Synthèse chapitre 4 : Mouvement d'une particule chargée dans $(\vec{E};\vec{B})$

Extrait du B.O. PCSI-2021 :

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.3 Mouvement de particules chargées dans un champ $\vec{E}$ ou $\vec{B}$ uniformes et stationnaires	
Force de Lorentz exercée sur une charge ponctuelle, champs électrique et magnétique.	Evaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique et les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
Puissance de la force de Lorentz.	Justifier 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.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme.	Mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant. Effectuer un bilan énergétique pour déterminer la valeur de la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel.
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme dans le cas où le vecteur vitesse initial est perpendiculaire au champ magnétostatique.	Déterminer le rayon de la trajectoire et le sens de parcours.

Formulaire : On considère une particule chargée de masse m et de charge q assimilée à un point matériel M observé dans un référentiel R galiléen.

- Plongée dans la zone d'action d'un champ électromagnétique $(\vec{E};\vec{B})$, cette particule chargée subit la force de Lorentz :

$$\vec{F}_L = q.\vec{E} + q.\vec{v}(M)_R \Lambda \vec{B}$$

- Ordres de grandeur : en général, les effets du poids sont négligeables devant les effets de la force de Lorentz électrique ou magnétique.

- Travail de la force de Lorentz : distinguons la force de Lorentz électrique $\vec{F}_{LE} = q.\vec{E}$ et la force de Lorentz magnétique $\vec{F}_{LB} = q.\vec{v}(M)_R \Lambda \vec{B}$. Seule la force de Lorentz électrique travaille :

$$\delta w = \vec{F}_{LB}.\overrightarrow{dl} = q.\left(\vec{v}(M)_R \Lambda \vec{B}\right).\overrightarrow{dl} = \vec{0}$$
$$\delta w = \vec{F}_L.\overrightarrow{dl} = q.\vec{E}.\overrightarrow{dl}$$

- Appliquons le théorème de l'énergie cinétique à M entre t et $t + dt$ dans R : $dE_C(M)_R = \delta w$. On en déduit que seul le champ électrique peut modifier l'énergie cinétique de la particule chargée. Le seul effet du champ magnétique est de dévier la particule. Ceci nous permet de distinguer deux types d'accélérateurs de particules :

  - ✓ accélérateurs linéaires (action de $\vec{E}$ seul)
  - ✓ accélérateurs circulaires (action couplée de $\vec{E}$ et de $\vec{B}$)

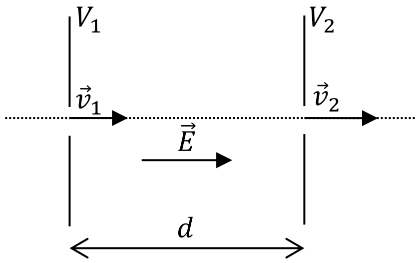
- Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique $\vec{E}$ uniforme et constant. On note $\vec{v}_1$ le vecteur vitesse initial :

    - ✓ si $\vec{v}_1$ est quelconque : cf cours + analogies avec le mouvement balistique.
    - ✓ si $\vec{v}_1$ est colinéaire à $\vec{E}$ (principe des accélérateurs linéaires) :

On retiendra que :

$$E_{C2} - E_{C1} = q.(V_1 - V_2)$$

avec V_1 et V_2 potentiels électriques de la première et de la deuxième armature.



pour $q > 0$

- $V_1 - V_2 = U_0$: tension accélératrice appliquée entre les deux armatures. Le signe de U_0 est fixé par q (avec $q.U_0 > 0$ dans un accélérateur linéaire).
- le champ électrique $\vec{E}$ "descend" les potentiels c.à.d. qu'il est orienté des plus grands potentiels vers les plus petits potentiels.
- $\|\vec{E}\| = E = \frac{U_0}{d}$

En explicitant : $\frac{1}{2}m.{v_2}^2 - \frac{1}{2}m.{v_1}^2 = q.U_0 > 0$. Si la vitesse initiale est négligeable (situation fréquente dans les accélérateurs linéaires) :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2.q.U_0}{m}}$$

- Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et constant. On note $\vec{v}_0$ le vecteur vitesse initial. Si $\vec{v}_0$ est orthogonal à $\vec{B}$, alors la trajectoire de M est circulaire. Sachant que la force de Lorentz magnétique ne travaille pas, la norme du vecteur vitesse est constante et la trajectoire de M est circulaire et uniforme. En projetant le PFD dans la base de coordonnées polaires, on établit que le rayon de courbure a pour expression :

  $$R = \frac{m.v_0}{|q|.B}$$

  On appelle pulsation cyclotron :

  $$\omega = \frac{|q|.B}{m}$$

  avec $v_0 = R.\omega$.

  Rq.: Si $\vec{v}_0$ est quelconque, la trajectoire de M est hélicoïdale.