# Chapitre EM 1: Particules chargées dans $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$

## I. **Force de Lorentz**

### 1. Expression de la force de Lorentz

Soit une particule de charge $q$ animée d'une vitesse $\overrightarrow{v}$ dans le référentiel d'étude supposée galiléen. Cette particule placée dans un champ électrique $\overrightarrow{E}$ et un champ magnétique $\overrightarrow{B}$ subit la force de Lorentz:

$$\overrightarrow{F} = q\overrightarrow{E} + q\overrightarrow{v}\Lambda\overrightarrow{B}$$

*Remarque:* la force magnétique n'agit que

la force électrique agit sur

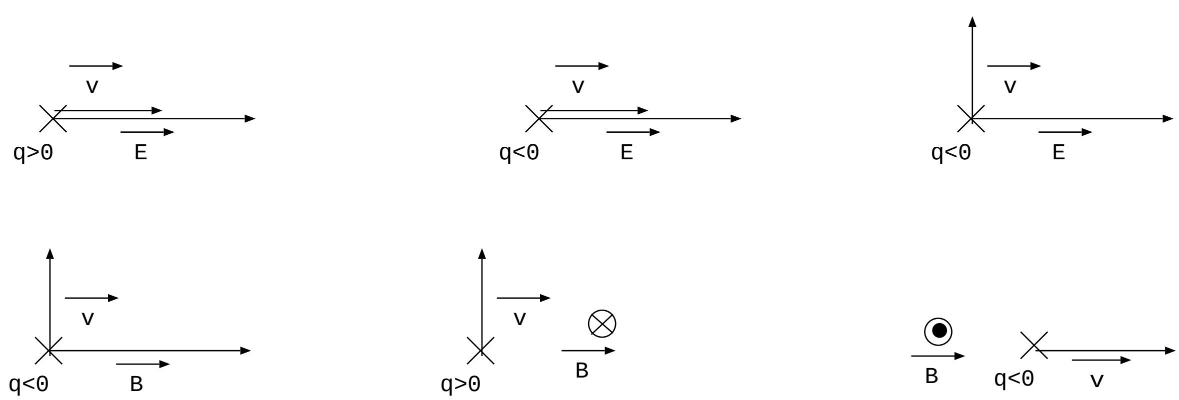
*Ordres de grandeur:* pour un électron de charge $-e = -1,6.10^{-19}\ C$ et de masse $m = 9.10^{-31}\ kg$.
son poids:

la force électrique pour $E = 10^4\ V/m$:

la force magnétique pour $B = 0,1\ T$ et $v = 10^5\ m/s$:

Conclusion:

*Représentation de la force de Lorentz*:




### 2. Aspect énergétique de la force de Lorentz

La force magnétique de Lorentz

La force électrique de Lorentz

## II. Action d'un champ électrique sur une particule chargée

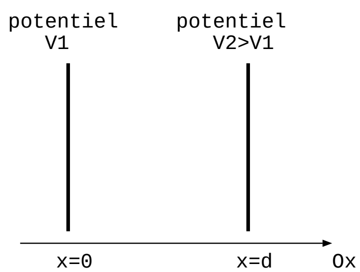
### 1. Créer un champ électrique uniforme et permanent

Le champ électrique créé entre le armatures d'un condensateur plan (en négligeant les effets de bord, soit en assimilant les armatures à deux plans infinis) est uniforme (le même en tout point) et permanent (indépendant du temps). Ce champ est:

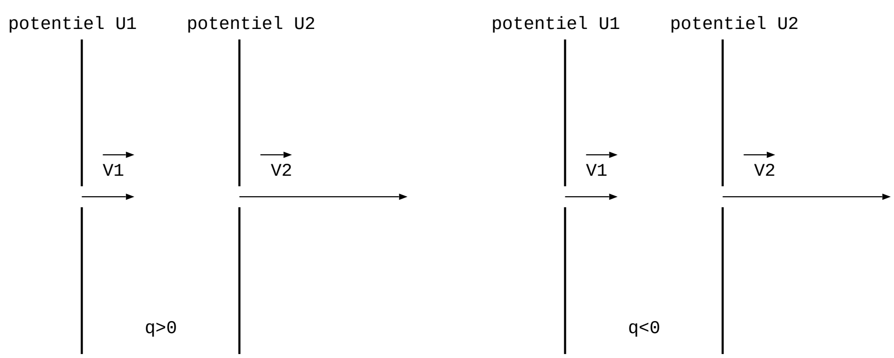
- de direction

- orienté

- de norme




### 2. Rôle accélérateur du champ électrique

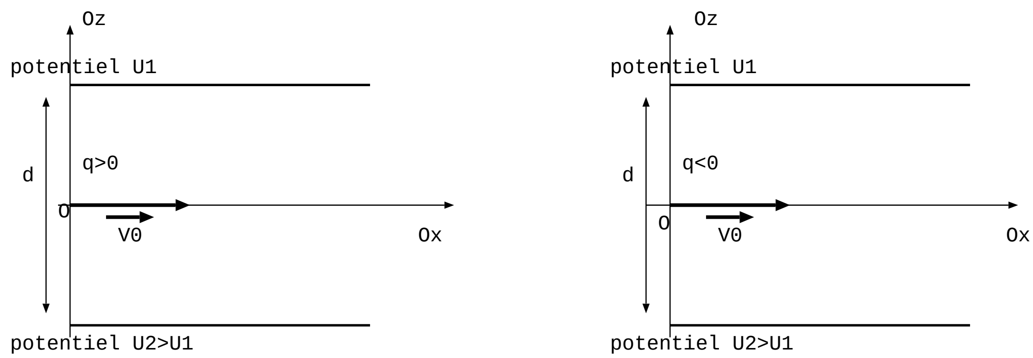



Application de la conservation de l'énergie mécanique:

AN : calculer $v_2$ pour un électron avec $v_1 = 0\ m/s$ sous une ddp de $100\ V$:

Remarque : qu'est-ce qu'un électron non relativiste?

### 3. Rôle déviateur du champ électrique




Expression du champ électrique entre les armatures:

Equation de la trajectoire:

## III. Action d'un champ magnétique sur une particule chargée

### 1. Créer un champ magnétique uniforme et permanent

## 2. Rôle accélérateur du champ magnétique

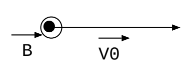
## 3. Rôle déviateur du champ magnétique

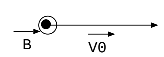
On peut prévoir le sens et la direction de la force magnétique avec sa main droite:

Cas où le champ magnétique est perpendiculaire à la vitesse initiale $\overrightarrow{v}_0$:

RFD appliquée à la particule de charge $q$:

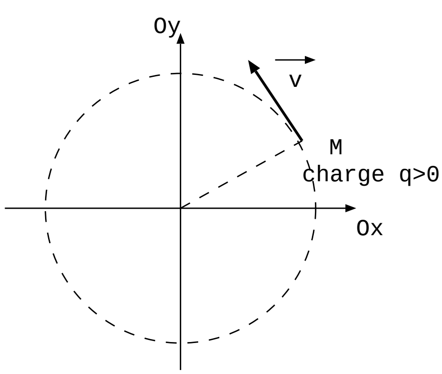
Cas où $q > 0$: Cas où $q < 0$:



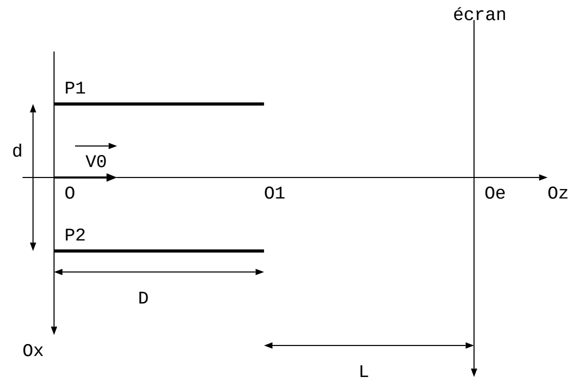

.

