**Champs magnétiques et mouvement d’une particule dans un champ magnétique**

**Exercice 1**

On démontre que l’intensité du champ magnétique au centre d’une bobine circulaire de rayon R, de longueur L comportant N spires est donné par la relation : **B =** .

1. Montrer que pour une bobine longue (longueur très grande par rapport au diamètre de la spire), on retrouve la formule **B = 4π.10-7 n.I** d’un solénoïde infiniment long.
2. Retrouver la formule d’une bobine plate à partir de la formule générale ci-dessus.
3. Etudier le cas d’une bobine où la longueur est égale au diamètre de la spire et donner l’expression de B en fonction du diamètre D.

**Exercice 2**

Un solénoïde est enroulé à spires non jointives, à raison de 10 spires par centimètre. Le fil conducteur est en cuivre de 0,2 mm de diamètre et de résistivité ρ = 1,6.10-8 Ω.m. La longueur du solénoïde est

L = 40 cm et le rayon d’une spire est r = 5 cm.

On réalise un circuit comportant un générateur, de f.é.m. E = 1,5 V et de résistance interne r = 0,5 Ω, et la bobine. L’axe de la bobine est orienté perpendiculairement au plan du méridien magnétique. Une petite aiguille aimantée horizontale placée au centre de la bobine dévie d’un angle α1 = 60° lorsque l’on ferme le circuit.

1. Quelle est la résistance R de la bobine ?
2. Calculer la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre B0.
3. Calculer la résistance Rx du conducteur à mettre en série avec la bobine pour ramener la déviation de l’aiguille à α2 = 45° ?
4. On comprime les spires de manière à obtenir une bobine plate. En supposant que l’aiguille aimantée est toujours au centre de la bobine, calculer sa nouvelle déviation α3.

**NB : Ce circuit ne comporte que le générateur et la bobine.**

**Exercice 3 : filtre de vitesses**

Une chambre d’ionisation produit des ions d’hélium He+, He+ et He2+ de masses respectives m1, m2 et m3. Leurs poids sont négligeables devant les forces électromagnétiques qu’ils subissent. Ils pénètrent en A sans vitesse initiale dans un accélérateur linéaire où ils sont soumis à l’action d’un champ électrique uniforme , créé par une différence de potentiel U0 = VM – VN.

On désignera par v1, v2 et v3 les vitesses respectives en O des ions He+, He+ et He2+.

On notera e la charge électrique élémentaire.

Accélérateur

linéaire

Sélecteur de vitesse

Chambre

D’ionisation

P

O

A

d

O’

M

N

Q

1. a) Déterminer le signe de U0 afin d’accélérer les particules.

b) Quelle est la nature du mouvement de chaque ion entre A et O?

c) A la sortie de l’accélérateur, les différents ions ont-ils la même énergie cinétique ? La même vitesse ?

1. les ions pénètrent ensuite dans un sélecteur de vitesse limité par les deux plaques P et Q distants de d. Ils sont alors soumis à l’action simultanée de deux champs :
   * un champ électrique uniforme créé par U = VQ – VP > 0.
   * Un champ magnétique orthogonal aux vecteurs vitesse des particules.
     1. Représenter le champ magnétique pour que la force électrique et la force magnétique aient la même direction mais des sens contraires.
     2. On règle la valeur de U de façon que le mouvement des ions He+ soit rectiligne uniforme, de trajectoire OO’.

Exprimer U en fonction de B, v2 et d.

* + 1. Donner l’allure des trajectoires des ions He+ et He2+.

**Données : m1 = 3 u ; m2 = m3 = 4 u ; 1 u = 1,67.10-27 kg.**

**Exercice 4 : cyclotron**

Dans un cyclotron, une particule de masse m et charge q, pénètre en C avec une vitesse négligeable, dans un espace (III) où règne un champ électrique (cf.figure).Cet espace est limité par deux grilles planes (P1) et (P2), assimilables à deux plaques métalliques, distantes de d ; on applique entre ces grilles une tension électrique UP2P1 positive.

(II)

(III)

(I)

d

(C2)

(C1)

C

K

K’

L

L’

(P2)

(P1)

●

●

La particule se déplace de C en K où son vecteur vitesse est . Elle pénètre alors dans la région (I), décrit une trajectoire (C1) et arrive en K’. De part et d’autre des grilles, dans les « dees » (régions (I) et (II), règne un champ magnétique uniforme et constant perpendiculaire au plan de la figure.

1. a) Exprimer l’énergie cinétique de la particule en K’, en fonction de m et v0. Quel est le rôle du champ magnétique ?

b) Exprimer le rayon R1de la trajectoire (C1) en fonction de m, q, v0 et B.

1. Pendant que la particule était dans l’espace (I), le signe de la tension UP2P1 a changé. Lors de son passage entre K’ et L, la particule est animée d’un mouvement rectiligne uniformément accéléré. Exprimer son énergie cinétique en L en fonction de m, q, v0 et U.

Quel est l’intérêt du passage de la particule dans (III) ?

1. La particule décrit ensuite la portion de trajectoire circulaire (C2).
   1. Exprimer le rayon R2 de la trajectoire (C2) en fonction de m, q, v0, B et U.
   2. Exprimer la durée du demi-tour KK’.
   3. En déduire la fréquence de la tension alternative UP1P2 nécessaire pour accélérer la particule à chacun de ses passages entre les « dees ».
2. Un cyclotron a un diamètre maximal utile de 52 cm.
   1. Calculer en MeV, l’énergie cinétique maximale des protons accélérés par ce cyclotron lorsque la fréquence de l’oscillateur électrique qui accélère les protons entre chaque « dees » est de 12 mégahertz. Quelle est alors la valeur du champ magnétique produit par l’électroaimant ?
   2. L’amplitude de la différence de potentiel alternative appliquée entre les deux « dees » est de

200 kV. Calculer le nombre de tours effectués par les protons pour atteindre leur énergie cinétique maximale.

