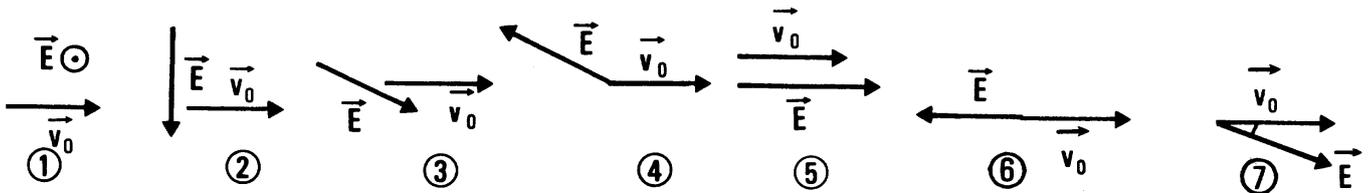


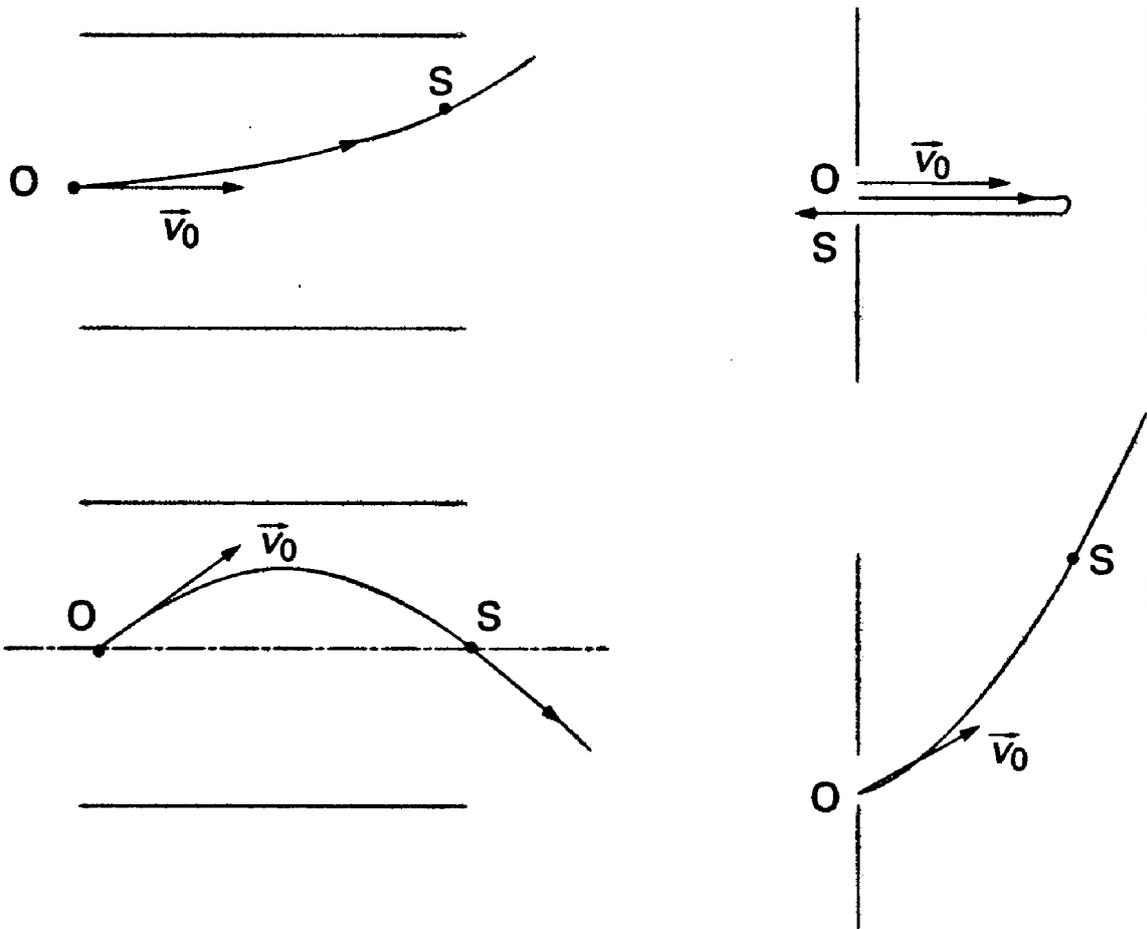
Mouvement de particules chargées

1. Trajectoires

1. Une particule de charge positive et de vitesse \vec{v}_0 pénètre dans une région où règne un champ électrique uniforme \vec{E} . Pour chaque cas exposé dans les schémas ci-dessous, préciser dans quel plan se forme la trajectoire, sa forme et la nature du mouvement.

