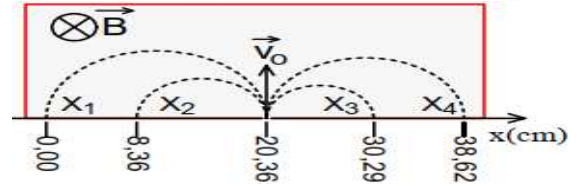


I.A. DE DAKAR
CLASSE : TS₂
Cellule de PC

SERIE : MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME

Exercice 1

Pour identifier des ions désignés par X₁ ; X₂ ; X₃ et X₄, portant chacun une charge de valeur absolue |q| = e on les introduit successivement dans une région où règne un champ magnétique B uniforme avec la même vitesse v₀. Les trajectoires obtenues sont représentées sur la figure suivante



1) Montrer que le mouvement d'une particule de masse m et de charge q de vitesse initiale v₀ perpendiculaire au vecteur champ magnétique uniforme B est un mouvement uniforme circulaire. Puis

montrer que : $R = \frac{mV_0}{|q|B}$

Donnée : la masse de l'ion d'un élément ^AX est : m = Au

2) En exploitant la figure :

2.1) Identifier le signe de la charge portée par chacun des ions X₁ ; X₂ ; X₃ et X₄ ?

2.2) Déterminer les rayons R₁ ; R₂ ; R₃ et R₄ de ces ions.

3) Identifier les ions X₁ ; X₂ ; X₃ et X₄ dans la liste suivante : ³⁹K⁺ ; ²³Na⁺ ; ³⁵Cl⁻ ; ¹⁹F⁻.

Exercice 2

Un faisceau d'électrons émis par une cathode pénètre par le point A de coordonnées (x_A = -0,20 (m); y_A = 0) avec une vitesse $\vec{v}_0 = v_0 \vec{j}$ dans une région où règne un champ magnétique uniforme \vec{B} normal au plan (Oxy) où s'effectue le mouvement.

L'électron quitte le champ magnétique en C avec une vitesse \vec{v}_C pour aborder une zone où règne un champ électrostatique uniforme \vec{E} pour en sortir au point D de coordonnées

(x_D = +0,20(m); y_D = 0) avec une vitesse \vec{v}_D

1. Etude du mouvement de l'électron dans le champ \vec{B}

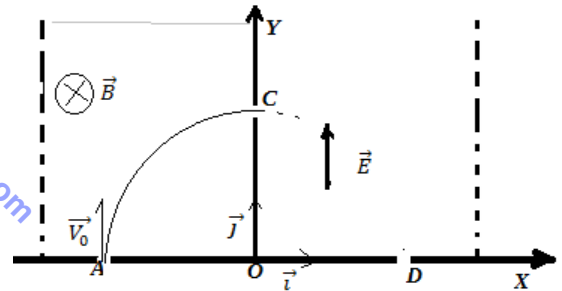
1.1. En appliquant la deuxième loi de Newton montrer que :

- Le mouvement de l'électron est uniforme
- Le mouvement de l'électron est circulaire

1.2. Donner l'expression du rayon R de la trajectoire de l'électron

1.3. Calculer la valeur de l'intensité de \vec{B}

1.4. Déterminer la durée Δt_1 du mouvement de l'électron dans cette zone



2. Etude du mouvement de l'électron dans le champ \vec{B}

On prend comme origine des dates (t = 0) l'instant d'arrivée de l'électron au point C

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton :

- Etablir les équations horaires x(t) et y(t) ; du mouvement de l'électron
- En déduire l'équation de la trajectoire dans le repère (O, \vec{i} , \vec{j})

2.2. Calculer la valeur de l'intensité de \vec{E}

2.3. Déterminer la durée Δt_2 du mouvement de l'électron dans cette zone

Les données : on néglige l'effet du champ de pesanteur sur l'électron ; la charge de l'électron

