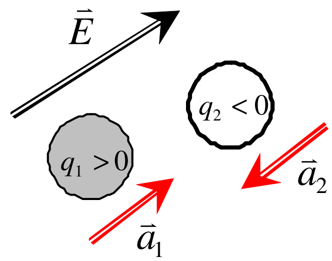
Chapitre 1.14 – Le mouvement d’une particule dans un champ électrique uniforme

L’accélération d’une particule chargée dans un champ électrique

Une particule chargée plongée dans un champ électrique subit une accélération $\vec{a}$ dont le module est égal au produit de la charge q de la particule avec le module du champ électrique $\vec{E}$ le tout divisé par la masse m de la particule. L’orientation de l’accélération dépend de l’orientation du champ électrique $\vec{E}$ et du signe de la charge q :

$$\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$$



où $\vec{a}$: Accélération de la particule chargée (m/s²)
q : Charge électrique de la particule (C)
$\vec{E}$: Champ électrique constant (N/C)
m : Masse de la particule (kg)

Preuve :

Évaluons l’accélération d’une particule de masse m et de charge q plongé dans un champ électrique arbitraire $\vec{E}$ à partir de la 2e loi de Newton :

$\sum \vec{F} = m\vec{a}$ $\Rightarrow$ $\vec{F}_e = m\vec{a}$ (Seulement la force électrique $\vec{F}_e$)

$\Rightarrow$ $q\vec{E} = m\vec{a}$ (Remplacer $\vec{F}_e = q\vec{E}$)

$\Rightarrow$ $\vec{a} = \dfrac{q\vec{E}}{m}$ ■ (Isoler $\vec{a}$)

Accélération dans un champ électrique uniforme

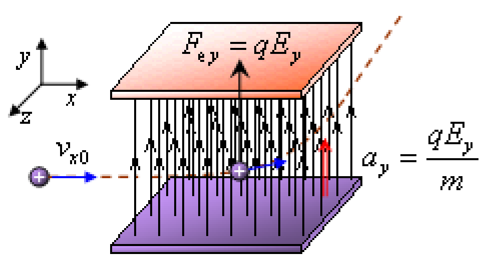
Lorsqu’une particule chargée est plongée dans un **champ électrique uniforme** E_y , elle subit alors une **accélération constante** a_y. Ainsi, les équations du mouvement de la particule se résument aux **équations** du **MUA** (mouvement uniformément accéléré).

Si la particule se déplace en deux dimensions, la forme de la trajectoire sera alors une parabole[1] :

- $E_x = 0$
- $E_y =$ constant

$\Rightarrow a_x = 0, \quad a_y = \dfrac{qE_y}{m}$

- $x = x_0 + v_{x0}t$
- $v_y = v_{y0} + a_y t$
- $y = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2$
- $v_y^{\,2} = v_{y0}^{\,2} + 2a_y(y - y_0)$

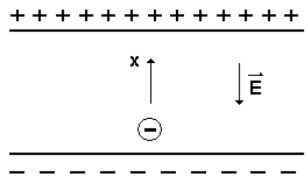


[1] Cette situation est comparable au mouvement d’un projectile sous l’effet d’une gravité constante.

Situation A : *Un électron dans un accélérateur*. Un électron, initialement au repos, est accéléré entre deux plaques, dans un champ électrique d'intensité 10^5 N/C. On désire **(a)** évaluer le temps qu'il faudra pour atteindre la vitesse de 0,2c (c'est la vitesse de la lumière et elle vaut 3×10^8 m/s) et **(b)** la distance qu'il aura alors parcourue ?

Supposons la situation suivante où le champ électrique est orienté selon l'axe x négatif :

$$\vec{E} = -E\ \vec{i} = -1 \times 10^5 \vec{i}\ \text{ N/C}$$



Appliquons la 2ième loi de Newton à l'électron afin d'évaluer l'accélération :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_e = m\vec{a} \qquad \text{(Force électrique seulement)}$$

$$\Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \qquad (\vec{F}_e = q\vec{E} \text{ et isoler } \vec{a})$$

$$\Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{(-1{,}6 \times 10^{-19})(-1 \times 10^5 \vec{i})}{(9{,}11 \times 10^{-31})} \qquad \text{(Remplacer valeurs num.)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\vec{a} = 1{,}756 \times 10^{16} \vec{i}\ \text{m/s}^2} \qquad (\text{Évaluer } \vec{a})$$

Évaluons le temps requis pour atteindre la vitesse de 0,2 c à l'aide des équations du MUA selon l'axe x :

$$v_x = v_{x0} + a_x t \quad \Rightarrow \quad (0{,}2 * 3 \times 10^8) = (0) + (1{,}756 \times 10^{16})t \qquad \text{(Remplacer valeur num.)}$$

