Physique Générale A

Série d'exercices 13: Magnétisme I - corrigé - 10 février 2026

1.) **QCM A : Ligne de champ magnétique**

D. Un courant rectiligne I crée, perpendiculairement à l'axe du courant, un champ magnétique $\vec{B}$ dont les lignes de champ sont des cercles concentriques à l'axe du courant. Le sens de rotation est donné par la règle de la main droite : le pouce pointe dans le sens du courant et les doigts indiquent le sens de rotation du champ. La norme (non discutée dans l'exercice), à une distance r de l'axe du courant, est donnée par $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$.

2.) **QCM A : Loi d'Ampère**

C. La valeur de l'intégrale de chemin de $\vec{B}$ autour d'un chemin fermé est donnée par la loi d'Ampère :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum I, \tag{1}$$

où la somme contient tous les courants contenus dans la boucle fermée. Ainsi, les courant I_1 et I_4 ne contribuent pas à l'intégrale de chemin, car ils se trouvent à l'extérieur du chemin fermé. On a donc :

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (I_2 + I_3), \tag{2}$$

$$I_3 = \frac{1}{\mu_0} \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} - I_2 = \frac{1.39 \cdot 10^{-5} \text{ T·m}}{1.2566 \cdot 10^{-6} \text{ T·m·A}^{-1}} - 12 \text{ A} = -0.94 \text{ A}. \tag{3}$$

3.) **Une particule rentre dans un champ magnétique**

A. Faux. Lorsque la particule rentre dans la zone grisée, $\vec{v} \times \vec{B}$ est dirigé suivant +y et donc la force magnétique est suivant –y car la particule a une charge négative. La force magnétique qui est centripète va tourner avec le vecteur vitesse. La force ne sera donc pas TOUJOURS dirigée vers -y . Dans la partie grisée, la particule aura une trajectoire circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre.

B. Faux. L'accéleration est parallère à la force totale subie par la particule. La seule force subie par la particule est la force magnétique $\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B}$, qui sera toujours perpendiculaire à $\vec{v}$.

C. Faux. La force magnétique $\vec{F}_M = q\vec{v} \times \vec{B}$ dirigée initialement vers -y fera décrire à la particule une trajectoire circulaire dans le sens des aiguilles d'une montre. Mais après un demi tour, la particule sortira de la zone grisée et ne subira plus de force magnétique. Elle aura alors une trajectoire rectiligne dirigée vers -x.

D. Vrai. La force magnétique ne produit JAMAIS de travail car elle est toujours perpendiculaire à la vitesse et donc au déplacement. Donc l'énergie mécanique, et également l'énergie cinétique reste constante.

4.) **QCM A : Lévitation d'un fil**

D. Le fil placé dans le champ magnétique $\vec{B}$ subit une force magnétique dont l'expression est donnée par la loi de Laplace :

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}, \tag{4}$$

avec $\vec{l} = -l \cdot \hat{y}$ dirigé dans le même sens que le courant. Pour que le fil lévite, cette force doit compenser la gravité, donc doit être dirigée vers le haut:

$$\vec{F} = -m\vec{g} = -mg \cdot \hat{z}. \tag{5}$$

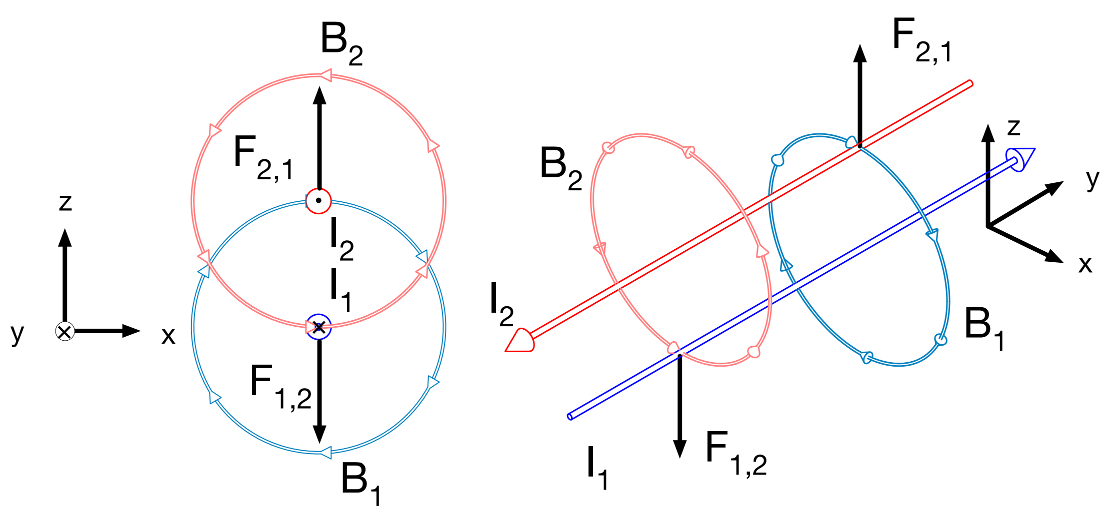
Par la règle de la main droite, le champ magnétique doit être dirigé en direction $+\hat{x}$ pour que la force de Laplace soit dirigée vers le haut.

Comme le fil est perpendiculaire au champ, alors $\|\vec{F}\| = IlB = mg$:

$$B = \frac{mg}{Il} = \frac{2 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot 9.81\ \text{ms}^{-1}}{1.5\ \text{A} \cdot 0.1\ \text{m}} \approx 0.13\ \text{T}. \tag{6}$$

5.) **QCM K' : Deux fils parallèles**

A. Faux. Un courant rectiligne I crée à une distance r un champ magnétique B dont la norme est donnée par la loi d'Ampère : $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$. Comme les courants sont inégaux, la norme du champ magnétique créé par I_1 (flèche bleue sur trajectoire circulaire sur le schéma ci-dessous) à l'endroit du fil 2 $B_1(r) = \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 20}{2\pi \cdot 0.25} = 1.6 \cdot 10^{-5}$ T, n'est donc pas la même que celle du champ magnétique crée par I_2 (flèche rouge sur trajectoire circulaire) à l'endroit du fil 1 : $B_2(r) = \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 5}{2\pi \cdot 0.25} = 4 \cdot 10^{-6}$ T.
Note : par la suite, comme on ne s'intéresse qu'à la norme des champs magnétiques à l'emplacement des deux fils, la notation des champ sera simplifiée et ne fera pas explicitement référence au fait que l'intensité du champ est évaluée à une distance $r = 25$ cm.



B. Vrai. Pour rappel, le champ magnétique créé par un courant rectiligne est circulaire autour du fil, et le sens de rotation est donné par la règle de la main droite. À la position du fil 1, le sens de rotation de $\vec{B_2}$ est selon la direction x comme indiqué sur le schéma du point précédent.
Le raisonnement est analogue si on considère le champ B_1 créé par I_1, à la position du fil 2.

C. Vrai. La force de Laplace est : $\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$. Comme le fil est perpendiculaire au champ, alors $F = ILB$. Plus explicitement, la norme de la force ressentie par le fil 1 sous l'effet du champ B_2 est $F_{1,2} = I_1 L B_2$ et comme on sait que $B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$, nous avons :

$$F_{1,2} = I_1 L \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}.$$

Le même raisonnement effectué pour la norme de la force ressentie par le fil 2 sous l'effet du champ B_1 livre :

$$F_{2,1} = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}.$$

De là, on constate que $F_{1,2} = F_{2,1}$. Remarquons ici que la norme des forces est égales malgré le fait que les courants ne le sont pas car on peut permuter les positions des courants I_1 et I_2 dans l'expression de la norme :

$$F_{1,2} = I_1 L B_2 = I_1 L \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r} = I_2 L \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = I_2 L B_1 = F_{2,1} = 5 \cdot 50 \cdot \left(1.6 \cdot 10^{-5}\right) = 4 \cdot 10^{-3} N.$$

