MP 16 - MILIEUX MAGNÉTIQUES

Justin P et Alex T, ou le binôme du chignon.

L'invariabilité dans le milieu est ce qui constitue la vertu
CONFUCIUS, à son chien

Commentaires du jury

2015 Il n'est pas souhaitable de se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage.

2010 à 2014 Ne pas se limiter aux milieux ferromagnétiques. L'étude du transformateur est marginale dans ce montage, son étude exhaustive n'y a pas sa place. Cet appareil n'a d'intérêt que dans la mise en évidence des propriétés des ferromagnétiques.

2008 L'effet Meissner ne se résume pas à une « expulsion de ligne de champ ». Les grandeurs mesurées, telles que les champs rémanent et coercitif, doivent être comparées et/ou commentées.

2007 Il faut pouvoir justifier la forme des pièces polaires de l'électro-aimant choisi.

Jusqu'en 2001, le titre était : Caractérisation des milieux magnétiques. Applications du ferromagnétisme.

Bibliographie

- ⚡ *Précis électrotechnique PSI Benders* : Cycle d'hystérésis
- ⚡ *Milieux magnétiques, Garing* : Susceptibilité de FeCl_3
- ⚡ *Magnétisme 1 et 2, de Lacheisserie* : Compléments
- ⚡ *Electrostatique, courants, magnétisme, Fleury Mathieu* : Données

Table des matières

1	Diamagnétisme	2
1.1	Mise en évidence	2
1.2	Diamagnétisme parfait : la supraconductivité	2
2	Paramagnétisme	2
2.1	Mesure de la susceptibilité de FeCl_3	2
2.2	Paramagnétisme de O_2	3
3	Ferromagnétisme	3
3.1	Cycle d'hystérésis	3
3.2	Exemple d'application du ferromagnétisme : l'électro-aimant	3

Introduction

Un milieu magnétique est un milieu réagissant sous l'influence d'un champ magnétique appliqué. Leur étude présente un très grand intérêt du point de vue théorique (transitions de phase magnétique) et pratique (multiples applications de la matière ferro et ferri-magnétique). La réponse du matériau est caractérisée par $\vec{M} = \chi \vec{H}$. Le but de ce montage est de présenter la diversité des comportements de la matière magnétique : χ négatif, χ positif, χ très grand. Le champ magnétique extérieur sera généré par des (électro)aimants dont les fonctionnements reposent sur le ferromagnétisme, leur étude sera donc présentée à la fin du montage.

1 Diamagnétisme

χ négatif. Le champ créé par l'aimantation s'oppose au champ extérieur, c'est un effet modérateur provenant de loi de Lenz. Force volumique subie par l'échantillon :

Remarque

Voir Garing p si besoin d'une démo. Cette expression néglige le champ B dans le matériau et n'est donc valable que pour les dia/para magnétiques

1.1 Mise en évidence

Dispositif tout fait, Attention c'est fragile! la plaque est déjà cassée (wallah c'est pas oim!) pour l'instant ça marche encore.

Manip : Graphite au dessus de 4 aimants tête bêche. Bien faire le lien avec avec la force, la plaque est repoussée. Mais existence d'un minimum de potentiel au centre, d'où la position d'équilibre et la lévitation.

1.2 Diamagnétisme parfait : la supraconductivité

A basse température, certains métaux peuvent vérifier $\chi = -1$, soit $\vec{B} = \vec{0}$ dans l'état supra-conducteur. Les lignes de champ sont expulsées hors du matériau, d'où le nom de diamagnétisme parfait. La résistance électrique est quasi-nulle dans cet état .

Manip qualitatif : Lévitation d'un aimant au dessus du supra dans l'azote liquide. Expliquer qualitativement, et ne pas laisser croire qu'il s'agit du même type de lévitation que ce qu'on a montré avant!

Expérience : (probablement non présenté) Mesure de la température de transition en suivant la résistivité au cours du réchauffement. Utiliser le dispositif tout fait, un thermocouple type K, un ampli pour l'acquisition. Donner une ou deux applications de la supraconductivité.