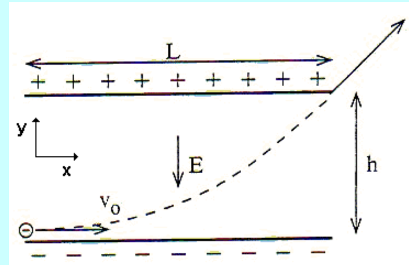
$$\Rightarrow \quad \boxed{t = 3{,}417 \times 10^{-9}\ \text{s}} \quad \textbf{(a)} \qquad \text{(Calcul)}$$

Évaluons la distance parcourue par l'électron : ($\Delta x = x$ car $x_0 = 0$)

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \Rightarrow \quad x = (0) + (0)(3{,}417 \times 10^{-9}) + \frac{1}{2}(1{,}756 \times 10^{16})(3{,}417 \times 10^{-9})^2$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{x = 0{,}10\ \text{ m}} \quad \textbf{(b)}$$

Situation B : ***Un électron entre deux PPIUC.*** Un électron pénètre horizontalement entre deux PPIUC de longueur L séparée par une distance h, avec une vitesse initiale v_0 tel que montré ci-contre. On désire évaluer l'expression du module du champ électrique E permettant à l'électron de sortir du système de plaques en frôlant la plaque supérieure. (Négliger la force gravitationnelle, car la masse de l'électron est trop faible.)



Voici l'expression du champ électrique selon notre système d'axe :

$$\vec{E} = -E\ \vec{j}$$

Appliquons la 2e loi de Newton à l'électron :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_e = m\vec{a} \qquad \text{(Force électrique seulement)}$$

$$\Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m} \qquad (\vec{F}_e = q\vec{E} \text{ et isoler } \vec{a})$$

$$\Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{(-e)(-E\ \vec{j})}{(m_e)} \qquad \text{(Remplacer valeurs)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\vec{a} = \frac{eE}{m_e}\vec{j}} \qquad \text{(Évaluer } \vec{a}\text{)}$$

Appliquons l'équation du MUA au mouvement selon l'axe x et évaluons le temps pour traverser les deux plaques : ($a_x = 0$)

$$x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 \quad \Rightarrow \quad (L) = (0) + (v_0)t + \frac{1}{2}(0)t^2 \qquad \text{(Remplacer paramètres)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{t = \frac{L}{v_0}} \qquad \text{(Isoler } t\text{)}$$

Appliquons l'équation du MUA au mouvement selon l'axe y :

$$y = y_0 + v_{y0}t + \frac{1}{2}a_y t^2 \quad \Rightarrow \quad (h) = (0) + (0)t + \frac{1}{2}\left(\frac{eE}{m_e}\right)t^2 \qquad \text{(Remplacer tout sauf } t\text{)}$$

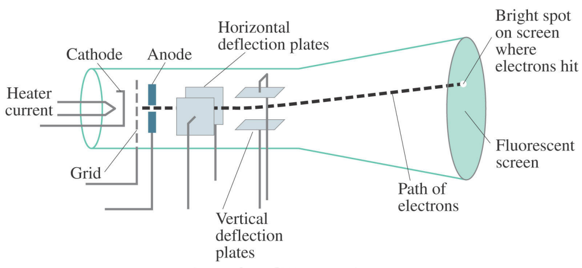
$$\Rightarrow \quad h = \frac{1}{2}\left(\frac{eE}{m_e}\right)\left(\frac{L}{v_0}\right)^2 \qquad \text{(Remplacer } t\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{E = \frac{2hm_e v_0^2}{eL^2}} \qquad \text{(Isoler } E\text{)}$$

Tube cathodique

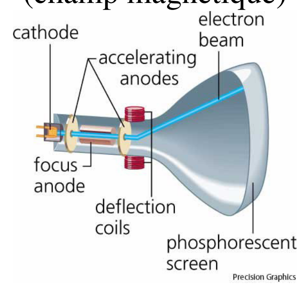
CRT monitor

Déflexion par plaque chargée
(champ électrique)



(tube dans un oscilloscope)

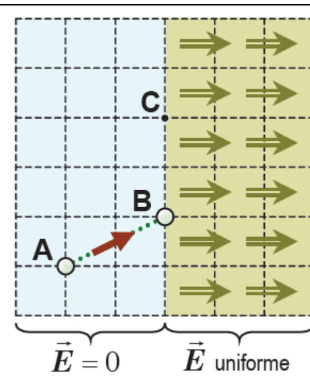
Déflexion par courant électrique circulant
dans des bobines de fil conducteur
(champ magnétique)



(tube dans une télévision)

Exercices

1.14.11 ***Une incursion dans un champ électrique uniforme.*** Sur le schéma ci-contre, chaque carreau mesure 10 cm de côté. Dans la moitié de gauche, le champ électrique est nul ; dans la moitié de droite règne un champ électrique uniforme orienté vers la droite. Un électron est lancé à partir du point **A** : 0,2 μs plus tard, il pénètre dans le champ électrique au point **B**. **(a)** Sachant que l'électron ressort du champ électrique au point **C**, déterminez le module du champ. **(b)** Décrivez un montage réel qui pourrait créer le champ électrique représenté.



Physique XXI - Tome B - p. 127 - © ERPI