Niveau : T[le] D	**OG 2** : APPLIQUER LES LOIS DE L'ELECTROMAGNETISME POUR EXPLIQUER CERTAINS PHENOMENES FONDAMENTAUX EN ELECTRICITE.

TITRE : **MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE**	**Durée** : **6 H**

Objectifs spécifiques :	**OS 2** : Connaître les caractéristiques de la force de Lorentz. **OS 3** : Appliquer la relation $\sum \vec{F} = m \cdot \overrightarrow{a_G}$ pour étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme (cas où le vecteur-vitesse initial est normal au vecteur-champ magnétique).

Moyens :

Vocabulaire spécifique :

Documentation : Livres de Physique AREX Terminale C et D, Eurin-gié Terminale D. Guide pédagogique et Programme

Amorce :

Plan du cours :

I) Rappel sur le produit vectoriel

II) Force magnétique de Lorentz
- 1° Définition
- 2° Caractéristiques de la force de Lorentz

III) Etude du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique
- 1° Etude dynamique
- 2° Etude cinématique
  - 2.1° Nature du mouvement
  - 2.2° Nature de la trajectoire
    - 2.2.1° Trajectoire plane
    - 2.2.2° Trajectoire circulaire
- 3° Autres caractéristiques du mouvement

IV) Applications
- 1° Déflexion magnétique
- 2° Le spectromètre de masse

Activités questions | **Activités réponses** | **Observations**

MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGEE DANS UN CHAMP MAGNETIQUE

I) Rappel sur le produit vectoriel

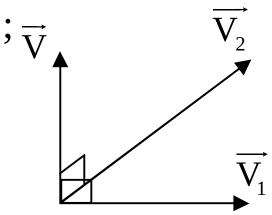
Le produit vectoriel $\vec{V}$ de deux vecteurs $\vec{V_1}$ et $\vec{V_2}$ se note : $\vec{V} = \vec{V_1} \wedge \vec{V_2}$

Les caractéristiques $\vec{V}$ de sont :

– direction : $\vec{V}$ perpendiculaire au plan défini par $\vec{V_1}$ et $\vec{V_2}$;

– sens : le trièdre $(\vec{V_1}, \vec{V_2}, \vec{V})$ est direct ;

– valeur : $V = V_1 \times V_2 \times \sin(\widehat{\vec{V_1}, \vec{V_2}})$.



Remarque : Si $\vec{V_1} \parallel \vec{V_2}$ alors $\vec{V_1} \wedge \vec{V_2} = \vec{0}$.

II) Force magnétique de Lorentz

1° Définition

Une particule de charge q, se déplaçant avec une vitesse $\vec{V}$ dans un champ magnétique $\vec{B}$ est soumise à une force magnétique appelée **force de Lorentz** telle que :

$$\boxed{\vec{F_m} = q\vec{V} \wedge \vec{B}}$$

2° Caractéristiques de la force de Lorentz

Les caractéristiques de la force de Lorentz sont :

– direction : perpendiculaire au plan défini par $q\vec{V}$ et $\vec{B}$;

– sens : tel que le trièdre $(q\vec{V}, \vec{B}, \vec{F_m})$ est direct ;

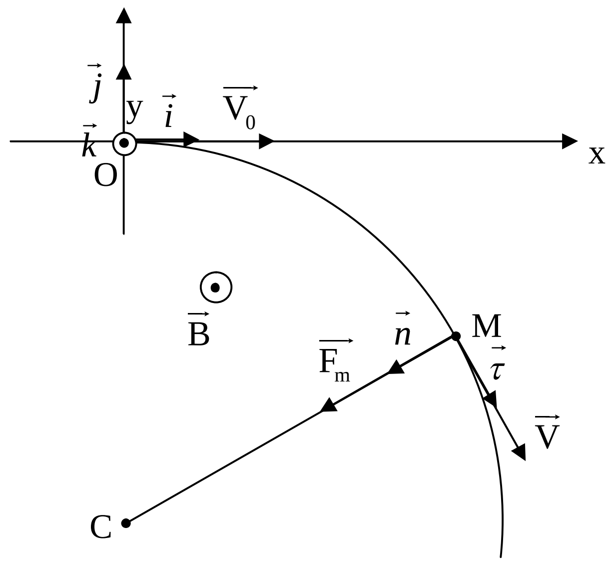
– valeur : $F_m = |q\sin\alpha| \times V \times B$ avec $\alpha = (\widehat{q\vec{V}, \vec{B}})$.

Remarque :

Le pouce, l'index et le majeur de la main droite (pris dans cet ordre) permettent de retrouver le sens du vecteur $\vec{F}$ s'ils correspondent respectivement aux vecteurs $q\vec{V}$, $\vec{B}$ et $\vec{F}$.

