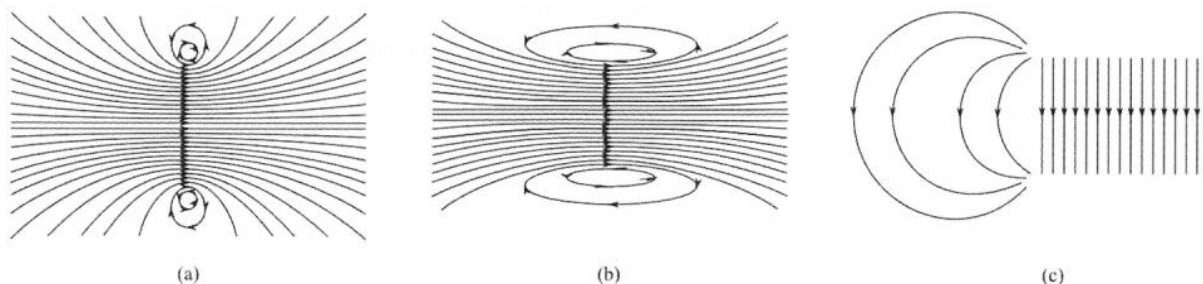


TRAVAUX DIRIGÉS OS12

Champ magnétique

Niveau 1

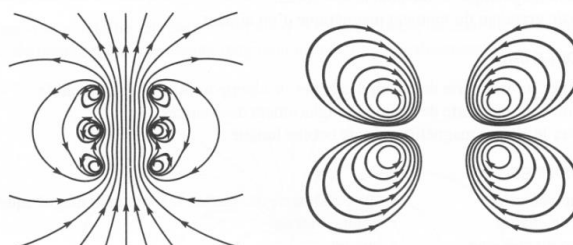
Exercice 1. Cartes de champ (1)



Indiquer sur chaque schéma : les zones de champ intense ; les zones de champ faible ; les zones où le champ peut être considéré comme uniforme ; la position et la nature des sources de champ.

*Exercice 2. Cartes de champ (2)

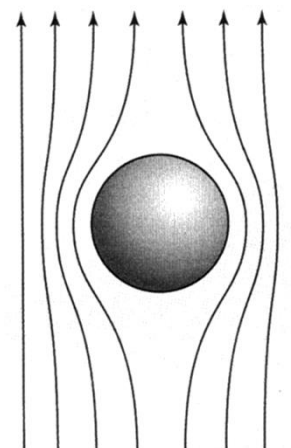
Dans les cartes de champs magnétiques suivantes, où le champ est-il le plus intense ? Où sont placées les sources ? Le courant sort-il ou rentre-t-il du plan de la figure ?



Exercice 3. Boule supraconductrice

Les lignes de champ correspondant à une boule supraconductrice placée dans un champ magnétique extérieur \vec{B}_0 sont tracées sur la figure ci-contre. En tout point de l'espace, le champ magnétique est la somme du champ \vec{B}_0 et du champ créé par la boule.

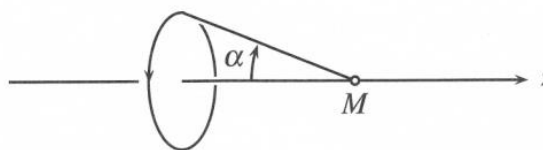
1. Que dire du champ magnétique au loin ? Justifier.
2. À quel endroit le champ magnétique est-il maximal ?
3. L'effet Meissner indique qu'un supraconducteur expulse le champ magnétique. Est-ce le cas ici ? Comment cela est-il possible ? Imaginer l'allure des lignes de champ si le métal constituant la boule ne possédait pas de propriétés magnétiques.



*Exercice 4. Champ créé par une spire sur son axe

Le champ créé par une spire de courant, parcourue par un courant d'intensité i , de rayon R , est donné, en un point M qui appartient à l'axe de la spire, par la

formule : $\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 i}{2R} \sin^3(\alpha) (\pm \vec{u}_z)$ où α



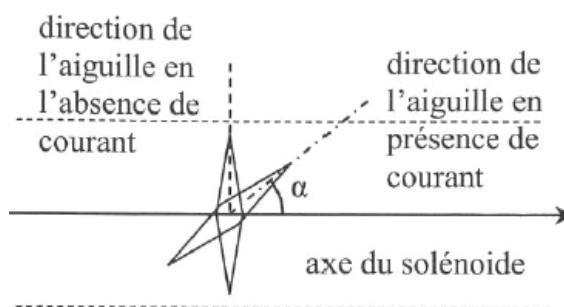
est l'angle sous lequel on voit la spire depuis le point M .

1. Le champ est-il dirigé suivant $+\vec{u}_z$ ou suivant $-\vec{u}_z$?
2. Calculer la norme de \vec{B} en un point de l'axe distant de $L = 10$ cm du centre de la spire. On prendra $R = 2$ cm et $i = 0,5$ A. La perméabilité magnétique est $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H.m⁻¹.

Niveau 2

*Exercice 5. Champ magnétique terrestre

Pour mesurer approximativement la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise le dispositif suivant : une petite aiguille aimantée est placée à l'intérieur d'un solénoïde (pour les calculs, on se place dans l'approximation du solénoïde infini), de manière à ce que, en l'absence de courant dans le solénoïde, l'aiguille soit orthogonale à son axe.