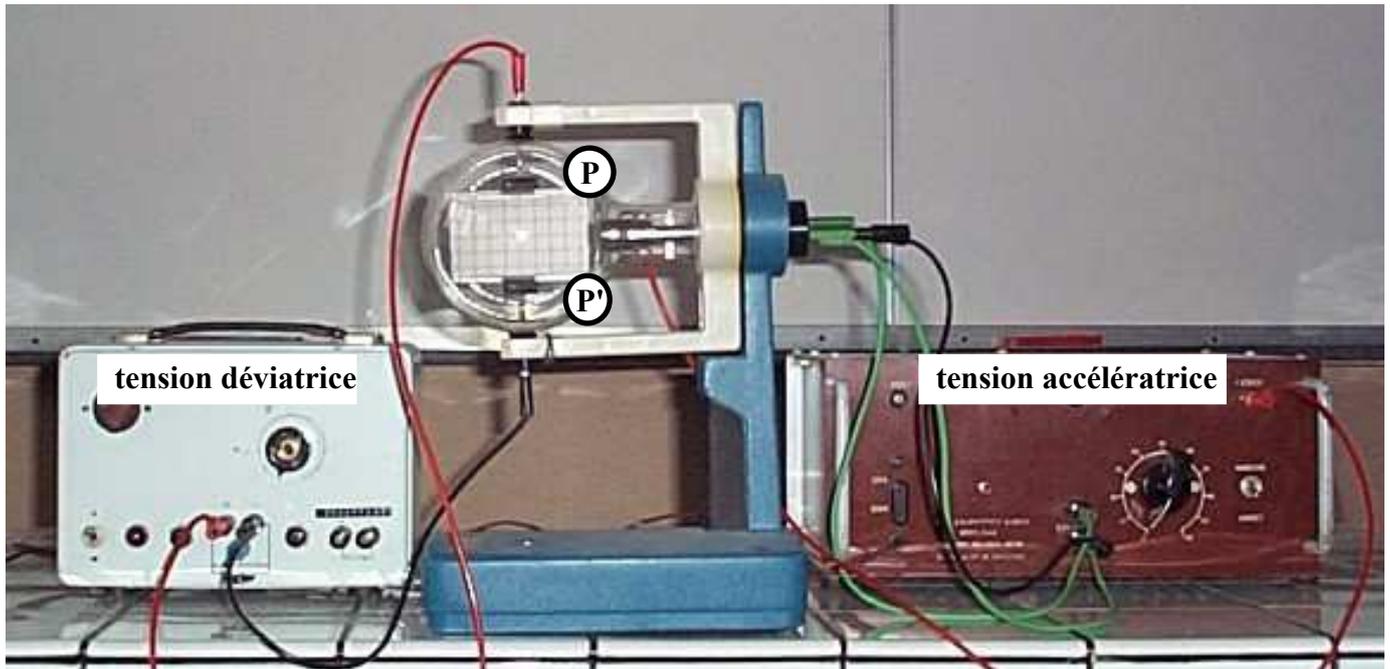


2. Une particule de charge négative et de vitesse \vec{v}_0 pénètre dans une région où règne un champ électrique uniforme \vec{E} , créé par deux plaques parallèles reliées aux bornes d'un générateur; donner les caractéristiques du vecteur champ électrique \vec{E} (direction et sens) dans les quatre cas schématisés ci-dessous.



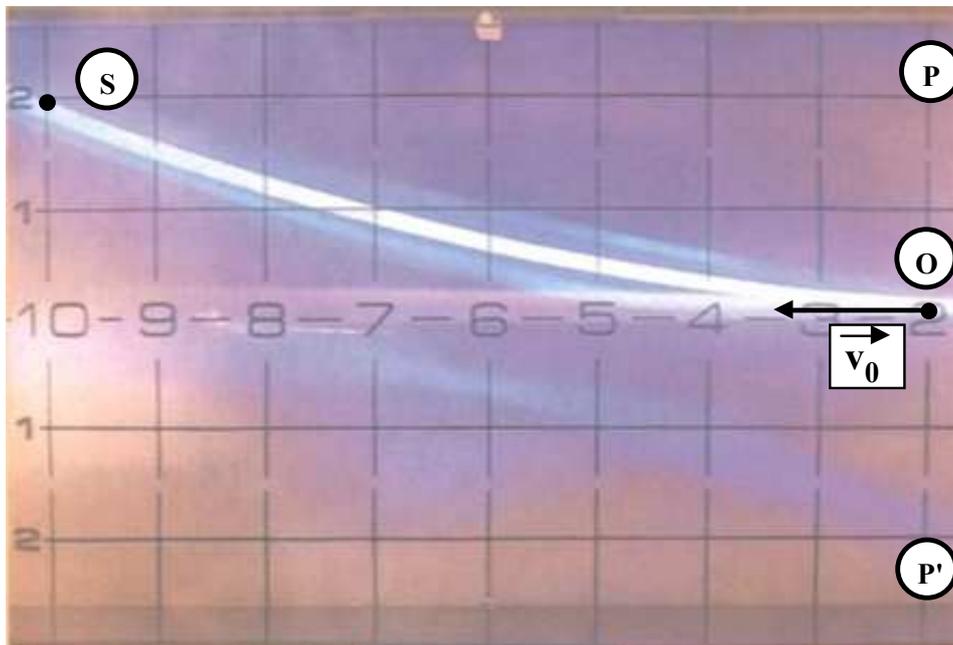
- 2. Électron au naturel** Un électron initialement au repos est accéléré par une tension de 4,0 kV. Sa vitesse est alors de direction horizontale. En supposant qu'ultérieurement l'électron n'est soumis qu'à son poids, établir l'équation de sa trajectoire. Calculer la distance qu'il doit parcourir pour que son altitude diminue de 1,0 mm.

