ce principe est vérifié dans le référentiel terrestre.

Exemples :



$\vec{R} + \vec{P} = \vec{0}$: les forces se compensent
R et P ont la même intensité : $R = P$
↳ le livre est immobile.



Les 4 forces exercées sur l'avion se compensent :
 $\sum \vec{F} = \vec{0}$
↳ l'avion a un mouvement rectiligne uniforme.

DOCUMENT 6 : DÉTERMINATION DU POURCENTAGE D'ERREUR RELATIVE

L'erreur relative nous indique la qualité (l'exactitude) du résultat obtenu, elle s'exprime en général en pourcent :

$$\% = \frac{|\text{valeur exacte} - \text{valeur trouvée}|}{\text{valeur exacte}} \times 100$$

Elle indique, en fait, le pourcentage de la valeur exacte que représente la différence de notre résultat avec la réalité.

Une fois trouvée une valeur pour la masse de l'électron, demander alors la valeur exacte au professeur.

QUELQUES PISTES :

- 📖 L'expérience de Millikan permet de déterminer la charge électrique q d'un électron.
- 📖 L'expérience de Thomson permet de déterminer la valeur du rapport q / m , et donc, connaissant la valeur de la charge q , d'en déduire la valeur de la masse d'un électron.
- 📖 Les documents 3, 4 et 5 contiennent les notions scientifiques nécessaires à la résolution.
- 📖 Le document 6 permet de critiquer le résultat obtenu.