* 1. Avec le même cyclotron, on accélère des deutons (md = 2 mp) ou des particules α (m α ≈ 4 mp). Les deutons possèdent une charge élémentaire +e, les particules α une charge +2e.

Quelles sont les énergies maximales atteintes par ces deux particules lorsqu’on maintient la fréquence à 12 Mhz ?

**Données : 1 MeV = 1,6.10-13 J ; mp = 1,67.10-27 kg (masse du proton).**

(P1)

**Exercice 5**

Le principe d’un spectrographe de masse est schématisé ci-dessous (**fig.2**).

Dans tout l’exercice, on suppose que le mouvement des ions se fait dans le vide et on néglige leur poids par rapport aux autres forces. La charge élémentaire est notée e.

1. Dans la chambre d’ionisation (1), on produit des ions de masse m et de charge q = 2e. Ces ions pénètrent par le trou T1dans une enceinte (A) avec une vitesse négligeable. Dans cette enceinte les ions sont accélérés par une tension U = VP1-VP2.
   1. Quel doit être le signe de la tension U pour que les ions soient accélérés ? On admettra pour la suite que les ions Zn2+ sont soumis entre P1 et P2 à une force constante colinéaire à T1T2.
   2. Quelle est la trajectoire d’un ion Zn2+ entre P1 et P2? Quelle est la nature de son mouvement ?
   3. Etablir l’expression de sa vitesse V0 lorsqu’il se présente devant le trou T2 situé à la plaque P2 en fonction de e, m, U.
   4. L’élément zinc contient deux isotopes de nombre de masse A1= 68 et A2= 70.Il sont ionisés de façon identique. Déterminer le rapport littéral des vitesses V01/ V02 de ces ions en fonction de leurs masses respectives m1 et m2 à leur passage T2.
      1. Les ions sortant par T2, entrent avec la vitesse perpendiculaire à P2 dans une enceinte (D) dans laquelle règne un champ magnétique uniforme perpendiculaire au plan de la figure fig.2. Il sont déviés et viennent dans un collecteur C dont la fente d’ouverture O, très étroite, perpendiculaire au plan de figure, se trouve dans le plan P2.
2. Quel doit être le sens de pour que les ions puissent être recueillis par le collecteur C ?
3. On admet que les ions Zn2+ ont un mouvement circulaire uniforme et que leur trajectoire est dans le plan de la figure. Etablir l’expression du rayon de cette trajectoire en fonction de m, e, V0 et B.

A quelle distance x de T2 doit se trouver la fente O du collecteur C? On donnera x en fonction de m, e, U et B.

Calculer la distance C1C2 séparant les positions respectives de la fente du collecteur permettant de recueillir les ions de masse m1 et m2.

**Données** : e = 1,6.10-19C ; U = 4000 V ; B = 0,1 T ;

m1 = A1.u et m2 = A2.u avec u = 1,67.10-27 kg.

(P2)

(P1)

O

T1

T2

C

**Exercice 6**

En 1886 Goldstein découvrit des rayons chargés positivement qu’il appela « rayons canaux » Sir J.J. Thomson montra en 1912, en utilisant le dispositif schématisé sur la figure ci-dessous, que ces « rayons canaux » étaient composés d’ions de deux isotopes du néon.

Un faisceau constitué d’ions positifs se déplaçant le long de l’axe SO, et de vecteurs vitesses différents, est soumis aux actions simultanées d’un champ électrique et d’un champ magnétique parallèles et de même sens (direction de l’axe Oy).

Soit l = ΩO la largeur de la portion d’espace sur laquelle les deux champs sont actifs.

1. Calculer la déviation verticale y d’un ion positif de charge q et de masse m, soumis à l’action du champ électrique seul.
2. Calculer la déviation horizontale x de ce même ion soumis à l’action du champ magnétique seul. On admettra que l’angle de déviation est « petite ».
3. On peut montrer que, dans les conditions de l’expérience les coordonnées x et y de la particule lorsque et sont mis en service simultanément sont pratiquement égales à celles obtenues lorsqu’ils agissent seuls. Etablir l’équation cartésienne de la trace formée sur l’écran par les impacts d’ions de même charge et de même masse mais de vitesses différentes. Quelle est l’allure de cette trace ?
4. Que se passe-t-il si le faisceau est constitué d’ions de charges massiques différentes ?
5. Dans le cas où la source d’ions est le néon, on peut observer sur l’écran deux arcs de parabole dont les prolongements sont tangents en O à l’axe Ox.
6. Pourquoi les paraboles ne sont-elles pas tracées jusqu’au point O ?
7. Sur la première parabole, on relève les coordonnées d’un point M1: x1 = 12,0 mm ; y1 = 4,5 mm. Sur la deuxième, on relève les coordonnées d’un point M2: 10,9 mm ; y2 = 4,1 mm. Montrer qu’il s’agit des traces des deux isotopes Ne+ et Ne+.

Données : masse molaire atomique de Ne+: 20.10-3 kg.mol-1.

masse molaire atomique de Ne+: 22.10-3 kg.mol-1.

x

y

Ω

S

O

l