3. Trajectoire d'un faisceau électronique* On étudie la trajectoire d'un faisceau d'électrons à l'aide du dispositif ci-dessous.



Les électrons sont soumis à une tension accélératrice U_A et sont ensuite déviés par un champ électrique créé par deux plaques parallèles distantes de $d = 6,0$ cm et de longueur $\ell = 8,0$ cm, reliées aux bornes d'un générateur fournissant une tension « déviatrice » U_D .

1. Exprimer la vitesse v_0 des électrons à la sortie du dispositif accélérateur en fonction de la tension accélératrice U_A . Calculer cette vitesse quand $U_A = 2,0$ kV.
2. Établir les équations horaires du mouvement d'un électron lorsqu'il est soumis au champ électrique \vec{E} créé par le système de plaques. En déduire l'équation de la trajectoire des électrons.
3. Exprimer les coordonnées du point S de sortie de la zone de déviation en fonction de U_A , U_D , d et ℓ . En exploitant le document ci-après (le quadrillage est gradué en cm), déterminer la valeur de la tension déviatrice U_D .

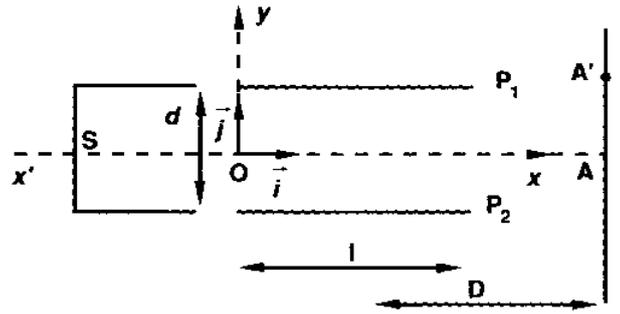


4. Mesure de vitesse* On se propose de déterminer la vitesse d'éjection de particules α émises par le radium 226 lors de sa désintégration.

1. Rappeler la masse de la particule α .

On place la substance radioactive en S au fond d'un cylindre creux en plomb d'axe $x'x$ et on admettra que les particules émises sortent du cylindre avec un vecteur vitesse \vec{v}_0 parallèle à l'axe $x'x$.

Le faisceau pénètre en O dans l'espace vide d'air entre deux plaques horizontales P_1 et P_2 d'un condensateur. En absence de champ électrique entre les plaques, on observe sur une plaque photographique disposé perpendiculairement à $x'x$ à une distance D du centre des plateaux, une tache en A. On donne que $d = 10$ cm, $\ell = 15$ cm et $D = 50$ cm.



2. Les plaques sont soumises à une différence de potentiel $U_{12} = -60$ kV.

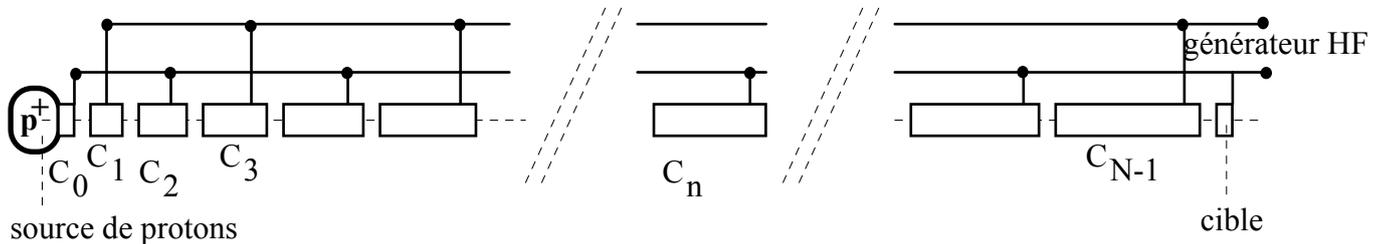
Donner le sens du champ électrique \vec{E} .

3. Établir l'équation de la trajectoire des particules.

4. Donner la nature du mouvement lorsque la particule sort de la zone où règne le champ électrique \vec{E} .

5. On mesure $AA' = 8,5 \cdot 10^{-3}$ m. Calculer la vitesse d'éjection des particules α .

5. Accélérateur linéaire* Un faisceau de protons de masses $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg et de vitesses initiales $v_0 = 5,0 \cdot 10^5$ m/s pénètre dans un accélérateur linéaire constitué d'une série de cylindres (électrodes) C_0, C_1, C_2, \dots de même section, de longueurs a_0, a_1, a_2, \dots séparées par un petit intervalle.



Les électrodes de rangs pairs sont reliées entre elles et à une des bornes d'un générateur de haute fréquence, les électrodes de rangs impairs sont reliées entre elles et à l'autre borne du générateur. Entre deux électrodes successives est alors établie une tension alternative de fréquence $f = 100$ MHz et d'amplitude $U = 500$ kV. Pendant que le proton est à l'intérieur d'un cylindre, il n'est soumis à aucun champ; quand le proton se trouve entre deux cylindres, il est accéléré par cette tension U . La longueur des cylindres est calculée pour que la durée du parcours d'un proton dans un cylindre reste identique quelque soit sa position dans l'accélérateur. La cible éventuelle se trouve à l'entrée du dernier cylindre.

