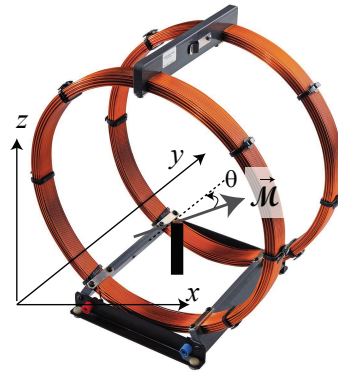


TD 15 : Dipole magnétique

Les classiques

Exercice 1

Une méthode de mesure de la composante horizontale du champ magnétique terrestre, de norme B_T , consiste à placer une boussole à l'intérieur d'un dispositif de type bobines de Helmholtz dont le champ magnétique est connu et uniforme à l'intérieur des bobines, de norme $B_H = 10 \mu\text{T}$. La norme du moment magnétique de cette aiguille est notée M et on note J son moment d'inertie par rapport à son axe de rotation.

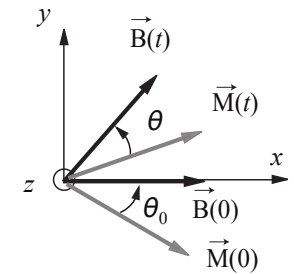


L'axe des bobines est aligné avec les lignes de champ de la composante horizontale du champ magnétique terrestre de telle sorte que l'amplitude B du champ magnétique total s'écrive $\vec{B} = \vec{B}_T + \vec{B}_H = (B_T + B_H) \vec{e}_y$.

- 1 - Préciser la position stable de l'aiguille.
- 2 - On appelle T_1 la période des petites oscillations de l'aiguille par rapport à sa position d'équilibre. Montrer que T_1 peut s'exprimer en fonction de J , B et M . On justifiera les différentes hypothèses simplificatrices.
- 3 - On appelle T_2 la période des petites oscillations de l'aiguille lorsque le sens du courant dans les bobines est inversé par rapport à la question précédente. Comment est modifiée T_2 par rapport à T_1 .
- 4 - Exprimer puis calculer B_T en fonction de B_H et T_1/T_2 sachant que $T_1 = 1,3\text{s}$ et $T_2 = 1,6\text{s}$.

Exercice 2

La partie mobile du moteur synchrone (rotor) est constituée d'un bobinage alimenté par un courant continu et assimilable à un aimant de moment magnétique $\vec{M}$, de module M_0 constant. On suppose que $\vec{M}$ est animé dans le plan Oxy d'un mouvement de rotation uniforme autour de l'axe Oz à la vitesse angulaire ω . Le mouvement s'effectue dans une partie de l'espace où règne un champ magnétique $\vec{B}$ supposé uniforme d'amplitude B_T qui, lui, tourne dans le plan Oxy autour de l'axe Oz à la vitesse angulaire ω_0 (ω_0 n'étant pas a priori égale à ω). On note $\vec{e}_z$ le vecteur unitaire de l'axe Oz et θ_0 la valeur initiale de l'angle $(\vec{M}, \vec{B})$.

