

Chapitre 2 : Induction électromagnétique

- Loi de Faraday
- Mouvement d'une particule dans un champ magnétique variant lentement

Chapitre 2 : Induction électromagnétique

L'induction électromagnétique est un phénomène fondamental en électromagnétisme qui décrit comment un champ magnétique variable peut induire une force électromotrice (f.é.m.) dans un circuit. Ce chapitre explore deux aspects de l'induction : la loi de Faraday et les effets sur le mouvement d'une particule dans un champ magnétique variant lentement.

2.1 Loi de Faraday

La loi de Faraday décrit la relation entre la variation d'un flux magnétique à travers un circuit et l'apparition d'une f.é.m. induite dans ce circuit. Ce phénomène est à la base du fonctionnement de nombreux dispositifs électromagnétiques, comme les générateurs et les transformateurs.

2.1.1 Expression de la loi de Faraday

La force électromotrice \mathcal{E} induite dans un circuit est proportionnelle à la variation du flux magnétique Φ_B au cours du temps, et s'exprime sous la forme :

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.1)$$

$-\mathcal{E}$: est la force électromotrice induite (en volts),

$-\Phi_B$: est le flux magnétique traversant le circuit (en webers, Wb) défini comme

$$\Phi_B = \int B dS \quad (2.2)$$

-où B est le champ magnétique et dS est l'élément de surface perpendiculaire au champ magnétique,

t: est le temps (en secondes).

-le signe négatif dans l'équation traduit la loi de Lenz, qui indique que le courant induit s'oppose à la cause qui le produit (ici, la variation du flux magnétique).

Si le champ magnétique B est uniforme et perpendiculaire à la surface S, l'expression se simplifie en :

$$\Phi_B = B \cdot S \cdot \cos(\theta) \quad (2.3)$$

où θ est l'angle entre la direction du champ magnétique et la normale à la surface

2.1.3 Loi de Lenz

La loi de Lenz précise le signe négatif dans l'expression de la loi de Faraday : la f.é.m. induite s'oppose à la variation du flux magnétique qui l'a générée. Cela traduit un principe fondamental de conservation de l'énergie et se formalise ainsi :

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.4)$$

Cela signifie que si le flux magnétique à travers un circuit augmente, le courant induit créera un champ magnétique qui s'oppose à cette augmentation. De même, si le flux diminue, le courant induit créera un champ qui s'y oppose.

2.2 Mouvement d'une particule dans un champ magnétique variant lentement

Lorsqu'une particule chargée se déplace dans un champ magnétique variable, elle subit une force qui affecte son mouvement. Si le champ magnétique varie lentement, on peut approximer les effets de ce champ en fonction de sa variation temporelle.

La force qui agit sur une particule chargée q se déplaçant avec une vitesse \vec{v} dans un champ magnétique \vec{B} est donnée par la force de Lorentz : $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$

2.2.1. Équations du mouvement

En présence d'un champ magnétique variable lentement, le mouvement de la particule est régi par les équations de la dynamique, où la force résultante comprend la force de Lorentz. Le mouvement de la particule peut être analysé en résolvant l'équation du mouvement de Newton, qui est :

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.5)$$

Induction dans le mouvement d'une particule

Si le champ magnétique $\vec{B}(t)$ varie lentement, cela peut induire un champ électrique, selon la loi de Maxwell-Faraday (une forme plus générale de la loi de Faraday). Cela s'exprime par : $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

La particule chargée se déplaçant dans le champ magnétique variable subira non seulement la force de Lorentz mais aussi une force supplémentaire due au champ électrique induit.

Si le champ magnétique varie de manière suffisamment lente, il est possible d'approximer son influence sur le mouvement de la particule par des solutions adiabatiques. Cela signifie que la variation du champ magnétique est suffisamment lente pour que la trajectoire de la particule reste proche de ce qu'elle serait dans un champ magnétique statique, mais avec des ajustements lents au fur et à mesure que le champ varie.

Trajectoire dans un champ magnétique constant

Avant d'analyser le cas d'un champ magnétique variable, rappelons comment une particule chargée se déplace dans un champ magnétique constant.

Mouvement circulaire

Si la particule entre dans un champ magnétique uniforme \vec{B} avec une vitesse perpendiculaire au champ, elle se met à décrire une trajectoire circulaire avec un rayon donné par la relation :

$$r = \frac{mv}{qB} \quad (2.6)$$

Le mouvement est uniforme, avec une fréquence appelée fréquence cyclotron

$$\omega_c = \frac{qB}{m} \quad (2.7)$$