

UA1 : Mécanique
Classe : TSE-TSExp

Durée : 06 Heures
Discipline : Physique

Domaine : SMT

1- Compétences

- **Résoudre une situation problème ;**
- **Mettre à profit ses connaissances scientifiques et technologiques ;**
- **Communiquer à l'aide des langages mathématiques, scientifiques et technologiques.**

COMPOSANTES ET MANIFESTATIONS :

*** Diagnostiquer la situation problème :**

- *Sélectionner les connaissances qui sont rapport avec la situation ;*
- *Etablir des relations entre les données retenues.*
- *Formuler le problème*

*** Mettre à l'essai des pistes de solution :**

- *Inventorier les différentes pistes de solution ;*
- *Choisir une piste parmi un éventail de possibilités ;*
- *Appliquer cette piste*

*** Partager les informations relatives à la démarche et aux résultats**

- *Se servir au besoin de contre-exemples pour préciser, réajuster ou réfuter des démarches et des résultats ;*
- *Tirer une conclusion ;*
- *Choisir un mode de représentation approprié ;*
- *Utiliser le mode retenu ;*
- *Tirer une conclusion.*

3-CONTENUS

Applications du principe fondamental de la dynamique au mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme

4- RESSOURCES EDUCATIVES

Néant

5- STRATEGIE D'ANIMATION

Pédagogie active : travail de groupe, consigne.

6- DEROULEMENT DES ACTIVITES

Pré-évaluation

1. Définis la force de Lorentz
2. Donne les caractéristiques de la force de Lorentz

Synthèse partielle :

1. Force de Lorentz

- **Définition** : La force de Lorentz est la force magnétique qui s'applique toute particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme.

On a : $\vec{f}_m = q\vec{V} \wedge \vec{B}$ en module $f_m = |q|VB \sin \alpha$

2. Les caractéristiques de la force de Lorentz :

$\vec{f}_m$ { Point d'application : à la particule
Direction : perpendiculaire au plan formé par $\vec{V}$ et $\vec{B}$
Sens : par la règle des 3 doigts de la main droite
Intensité : $f_m = |q|VB \sin \alpha$ en N

Situation de Problème

Lors d'une séance de TP un professeur de Physique chimie décide d'étudier avec ses élèves l'impact d'un champ magnétique sur une particule chargée de charge q et de masse m . Quelles sont les caractéristiques d'un tel mouvement.

Généralités

Si $\alpha = 90^\circ \rightarrow \sin \alpha = 1 \rightarrow f_m = |q|VB$

Si $\alpha = 0^\circ$ ou $\pi \rightarrow \sin \alpha = 0 \rightarrow f_m = 0$ (alors la particule est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme).

Remarque :

La règle des trois (3) doigts de la main droite permet de déterminer le sens de $\vec{V} \wedge \vec{B}$ par conséquent le sens de $\vec{f}_m$

- Pouce $\rightarrow \vec{V}$
- Index $\rightarrow \vec{B}$ on a : $\otimes \vec{B}$ (rentrant) et $\odot \vec{B}$ (sortant)
- Majeur $\rightarrow \vec{V} \wedge \vec{B}$

Si $q > 0$ $\vec{f}_m$ et $\vec{V} \wedge \vec{B}$ ont même direction et même sens

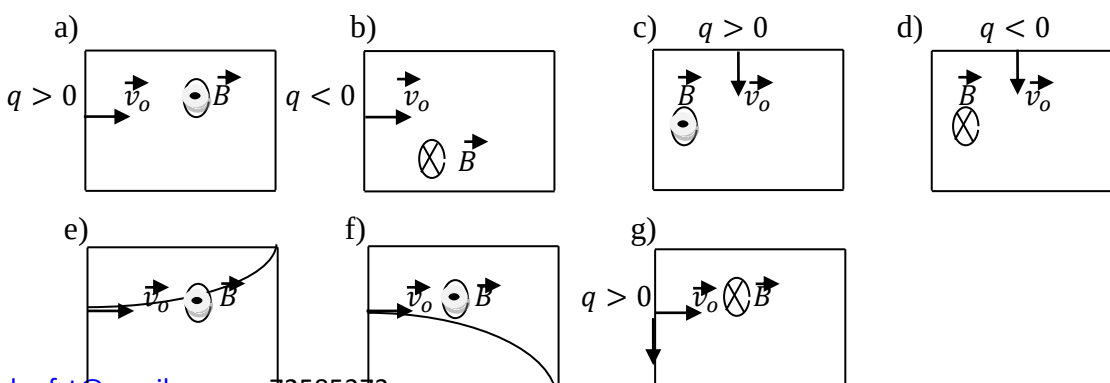
Si $q < 0$ $\vec{f}_m$ et $\vec{V} \wedge \vec{B}$ ont même direction mais de sens contraires