-e = -1,6.10⁻¹⁹ C ; v₀ = 10⁷ m.s⁻¹ ; la masse de l'électron : m = 9,1.10⁻³¹kg ; les directions de \vec{v}_0 et celle de \vec{v}_C font un angle de $\frac{\pi}{2}$ radian ; le repère (0, \vec{i} , \vec{j}) est orthonormé

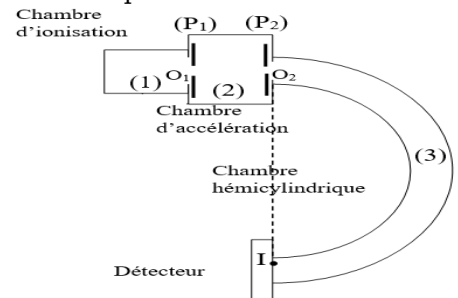
Exercice 3

Le spectrographe de masse est un dispositif utilisé pour la séparation des isotopes. Il est constitué :

- d'une chambre (1) d'ionisation dans laquelle sont ionisés les isotopes à séparer,
- d'une chambre (2) d'accélération des ions dans laquelle règne un champ électrique uniforme \vec{E} créé par une tension U₀ appliquée entre deux plaques (P₁) et (P₂),
- d'une chambre (3) hémicylindrique dans laquelle règne un champ magnétique uniforme \vec{B} ,
- d'un détecteur d'ions.

On se propose de séparer des isotopes de l'élément chlore.

On négligera dans tout l'exercice, le poids de l'ion chlorure devant les autres forces qui interviennent



1) a- Préciser le sens de \vec{E} pour que des ions négatifs, sortant de la chambre d'ionisation en O_1 avec une vitesse nulle, aient, dans la chambre d'accélération, un mouvement rectiligne accéléré suivant la direction O_1O_2 ? Justifier la réponse.

b- Montrer qu'au point O_2 , l'énergie cinétique est la même pour les différents types d'ions accélérés qui correspondent au même élément chimique et qui portent la même charge électrique. En est-il de même pour les vitesses ? Justifier la réponse.

2) Dans la chambre (3) règne un champ magnétique \vec{B} normal au plan contenant O_1 , O_2 et I. Préciser son sens pour que des ions négatifs soient déviés vers un point d'impact I du détecteur.

3) Préciser la nature du mouvement d'une particule chargée dans chacune des chambres (2) et (3).

4) Des ions chlorure Cl^- sont accélérés sous une tension $U_0 = 500V$.

a- Déterminer l'intensité du champ magnétique \vec{B} qui doit régner dans la chambre (3) pour que des ions $^{35}Cl^-$ viennent frapper le détecteur au point d'impact I situé à 19 cm de O_2 .

b- Au niveau du détecteur et en un point I' situé plus loin que I du point O_2 , on reçoit des ions négatifs désigné par $^A Cl^-$. Sachant que la distance qui sépare le point I du point I' est 0,6 cm, déterminer le nombre de masse de l'ion $^A Cl^-$ considéré.

c- Répondre par vrai ou faux aux propositions suivantes :

Dans un champ électrique uniforme, une particule chargée mobile suit toujours une trajectoire rectiligne.

Dans un champ magnétique uniforme, une particule chargée mobile suit toujours une trajectoire circulaire.

Développer, dans chaque cas, ce qui justifie la réponse.

On donne : Charge électrique élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$; Unité de masse atomique : $u = 1,66 \cdot 10^{-27} kg$

Exercice 4

Une particule injectée au cœur du cyclotron va être accélérée par le champ électrique alternatif de haute fréquence entre les « dés ». Puis, elle entre dans le « dé » suivant lorsque le champ électrique change de sens et elle est donc à nouveau accélérée, et ainsi de suite

Sa trajectoire devient plus périphérique du fait de son augmentation d'énergie. Elle sera éjectée de l'accélérateur avec l'énergie adéquate à partir de cette dernière trajectoire, puis guidée et focalisée jusqu'à sa cible.

