

Étude du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme

[Study of movement of charged particle in the uniform magnetic field]

Kisoki Mbunga Henri

Professeur Associé, Faculté des sciences, Département de Physique et des Sciences Appliquées, Université Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa-Ngaliema, RD Congo

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: During the publication of our article entitled «Study of the movement of a charged particle in electrodynamics» dans «International journal of Innovation and Applied studies», Vol 40, n°3, pp. 1007-1015, September 2023, we saw that a charged particle in motion is subject to two fields: the electric field \vec{E} and the magnetic field \vec{B} .

Given the complexity of the research and experience, we preferred to first publish an article on the movement of a charged particle in a uniform electric field. Currently, we are going to publish an article on the movement of a charged particle in a uniform magnetic field \vec{B} having three major objectives, namely: knowing the Lorentz force, knowing precisely how a magnetic field constant \vec{B} does not modify the kinetic energy of moving particle and finally to establish the characteristics of the movement of a charged particle in a uniform magnetic field.

For the experiments, we will always use the laboratory of the National Pedagogic University (UPN) whose materials will be listed in the second paragraph (method and materials).

KEYWORDS: Magnetic field, movement, particle, magnet, screen, oscilloscope.

RESUME: Lors de la publication de notre article intitulé: «*Study of movement of a charged particule in electrodynamics*» dans «*International Journal in Innovation and Applied Studies, Vol.40, n°3, pp 1007-1015, septembre 2023*, nous avons vu qu'une particule chargée en mouvement est soumise aux deux champs: le champ électrique \vec{E} et le champ magnétique \vec{B} .

Compte tenu de la complexité des recherches et d'expériences, nous avons préféré d'abord de publier un article sur le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme. Présentement, nous allons publier un article sur le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} ayant triple objectifs majeurs, à savoir: connaître la force de Lorentz, savoir déterminer avec précision qu'un champ magnétique \vec{B} constant ne modifie pas l'énergie cinétique d'une particule en mouvement et enfin d'établir les caractéristiques du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme.

Pour les expériences, nous allons toujours utiliser le laboratoire de Physique de la faculté des Sciences de l'Université Nationale (UPN) dont les matériels seront énumérés au deuxième paragraphe (méthodes et matériels).

MOTS-CLEFS: Champ magnétique, mouvement, particule, aimant, écran, oscilloscope.

1 INTRODUCTION

Lorsque nous approchons un aimant au voisinage d'un écran d'oscilloscope qui fonctionne, nous observons une déformation de l'image se trouvant à l'oscilloscope [1].

Ladite déformation devient de plus en plus importante lorsqu'on déplace l'aimant plus proche du tube de l'oscilloscope (fig. 1).

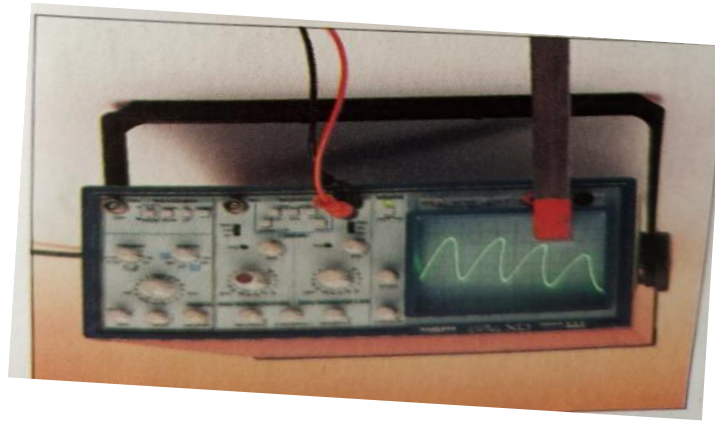


Fig. 1. Déformation d'une image causée par la présence d'un aimant au voisinage d'un écran d'oscilloscope

CONSTAT:

Le champ magnétique créé par un aimant exerce une action magnétique sur le faisceau d'électrons du tube image définissant ainsi la relation de Lorentz et déterminant enfin les différentes caractéristiques de la force magnétique \vec{F} que nous allons exploiter au troisième paragraphe de cet article (cf.3)

2 MÉTHODE ET MATÉRIELS

Pour notre article, nous avons opté le choix de la méthode qualitative, car elle va nous permettre à explorer et à découvrir notre phénomène d'études, qui est le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} .