- Calculer le nombre N de cylindres nécessaires pour que l'énergie des protons soit de 18,5 MeV à la sortie du dispositif.
- Calculer la durée de passage d'un proton dans un tube de manière à ce qu'il soit toujours accéléré par une tension (de signe correct) égale à U .
- Établir l'expression de l'énergie cinétique d'un proton dans le tube C_n , puis en déduire l'expression de sa vitesse v_n en fonction de v_1 . Calculer la vitesse du proton à l'entrée du second et du dernier tube.
- Calculer la longueur a_1 du premier tube C_1 , celle du second tube C_2 , puis celle du troisième tube C_3 . Établir l'expression de la longueur a_n du tube C_n en fonction de a_1 . En déduire la longueur du dernier tube C_{N-1} .

6. Mouvement hélicoïdal* On considère la situation de la figure ci-contre. La particule est un proton ($q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg) et le champ magnétostatique uniforme vaut 0,50 T. Seule la partie magnétique de la force de Lorentz est prise en compte ici (on néglige la gravité et toutes les autres forces). À l'instant initial $v_x = 1,5 \cdot 10^5$ m.s⁻¹, $v_y = 0$ m.s⁻¹ et $v_z = 2,0 \cdot 10^5$ m.s⁻¹.

1. Déterminer à l'instant initial, la force qui agit sur le proton ainsi que son accélération.
2. Déterminer le rayon de l'hélice, la vitesse angulaire du proton et le pas de l'hélice (la distance parcourue suivant l'axe de l'hélice pendant une période).

7. Filtre de vitesse* Pour obtenir un faisceau homogène à l'entrée d'un spectromètre de masse, on place avant la chambre de déviation un dispositif schématisé par la figure ci-contre.

Les particules chargées, de vitesse \vec{v}_c dirigée selon l'axe xx' sont soumises simultanément au champ électrique \vec{E} créé par les plaques et à un champ magnétique \vec{B} orthogonal à \vec{E} .

1. On observe que certaines particules ne sont pas déviées. Montrer que leur vitesse vaut $v_0 = E/B$.
2. Expliquer comment sont déviées les particules de vitesses supérieures à v_0 et celles de vitesses inférieures à v_0 .
3. Calculer v_0 pour $B = 0,10$ T, $d = 0,50$ cm, $U = 5,0$ kV.

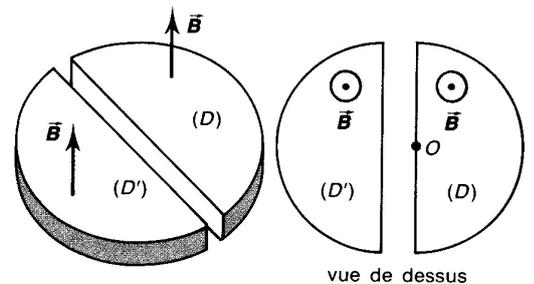
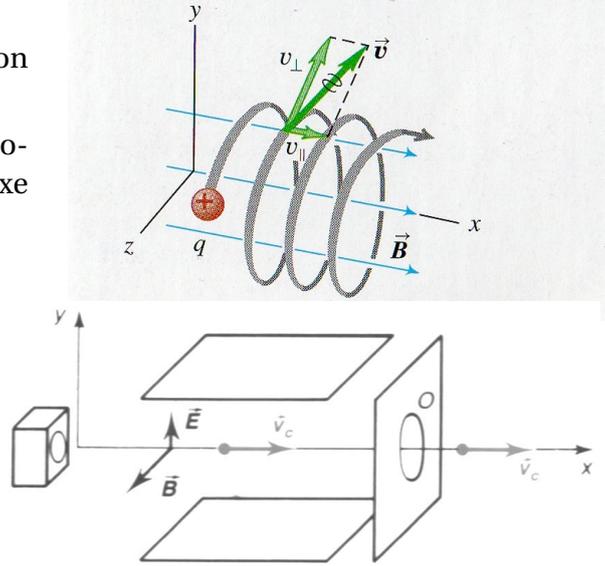
8. Cyclotron** Un cyclotron est constitué par deux boîtes demi-cylindriques D et D' à l'intérieur desquelles règne un champ magnétique \vec{B} . Dans l'espace régnant entre ces deux boîtes (on les appelle « dees » à cause de leur forme), on établit une tension alternative U. Des ions positifs sont injectés en O avec une vitesse négligeable.

1. Exprimer et calculer l'énergie cinétique des ions à leur première arrivée en D'.
2. Les ions pénètrent dans D', donner la nature de leur mouvement ultérieur. Exprimer leur vitesse v_1 dans D' ainsi que le rayon R_1 de leur trajectoire en fonction de B, q, U et m. Calculer R_1 et v_1 .
3. Les ions ressortent de D' et sont accélérés à nouveau par la tension U (qui a changé de signe). Établir l'expression de leur énergie cinétique et de leur vitesse à l'entrée en D. Exprimer leur vitesse v_2 dans D ainsi que le rayon R_2 de leur trajectoire en fonction de B, q, U et m. Calculer R_2 et v_2 .
4. Généraliser : donner l'expression du rayon R_n de la trajectoire après le n^e passage entre D et D' en fonction de R_1 (puis de B, q, U et m) et du nombre n.
5. Calculer la durée d'un demi tour. En déduire la fréquence de la tension alternative U
6. Le rayon du cyclotron vaut $R_S = 49,5$ cm; calculer le nombre total de tours décrits par les ions et leur énergie à la sortie du cyclotron.

