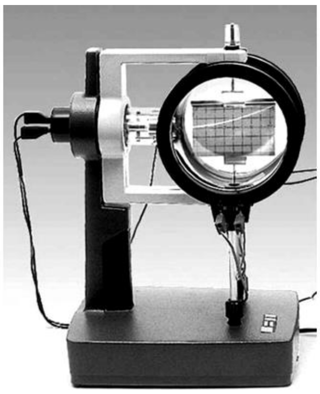
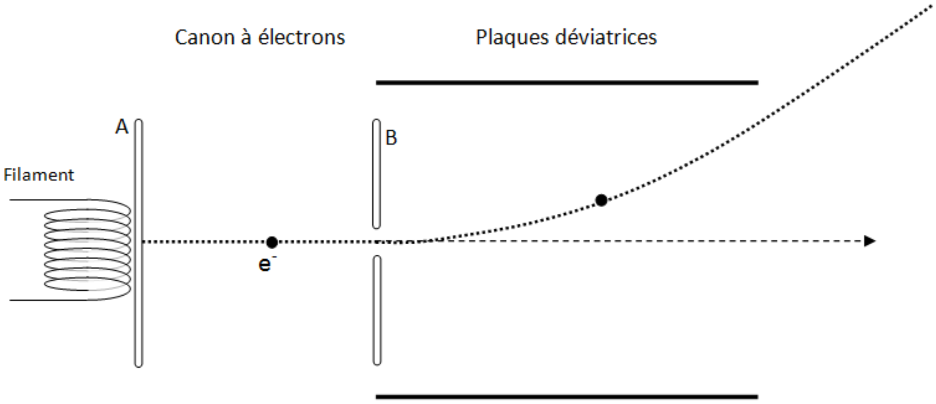
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme
Expérience de J.J Thompson : découverte de l'électron

On cherche à étudier le mouvement d'un électron dans un champ électrique uniforme.

Ce mouvement est observé dans un tube à électron, dans lequel un vide poussé a été réalisé. Ce tube comprend :

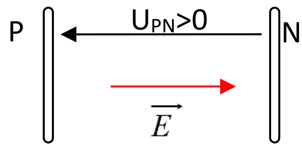
- Un canon à électrons qui accélère et focalise les électrons émis par un filament
- Deux plaques horizontales déviatrices
- Un écran gradué recouvert d'une substance fluorescente qui permet de matérialiser la trajectoire.



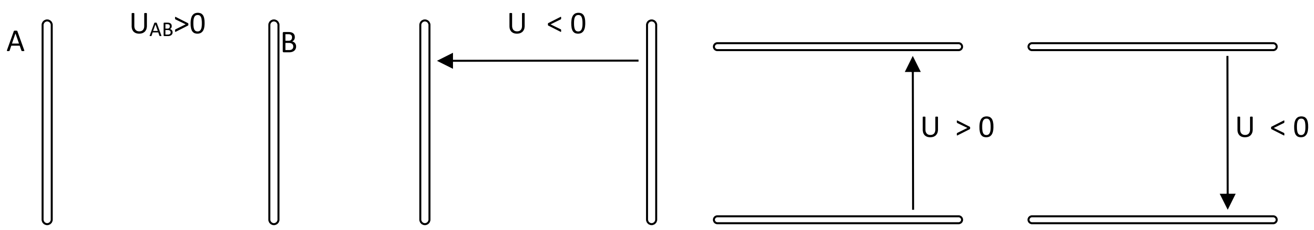


1. <u>Champ électrique uniforme</u>

- Un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme a même valeur, même direction et même sens en tout point de l'espace.
- Il peut être obtenu entre deux armatures métalliques planes P et N, séparées d'une distance d, entre lesquelles une tension U_{PN} est appliquée. Ce champ est **orthogonal aux armatures**, orienté de l'armature de plus haut potentiel (plaque positive) vers l'armature de plus bas potentiel (plaque négative).
- Rappel au sujet de la tension U_{PN} : par définition $U_{PN} = V_P - V_N$
  Si $U_{PN} > 0$ alors $V_P > V_N$

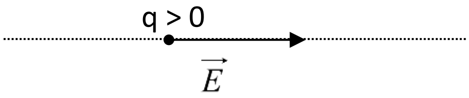


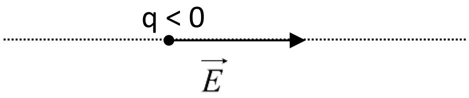
Sur les schémas suivants, indiquer quelle est la plaque de plus haut potentiel (+) et celle de plus bas potentiel (-). Dessiner en rouge le champ électrique $\vec{E}$ entre les deux plaques.