Pour les expériences nous allons utiliser toujours le laboratoire de Physique de la faculté des Sciences de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) avec les matériels ci-après:

- Un oscilloscope;
- Un trajectomètre ayant deux bobines de Helmholtz;
- Un spectromètre

3 ACTION D'UN CHAMP MAGNETIQUE SUR UNE PARTICULE CHARGEE EN MOUVEMENT

3.1 FORCE MAGNÉTIQUE

Dans l'introduction, nous avons vu qu'un aimant placé à côté d'un tube d'oscilloscope qui fonctionne, exerce une action magnétique sur le faisceau d'électrons tube image et qui a comme effet la déformation de l'image sur l'oscilloscope.

Cette action magnétique produit une force magnétique \vec{F} déterminée par la relation de Lorentz énoncée comme: «un porteur de charge électrique q (fig. 2), en mouvement à la vitesse \vec{v} dans une région de l'espace où règne un champ magnétique \vec{B} est soumis à une force magnétique \vec{F} [2]».

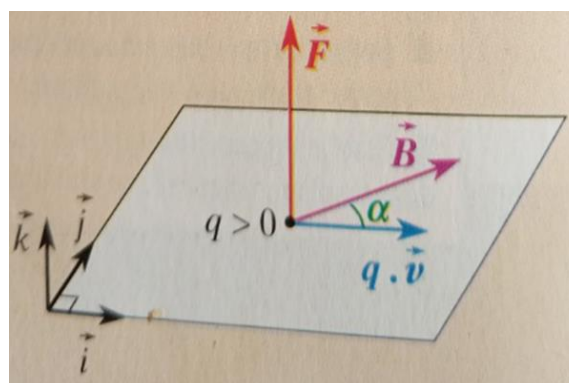


Fig. 2. Relation de Lorentz

Cet énoncé de Lorentz et la fig. 2, nous permettent d'écrire la relation suivante:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (1)$$

Avec: $\vec{v} \wedge \vec{B}$ produit vectoriel des vecteurs vitesse \vec{v} et de champ magnétique \vec{B} .

Du point de vue orientation, l'énoncé de la relation de Lorentz peut aussi être traduit par la règle des trois doigts (fig. 3) que nous préférons appeler dans notre publication: règle de la main droite.

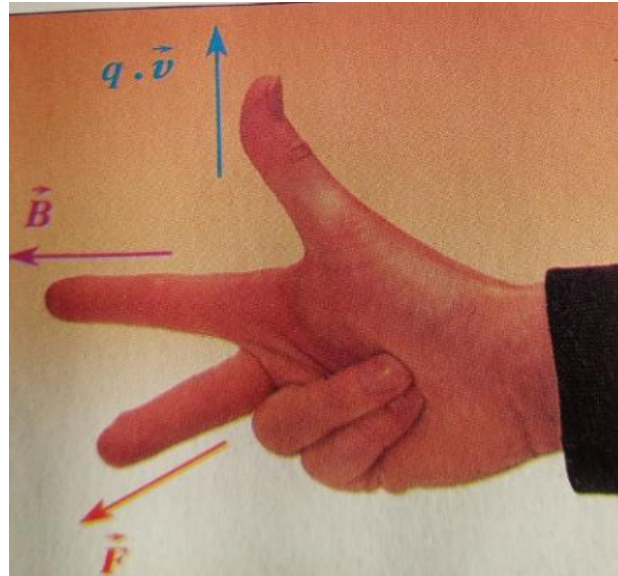


Fig. 3. Règle de la main droite ou règle des trois doigts

Les fig. 2 et 3 déterminent clairement les différentes caractéristiques de la force magnétique \vec{F} . Elles sont:

- **Point d'application:** pour notre étude, c'est la particule chargée considérée comme ponctuelle;
- **Direction:** \vec{F} perpendiculaire à la fois aux vecteurs \vec{v} et \vec{B} ;
- **Sens:** celui de la règle de la main droite (trièdre formé par $q \cdot \vec{v}$, \vec{B} et \vec{F} dans le sens direct);
- **Valeur;** c'est le module de \vec{F} c'est-à-dire

$$F = |q \cdot v \cdot B \sin \alpha| \quad (2)$$

CONSTAT:

En tenant compte de la relation (2), nous constatons mathématiquement ceux qui suivent:

- a) Si $\vec{v} \parallel \vec{B}$ alors $\sin \alpha = 0$, d'où $F = 0$;
- b) si $\vec{v} \perp \vec{B}$ alors $\sin \alpha = 1$, d'où $F = |q| \cdot v \cdot B$ avec v et $B > 0$ (positifs);