On peut directement déterminer le sens de $\vec{f}_m$ en appliquant la règle de la paume de la main droite. Dans ce cas :

- Le bout des doigts $\rightarrow \vec{V}$ si $q > 0$ et $-\vec{V}$ si $q < 0$
- La main : ouverte si $\vec{B}$ est sortant $\odot$ et fermée si $\vec{B}$ est rentrant $\otimes$
- Le pouce $\rightarrow \vec{f}_m$

Evaluation : Dans chacun des cas suivant détermine le sens de $\vec{f}_m$, le

Signe de la particule et trace l'allure de la trajectoire.



N.B : Le travail de la force de Lorentz est nul :

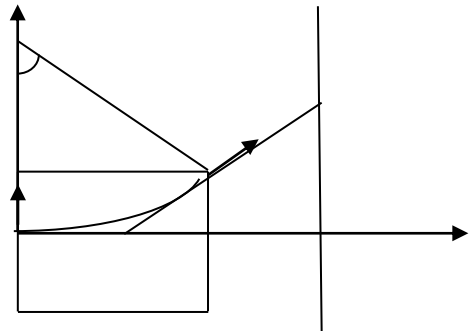
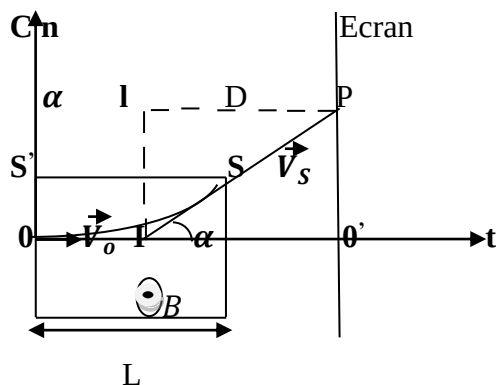
$$P = \frac{W}{t} \text{ et } W = f_m \times l \text{ Avec } P=f_m$$

$$P = f_m \cdot \frac{l}{t} = f_m \cdot v = f_m \times v \cos(f_m, v) \text{ or } f_m \perp v \rightarrow \cos(f_m, v) = 0 \rightarrow P = 0$$

$$\text{D'où } W_{f_m} = 0 \rightarrow \Delta E_C = 0 \rightarrow E_{C_f} = E_{C_i} \rightarrow V_f = V_i$$

Activité 1 : Etude du mouvement d'un électron dans un champ magnétique uniforme :

Soit un électron de masse m et de charge q pénétrant dans un champ magnétique uniforme avec un vecteur-vitesse V_o perpendiculaire à B .



Consigne :

1. Détermine les accélérations normales et tangentielles du mouvement de l'électron. Donne la nature du mouvement dans chaque cas.
2. Détermine l'expression du rayon de courbure de la trajectoire.
3. Montre que $V_s = V_o$

Synthèse partielle :

1. Nature du mouvement

• Nature du mouvement :

Système à étudier : l'électron

Force appliquée : avec le poids $\vec{P}$ négligeable, la force $\vec{f}_m$ est la seule force appliquée

D'après le T.C. on : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$
 $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{f}_m$

$$\rightarrow m\vec{a} = \vec{f}_m \rightarrow m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B} \text{ en module } ma = qvB \sin \alpha \rightarrow a = \frac{qvB \sin \alpha}{m}$$

$$\begin{cases} q = -e \rightarrow |q| = e \\ \sin \alpha = 1 \end{cases} \text{ Alors } a = \frac{eV_o B}{m}$$

Dans le repère de Frenet

$$\text{On a: } \vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$$

$$\text{Or } \begin{cases} \vec{a} \perp \vec{B} \\ \vec{B} \perp \vec{V}_o \end{cases} \rightarrow \vec{a} \perp \vec{V}_o \text{ alors } \vec{a} \begin{cases} a_t = 0 \quad (1) \\ a_n = \frac{V_o^2}{R} \quad (2) \end{cases}$$