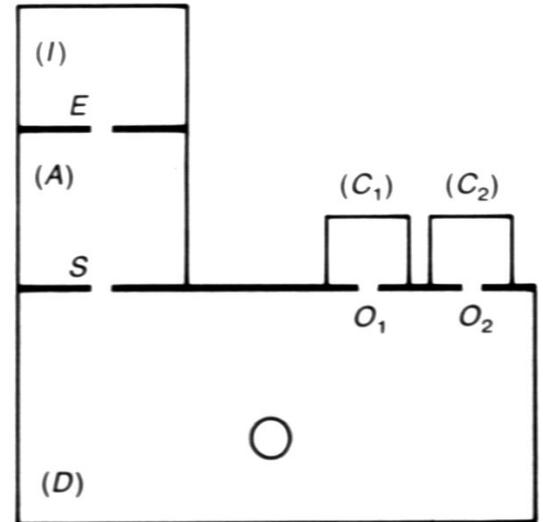
Données : $q = 2e$; $m = 6,64 \cdot 10^{-27}$ kg; $U = 100$ kV; $B = 1,00$ T

27.18 The general case of a charged particle moving in a uniform magnetic field \vec{B} . The magnetic field does no work on the particle, so its speed and kinetic energy remain constant.

This particle's motion has components both parallel ($v_{||}$) and perpendicular (v_{\perp}) to the magnetic field, so it moves in a helical path.



9. Spectrographe de masse* Le schéma représente un spectroscopie de masse, vu du dessus. Des ions de masse m et de charge $q < 0$ sont produits dans une chambre d'ionisation I puis accélérés par une différence de potentiel U_0 dans une chambre d'accélération. Donner l'expression de la vitesse des électrons en S. À leur sortie en S, les ions pénètrent dans une région où règne un champ magnétique uniforme vertical. Préciser le sens de ce champ pour que les ions puissent atteindre la région O_1O_2 .



1. Montrer que le mouvement des ions est uniforme.
2. Établir l'expression du rayon de la trajectoire.

Le jet d'ions sortant de la chambre d'ionisation est un mélange d'ions $^{79}\text{Br}^-$ et d'ions $^{81}\text{Br}^-$ de masse $m_1 = 1,3104 \cdot 10^{-25}$ kg et $m_2 = 1,3436 \cdot 10^{-25}$ kg.

3. Calculer la distance séparant les deux collecteurs en précisant lequel reçoit les ions de masse m_1 .

Données : $U_0 = 4,00$ kV ; $B = 0,100$ T.

10. Champs E et B croisés** Une particule chargée de masse m et de charge positive q se déplace dans un champ électrostatique et magnétostatique, \vec{E} est suivant \vec{u}_y et \vec{B} suivant \vec{u}_z . La particule est initialement à l'origine à la vitesse $\vec{v} = v_{x0} \vec{u}_x$.