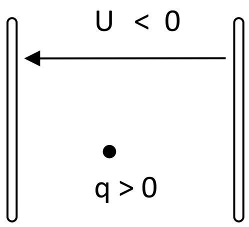
2. <u>Forces électriques</u>

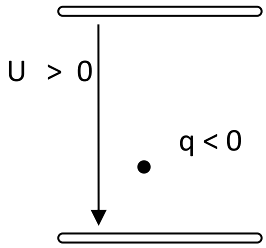
- Une particule chargée de charge électrique q dans un champ électrostatique $\vec{E}$ subit une force électrique $\vec{F}$ telle que : $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ d'intensité
- Dessiner la force électrique subie par la particule de charge q dans les deux cas suivants :

☐ Si q > 0 

☐ Si q < 0 

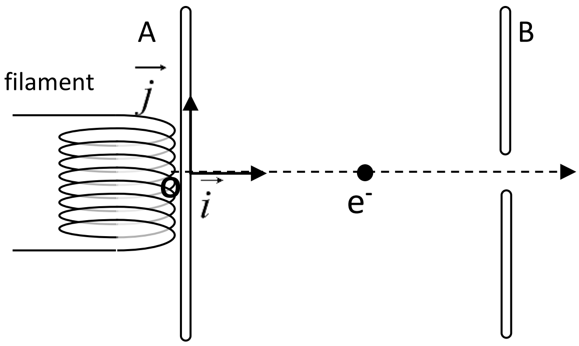
Sur les schémas suivants, dessiner la force électrique subie par la particule de charge q :





3. <u>Accélérateur linéaire – le canon à électrons</u>

Le « canon à électrons » est constitué d'un filament qui, lorsqu'il est porté à haute température, émet des électrons de vitesse initiale négligeable. Ces électrons sont ensuite accélérés à l'intérieur d'un condensateur plan dont les armatures A et B sont verticales et distantes de d=3,0cm. Les plaques A et B sont soumises à une tension constante U_{AB}.
Le système étudié est {électron} ; le référentiel d'étude est le référentiel terrestre, supposé galiléen.
On considère le poids de l'électron négligeable devant la force électrique qu'il subit.



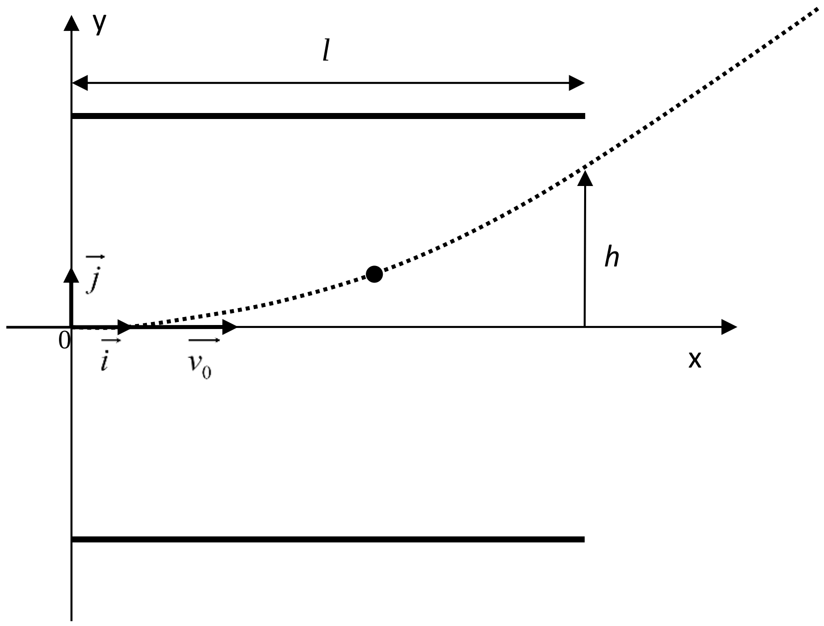
a. Compléter le schéma en dessinant la force que doit subir l'électron pour être accéléré de A à B.
En déduire le sens et la direction que doit avoir le champ électrique entre les deux plaques.
Quel doit être le signe de U_{AB} pour que les électrons subissent une accélération entre A et B.

$U_{AB} < 0$

4. <u>Déviation des électrons</u>

Une fois accélérés par un accélérateur linéaire (non représenté sur la figure ci-dessous), les électrons rentrent avec la vitesse $\overrightarrow{v_0}$ représentée sur le schéma ci-dessous, de valeur $v_0 = 2{,}27 \times 10^7\ m.s^{-1}$, dans une zone où règne un champ électrique uniforme créé par un condensateur à plaques parallèles, de valeur $E = 15{,}0\ kV.m^{-1}$.
On cherche à déterminer l'équation de la trajectoire des électrons lors de leur déviation par le champ électrique.