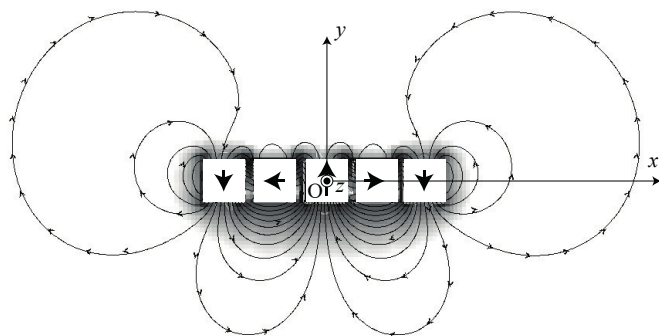


- 1 - Exprimer $\theta(t)$. En déduire la valeur instantanée du couple $\vec{\Gamma} = \Gamma(t) \vec{e}_z$ exercé par le champ $\vec{B}$ sur le rotor.
- 2 - Pourquoi le moteur synchrone ne peut-il fonctionner que pour une vitesse angulaire ω égale à ω_0 ?
- 3 - On se place dans le cas $\omega = \omega_0$. Exprimer la valeur de $\Gamma(t)$.
- 4 - Quelle condition l'angle θ entre $\vec{M}$ et $\vec{B}$ en régime permanent doit-il vérifier pour que cette machine fonctionne effectivement en moteur ?
- 5 - Lorsque le moteur entraîne une charge à vitesse constante, le couple moteur est égale au un couple résistant de module Γ_R . Représenter sur la courbe $\Gamma = f(\theta)$, les angles θ_R et θ'_R permettant le fonctionnement moteur. Justifier graphiquement que l'angle θ entre $\vec{M}$ et $\vec{B}$ est nécessairement compris entre 0 et $\pi/2$ pour un fonctionnement stable.

Problème ouvert

Exercice 3

Les aimants utilisés pour adhérer sur une surface métallique comme ceux utilisés sur les portes des réfrigérateurs sont constitués d'une association particulière appelée « réseau de Halbach ». La configuration présentée ci-contre comporte 5 aimants dont la disposition est indiquée par des flèches.



- 1 - Que peut-on dire des plans Oxy , Oyz et Oxz pour le champ magnétique.
- 2 - Les aimants ne collent que sur une seule face sur la façade métallique d'un réfrigérateur. Justifier cette affirmation au regard de la carte de champ proposée.

Les difficiles

du nord vers le sud.

Un dipôle magnétique situé en l'origine O du référentiel considéré, d'axe $(O, \vec{e}_z)$ et de moment $\vec{\mathcal{M}}_T = -\mathcal{M}_T \vec{e}_z$, crée en un point M éloigné de O et de coordonnées sphériques (r, θ, ϕ) un champ magnétique

$$\vec{B} = -\frac{\mu_0 \mathcal{M}_T}{4\pi r^3} (-2 \cos \theta \vec{e}_r + \sin \theta \vec{e}_\theta)$$

Dans le système de coordonnées sphériques adapté à la géométrie du champ magnétique terrestre, l'angle $\theta = 0$ indique la direction du pôle sud magnétique et ϕ correspond à une longitude.

- 1 - Effectuer un schéma représentant $\vec{\mathcal{M}}_T$ ainsi que le vecteur $\vec{B}(M)$, les angles i et θ si le point M est la ville de Paris
 - 2 - Dédire de la mesure de i , la coordonnée θ de cette ville. Que peut-on en conclure concernant l'axe de symétrie du champ magnétique terrestre et l'axe de rotation de la terre ?
 - 3 - Si l'intensité du champ magnétique terrestre à Paris vaut $B = 45 \mu\text{T}$, estimer la valeur du moment magnétique terrestre $\mathcal{M}_T = \|\vec{\mathcal{M}}_T\|$.
- Données : perméabilité magnétique du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$.

Exercice 4

On se place à Paris dont l'altitude (42 m) est négligeable devant le rayon terrestre moyen $R_T = 6,4 \cdot 10^3 \text{ km}$, la longitude est $\phi = 2^\circ 21'$ ouest et la latitude $\lambda = 48^\circ 52'$ nord. On rappelle que la latitude est l'angle entre le plan de l'équateur et le rayon terrestre passant par le point considéré. Quand l'axe de la boussole est horizontal, à l'équilibre, et que l'axe de symétrie de l'aiguille aimantée est dirigé selon le champ magnétique local vers le pôle nord magnétique terrestre, l'aiguille fait un angle $i = 64^\circ 0'$ avec l'horizontale locale. On suppose que le champ magnétique terrestre est celui d'un dipôle magnétique de moment $\vec{\mathcal{M}}_T$ placé au centre de la terre, dont la direction est celle d'un axe $(O, \vec{e}_z)$ passant par les deux pôles magnétiques et orienté