D. Faux. À l'endroit du fil 1, le champ $\vec{B}_2$ est selon x. Le vecteur $I_1 \vec{L}_1$ est dans la direction y. La règle de la main droite pour $\vec{F}_{1,2} = I_1 \vec{L}_1 \times \vec{B}_2$ indique donc que cette force est dans la direction $-z$. Le fil 1 est alors repoussé par le fil 2. Par symétrie, le raisonnement est le même pour le fil 2, qui subis une force $\vec{F}_{2,1} = I_2 \vec{L}_2 \times \vec{B}_1$ selon z. Ainsi les deux fils se repoussent comme indiqué sur le schéma.

6.) **Spire perpendiculaire au champ magnétique**

A. Faux. Sur le côté A la force est $\vec{F}_A = I\vec{l}_A \times \vec{B}$. $I\vec{l}_A$ est selon "-z" et $\vec{B}$ selon "+x" donc F_A est selon "-y".

B. Faux. Sur le côté B la norme de la force est $F_B = I l_B B > 0$.

C. Faux. Le moment magnétique $\vec{\mu}$ de la spire est orienté selon "x" (règle de la main droite appliquée au courant). Le moment de force appliqué sur la spire est donné par $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$. Or $\vec{\mu}$ et $\vec{B}$ étant parallèles, $\vec{\tau}$ est nul.

D. Vrai. $\vec{\mu}$ et $\vec{B}$ sont parallèles ($\theta = 0$), l'énergie potentielle vaut $E_p = -\mu B cos(\theta) = -\mu B$. L'énergie potentielle a sa plus petite valeur et est donc minimale.

7.) **Bobine inclinée**

C. L'énergie potentielle d'une bobine dans un champ magnétique est donné par l'opposé du produit scalaire entre son moment magnétique et le champ: $E_{\text{pot}} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$. On doit déterminer μ.

Le moment magnétique μ_1, généré par une spire circulaire d'un diamètre de 10 cm (rayon de 5 cm) et parcourue d'un courant de 10 mA, est :

$$\mu_1 = IA = \left(10 \cdot 10^{-3}\right) \cdot \pi \left(5 \cdot 10^{-2}\right)^2 \simeq 7.85 \cdot 10^{-5} \text{ A.m}^2$$

Comme on a 200 spires, le moment magnétique correspondant à la bobine entière est : $\mu = 200\mu_1 \simeq 1.6 \cdot 10^{-2}$ A.m^2. Comme $\vec{\mu}$ est dirigé selon l'axe de la bobine, qui fait un angle de 60° avec $\vec{B}$, on a :

$$E_{\text{pot}} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} = -\mu B \cos(60^\circ) \simeq -1.6 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

8.) **QCM A : Solénoïdes emboîtés**

E. Remarquons d'abord que les courants I_1 et I_2 effectuent des rotations autours de l'axe $\vec{x}$ dans des sens contraires. Avec la règle de la main droite, on obtient alors que le champ magnétique $\vec{B}_1$ dans la grande bobine pointe selon x, et le champ $\vec{B}_2$ de la petite selon $-x$. Il est donc possible d'annuler, au centre de la bobine intérieure, le champ magnétique résultant.

Les valeurs des champs sont données par :

$$\|\vec{B}_1\| = \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l_1}$$
$$\|\vec{B}_2\| = \frac{\mu_0 N_2 I_2}{l_2}$$

On exige que $\|\vec{B}_1\| = \|\vec{B}_2\|$, alors:

$$\begin{aligned} \frac{\mu_0 N_1 I_1}{l_1} &= \frac{\mu_0 N_2 I_2}{l_2} \\ N_1 I_1 &= N_2 I_2 \qquad\qquad \text{car } l_1 = l_2 \\ I_2 &= \frac{N_1 I_1}{N_2} = \frac{1000 \cdot 10}{500} = 20 \text{ A.} \end{aligned}$$

9.) **Exercice d'approfondissement : Accélérateur de particules et anneau de stockage**