La longueur des plaques du condensateur est l = 8,5 cm
Dans toute l'étude, on négligera le poids du proton devant la force électrique à laquelle il est soumis.



a. Compléter le schéma en dessinant la force que doit subir l'électron pour être dévié.
   En déduire le sens et la direction que doit avoir le champ électrique entre les deux plaques.
   Dessiner la flèche représentant la tension U>0 qui permet de générer ce champ électrique.

b. Etablir l'expression des composantes du vecteur accélération subit par l'électron en fonction de E, e et m.

   Seule force s'exerçant sur projectile : force électrique

   dont les coordonnées dans le repère imposé sont : $\vec{F}\left|\begin{matrix}0\\ |q|.E = e\,.E\end{matrix}\right.$

   D'après la 2ème loi de Newton : $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{dm.\vec{v}}{dt} = m\,.\frac{d\vec{v}}{dt} = m \cdot \vec{a}$ puisque m est constante.

   D'où $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

   D'où les coordonnées du vecteur accélération : $\vec{a}\left|\begin{matrix}0\\ \frac{e\,.\,E}{m}\end{matrix}\right.$

c. Établir les composantes $V_x(t)$ et $V_y(t)$ du vecteur vitesse $\vec{V}$ dans le repère (O, x, y).
   Par intégration du vecteur accélération : (Rappel : définition de l'accélération $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$)
   $\vec{V}\left|\begin{matrix}A\\ \frac{e \cdot E}{m} \cdot t + B\end{matrix}\right.$
   où A et B sont des constantes qu'on peut définir en considérant les conditions initiales du mouvement :

à t=0 $\quad \overrightarrow{v_0}\begin{vmatrix} v_0 \\ 0 \end{vmatrix}$ $\quad$ d'où $\begin{vmatrix} A = v_0 \\ B = 0 \end{vmatrix}$

soit $\quad \vec{V}\begin{vmatrix} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = \frac{e \cdot E}{m} \cdot t \end{vmatrix}$

On constate que suivant l'horizontale, le mouvement est uniforme.

d. Établir les composantes x_M(t) et y_M(t) du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ dans le repère (O, x, y).

$\overrightarrow{OM}\begin{vmatrix} x(t) = v_0 \cdot t + A' \\ y(t) = \frac{e \cdot E}{2m} \cdot t^2 + B' \end{vmatrix}$

Par intégration du vecteur vitesse : (Rappel : définition de la vitesse : $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$)

où A' et B' sont des constantes qu'on peut définir en considérant les conditions initiales du mouvement :

à t=0 $\quad \overrightarrow{OM_0}\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$ $\quad$ d'où $\begin{vmatrix} A' = 0 \\ B' = 0 \end{vmatrix}$

soit $\quad \overrightarrow{OM}\begin{vmatrix} x(t) = v_0 \cdot t \\ y(t) = \frac{e \cdot E}{2m} \cdot t^2 \end{vmatrix}$

e. Etablir l'équation de la trajectoire

On exprime t en fonction de x : $\; t = \frac{x}{v_0}$

On remplace dans l'expression de y : $\quad y = \frac{e\ .\ E}{2m\ .\ v_0^2}\ .x^2$

On obtient bien l'équation d'une parabole.

f. Au XIX$^{\text{ème}}$ siècle ce dispositif a permis à J.J Thompson d'identifier l'électron par la détermination du rapport $\frac{e}{m}$ de sa charge sur sa masse.

Il constate qu'à la sortie des plaques, en $x = l$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (*Ox*) a une valeur $h = 1{,}85\ cm$.

A partir des résultats expérimentaux, calculer la valeur du rapport $\frac{e}{m}$ de l'électron.

Ce résultat est-il cohérent avec les connaissances que l'on a aujourd'hui sur l'électron ?

($m = 9{,}1 \times 10^{-31}\ kg$ et $e = 1{,}6 \times 10^{-19}\ C$)

En remplaçant dans l'équation de la trajectoire : $\quad h = \frac{e\ .\ E}{2m\ .\ v_0^2}\ .l^2$ $\quad$ d'où $\frac{e}{m} = \frac{2v_0^2.h}{E\ .l^2}$

A.N. $\quad \frac{e}{m} = 1{,}8 \times 10^{11}\ C.kg^{-1}$

Calcul du rapport $\frac{e}{m} = \frac{1{,}6 \times 10^{-19}}{9{,}1 \times 10^{-31}} = 1{,}8 \times 10^{11}\ C.kg^{-1}$

Les deux valeurs coïncident.