Mouvement des particules chargées

Ce qu'il faut connaître

- Quelles sont les unités SI de la charge électrique, du courant électrique, du champ électrique et du champ magnétique ?
- Quelle est l'expression de la force électrique entre deux charges q_1 et q_2 ponctuelles ? Faire un schéma.
- Quelle est l'expression de la force de Lorentz ?
- Un champ électrique peut-il modifier l'énergie cinétique d'une particule ? Et un champ magnétique ? Pourquoi ?
- Quelle est l'expression de l'énergie potentielle associée à la force électrique (expression en fonction du potentiel $V(M)$)?
- On considère une plaque au potentiel V_A et une autre au potentiel V_B ($V_B < V_A$). Quelle est la norme et la direction du champ $\vec{E}$ entre les plaques ?
- Citer une application de l'accélération de charges par un champ $\vec{E}$.
- Quel est le type de trajectoire pour une particule dans un champ $\vec{B}$ statique uniforme, lorsque $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$?
- Citer une application de l'accélération de charges par un champ $\vec{B}$.
- Citer le rayon du cercle parcouru par une particule chargée dans un champ $\vec{B}$ statique et uniforme, lorsque $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$.

Ce qu'il faut savoir faire

- Effectuer un produit vectoriel, sur un dessin ou avec les coordonnées des vecteurs. Ne pas se tromper sur le sens du vecteur produit.
- Évaluer les ordres de grandeur des forces électrique ou magnétique, les comparer à ceux des forces gravitationnelles.
- Mouvement dans un champ $\vec{E}$ statique et uniforme :

  - mettre en équation le mouvement et le caractériser comme un mouvement à vecteur accélération constant $\Rightarrow$ trajectoire rectiligne/parabolique ;
  - effectuer un bilan énergétique pour calculer la vitesse d'une particule chargée accélérée par une différence de potentiel. $\rightarrow$

- Mouvement dans un champ $\vec{B}$ statique et uniforme, lorsque $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$: montrer que la trajectoire est circulaire, déterminer son rayon.

EC1 - Ordres de grandeurs pour la force électrostatique

1 - On considère deux électrons séparés d'une distance r. Donner l'expression puis la valeur du rapport $\eta = F_{\text{grav}} / F_{\text{élec}}$ entre les forces gravitationnelle et électrique s'exerçant entre les deux électrons.
2 - On considère un proton dans le champ de pesanteur terrestre, soumis à un champ électrique de 1 V/m. Évaluer le rapport entre la norme de son poids et celle de la force électrique qu'il subit. Conclure.
Données : charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19}$C ; masse d'un électron $m = 9,1 \times 10^{-31}$ kg masse d'un proton $m = 1.7 \times 10^{-27}$ kg ; constante de gravitation universelle $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N $\cdot$ m$^2 \cdot$ kg^{-2} ; permittivité diélectrique du vide $\varepsilon_0 = 8,8 \times 10^{-12}$ F $\cdot$ m^{-1}

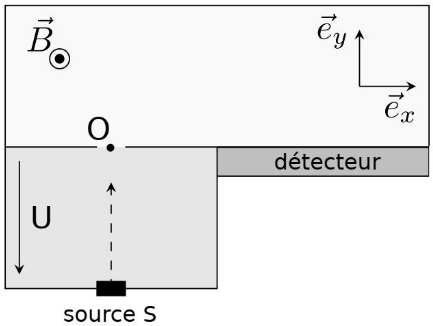
EC2 - Charge dans un champ électrique

On considère une particule de masse m, de charge q, plongée dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E} = E\vec{e}_x$. La particule est initialement au point O et sa vitesse initiale $\vec{v}_0$ forme un angle α avec $\vec{e}_x$.
1 - Établir l'expression du vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$.
2 - En déduire l'équation de la trajectoire.
3 - La représenter pour $q > 0$.

EC3 - Charge dans un champ magnétique

On considère une charge $q > 0$ de masse m évoluant dans le plan xOy, soumise à un champ magnétique $\vec{B} = -B\vec{e}_z$ constant. La particule a une vitesse initiale $v_0\vec{e}_y$
1 - Donner l'expression de la force de Lorentz. Faire un schéma de la trajectoire et y faire apparaître la force de Lorentz.
2 - Montrer que la vitesse de la particule est constante. Est-ce le cas pour son vecteur vitesse ?
3 - Dessiner localement l'allure de la trajectoire, y représenter le repère de Frenet $(\vec{N}, \vec{T})$
4 - À l'aide d'un PFD dans le repère de Frenet, établir l'expression de la vitesse angulaire, définie comme $\omega = |\dot{\theta}|$, en fonction de B, q et m.
5 - Établir ensuite l'expression du rayon de la trajectoire en fonction de B, q, v et m.
6 - En déduire l'expression du temps T de parcours d'un tour de cercle. Application numérique pour $B = 1$ T avec un proton.
Données : charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19}$C ; masse d'un proton $m = 1,7 \times 10^{-27}$ kg.