A. Le lien entre potientel électrique et champ électrique est donné par: $V_\mathrm{B} - V_\mathrm{A} = -\int_A^B \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{\mathrm{S}}$. On est sur un problème à une dimension, et le champ électrique est uniforme. Si A est l'emplacement de la première plaque conductrice en début de tube et B l'emplacement de la seconde plaque conductrice en fin de tube, on peut alors écrire pour le potentiel :

$$\begin{aligned} V_\mathrm{B} - V_\mathrm{A} &= -\int_A^B \vec{E} \cdot \mathrm{d}\vec{\mathrm{S}} \\ &= -\int_A^B E \ \mathrm{d}x \\ &= -E \int_0^{10\mathrm{m}} \mathrm{d}x = -E \cdot 10 = -250 \text{ V} \end{aligned}$$

Comme $V_\mathrm{B} = 0$ par l'énoncé, alors $V_\mathrm{A} = -(-250) = 250$ V. Cela est cohérent avec une accélération de la particule (de charge positive) entre les deux plaques le long de la trajectoire en vert puisqu'elle se dirige d'un potentiel élevé vers plus faible.

B. Pour trouver la vitesse de la particule, nous allons calculer son énergie cinétique à partir du potentiel. Le potentiel électrique V_B à la sortie du tube est nul, et on a calculé que le potentiel à l'entrée V_A vaut 250 V. On peut alors estimer l'énergie potentielle du proton à l'entrée: $E_{\text{pot,entrée}} = qV_\mathrm{A}$. Son énergie cinétique est nulle car il est injecté au repos. A la sortie du tube, l'énergie potentielle est nulle. L'énergie cinétique sera alors $E_{\text{cin,sortie}} = E_{\text{pot,entrée}} = qV_\mathrm{A}$. Par la définition de l'énergie cinétique, on a alors:

$$\begin{aligned} E_\text{cin} &= \frac{1}{2} m v^2 \\ v_\text{sortie}^2 &= \frac{2E_\text{cin,sortie}}{m} = \frac{2qV_\mathrm{A}}{m} \simeq 4.7 \cdot 10^{10} \\ v_\text{sortie} &\simeq 2.2 \cdot 10^5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

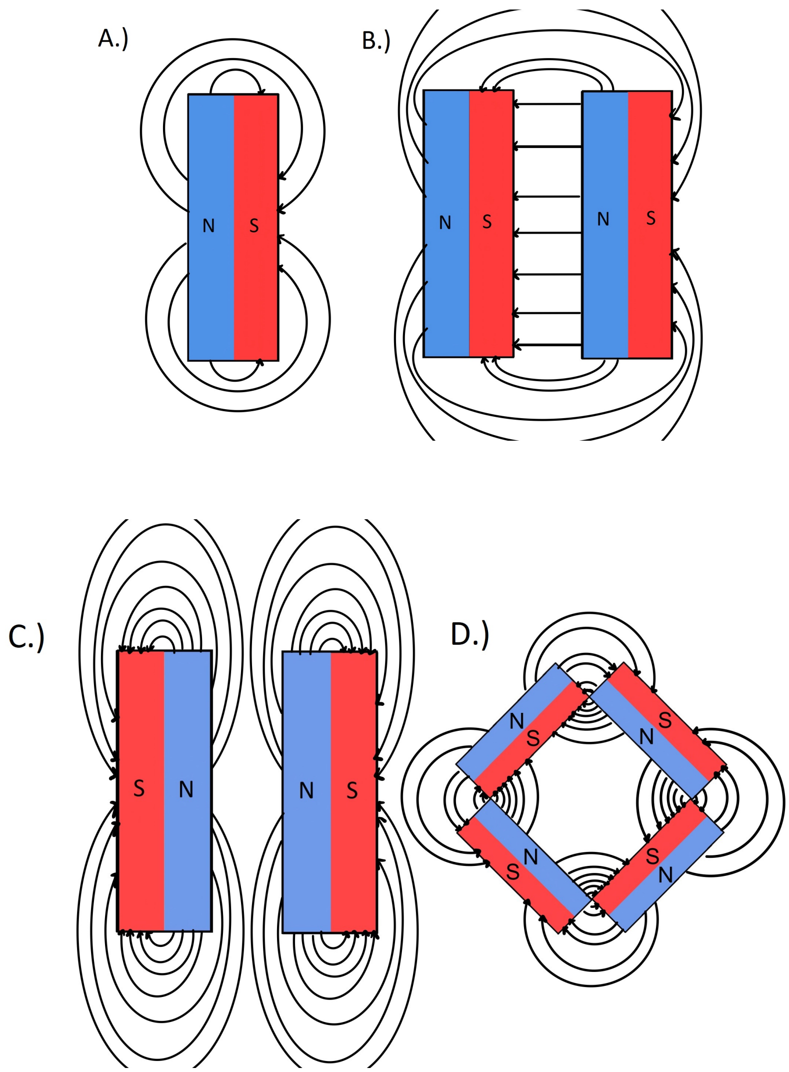
Remarque : On aurait pu également calculer la force ressentie par le proton, puis déterminer son accélération via les lois de Newton et enfin obtenir la vitesse avec les formules du mouvement accéléré.