3.2 ASPECT ÉNERGÉTIQUE

Une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique est soumise à la force magnétique \vec{F} constamment perpendiculaire à la vectrice vitesse \vec{v} de la particule: la puissance de cette force est donc nulle [3]. D'où, la relation suivante:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0 \quad (3)$$

Si la particule est soumise à la seule force de Lorentz, la puissance qu'elle reçoit est aussi nulle et son énergie cinétique E_C constante [4]. A cet effet, nous aurons la relation suivante:

$$P = \frac{dE_C}{dt} = 0 \quad (4)$$

3.3 ILLUSTRATION EXPÉRIMENTALE

Soit l'appareil de labo pour étudier la trajectoire des électrons dans un champ magnétique uniforme créé par deux bobines de Helmholtz (fig. 4)

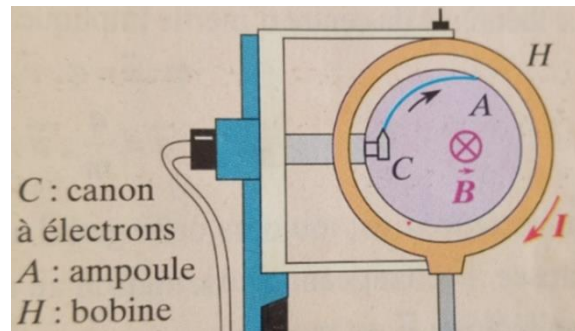


Fig. 4. Appareil pour étudier la trajectoire des électrons soumis au champ magnétique créé par deux bobines appelées: bobines de Helmholtz

La fig. 4 montre que notre appareil est constitué d'une ampoule de verre sphérique renfermant de la vapeur de mercure sous une faible pression, environ 1 Pa. Il contient aussi un canon à électrons.

CONSTATS:

- Le faisceau d'électrons homocinétique provoque sur son passage la luminescence bleue de la vapeur: la trajectoire des particules est visualisée (fig. 5)

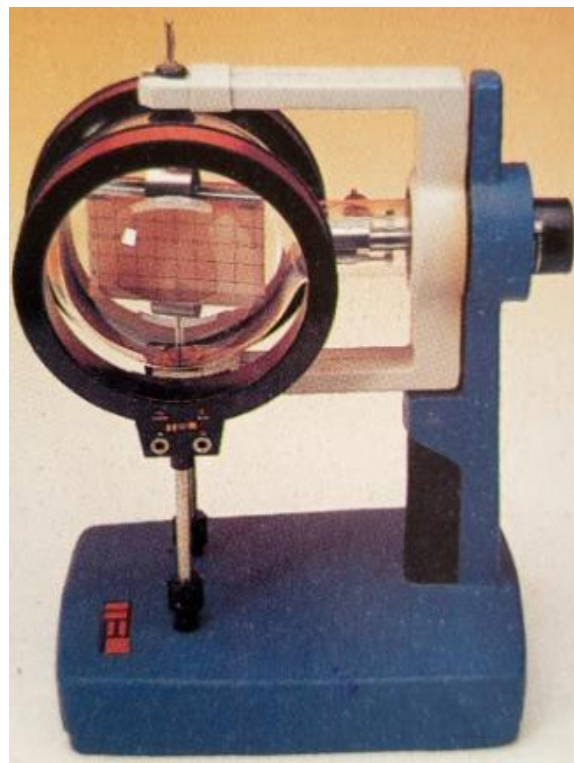


Fig. 5. Visualisation de la trajectoire des particules dans un trajectomètre à faisceau d'électrons homocinétique

- En plaçant l'ampoule entre deux bobines de Helmholtz verticales, nous remarquons entre elles la présence d'un champ magnétique horizontal quasi uniforme et parallèle à l'axe horizontal des bobines
- En faisant pivoter l'ampoule, il est possible de modifier l'orientation du vecteur vitesse \vec{v}_0 des électrons sortant du canon (fig. 6)

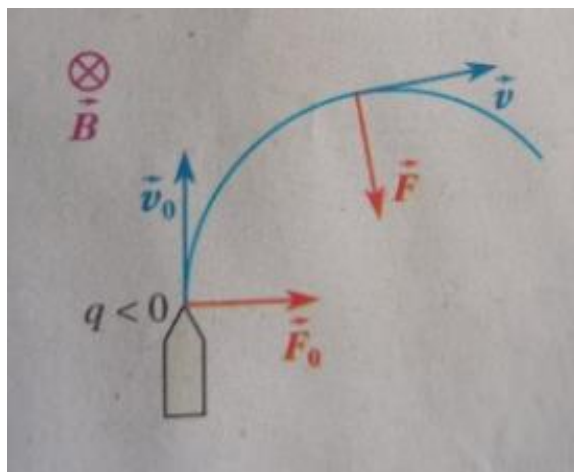


Fig. 6. Modification de l'orientation du vecteur vitesse des électrons sortant du canon en pivotant l'ampoule entre deux bobines de Helmholtz

4 ETUDE DU MOUVEMENT D'UNE PARTICULE CHARGÉE DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

Pour ce paragraphe, nous allons nous intéresser à l'aspect théorique d'une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme et constant.

