Mouvement de particules chargées

1. Trajectoires None available

2. Électron au naturel None available

3. Trajectoire d'un faisceau électronique* None available

4. Mesure de vitesse* None available

5. Accélérateur linéaire* None available

6. Mouvement hélicoïdal* None available

7. Filtre de vitesse* None available

8. Cyclotron** None available

9. Spectrographe de masse* None available

10. Champs E et B croisés** None available

11. Tri par champ magnétique** None available

12. Échauffement 100% pur cours*

1. **Zone d'accélération**
   (a) Par conservation de l'énergie mécanique, on a

$$\frac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{A}}^2 + q\,\mathrm{V_A} = \frac{1}{2}\,m\,v_{\mathrm{B}}^2 + q\,\mathrm{V_B} \qquad \text{soit} \qquad \boxed{v_{\mathrm{B}} = \sqrt{v_{\mathrm{A}}^2 + \frac{2q}{m}\,(\mathrm{V_A} - \mathrm{V_B})}}$$

   (b) En négligeant la vitesse en A, l'application numérique donne

$$\boxed{v_{\mathrm{B}} = 4{,}2.10^7\ \mathrm{m.s^{-1}}}$$

(v_{A} était bien négligeable...)

   (c) Comme la charge q est négative, la tension u_{AB} se doit de l'être elle aussi pour assurer le caractère réel de la vitesse ainsi trouvée.

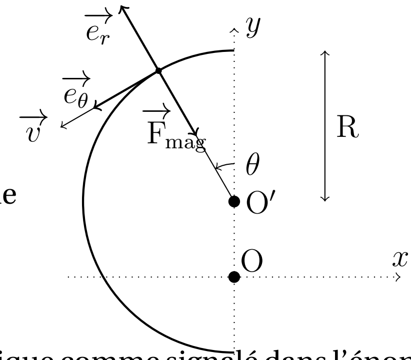
   (d) La vitesse trouvée ne vaut qu'un dixième de celle de la lumière, il n'est pas encore nécessaire de faire intervenir la relativité dans l'affaire.

2. **Demi-tour magnétique**
   (a) La force magnétique s'écrivant $\overrightarrow{\mathrm{F}}_{\mathrm{mag}} = q\,\overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{\mathrm{B}}$, on a que $\overrightarrow{\mathrm{F}}_{\mathrm{mag}} \cdot \overrightarrow{v} = 0$. Ainsi, la force magnétique ne travaille pas et d'après le théorème de l'énergie cinétique, cette dernière est donc conservée, de sorte que la vitesse ne change pas : la trajectoire est parcourue de manière uniforme à la vitesse v_{B}. La vitesse après demi-tour s'écrit donc vectoriellement

$$\boxed{\overrightarrow{v_{\mathrm{C}}} = v_{\mathrm{B}}\,\overrightarrow{e_x}}$$

(b) L'application de la « règle de la main droite » pour le calcul de $\overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{B_0}$ montre que le produit vectoriel est orienté vers *l'extérieur* de la trajectoire. Or la force doit toujours être vers l'intérieur pour pouvoir faire tourner le vecteur vitesse. On en déduit que **la charge q est négative**.

(c) En supposant la trajectoire circulaire, on a $\overrightarrow{v} = v_B \overrightarrow{e_\theta}$ et l'accélération s'écrit $\overrightarrow{a} = -v_B^2/R\,\overrightarrow{e_r}$. La force magnétique, quant à elle s'écrit



$$\overrightarrow{F}_{mag} = q\,\overrightarrow{v} \wedge \overrightarrow{B_0} = q\,v_B\,\overrightarrow{e_\theta} \wedge B_0\,\overrightarrow{e_z} = q\,v_B\,B_0\,\overrightarrow{e_r}$$

L'application de la RFD projetée sur $\overrightarrow{e_r}$ permet alors de déduire que

$$-m\,\frac{v_B^2}{R} = q\,v_B\,B_0 \qquad \text{soit} \qquad \boxed{R = \left|\frac{m v_B}{q B_0}\right|}$$

On retrouve au passage que pour une rotation en sens trigonométrique comme signalé dans l'énoncé ($v_B > 0$), on doit forcément avoir $q < 0$ pour obtenir un rayon $R > 0$.

(d) Pour atteindre la zone suivante, le diamètre 2R du cercle doit être compris entre δ et $\delta + d$.