↓ *Le diamagnétisme existe dans tous les matériaux. La structure électronique peut permettre une résultante de moment cinétique non nulle, qui entraîne un moment magnétique permanent dans la matière, susceptible de s'aligner avec $\vec{H}$.*

2 Paramagnétisme

2.1 Mesure de la susceptibilité de FeCl_3

L'équilibre hydrostatique d'un liquide paramagnétique soumis à un champ magnétique permet de déduire χ . Il faut avoir étalonné l'électro-aimant auparavant, et utiliser sa caractéristique B(I) sur la plage la plus longue possible sans se restreindre au domaine linéaire. On peut ajuster B(I) par un polynôme qui va bien. La caractérisation de l'électro-aimant est discutée à la fin du poly.

Voir Garing p308 pour le calcul, le reprendre sans faire d'hypothèse sur la section du tube.

Attention : Le champ B de la formule est évalué au niveau de la surface libre du liquide. Ne pas oublier que la déduction de la susceptibilité de FeCl_3 n'est pas immédiate et l'additivité des moments de Wiedman. Cette loi suppose qu'il n'y a pas d'interaction mutuelle entre le moment de l'eau et celui de FeCl_3 . C'est complètement justifiée ici : la susceptibilité de l'eau est de l'ordre de 10^{-5} , et le champ extérieur d'environ 1 T.

Expérience : électro-aimant à pièce tronconique (car champ plus fort). Alim 10 A. Lampe QI. Lentille de projection. Mesurer en montée et descente du liquide pour moyenner l'hystérésis du mouillage. Tracer $h = f(B^2)$. En déduire χ_{sol} , puis χ en négligeant la contribution de l'eau.

Les 2 valeurs tabulées pour l'eau et le FeCl_3 sont à côté dans un tableau du Fleury/Mathieu, cf tableau en fin d'index du livre. L'incertitude sur le champ magnétique n'est à mon avis pas largement prépondérante devant les autres. Il y a du dépôt sédimentaire au fond du flacon qu'on a du mal à dissoudre même en secouant comme un âne.

2.2 Paramagnétisme de O_2

Condenser de l'air dans une éprouvette avec de l'azote liquide. Seul l' O_2 est retenu par l'électro-aimant. On peut refroidir les pièces de l'électro-aimant avec du l'azote, et faire remarquer qu'il est diamagnétique. Projeter l'expérience.

↓ Lorsque l'alignement spontané des moments est possible sans champ extérieur, c'est le ferro-magnétisme. Le matériau a une M spontanée.

3 Ferromagnétisme

Montrer les lignes de champ d'un aimant permanent.

On prend deux bouts de fer, ils ne s'attirent pas, pourquoi? Domaines de Weiss! Montrer les domaines avec le microscope polarisant. La mise en mouvement des domaines entraîne une NL de la relation $\vec{M}(\vec{H})$, dépendant de l'histoire du matériau. But : obtenir $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}(\vec{H}))$ et quantifier cette non-linéarité.

3.1 Cycle d'hystérésis

Présenter le montage et son principe. On utilise un montage intégrateur tout fait de la collec. Ce n'est pas le pseudo-intégrateur du Précis-Bréal, on est donc pas limités en fréquence, ce qui permet de tracer le cycle en statique et à haute fréquence sans changer de source. On utilise tout le temps le même GBF et un ampli de puissance. Pour passer en statique : Utility/DC-on. Attention : le tore d'acier doux et sacrément dur, c'est louche, même si ces notions sont très subjectives et n'ont pas de définition précise, ça peut être déroutant (pour soit-même et pour le jury) d'obtenir un tel cycle alors qu'on attendrait quelque chose de tout fin. J'ai donc choisi de comparer les trois tores de ferrite.

Expérience : Montrer le cycle dynamique sur la ferrite à BF. Définir H_c et B_r . Les mesurer, comparer à des ODG (cf techniques de l'ingénieur). En statique, se promener sur le cycle et montrer micro-réversibilité.