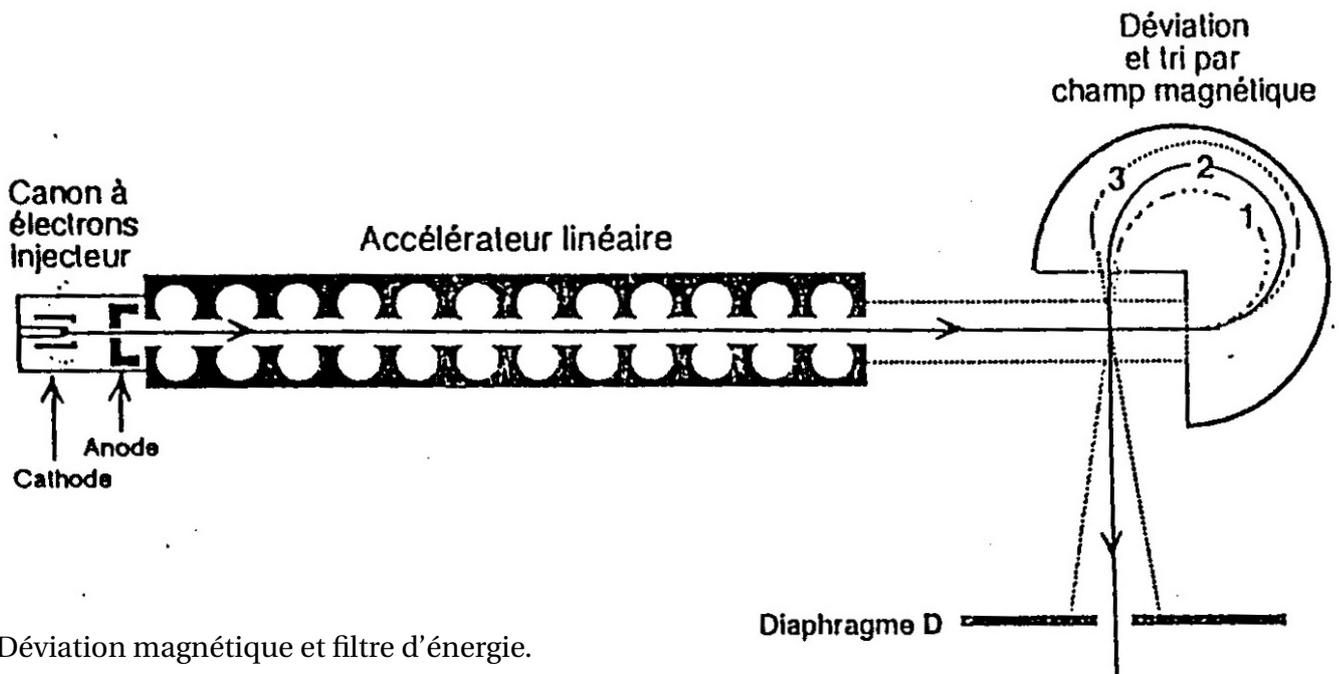
1. Écrire les équations du mouvement pour les trois directions de l'espace. Faire apparaître une pulsation caractéristique Ω . Montrer que le mouvement reste dans le plan $z = 0$.
2. Montrer qu'il existe une unique valeur de v_{x0} , appelée vitesse de dérive et notée v_{dr} , pour laquelle le mouvement de la particule n'est pas modifié. Quel est l'intérêt de cette vitesse?
3. Résoudre les équations du mouvement pour donner la vitesse de la particule en fonction du temps pour une valeur arbitraire de v_{x0} . On peut utiliser la méthode complexe comme dans le cours en pensant au changement de variable suivant : $u_x = v_x - v_{dr}$ et $u_y = v_y$.
4. Par intégration, en déduire la position de la particule en fonction du temps. Tracer l'allure de la trajectoire pour $v_{x0}/v_{dr} = 0, -1$ et 3 par exemple. Vous pouvez vous aider de votre calculatrice en prenant des valeurs numériques de votre choix pour les paramètres intervenant dans les équations.

11. Tri par champ magnétique** Le dispositif étudié est décrit sur la figure de la page suivante.

1. Étude du dispositif d'accélération.

Le canon : la cathode est chauffée à 1200 K. Les électrons émis avec une énergie moyenne de 5 eV, sont accélérés par un champ électrique uniforme créée par une différence de potentiel U_{AC} entre cathode et anode distantes de 10 cm.

- (a) Calculer en eV et en Joules l'énergie cinétique de ces électrons à la sortie du canon quand la tension $U_{AC} = 500$ V.
- (b) La courbe expérimentale donnant la vitesse des électrons en fonction de la tension U_{AC} est donnée par la figure 1(b) placée en annexe. Tracer sur le même graphique la courbe donnant la vitesse théorique des électrons en fonction de la tension U_{AC} entre la cathode et l'anode de canon, en supposant l'électron non relativiste. On fera apparaître les calculs effectués dans un tableau. Comparer les deux courbes et conclure.



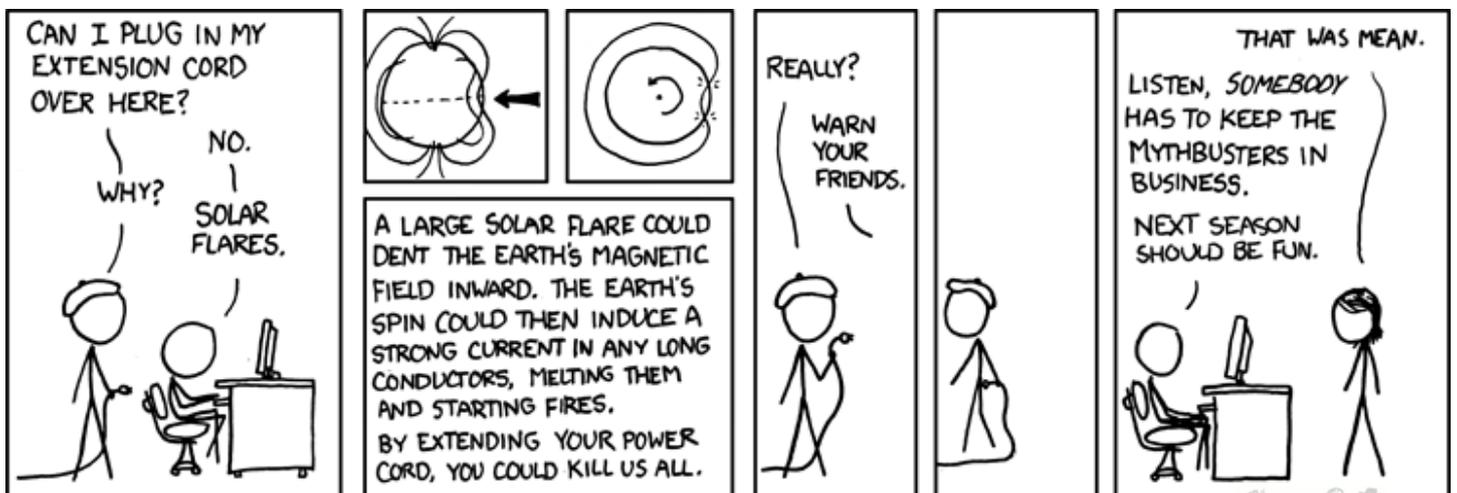
2. Déviation magnétique et filtre d'énergie.