Expression du rayon du cercle:



## IV. **Déflexion électrique dans un oscilloscope**

On établit entre les plaques $P_1$ et $P_2$ une zone de champ électrique. La distance entre les plaques est $d$, la longueur des plaques est $D$ et la différence de potentiel est $U = V_{P2} - V_{P1} > 0$, on néglige les effets de bord. Des électrons de charge $-e$ et de masse $m$ accélérés pénètrent en $O$ dans la zone de champ électrique uniforme avec une vitesse $\overrightarrow{v_0} = v_0\overrightarrow{e_z}$.




**1.** Etablir l'équation de la trajectoire des électrons dans la zone où règne le champ électrique.

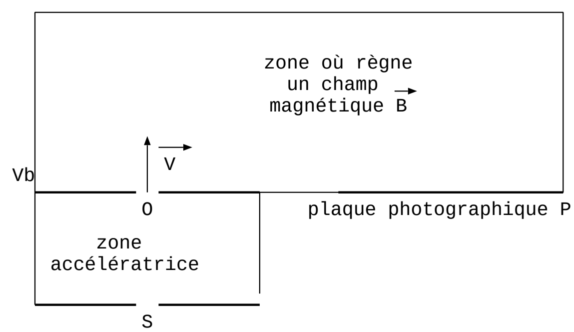
**2.** Déterminer l'expression de l'instant $t_f$ où l'électron quitte la zone où règne le champ électrique, en déduire ses coordonnées et sa vitesse à cet instant.

**3.** Décrire la trajectoire de l'électron en dehors de la zone où règne le champ électrique et montrer qu'au point d'impact $I$ sur l'écran on a $x_I = \dfrac{e(V_{P2} - V_{P1})}{mdv_0^2}(\dfrac{D^2}{2} + Dl)$.

*Réponses: 1-* $x = \dfrac{eUz^2}{2mdv_0^2}$ *2-* $\overrightarrow{v}(t_f) = \dfrac{eUd}{mdv_0}\overrightarrow{e_x} + v_0\overrightarrow{e_z}$

## V. **Spectromètre de masse**

Un faisceau de particules chargées est constitué des ions de deux isotopes du mercure : $(Hg^{2+})^{200}_{80}$ et $(Hg^{2+})^{202}_{80}$ notés respectivement (1) et (2). Ce faisceau est émis par la source S avec une vitesse quasi nulle, puis accéléré par une tension $U > 0$.




Les ions arrivent alors en O avec une vitesse $\overrightarrow{v}$ et pénètrent avec dans une zone de champ magnétique $\overrightarrow{B}$ uniforme, orthogonal au faisceau incident. Les ions viennent ensuite frapper la plaque photographique $P$.

Données : masse d'un nucléon $m_n = 1,67.10^{-27}\ kg$ (la masse de l'électron sera négligée devant la masse d'un nucléon), $U = 10\ kV$, $B = 0,1\ T$ et $e = 1,6.10^{-19}\ C$.

**1.** Ajouter sur le schéma la trajectoire d'un cation, la tension $U$ et le champ magnétique en justifiant leur sens.

**2.** Exprimer les vitesses $v_1$ et $v_2$ en $O$ des isotopes (1) et (2) suite à l'accélération par la tension $U$.

**3.** Les isotopes ne frappent pas la plaque photographique P au même point. Exprimer puis calculer la distance $d$ entre les deux traces observées des impacts des isotopes sur la plaque P.

*Réponses: 2-* $v = \sqrt{\dfrac{2qU}{m}}$ *3-* $d = \dfrac{2}{B}\sqrt{\dfrac{Um_n}{e}}(\sqrt{202} - \sqrt{200})$

## VI. **Particule dans un champ magnétique**

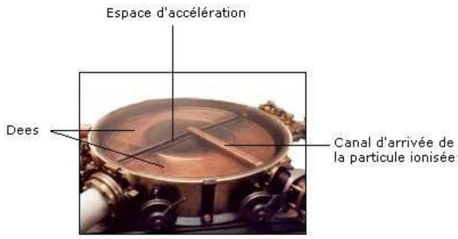
Soit une particule de masse $m$ et de charge $q$ qui à l'instant pris comme origine des temps se trouve en $O$ avec une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0} = v_0\overrightarrow{e_x}$. Cette particule est plongée dans un champ magnétique uniforme et permanent $\overrightarrow{B} = B\overrightarrow{e_z}$. Au cours du temps on repère la particule par ses coordonnées cartésiennes.