Pour se faire, le vecteur vitesse \vec{v}_0 initiale de la particule est orthogonal au vecteur champ magnétique \vec{B} pris dans un repère orthonormé $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ d'après la fig. 7.

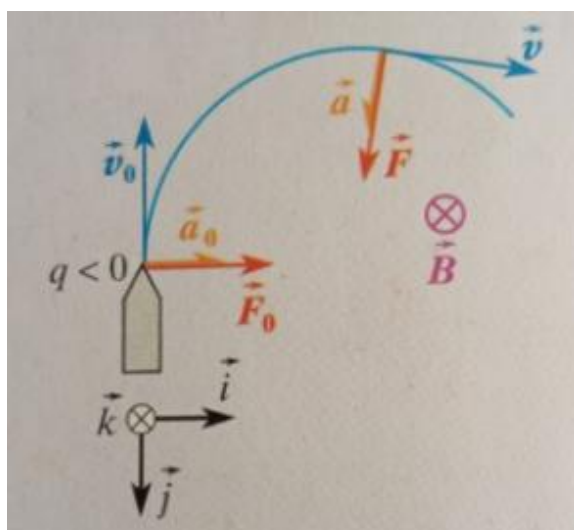


Fig. 7. Système de particule considérée comme ponctuelle de masse m et de charge électrique q

Le référentiel du laboratoire étant considéré comme galiléen (cf. [5]), la seule force agissante sur la particule est la force de Lorentz due au champ magnétique uniforme \vec{B} donnée par relation 1 (cf.3.1.).

En appliquant le principe fondamental de la dynamique [6], nous pouvons écrire:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \tag{5}$$

Le théorème de centre d'inertie implique:

$$(1) = (5)$$

Le dit théorème permet d'écrire la relation ci-après:

$$m \cdot \vec{a} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} \tag{6}$$

A partir de la relation (6), le vecteur accélération \vec{a} sera donné par:

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (7)$$

D'après la fig. 7 ci-haut, le vecteur accélération \vec{a} est toujours orthogonal aux vecteurs vitesse \vec{v} et champ magnétique \vec{B} . Par contre, si le vecteur \vec{v} change d'orientation au cours du mouvement, le vecteur accélération \vec{a} sera aussi modifié.

CONSTATS:

- Si la vitesse v reste égale à la vitesse v_0 au point d'entrée o dans le champ magnétique, le mouvement de particule est uniforme;
- Si le vecteur \vec{a} est orthogonal à \vec{k} , la trajectoire est plane;
- En considérant la figure 8 et en appliquant la base de Freinet [7], la trajectoire est circulaire de rayon R

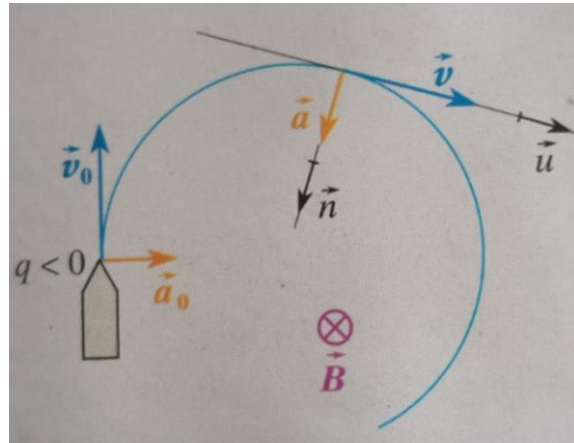


Fig. 8. Base de Freinet (\vec{u}, \vec{n})

Cherchons à déterminer le rayon R de la trajectoire circulaire à partir de la base de Freinet ci-après:

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u} + \frac{v^2}{R} \vec{n} \quad (8)$$

$$\vec{v} \text{ étant constante, } \frac{dv}{dt} = 0 \quad (9)$$

A partir de la relation (9), la relation (8) devient:

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R} \vec{n} \quad (10)$$

Les relations (7) et (10) étant identiques, nous obtenons:

$$\frac{v_0^2}{R} \vec{n} = \frac{q}{m} \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (11)$$

Les vecteurs vitesse \vec{v} et champ magnétique \vec{B} étant orthogonaux, c'est-à-dire $(\vec{v}, \vec{B}) = \alpha = \frac{\pi}{2}$ et $\sin \alpha = 1$, nous permettent d'écrire la relation (11) comme suit:

$$\frac{v_0^2}{R} = \frac{|q| \cdot v_0 \cdot B}{m} \quad (12)$$

La relation (12) nous permet d'écrire le rayon R de la trajectoire circulaire par la relation:

$$R = \frac{m \cdot v_0}{|q| \cdot B} \quad (13)$$

Le mouvement étant circulaire, la vitesse angulaire ω de la particule est donnée par:

$$\omega = \frac{v_0}{R} = \frac{|q|.B}{m} \quad (14)$$

La période de révolution T de la particule sur l'orbite circulaire est exprimée comme:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi.m}{|q|.B} \quad (15)$$

d) La particule en mouvement dans un champ magnétique possède une énergie cinétique E_c exprimée par la relation suivante

$$E_c = \frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{q^2 \cdot ((R.B))^2}{2m} \quad (16)$$

5 DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS OBTENUS

La discussion et interprétation des résultats obtenus s'articuleront autour de certaines relations établies, à savoir:

- La relation (1) montre que la force magnétique \vec{F} tient compte du produit vectoriel de \vec{v} et de \vec{B} ;
- La relation (3) montre la force de Lorentz a toujours une puissance nulle;
- La relation (4) stipule que dans un champ magnétique uniforme \vec{B} indépendant du temps, la valeur de la vitesse d'une particule chargée soumise à la seule force de Lorentz reste constante. D'où, par conséquent, le mouvement de la particule chargée dans un champ magnétique est uniforme;
- La relation (15) établit montre que la période de révolution T de la particule chargée est indépendante de la vitesse v et du rayon R de la trajectoire circulaire. Elle est plus faible si et seulement si le champ magnétique B devient de plus en plus grand;
- D'après la relation (16), les particules produisent de hautes énergies cinétiques dans les accélérateurs à électrons si et seulement si le produit $R \cdot B$ devient plus élevé

6 CONCLUSION

Nous venons dans cet article, étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme. Les objectifs poursuivis étaient de connaître la force de Lorentz, savoir déterminer avec précision qu'un champ magnétique \vec{B} constant ne peut pas modifier l'énergie cinétique d'une particule chargée en mouvement et enfin d'établir les différentes caractéristiques de la force magnétique \vec{F} , considérée comme celle de Lorentz.

Cela étant, nous avons utilisé le laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) avec des matériels spécifiques pour l'étude.

Le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme trouve ses applications dans la télévision et en physique des particules, à savoir: spectromètre de masse, cyclotron et piégeage des particules cosmiques.

REMERCIEMENTS

Dans toutes mes publications, je tiens toujours à remercier le Chef du Département de Physique et des Sciences Appliquées (DPSA) de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) RD Congo/Kinshasa-Ngaliema, le Professeur ONEMA LAMA pour son sens scientifique à mettre à ma disposition le laboratoire pour des expériences approfondies.

Que le CT MWAMBA MPOYI, CT MAFUTA MELE et Ass MULUMBA Willy, tous mes collaborateurs, trouvent dans cette publication les sentiments de mon profond amour.

REFERENCES

- [1] DURANDEAU, J-P, *collection de Physique*, Hachette Livre 1995, Paris.
- [2] Jean Noel, *l'essentiel de l'électrocinétique: cours exercices et problèmes corrigés*, ellipses.
- [3] FAUCHER, R., *Physique*, Librairie A, Hatier Paris VI.
- [4] DESSA, A., *Cours de Physique*, De Boeck, Bruxelles, 1980, 5^{ème} édition.
- [5] KISOKI MBUNGA Henri, 'Study of the movement of a charged particule en electrodynamics International Journal of Innovation and Applied Studies, Vol 40, n°3, pp 1007-1015, septembre 2023.
- [6] LUYINDULA, M. et al., *Exercices de Physique: phénomènes périodiques et courant alternatif*, Ed. Centre des Recherches Pédagogiques, Kinshasa 1, 1994.
- [7] GRANJON, Cours sur l'électricité, Dunod 2015.