Les électrons produits dans le canon, alimenté par une tension $U_{AC} = 500 \text{ V}$, sont injectés dans un réacteur linéaire (dont on ne demande pas le principe de fonctionnement). Ils en ressortent avec des énergies comprises entre 4 et 8 MeV.

- Quel domaine de tensions accélératrices permet de communiquer ces énergies de 4 à 8 MeV? Pensez-vous que les électrons ainsi accélérés soient, ou non, relativistes? Justifiez.
- Pour simplifier, nous considèrerons ce faisceau d'électrons poly-énergétiques comme la superposition de trois faisceaux mono énergétiques de 4, 6 et 8 MeV.

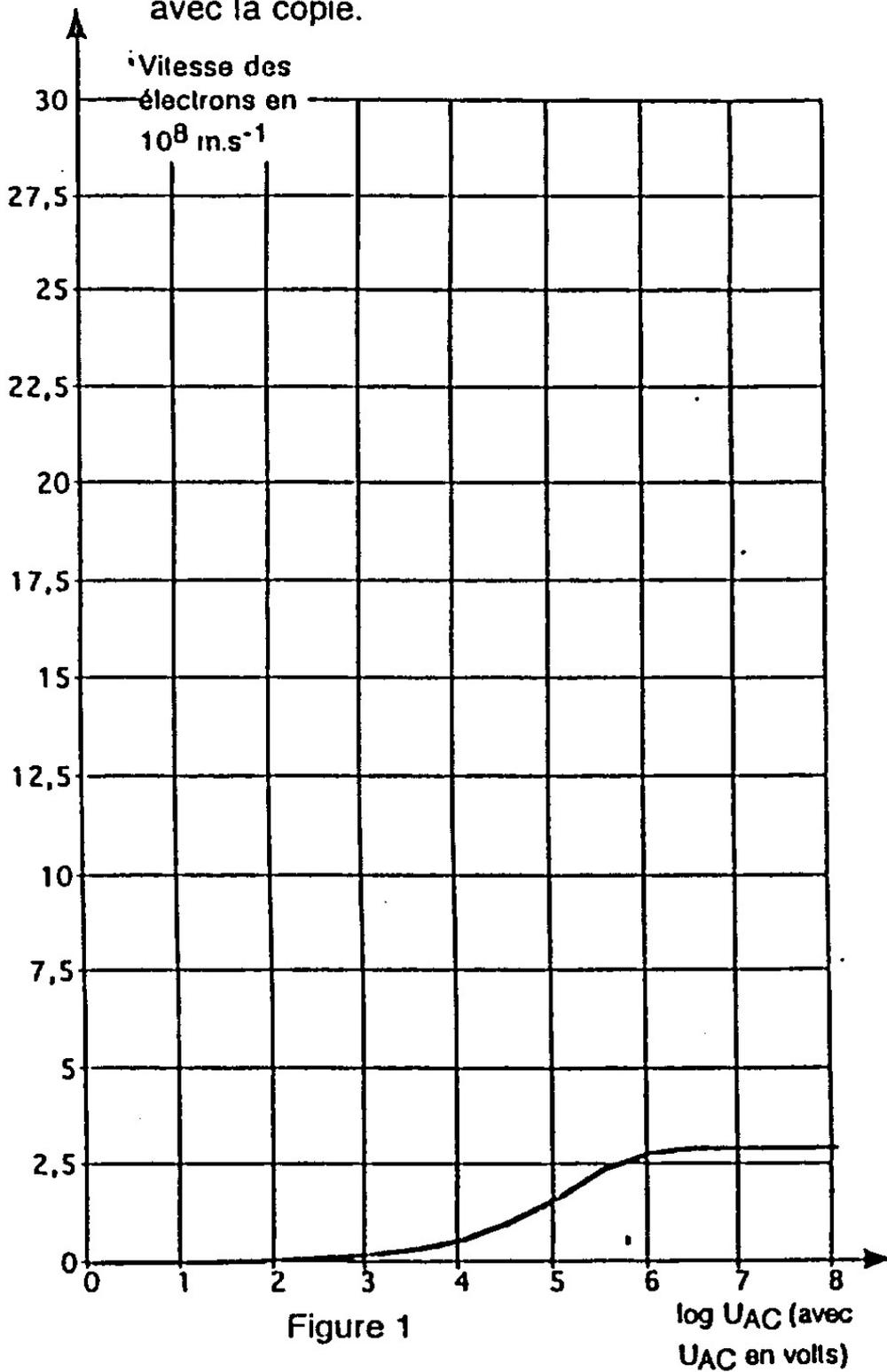
On désire isoler le faisceau mono énergétique de 6 MeV. Pour ce faire, le faisceau poly-énergétique arrive dans un espace où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} , perpendiculaire au plan de la figure. Les trois faisceaux ont alors les trajectoires notées 1, 2 et 3 de la figure 2.