(1) $\rightarrow a_t = 0 \rightarrow \frac{dv}{dt} = 0 \rightarrow V = \text{cste}$ alors le mouvement est uniforme

(2) $\rightarrow a_n = \frac{V_o^2}{R}$, tel que R est une constante alors la trajectoire est un cercle

(1) et (2) impliquent que le mouvement de l'électron est circulaire uniforme

2. Expression du rayon : Avec $a_t = 0$ alors $a_n = a \rightarrow \frac{V_o^2}{R} = \frac{eV_o B}{m} \rightarrow R = \frac{mV_o}{eB}$

Pour $V_o = \text{cte}$: lorsque B augmente, R diminue et lorsque B diminue, R augmente

Pour $B = \text{cte}$: lorsque V_o augmente, R augmente et lorsque V_o diminue, R diminue.

3. La vitesse à la sortie du champ : Soit V_s la vitesse à la sortie.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre O et S

On a : $\Delta E_{C(o,s)} = \sum W_{F_{ex(o,s)}} \rightarrow EC_s - EC_o = W_{fm}$

Or $W_{fm} = 0 \rightarrow EC_s = EC_o \rightarrow \frac{1}{2}mV_s^2 = \frac{1}{2}mV_o^2 \rightarrow V_s = V_o$

Activité 2 : Détermination des expressions de la déviation et déflexion magnétiques :

- La déviation magnétique est l'angle α entre la direction de la vitesse d'entrée dans le champ et la direction de la vitesse de sortie dans le champ.
- La déflexion magnétique est le déplacement $O'P$ du spot sur l'écran.

Consigne :

1. Détermine l'expression de la déviation magnétique
2. Détermine l'expression de la déflexion magnétique

Synthèse partielle :

1. Expression de la déviation magnétique :

Dans le triangle (SCS') on a : $\sin \alpha = \frac{CS}{SS'} = \frac{l}{R}$

Or $l \ll R \rightarrow \alpha$ est faible donc $\sin \alpha \approx \alpha \rightarrow \alpha = \frac{l}{R} \rightarrow \alpha = \frac{e l B}{m V_o}$

2. Expression de la déflexion magnétique :

Dans le triangle (PIO') on a : $\tan \alpha = \frac{O'P}{O'I} = \frac{D_m}{D} \rightarrow D_m = D \tan \alpha$

α étant faible alors $\tan \alpha = \sin \alpha = \alpha = \frac{e l B}{m V_o}$ d'où $D_m = \frac{e l B D}{m V_o}$

N.B : D'une manière générale la déflexion est $D_m = \frac{q l B D}{m V_o} = \frac{|q|}{m} \times \frac{l B D}{V_o}$ d'où la déflexion est proportionnelle à la charge massique ($\frac{q}{m}$)

Les applications de la déflexion magnétique :

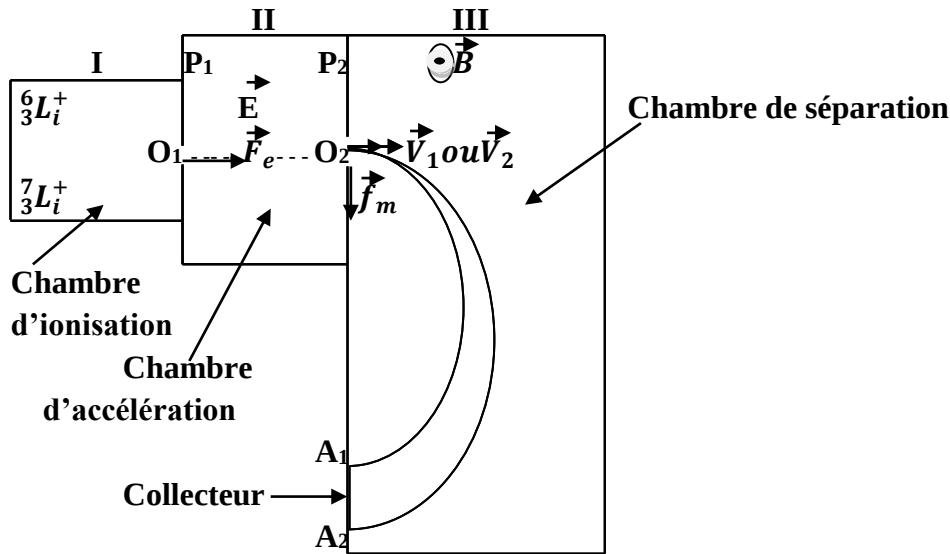
Activité 3 : Le spectrographe ou spectromètre de masse :

- **Définition :** Le spectrographe de masse est un appareil qui permet de séparer les ions isotope.