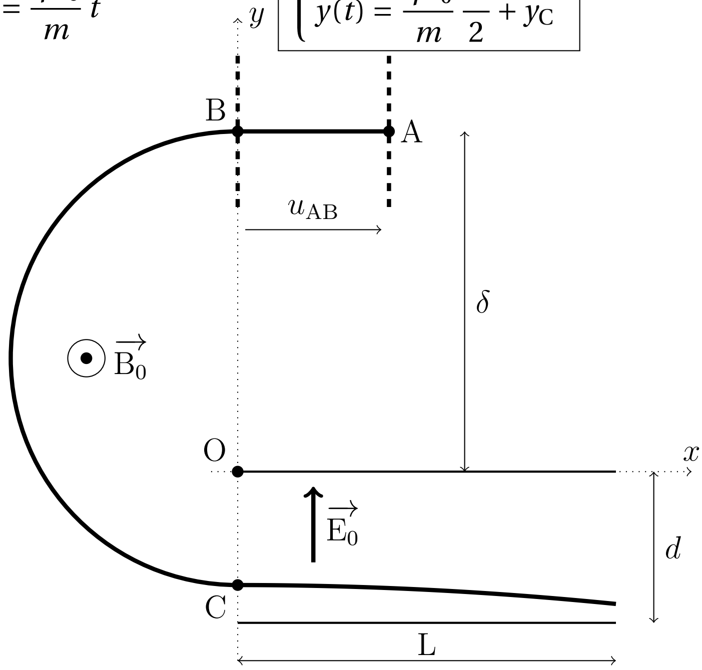
$$\boxed{\delta < 2\left|\frac{m v_B}{q B_0}\right| < \delta + d}$$

3. **Déviation électrique**

   (a) Dans cette zone, la charge q n'est soumise qu'à la force électrique $q\overrightarrow{E_0} = qE_0\,\overrightarrow{e_y}$. L'application de la RFD donne alors, en projection sur $\overrightarrow{e_x}$ et $\overrightarrow{e_y}$,

$$\begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = \dfrac{qE_0}{m} \end{cases} \quad \text{soit} \quad \begin{cases} \dot{x} = C^{te} = v_B \\ \dot{y} = \dfrac{qE_0}{m}\,t + C^{te} = \dfrac{qE_0}{m}\,t \end{cases} \quad \text{et enfin} \quad \boxed{\begin{cases} x(t) = v_B\,t \\ y(t) = \dfrac{qE_0}{m}\,\dfrac{t^2}{2} + y_C \end{cases}}$$

   (b) La charge déterminée précédement étant négative, $y(t)$ devrait descendre en-dessous de y_C et non monter sur le schéma. Il n'est donc pas cohérent. Ci-contre un schéma plus cohérent de la situation.



   (c) Pour que la particule ressorte sans encombre du système (c'est-à-dire sans toucher la plaque), il faut que $0 > y(t_{\text{sortie}}) > -d$. Or le temps mis pour traverser l'entrefer est tel que $x(t_{\text{sortie}}) = L$, soit $t_{\text{sortie}} = L/v_B$. Ainsi, on doit vérifier

$$\boxed{0 > \frac{qE_0}{m}\,\frac{L^2}{2v_B^2} + y_C > -d}$$

4. On pourrait dans un premier temps se dire que, puisqu'avec notre particule négative la déviation se fait vers le bas, il faille viser le plus « en haut » de l'entrefer (donc y_C proche de 0) pour maximiser les chances de sorties. Néanmoins, plus y_C est proche de 0, plus le rayon de la déviation par le champ magnétique est faible et donc plus la vitesse d'entrée v_B dans la zone magnétique [1] est faible. Or comme le temps de passage dans l'entrefer est inversement proportionnel à v_B, la particule sera d'autant plus déviée que la vitesse v_B sera faible... Il va donc falloir regarder cela plus en détail.
   Avec une particule chargée négativement, la condition à respecter est

$$\frac{qE_0}{m}\,\frac{L^2}{2v_B^2} + y_C > -d$$

   et la valeur de y_C est reliée au rayon de la déviation circulaire (donc à v_B) via

$$y_C = \delta - 2R = \delta - 2\left|\frac{mv_B}{qB_0}\right| = \delta + 2\,\frac{mv_B}{qB_0} \qquad (\text{car } q < 0)$$

   En remplaçant y_C dans l'inégalité précédente, on obtient

$$\frac{qE_0}{m}\,\frac{L^2}{2v_B^2} + \delta + 2\,\frac{mv_B}{qB_0} > -d \qquad \text{ou encore} \qquad \frac{qE_0}{m}\,\frac{L^2}{2} + (d+\delta)\,v_B^2 + 2\,\frac{m}{qB_0}\,v_B^3 > 0$$

   inéquation pour laquelle il est difficile « à l'œil » de trouver une solution sans valeurs numériques précises et qui montre que la réponse à la question posée n'est pas forcément aussi directe qu'on pouvait le penser de prime abord...

♫

1. À champ magnétique B_0 constant, bien sûr...