III) Etude du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique

Une particule de masse m et de charge q (q > 0) pénètre en un point O dans une région de l'espace où règne un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme. La vitesse initiale $\vec{V_0}$ de la particule est perpendiculaire au vecteur champ magnétique $\vec{B}$.



1° Etude dynamique

Système : la particule M.

Référentiel : référentiel terrestre supposé galiléen.

Repère d'espace : repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ et repère de Frenet $(M, \vec{\tau}, \vec{n})$.

Bilan des forces : le poids $\vec{P}$ du projectile, force magnétique $\vec{F_m} = q\vec{V} \wedge \vec{B}$

Appliquons le T.C.I. :

$$\sum \vec{F_{ext}} = m.\vec{a_G} \qquad \Rightarrow \qquad \vec{P} + \vec{F_m} = m.\vec{a_G}$$

$$\vec{F_m} = m.\vec{a_G} \qquad \text{car } \vec{P} \ll \vec{F_m}$$

$$\vec{F_m} = q\vec{V} \wedge \vec{B} = m\vec{a} \qquad \Rightarrow \qquad \vec{a} = \frac{q\vec{V} \wedge \vec{B}}{m}$$

2° Etude cinématique

2.1° Nature du mouvement

La puissance de $\vec{F_m}$ est :

$$\mathrm{P}(\vec{F_m}) = \vec{F_m} \cdot \vec{V} = 0 \quad \text{car } \vec{F_m} \perp \vec{V}.$$

$$\mathrm{P}(\vec{F_m}) = \frac{W(\vec{F_m})}{t} \quad \Rightarrow \quad W(\vec{F_m}) = 0$$

$$\Delta E_C = W(\vec{F_m}) = 0 \qquad \text{donc} \quad V = \text{cste}.$$

La vitesse de la particule reste constante au cours du mouvement : le mouvement est donc **uniforme**.

NB : La force magnétique de Lorentz peut modifier la direction sens de la vitesse d'une particule mais pas la valeur de cette vitesse.

2.2° Nature de la trajectoire

2.2.1° Trajectoire plane

$$\vec{a} = \frac{q\vec{V} \wedge \vec{B}}{m} \qquad \Rightarrow \quad \vec{a} \perp \vec{B} \quad \text{or} \quad \vec{B} = B\,\vec{k} \quad \Rightarrow \quad a_z = 0$$

$\Rightarrow \quad V_z = V_{0z} \quad \text{or} \quad \overrightarrow{V_0} \perp \vec{B} \quad \Rightarrow \quad V_{0z} = 0 \quad \text{donc} \quad V_z = 0 \quad \Rightarrow \quad z = z_0 = 0.$

$\forall$ t, z = 0 $\Rightarrow$ le mouvement de la particule est **plan** et s'effectue dans le plan (xOy).

2.2.2° <u>Trajectoire circulaire</u>

Dans la base de Frenet,

$$\vec{a} = \frac{dV}{dt}\vec{\tau} + \frac{V^2}{R}\vec{n}$$

$$V = \text{cste} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{V^2}{R}\vec{n}$$

$$\frac{V^2}{R} = \frac{|q|}{m} \times V \times B \times \sin(\vec{V}, \vec{B}) \qquad \text{or} \quad (\vec{V}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

$$R = \frac{mV}{|q|B} \text{, rayon de courbure de la trajectoire}$$

R = constante : le mouvement est donc **circulaire**.

Une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ **avec une vitesse initiale** $\overrightarrow{V_0} \perp \vec{B}$ **décrit un mouvement circulaire uniforme dans un plan orthogonal à** $\vec{B}$.

3° <u>Autres caractéristiques du mouvement</u>

– Quantité de mouvement

$$R = \frac{mV}{|q|B} \quad \Rightarrow \quad p = mV = |q|RB$$

– Vitesse angulaire de la particule

$$V = R\omega \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{V}{R} = \frac{|q|B}{m}$$

– Période et fréquence du mouvement

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

$$N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{|q|B}{2\pi m}$$

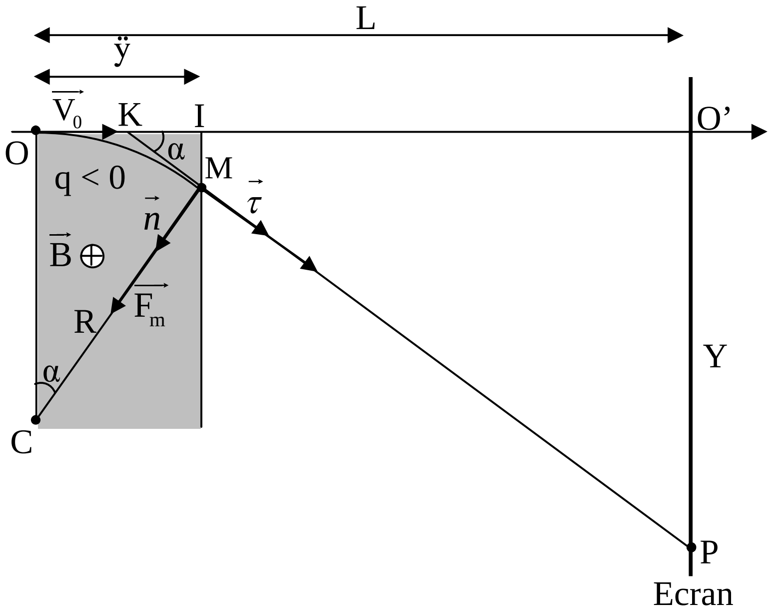
<u>Remarque</u> : Si la particule est soumise à un champ électrostatique et un champ magnétique, la force agissant sur la particule est : $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{V} \wedge \vec{B})$.