1. Représenter, en justifiant, au point A de la trajectoire de l'ion injecté dans le cyclotron, le vecteur vitesse \vec{v} de l'ion et la force magnétique \vec{F}_m qui s'exerce sur l'ion. Représenter le champ magnétique, \vec{B} dans l'hypothèse où la charge q de l'ion est positive.

2. Montrer que l'action du champ \vec{B} ne permet pas d'accroître l'énergie cinétique de l'ion.

3. Démontrer que dans un « D », dans l'hypothèse où le champ magnétique est uniforme et constant, le mouvement de l'ion est circulaire uniforme et exprimer le rayon de la trajectoire en fonction de m (masse de l'ion), v (module de la vitesse de l'ion), q et B.

4. Montrer que la durée de passage dans un demi-cylindre, notée t_p ne dépend pas de v.

Pour accroître l'énergie cinétique de l'ion, on utilise l'action du champ électrique \vec{E} résultant de la tension u appliquée entre les deux « D ». On considère que pendant la durée très courte de passage de l'ion d'un « D » à l'autre, la tension u reste constante.

5. Déterminer, en fonction de q et u les expressions des variations de l'énergie cinétique de l'ion lors de la traversée de l'espace entre les deux « D ».

6. Un ion est injecté dans la zone d'accélération avec une vitesse nulle. Quelle est sa vitesse v_1 au moment de la pénétration dans le premier « D » et quel est le rayon R_1 de la première trajectoire semi-circulaire ?

7. On peut négliger la durée de passage de l'ion dans l'intervalle entre les deux « D » devant la durée t_p de passage de l'ion dans un demi-cylindre. La tension u est une fonction sinusoïdale du temps qui doit être synchronisée avec le mouvement des particules chargées de telle sorte que le champ électrique soit inversé à chaque demi-tour. Quelle doit être la fréquence d'oscillation de cette tension $u(t)$ permettant d'obtenir une accélération de l'ion à chaque passage dans l'intervalle entre les deux « D ».

8. Après chaque passage dans l'intervalle entre les deux « D », la vitesse de la particule ainsi que le rayon R de sa trajectoire dans un « D » augmentent. Déterminer les suites v_k et R_k , l'indice k étant incrémenté d'une unité à chaque demi-tour.

9. Lorsque ce rayon finit par atteindre le rayon R_D d'un « D », l'ion est alors éjecté du cyclotron.

Exprimer en fonction de m, q, B et R_D l'énergie cinétique E_k de l'ion lors de son éjection.

10. Application numérique. Calculer, en joule, puis en MeV, l'énergie cinétique E_k d'un ion zinc Zn^{11+}

sachant que : $B = 1,67 T$; $m = 1,06 \cdot 10^{-25} kg$; $R_D = 0,465 m$; $e = 1,60 \cdot 10^{-19} C$

Exercice 5

Analyse de toxiques

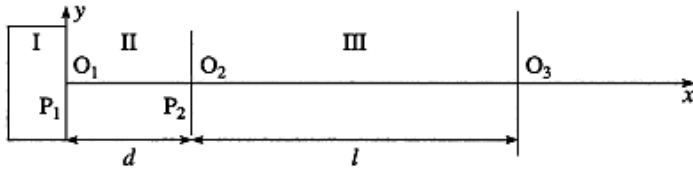
Afin de déterminer si un patient a consommé de la codéine, de l'héroïne ou de la morphine, des échantillons moléculaires, prélevés sur ce patient, sont confiés pour analyse à un laboratoire spécialisé. C'est par des techniques physiques que cette analyse va être réalisée.

Le laboratoire utilise deux dispositifs basés sur l'étude des mouvements de particules chargées soumises à des forces électriques et (ou) magnétiques, dans un vide très poussé.

Dans tout l'exercice on négligera le poids des particules devant les autres forces qui interviennent.

A) Première analyse : mesure d'un « temps de vol ».