On appelle atomes isotope, les atomes ayant le même numéro atomique mais des nombres de masse différents.

Exemple : Les atomes de carbones ($^{12}_6C$, $^{13}_6C$, $^{14}_6C$) sont des atomes isotope.

- **Description et fonctionnement** : Le spectrographe de masse comprend quatre (4) parties essentielles qui sont : une chambre d'ionisation, une chambre d'accélération, une chambre de séparation et un collecteur ou plaque sensible.



- **Une chambre d'ionisation** : où les atomes isotope sont transformés en ions
- **Une chambre d'accélération** : où les ions isotope sont soumis à l'action d'une tension accélératrice U .

➤ **Signe de $U_{P_1P_2}$:**

1^{er} cas : Lorsque les ions sont positifs alors la plaque P_2 est chargée négativement donc on aura : $V_{P_1} > V_{P_2} \rightarrow V_{P_1} - V_{P_2} > 0 \rightarrow U_{P_1P_2} > 0$

2^e cas : Lorsque les ions sont négatifs alors la plaque P_2 est chargée positivement donc on aura : $V_{P_1} < V_{P_2} \rightarrow V_{P_1} - V_{P_2} < 0 \rightarrow U_{P_1P_2} < 0$

Consigne :

1. Montre que les ions ont la même énergie cinétique en O_2 mais des vitesses différentes
2. Calcule le rapport des vitesses
3. Calcule le rapport des rayons
4. Donne l'expression de $d = A_1A_2$

Synthèse partielle

1. Montrons que les ions ont la même énergie cinétique en O_2 mais des vitesses différentes :

Les ions accélérés arrivent en O_2 avec les vitesses V_i

- ✓ **Energie cinétique des ions** : Appliquons le théorème de l'énergie cinétique entre O_1 et O_2 :

$$\text{On a : } \Delta E_{C(O_1, O_2)} = \sum W_{F_{ex(O_1, O_2)}} \rightarrow EC_{O_2} - EC_{O_1} = W_{F_e}$$

$$\text{Or } EC_{O_1} = 0 \text{ car } V_{O_1} = 0$$

$$\text{Alors : } EC_{O_2} = qU \leftrightarrow \frac{1}{2} m_i V_i^2 = qU \rightarrow \frac{1}{2} m_1 V_1^2 = \frac{1}{2} m_2 V_2^2 = qU \text{ alors les ions ont la même énergie cinétique en } O_2.$$

- ✓ **La vitesse des ions** : On a : $\frac{1}{2} m_i V_i^2 = qU \rightarrow V_i = \sqrt{\frac{2qU}{m_i}}$

Pour les ions ${}^6_3\text{Li}^+$ on a : $V_1 = \sqrt{\frac{2qU}{m_1}}$ et pour les ions ${}^7_3\text{Li}^+$ on a : $V_2 = \sqrt{\frac{2qU}{m_2}}$

2. Calculons le rapport des vitesses :

$$\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{2qU}{m_2} \times \frac{m_1}{2qU}} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

Or $m_1 = A_1\mu$ et $m_2 = A_2\mu$ alors $\frac{V_2}{V_1} = \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$

- **Chambre de séparation** : où les ions accélérés sont soumis à l'action d'un champ magnétique. Ils décrivent alors des trajectoires circulaires de rayon R_i .