Remarque

La comparaison avec des ODG n'est pas facile. Il y a énormément de variétés de ferrites différentes, même parmi celles à base de magnésium. Vu qu'on contrôle le frittage et la composition, les gens sont en fait à peu près capables d'obtenir ce qu'ils veulent en terme d'allure de cycle. Attention aux valeurs prises dans le Handboo, elles sont en CGS, donc à diviser par 4π . Attention à "l'aimantation à saturation" indiquée sur le boîtier, ce n'est ni le champ rémanent, ni le champ à saturation... Il faut retirer $\mu_0 H_{sat}$ et donc fixer un critère pour savoir à quelle valeur de H_{sat} le matériau est effectivement saturé.

Manip qualitatif : Interprétation microscopique : évolution des parois lors de l'aimantation, à montrer avec un aimant sur l'image projetée des domaines de Weiss.

Manip qualitatif : On revient sur l'oscillo, on désaimante le matériau et on trace une courbe de première aimantation. Expliquer microscopiquement.

Pour conclure cette partie : montrer les cycles des 3 ferrites qu'on a obtenu par acquisition sur un même graphe. On peut ne pas les mettre en unités réelles et laisser des volts, c'est juste un support à la discussion sur les formes de cycle. L'avantage de choisir les ferrites, c'est que les cycles ne sont pas trop différents en amplitude, et qu'elles Expliquer dur et mou. Moralité : bien choisir son ferromagnétique en fonction du besoin. Cas de l'aimant permanent, du transformateur, et de l'électro-aimant.

3.2 Exemple d'application du ferromagnétisme : l'électro-aimant

Présenter le calcul, introduire la réluctance : les ferromagnétiques canalisent $\vec{B}$, d'où leur intérêt pour créer des champ forts ou assurer un couplage inductif entre deux circuits. Montrer une mesure du champ en fonction de I devant le jury. Présenter la courbe caractéristique $B(I)$, montrer qu'on peut la modéliser par un polynôme d'ordre 3 ou 4 qu'on utilise dans la suite. Mais que vaut l'incertitude sur B ? Il y a une petite incertitude de lecture de l'amperemètre, une autre due à l'inhomogénéité du champ dans l'entrefer (très faible avec le tronconique si on prend les bonnes

précautions), et une autre due à l'hystérésis du matériau.

Erreur due à l'hystérésis : montrer quelques points sur le cycle d'hystérésis de l'électro-aimant. On ne peut pas atteindre le cycle limite, car ça demanderait un courant plus important que le max supporté par le bobinage, mais l'important est d'évaluer la largeur du cycle dans la gamme d'utilisation de l'appareil. J'obtiens environ 20 mT d'incertitude sur le champ B , simplement dû au fait que je ne contrôle pas dans quel sens je parcours le cycle pendant les mesures.

Remarque

Il est aussi possible de justement contrôler toujours le sens de parcours, cela suppose de faire toujours le même protocole quel que soit la manip : partir de 0, monter au max (6 A pour l'électro-aimant utilisé), et redescendre à 0. Cela permet d'être toujours sur la même branche et d'enlever ce terme de l'incertitude.

Présenter les courbes $B(I)$ pour deux valeurs de l'entrefer (l'une a été complétée devant le jury, l'autre a été faite en préparation). Discuter la canalisation des lignes de champs et la saturation.

Conclusion

On a vu trois types de milieux magnétiques, on a quantifié leur susceptibilité . Il y en d'autres tels que l'antiferromagnétisme. Avec d'autres moyens expérimentaux, on aurait pu s'intéresser à un problème très riche qui est l'évolution de ces susceptibilités avec la température : étudier la transition ferro/para, ainsi que la loi de Curie dans le domaine para pour remonter à la densité de moments magnétiques. Le ferro est abondamment utilisé (machines, transfos), on a compris pourquoi, et nous avons mis en avant les propriétés qui sont à l'origine des pertes de rendement des machines.

Commentaires et questions