EC4 - Spectromètre de masse

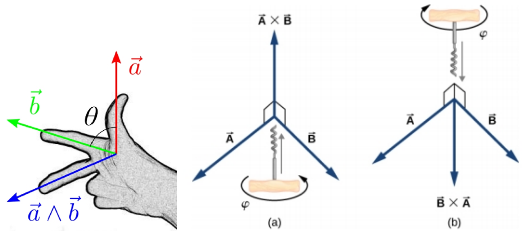


Un spectromètre de masse est un appareil permettant d'identifier les éléments présents dans un échantillon de matière inconnu.
Pour cela, l'échantillon est ionisé à l'entrée de l'appareil, si bien que des ions pénètrent en ligne droite à partir de l'entrée en S.
Ces ions sont de vitesses négligeables en S. On note m leur masse et q leur charge. Ils sont accélérés entre S et O par l'application d'une différence de potentiel U. Ils pénètrent ensuite en O dans une chambre où règne un champ magnétique $\vec{B}$ uniforme et stationnaire, sont déviés par ce champ et vont frapper un détecteur. On supposera que les ions sont chargés positivement.
1 - Donner l'expression de la vitesse v_0 de l'ion en O, en fonction de sa charge, masse, et de U.
2 - Justifier que dans la chambre où règne le champ magnétique, l'énergie cinétique de l'ion ne varie pas. Que peut-on donc dire de sa vitesse ?
3 - On admet que la trajectoire de l'ion dans la chambre où règne le champ magnétique est circulaire. Établir l'expression du rayon de la trajectoire en fonction de B, q, m, U.
4 - Les spectromètres de masse sont des outils utilisés dans de nombreux domaines, autant en laboratoire que sur le terrain. Le robot Curiosity sur Mars en comprend un, qui a notamment été utilisé pour déterminer le rapport de l'abondance isotopique entre hydrogène et deutérium, ce qui apporte des informations sur l'évaporation de l'eau sur cette planète.
On note P le point d'impact de l'ion sur le détecteur. Donner la valeur de la distance OP pour un ion hydrogène H^+et pour un ion deutérium D^+(le deutérium est un isotope de l'hydrogène, qui contient deux nucléons).
On donne $U = 10\text{kV}$, masse du proton $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ kg, charge élémentaire $e = 1.602 \times 10^{-19}\text{C}$, valeur du champ magnétique $B = 200\text{mT}$.

I. Préambule : produit vectoriel

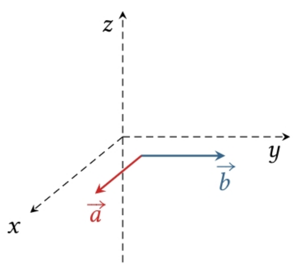
Géométriquement :

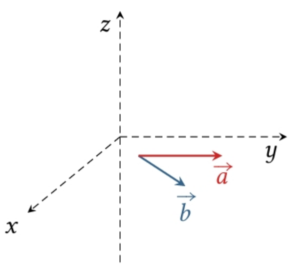
$\vec{a} \wedge \vec{b}$ est
- de direction orthogonale au plan $(\vec{a}, \vec{b})$;
- de sens donné par la règle de la main droite ou du tire bouchon ;
- de norme $\|\vec{a}\|\|\vec{b}\| \sin\theta$ avec θ l'angle non-orienté formé par les vecteurs $\vec{a}$ et $\vec{b}$.

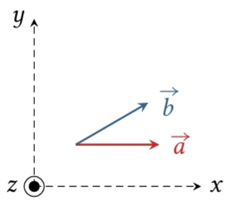


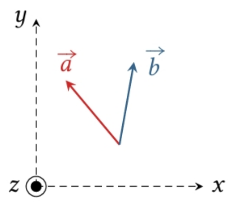
Propriétés fondamentales : $\begin{cases} \text{le produit vectoriel de deux vecteurs colinéaires est nul} \\ \text{le produit vectoriel est anti-commutatif : } \vec{b} \wedge \vec{a} = -\vec{a} \wedge \vec{b} \text{ car le sens donné par la RMD change si on chan} \end{cases}$

Exemple : Représenter graphiquement le produit vectoriel $\vec{a} \wedge \vec{b}$ dans les situations ci dessous. Dans les quatre situations, les vecteurs $\vec{a}$ et $\vec{b}$ appartiennent tous les deux au plan (Oxy).









Par les coordonnées

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} \wedge \begin{bmatrix} d \\ e \\ f \end{bmatrix} =$$