On a : $R_i = \frac{m_i V_i}{qB}$

Pour les ions ${}^6_3\text{Li}^+$ on a : $R_1 = \frac{m_1 V_1}{qB} \rightarrow R_1 = \frac{m_1}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m_1}} \rightarrow R_1 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_1 U}{q}}$

Pour les ions ${}^7_3\text{Li}^+$ on a : $R_2 = \frac{m_2 V_2}{qB} \rightarrow R_2 = \frac{m_2}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m_2}} \rightarrow R_2 = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_2 U}{q}}$

3. Calculons le rapport des rayons :

$$\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{2m_2 U}{q} \times \frac{q}{m_1 U}} \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

Or $m_1 = A_1\mu$ et $m_2 = A_2\mu$ alors $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$

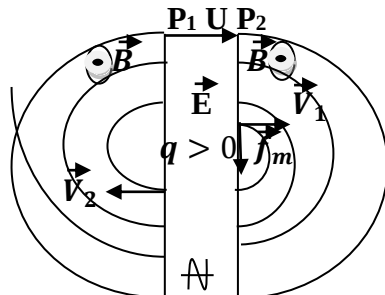
4. L'expression de d :

Le collecteur ou plaque sensible : où les ions séparés laissent des traces en des points A_1 et A_2 tel que : $d = A_1 A_2$

Donc : $d = A_1 A_2 = OA_2 - OA_1 = 2R_2 - 2R_1 = 2(R_2 - R_1) \rightarrow d = \frac{2}{B} \left(\sqrt{\frac{2m_2 U}{q}} - \sqrt{\frac{2m_1 U}{q}} \right)$

Activité 4 : Le cyclotron :

- **Définition** : Le cyclotron est un appareil constitué de deux (2) demi-cylindres creux sous forme de D appelés dees.
- **Description et fonctionnement** : A l'intérieur des dees règne un champ magnétique uniforme. Les dees sont séparés par un espace étroit. Aux bornes P_1 et P_2 de cet espace, on applique une tension alternative sinusoïdale U de fréquence N .



Consigne :

1. Détermine la nature du mouvement de protons dans D_1
2. Détermine la durée du mouvement à l'intérieur de D_1
3. Détermine la fréquence et le nombre de tours avant la sortie.

Synthèse partielle :

1. Nature du mouvement du proton dans D₁ :

Système à étudier : le proton

Force appliquée : avec le poids $\vec{P}$ négligeable, la force $\vec{f}_m$ est la seule force appliquée

D'après la R.F.D on : $\sum \vec{F}_{ex} = m\vec{a}$
 $\sum \vec{F}_{ex} = \vec{f}_m$

$$\rightarrow m\vec{a} = \vec{f}_m \rightarrow m\vec{a} = q\vec{v} \wedge \vec{B} \text{ en module } ma = qvB \sin \alpha \rightarrow a = \frac{qvB \sin \alpha}{m}$$

$$\begin{cases} q = -e \rightarrow q = e \\ \sin \alpha = 1 \end{cases} \text{ Alors } a = \frac{eV_0B}{m}$$

Dans le repère de Frenet

On a : $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

$$\text{Or } \begin{cases} \vec{a} \perp \vec{B} \\ \vec{B} \perp \vec{V}_0 \end{cases} \rightarrow \vec{a} \perp \vec{V}_0 \text{ alors } \vec{a} \begin{cases} a_t = 0 \quad (1) \\ a_n = \frac{V_0^2}{R} \quad (2) \end{cases}$$

$$(1) \rightarrow a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \rightarrow V = \text{cste} \text{ alors le mouvement est uniforme}$$

$$(2) \rightarrow a_n = \frac{V_0^2}{R} \text{ alors la trajectoire est un cercle}$$

(1) et (2) impliquent que le mouvement du proton est circulaire uniforme à l'intérieur des dees de rayon : $R = \frac{mV}{eB}$

2. Durée du mouvement à l'intérieur de D₁ : A l'intérieur d'un dee la particule

effectue une demi-période alors $t = \frac{T}{2}$ or $T = \frac{2\pi R}{V} = \frac{2\pi}{V} \times \frac{mV}{eB} \rightarrow T = \frac{2\pi m}{eB}$ d'où $t = \frac{\pi m}{eB}$ en s

3.

– **La fréquence** : La fréquence étant l'inverse de la période alors : $N = \frac{eB}{\pi m}$ en Hz

– **Le nombre de tour avant la sortie** :

La variation de l'énergie cinétique pendant un tour est : $\Delta E_C = 2qU$ (la particule est accélérée 2 fois pendant 1 tour).

$$\text{Pendant } n \text{ tours on aura : } \Delta E_{Cmaxi} = 2nqU \rightarrow n = \frac{\Delta E_{Cmaxi}}{2qU} ./.$$