1. Indiquer qualitativement ce qui se produit lorsqu'un courant circule dans le solénoïde.
2. Avec un courant $i = 96$ mA, on relève $\alpha = 37^\circ$. Sachant que le solénoïde comporte $N = 130$ spires et que sa longueur est $L = 60$ cm, calculer la valeur de la composante horizontale du champ terrestre.
3. On estime que l'incertitude sur l'angle α est de 2° , et on néglige les incertitudes sur les autres grandeurs. Quelle est l'incertitude sur la valeur du champ ?

Exercice 6. Rapport gyromagnétique d'un atome

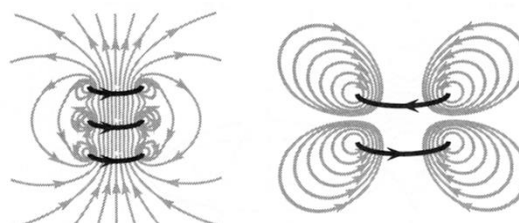
On considère le modèle classique de Bohr de l'atome d'hydrogène. L'électron, de masse m et de charge $q = -e$, a une trajectoire circulaire uniforme de rayon r et de vitesse \vec{v} autour du noyau situé au point O . On note (O, \vec{u}_z) l'axe de cette trajectoire circulaire.

1. Exprimer, en fonction de m , r et ω la vitesse angulaire de rotation de l'électron, le moment cinétique \vec{L} de l'électron par rapport au point O (\vec{L} s'appelle le moment cinétique orbital).
2. Exprimer l'intensité électrique circulant dans la spire équivalente à la boucle de courant formée par l'électron en rotation. En déduire le moment magnétique $\vec{\mathcal{M}}$ de cette spire.
3. Montrer que $\vec{\mathcal{M}} = \alpha \vec{L}$, où α , à exprimer, s'appelle le rapport gyromagnétique orbital de l'atome. Donner sa valeur numérique sachant que $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C et $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg.

SOLUTIONS

*Exercice 2. Cartes de champ (2)

Le champ est le plus intense là où les lignes sont les plus serrées, c'est-à-dire dans la zone centrale, où les lignes sont verticales, dans le cas de gauche, et proche des sources, dans le cas de droite.



Les lignes de champ tournent autour des sources. Sur la figure de gauche : on a donc trois sources (trois spires). Sur la figure de droite, on a deux spires. Le sens du courant dans les fils est déterminé avec la règle de la main droite : pour les fils perpendiculaires au plan du schéma, les lignes de champs circulent de la paume vers les doigts et le pouce donne le sens du courant : sortant (vers l'avant) pour des lignes de champ orientées dans le sens trigonométrique, entrant (vers l'arrière) pour des lignes de champ orientées dans le sens horaire.

*Exercice 4. Champ créé par une spire sur son axe

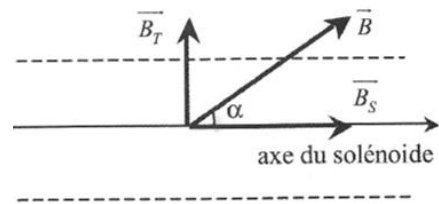
1. D'après la règle de la main droite (le courant va de la paume vers les doigts et le pouce indique le sens du champ), le champ magnétique en M est dirigé selon $+\vec{u}_z$.

2. Détermination de l'angle α : $\sin(\alpha) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L^2}}$

Norme de \vec{B} : $B = \frac{\mu_0 i}{2} \frac{R^2}{(R^2 + L^2)^{\frac{3}{2}}} = 1,2 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

*Exercice 5. Champ magnétique terrestre

1. L'aiguille, que l'on peut assimiler à un moment magnétique, s'aligne toujours sur le champ. En l'absence de courant dans le solénoïde, le champ est orthogonal à son axe (il s'agit seulement du champ magnétique terrestre \vec{B}_T



). Lorsqu'un courant circule, le solénoïde crée un champ parallèle à son axe \vec{B}_S , et le champ total résulte de la superposition des deux champs : $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_S$ sur lequel s'aligne l'aiguille aimantée.

2. Champ créé par le solénoïde supposé infini : $B_S = \mu_0 n i = \mu_0 \frac{N}{L} i$

$\tan(\alpha) = \frac{B_T}{B_S}$ donc $B_T = B_S \tan(\alpha) = \mu_0 \frac{N}{L} i \tan(\alpha) = 19,7 \mu\text{T}$

3. Valeurs extrêmes de B_T : pour $\alpha_{\min} = 35^\circ$, $B_{T\min} = 18,3 \mu\text{T}$ et pour $\alpha_{\max} = 39^\circ$,

$B_{T\max} = 21,2 \mu\text{T}$. L'incertitude sur B_T est $\Delta B_T = \frac{B_{T\max} - B_{T\min}}{2} = 1,5 \mu\text{T}$ donc

$B_T = 19,7 \pm 1,5 \mu\text{T}$. C'est effectivement l'ordre de grandeur pour la composante horizontale du champ magnétique terrestre mesurée à Paris. La composante verticale (orientée vers le bas) est de l'ordre de $50 \mu\text{T}$.

Exercice 6. Rapport gyromagnétique d'un atome

2. $\vec{\mathcal{M}} = -\frac{e\hbar}{2} \vec{u}_z$ 3. $\alpha = -\frac{e}{2m} = -8,8 \cdot 10^{10} \text{ C.kg}^{-1}$