- Représentez le vecteur \vec{B} sur le schéma global du dispositif.
- Attribuez, en le justifiant, un numéro de trajectoire à l'énergie de chaque faisceau mono énergétique. Par exemple, « La trajectoire n°1 est celle du faisceau d'énergie $x \text{ MeV}$ parce que » (On pourra utiliser la formule donnant le rayon de la trajectoire en la démontrant rapidement).
- Quel est le rôle du diaphragme en plomb? Quel est le devenir des faisceaux de 4 et 8 MeV dans le plomb?



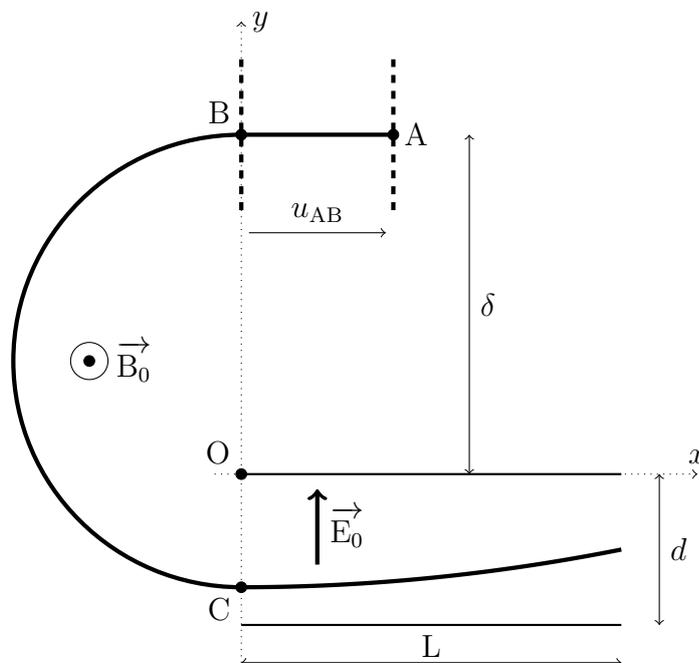
The MythBusters need to tackle whether a black hole from the LHC could REALLY destroy the world.

DOCUMENT 1(b) à compléter et à rendre avec la copie.



12. Échauffement 100% pur cours* On considère dans cet exercice le système ci-contre dont on va étudier les différents étages indépendamment.

- On introduit une particule de masse m et de charge q au point A avec une vitesse de quelques mètres par seconde.
- Celle-ci est accélérée linéairement par une différence de potentiel qui vaut en valeur absolue $|u_{AB}| = 5,0$ kV.
- Au point B, la particule pénètre dans une zone où règne uniquement un champ magnétique intense $\vec{B}_0 = B_0 \vec{e}_z$ qui la dévie et lui fait faire demi-tour pour arriver au point C.
- Une fois sortie de la zone de champ magnétique, la particule est à présent soumise à une zone de champ électrique $\vec{E}_0 = E_0 \vec{e}_y$ (créé par deux plaques parallèles) qui la dévie.



Le but de l'exercice est de savoir à quelle condition sur l'ensemble des paramètres on pourra avoir une particule qui ressorte de ce système infernal en passant entre les plaques mais sans les toucher.

1. Zone d'accélération

- (a) Déterminer la vitesse v_B de la particule au point B.
- (b) AN pour un électron de masse $m = 9,0 \cdot 10^{-31}$ kg et charge $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
- (c) Quel est le signe de $u_{AB} = V_A - V_B$?
- (d) Devrait-on faire intervenir la relativité dans l'affaire ?

2. Demi-tour magnétique

- (a) Quel est le travail de la force magnétique ? En déduire que la trajectoire suivie l'est forcément de manière uniforme et donner l'expression vectorielle \vec{v}_C de la vitesse au point C en fonction de v_B .
- (b) En supposant $B_0 > 0$, quel est le signe de la particule chargée envoyée sur le système ?
- (c) En supposant la trajectoire circulaire, retrouver *rapidement* le rayon R_0 de la trajectoire en fonction de q , m , B_0 et v_B . Faire un schéma pour définir les vecteurs de base utilisés.
- (d) Que doivent vérifier les paramètres q , m , B_0 et v_B pour s'assurer que la particule atteigne effectivement la dernière zone étudiée par la suite ?

3. Déviation électrique

- (a) Déterminer l'évolution $x(t)$ et $y(t)$ des coordonnées de la particule en supposant qu'elle parte à $t = 0$ du point C de coordonnées $(0, y_C)$ avec la vitesse \vec{v}_C calculée précédemment.
- (b) En supposant $E_0 > 0$, le dessin proposé est-il cohérent avec le signe déterminé précédemment ?
- (c) À quelles conditions sur y_C et v_C la particule pourra-t-elle sortir sans encombre du système ?

4. **Conclusion :** À δ fixé, faut-il plutôt viser « en haut », « en bas » ou « au milieu » pour maximiser les chances de sortie ? On suppose que le champ B_0 n'est pas modifiable.