Description du dispositif



Dans la **zone I**, les molécules **X** à analyser vont être ionisées par bombardement électronique et donner des ions **X⁺** de charge : $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C.

Dans la **zone II**, de longueur **d**, entre les plaques **P1** et **P2** planes et parallèles, on applique une tension accélératrice : **U** = 25,0 kV.

Dans la **zone III**, de longueur : $l = O_2O_3 = 1,50$ m, seul le poids des particules agit sur elles.

1°) **Etude des mouvements successifs.**

Soit un ion **X⁺**, de masse **m**, pénétrant dans la **zone II** en **O1**, selon l'axe **O1x**, avec une vitesse considérée comme nulle. Exprimer littéralement, en fonction de **U**, **m** et **e**, la vitesse de passage de cet ion en **O2**.

2°) a) Quelle est la nature du mouvement de l'ion dans la **zone III** ?

b) Exprimer littéralement la durée **Δt** de ce mouvement entre **O2** et **O3**, en fonction de **U**, **m**, **e** et **l**.

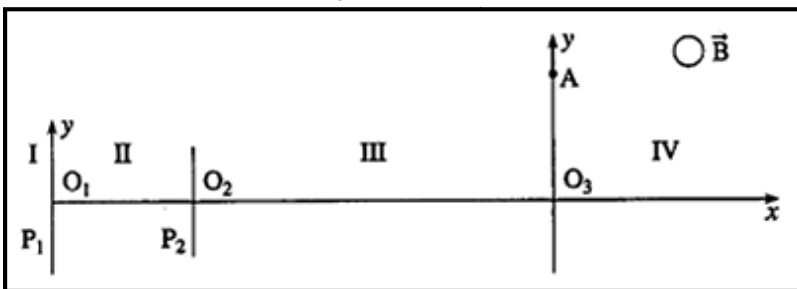
c) La mesure de cette durée a donné la valeur : $\Delta t = 11,5 \cdot 10^{-6}$ s. Déduire de cette valeur la masse de l'ion **X⁺** et la nature probable de la substance **X**.

On donne : Nombre d'Avogadro : $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹.

Masses molaires moléculaires : morphine : 285 g.mol⁻¹ ; codéine : 299g.mol⁻¹ ; héroïne : 369g.mol⁻¹.

B) Deuxième analyse : utilisation d'un spectrographe de masse.

Sur le schéma ci-dessous, on retrouve la même **zone I** d'ionisation fournissant les ions **X⁺**. On a ensuite la **zone II** où on applique une tension accélératrice : **U'** = 8,00kV entre les plaques **P1** et **P2** permettant de donner aux ions **X⁺** une vitesse **v'**. Dans la **zone III** un dispositif de filtrage permet d'éliminer les éventuelles particules parasites qui auraient pu être obtenues par fragmentation des molécules **X** lors de l'ionisation par choc électronique. Enfin dans la **zone IV** existe un champ magnétique de direction orthogonale au plan de figure et de norme : **B** = 1,80 T. L'ion **X⁺**, animé de la vitesse **v'** pénètre en **O3** dans cette zone suivant l'axe **O3x**.



1°) Rappeler l'expression de la force magnétique s'exerçant sur l'ion **X⁺**. Représenter sur un schéma le vecteur force pour que la déviation à partir de **O3** se fasse du côté positif de l'axe **O3y**. En déduire le sens du vecteur champ magnétique.

2°) Démontrer que le mouvement de l'ion **X⁺** dans la **zone IV** est plan et uniforme.

3°) Montrer que l'ion **X⁺** décrit dans cette zone un arc de cercle, dont on établira l'expression littérale du rayon en fonction de **m**, **e**, **v'** et **B**.

4°) Exprimer le rayon du cercle trajectoire en fonction de **U'**, **m**, **e** et **B**.

5°) L'ion **X⁺** est recueilli au point **A** tel que : $O_3A = 0,242$ m.

Trouver la masse de l'ion **X⁺** et identifier la substance **X**.

AU TRAVAIL !