C. La trajectoire du proton est continûment recourbée par le champ magnétique, puisque ce dernier est perpendiculaire à sa vitesse. Pour que le proton reste dans l'anneau, il faut que le rayon de courbure de sa trajectoire (en rouge sur le schéma) soit égal au rayon de l'anneau. L'égalité de l'expression de la norme de l'accélération centripète $a_c = v^2/R$ avec celle de l'accélération due à force de Lorentz $a_L = F_L/m = qvB/m$ permet de déterminer l'expression du rayon de courbure de la trajectoire $R = \frac{mv}{qB}$. Comme l'anneau possède un rayon $R = 2$ m, la norme du champ est donc :

$$B = \frac{mv}{qR} \simeq 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ T} = 1.2 \text{ mT}.$$

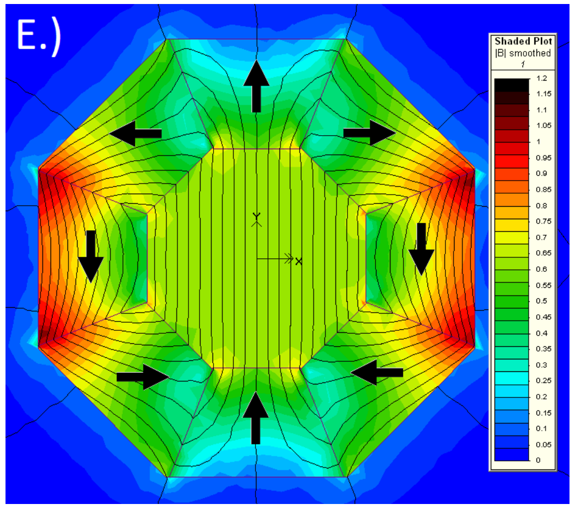
D. La force magnétique est perpendiculaire à la vitesse, elle ne fournit pas de travail et ne va donc pas changer l'énergie cinétique de la particule. Après 10 tours (ou plus), l'énergie cinétique est donc la même qu'à l'entrée de l'anneau : $E_{\text{cin}} = qV_{\text{A}} \simeq 4 \cdot 10^{-17}$ J.

10.) **Exercice d'approfondissement : Lignes de champ magnétique d'aimant permanent**



Dans cet exercice nous constatons qu'en fonction de l'agencement des aimants permanents, nous obtenons soit des lignes de champ rectilignes (figure B) soit des lignes de champ courbées lorsqu'un des aimants est retourné de telle manière que les pôles se font face (figure C).
Il est possible de complexifier encore l'agencement des aimants (ex: les cylindres de Halbach, figure E) et ainsi obtenir des dispositifs qui concentrent le champ magnétique en certains points et l'affaiblissent

en d'autres. On retrouve ce type de dispositif dans les IRMs car il permet de créer un fort champ magnétique dans la zone de l'examen uniquement.



(Source: https://fr.wikipedia.org/wiki/Réseau_de_Halbach)