IV) <u>Applications</u>

1° <u>Déflexion magnétique</u>

Soit un électron pénétrant en O dans un champ magnétique $\vec{B}$ avec une vitesse $\vec{V_0}$.

Dans la région où règne le champ $\vec{B}$, il décrit un arc de cercle $\overset{\frown}{OM}$. Après le point M, l'électron n'est soumis à aucune force et décrit un mouvement rectiligne uniforme.



$$\text{On a : } \alpha = \frac{\overset{\frown}{OM}}{R}$$

Si la déviation angulaire α est faible, M se rapproche de I :

$$\Rightarrow \alpha = \frac{\ell}{R} = \frac{\ell}{\frac{mV_0}{|q|B}} \quad \text{soit :} \quad \alpha = \frac{|q|\ell B}{mV_0}$$

La déflexion magnétique est la distance Y = O'P :

$$\tan\alpha = \frac{Y}{L} \quad \Rightarrow \quad Y = L\tan\alpha \text{ car}$$

$$\text{or} \quad \alpha \text{ faible} \Rightarrow \tan\alpha = \alpha \quad \text{d'où} \quad Y = L\alpha$$

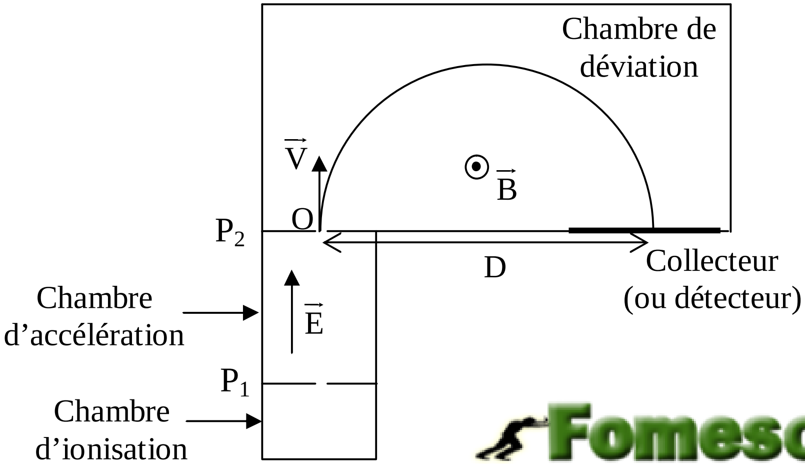
$$\Rightarrow \quad \boxed{Y = \frac{|q|\ell BL}{mV_0}}$$

La déflexion magnétique est proportionnelle à B, donc à l'intensité du courant dans les bobines.

2° <u>Le spectromètre de masse</u>

C'est un appareil qui permet de séparer des isotopes d'un élément.

Une particule chargée (issue d'une chambre d'ionisation) est accélérée dans une chambre d'accélération (champ $\vec{E}$) puis pénètre dans champ magnétique $\vec{B}$ (chambre de déviation) où elle décrit un demi-cercle de diamètre D.



Considérons une particule chargée (positivement) provenant de la chambre d'ionisation on a :

<u>Entre P_1 et P_2 (chambre d'accélération)</u>

Le T.E.C. donne : $\Delta E_C = W(\vec{F_e}) = |q|U$ car $\vec{P} \perp \vec{F_e}$

$$\text{soit : } \frac{1}{2}mV^2 - 0 = |q|U \quad \Rightarrow \quad V = \sqrt{\frac{2|q|U}{m}}$$

<u>Dans la chambre de déviation</u>

La trajectoire circulaire décrite par la particule a pour rayon :

$$R = \frac{mV}{|q|B} = \frac{m}{|q|B}\sqrt{\frac{2|q|U}{m}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{|q|}}$$

<u>Remarque</u> :

Pour un mélange de deux isotopes de masses respectives m_1 et m_2, les rayons des trajectoires décrites sont respectivement :

$$R_1 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_1U}{|q|}} \quad \text{et} \quad R_2 = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_2U}{|q|}}$$

$$\text{On obtient : } \frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

Si $m_1 < m_2$ alors $R_1 < R_2$: La particule qui a la plus grande masse a la trajectoire de plus grand rayon.