Mouvement des particules chargées dans un champ électromagnétique

Plan du cours

Ce que vous devez savoir et savoir faire

▷ Connaître et exploiter l'expression de la force de Lorentz.
▷ Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique et magnétique et les comparer à ceux de la force gravitationnelle.
▷ Savoir qu'un champ électrique peut modifier l'énergie cinétique d'une particule alors qu'un champ magnétique peut courber la trajectoire sans fournir d'énergie à la particule.

▷ Mettre en équation le mouvement dans un champ électrostatique uniforme pour le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant.
▷ Savoir établir et exploiter l'expression de l'énergie potentielle électrostatique.
▷ Effectuer un bilan d'énergie pour calculer la vitesse atteinte par une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
▷ Citer une application.

▷ Connaître la phénoménologie du mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initiale est perpendiculaire au champ magnétique.
▷ Déterminer le rayon de la trajectoire en admettant qu'elle est circulaire.
▷ Déterminer la vitesse angulaire à laquelle la trajectoire est parcourue (pulsation cyclotron) en admettant qu'elle est circulaire.
▷ Citer une application.

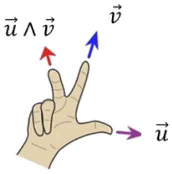
Questions de cours pour les colles

▷ Énoncer l'expression de la force de Lorentz **et la représenter sur un schéma** : exercice C1. Les champs et le vecteur vitesse seront indiqués par l'interrogateur.

▷ Effectuer un bilan d'énergie pour calculer la vitesse atteinte par une particule chargée accélérée entre deux plaques soumises à une tension U : exercice C3.

▷ Déterminer le rayon et/ou la vitesse angulaire de la trajectoire d'une particule chargée dans un champ magnétostatique uniforme (paramètres cyclotron) dans le cas où le vecteur vitesse initiale est perpendiculaire au champ magnétique en admettant qu'elle est circulaire : exercices C4 et C5.

À propos du produit vectoriel



Le produit vectoriel de deux vecteurs $\vec{U}$ et $\vec{V}$ est le vecteur $\vec{U} \wedge \vec{V}$

- ▷ de direction perpendiculaire à $\vec{U}$ et $\vec{V}$;
- ▷ de sens donné par la règle de la main droite ;
- ▷ de norme $||\vec{U}||\,||\vec{V}||\,\left|\sin(\vec{U},\vec{V})\right|$.

L'ordre des vecteurs est primordial dans un produit vectoriel, puisque $\vec{V} \wedge \vec{U} = -\vec{U} \wedge \vec{V}$. Le produit vectoriel est dit antisymétrique.

Le produit vectoriel de deux vecteurs d'une base orthonormée directe comme la base cartésienne ou la base polaire prend une forme particulièrement simple et qu'il faut absolument retenir. Il donne toujours le troisième vecteur de la base, avec un signe $+$ si les deux vecteurs se suivent dans une permutation ciculaire ($x \to y \to z \to x$ ou $r \to \theta \to z \to r$) et un signe $-$ sinon. Par exemple, pour la base cartésienne,

$$\begin{array}{lll} \vec{e}_x \wedge \vec{e}_y = \vec{e}_z & \quad \vec{e}_y \wedge \vec{e}_z = \vec{e}_x & \quad \vec{e}_z \wedge \vec{e}_x = \vec{e}_y \\ \vec{e}_y \wedge \vec{e}_x = -\vec{e}_z & \quad \vec{e}_z \wedge \vec{e}_y = -\vec{e}_x & \quad \vec{e}_x \wedge \vec{e}_z = -\vec{e}_y \end{array}$$

Le produit vectoriel des vecteurs de base permet de calculer celui de deux vecteurs quelconques. En termes des composantes des vecteurs, le produit vectoriel se détermine à l'aide de « la règle du gamma ». Dans la base orthonormée cartésienne,

$$\vec{U} \wedge \vec{V} = \begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_y\,V_z - V_y\,U_z \\ -(U_x\,V_z - U_z\,V_x) \\ U_x\,V_y - U_y\,U_x \end{bmatrix}$$

L'écriture est la même dans la base orthonormée cylindrique,

$$\vec{U} \wedge \vec{V} = \begin{bmatrix} U_r \\ U_\theta \\ U_z \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} V_r \\ V_\theta \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_\theta\,V_z - V_\theta\,U_z \\ -(U_r\,V_z - U_z\,V_r) \\ U_r\,V_\theta - U_\theta\,U_r \end{bmatrix}$$

Attention à ne pas oublier le signe $-$ dans la deuxième composante.