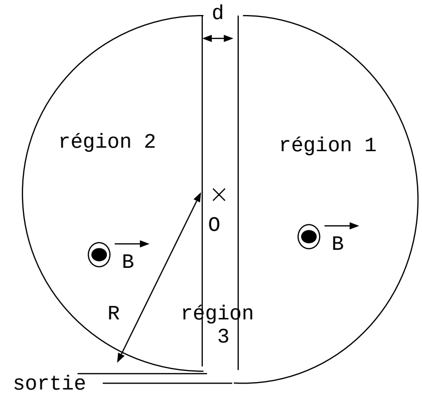
**1.** Ecrire la RFD appliquée à la particule et la projeter selon $Ox$, $Oy$ et $Oz$. En déduire que le mouvement est plan.

**2.** On pose $\underline{v}(t) = \dot{x}(t) + i\dot{y}(t)$. Etablir l'équation différentielle vérifiée par $\underline{v}(t)$, la résoudre et en déduire $x(t)$ et $y(t)$ puis l'équation de la trajectoire.

*Réponses: 1-* $z(t) = 0$ *2-* $\dot{\underline{v}} + \dfrac{iqB}{m}\underline{v} = 0$, $x(t) = \dfrac{mv_0}{qB}\sin(\dfrac{qB}{m}t)$ *et* $y(t) = \dfrac{mv_0}{qB}(\cos(\dfrac{qB}{m}t) - 1)$

VII. **Cyclotron**




Un cyclotron est formé de deux enceintes demi-cylindriques, $D_1$ (région (1)) et $D_2$ (région (2)), appelées dees en anglais, dans lesquelles règne un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{B}$. On note $R_c$ le rayon de ces dees.

Entre ces deux dees, une bande étroite de largeur $d << R_c$ (région (3)) est plongée dans un champ électrique alternatif. Ce champ électrique est créé par une tension sinusoïdale de fréquence $f_c$ d'amplitude $U_0$ et telle que le proton, lorsqu'il se trouve dans la région (3) trouve toujours une tension accélératrice de valeur égale à sa valeur maximale $U_0$.

**1.** Un proton est placé dans un champ magnétique. Le vecteur vitesse du proton est initialement perpendiculaire au champ magnétique, exprimer le rayon de la trajectoire et la période $T_0$ du mouvement.

On introduit au point $O$ un proton de charge $e = 1,6.10^{-19}\ C$ et de masse $m_p = 1,67.10^{-27}\ kg$, sans vitesse initiale. Il est accéléré en direction de la région (1).

**2.** Tracer la trajectoire de la particule depuis $O$ jusqu'à sa sortie du cyclotron.

**3.** Exprimer la durée pendant laquelle le proton reste dans la région (1), puis dans la région (2), à chacun de ces passages dans ces régions. En déduire la fréquence $f_c$ de la tension alternative nécessaire pour accélérer la particule à chacun de ses passages entre les dees, en négligeant le temps de passage de la particule dans la région (3).

**4.** Le cyclotron a un diamètre maximal utile $R_c = 52\ cm$. Calculer, en Joule puis en MeV, l'énergie cinétique maximale des protons accélérés par ce cyclotron lorsque la fréquence de l'oscillateur électrique qui accélère les protons entre les dees est de 12 $MHz$. Quelle est alors la valeur du champ magnétique ?

**5.** L'amplitude de la tension alternative appliquée entre les deux dees est de 200 $kV$. Calculer la variation d'énergie cinétique du proton à chaque tour. Calculer le nombre de tours effectués par les protons pour atteindre leur énergie cinétique maximale.

*Réponses: 1-* $T_0 = \dfrac{2\pi m}{qB}$ *3-* $f_c = \dfrac{qB}{2\pi m_p}$ *4-* $E_{cf} = 2\pi^2 m_p f_c^2 R^2$