Zeitschrift: Archives des sciences [1948-1980]

Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève

Band: 9 (1956)

Heft: 5: Colloque Ampère

Artikel: Mesure des champs magnétiques de faible intensité par les méthodes de résonance

Autor: Béné, G.-J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-739038

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Mesure des champs magnétiques de faible intensité par les méthodes de résonance

Par G.-J. Béné

Institut de Physique de l'Université, Genève.

Si les phénomènes liés au magnétisme sont connus depuis la plus haute antiquité, il n'est pas exagéré de dire que la mesure de l'amplitude des champs magnétiques est restée jusqu'à notre époque une opération délicate et malaisée. Il ne manque pourtant pas de méthodes, et le fait que toutes sont actuellement en honneur est peut-être l'indice qu'aucune d'entre elles n'est vraiment satisfaisante. Les méthodes classiques susceptibles de donner une précision acceptable mettent en jeu, soit:

1. La force électromotrice engendrée par la variation de flux dans un circuit fermé;
2. Le changement de résistance d'un conducteur placé dans un champ (bismuth);
3. L'orientation d'un petit aimant dans un champ magnétique.

Ces trois propriétés ont le caractère commun — regrettable — d'être liées, de manière plus ou moins compliquée, non au champ lui-même, mais à sa projection sur un plan ou un axe de référence.

Les défauts d'orientation sont critiques, mais peu probables d'ailleurs, si le champ étudié est assez uniforme et de direction connue.

La situation s'aggrave si la direction et l'amplitude du champ varient sensiblement avec la position. Une précision de 5% est aisément atteinte; pour avoir un pour mille, de très sérieuses précautions sont exigées; l'ordre du dix millième est à peu près impossible à atteindre, sauf dans le cas du champ terrestre. Encore faut-il que les dispositifs utilisés aient été préalablement étalonnés.

La spectroscopie nous fournit l'exemple de phénomènes liés linéairement à l'amplitude d'un champ magnétique. Dans l'effet Zeeman, les composantes provenant d'une raie spectrale sont distantes d'une quantité proportionnelle au champ appliqué. Malheureusement, dans le spectre visible, les ordres de grandeur sont très défavorables: dans un champ de 10 000 Oe.,

les composantes Zeeman ne sont séparées que par un écart des longueurs d'onde de l'ordre de 1 Å, ce qui fixe le pouvoir de résolution nécessaire pour déceler l'effet Zeeman.

C'est pourtant dans cette direction que se trouvait une solution élégante du problème: au lieu d'étudier l'effet Zeeman d'une raie spectrale, l'attention des physiciens fut naturellement orientée vers l'effet Zeeman d'un niveau d'énergie donné. L'écart des sous-niveaux, nul dans un champ nul, croît linéairement avec le champ, et la transition entre deux sous-niveaux adjacents a lieu à une fréquence proportionnelle au champ magnétique appliqué. De telles transitions sont rendues repérables par la résonance magnétique.

Etant donné les origines possibles du magnétisme dans la matière, deux « échelles » sont pratiquement utilisées:

le magnétisme électronique: 2,8 Mc/sec par Oe;

le magnétisme des noyaux atomiques: 4,25 kc/s par Oe. pour le proton.

Comme on le voit, les fréquences mises en jeu sont confinées dans le domaine hertzien et il est à première vue aisé de parcourir toute l'échelle des champs accessibles sans sortir de ce domaine spectral.

Les ondes hertziennes sont étudiées depuis les plus basses fréquences (quelques dizaines de cycles par seconde) jusqu'au domaine submillimétrique. La commodité des dispositifs et la nécessité d'utiliser des circuits résonants de dimensions raisonnables limitent la zone utilisable à la bande 1 kc/sec — 3 500 Mc/sec. La limite supérieure peut encore être réduite d'un facteur 10 si les dispositifs ne doivent pas être trop délicats.

Le domaine ainsi fixé précise les champs théoriquement accessibles: pour la résonance électronique, de 150 à 0,018 Oe. pour l'intervalle 400 Mc/sec — 50 kc/sec et pour la résonance des protons 10 000 — 1 Oe. pour l'intervalle 40 Mc/sec-4 kc/sec.

La fréquence de résonance est proportionnelle au champ appliqué et le rapport de proportionnalité est pratiquement une constante de la matière utilisée. Cette méthode est donc susceptible d'entrer en compétition avec les méthodes classiques, si elle apporte des avantages dans la précision ou la commodité d'emploi.

I. *Résonances protoniques dans le domaine conventionnel.*

La résonance du proton est aisément observée entre 500 kc/sec et 50 Mc/sec. (120-12 000 Oe). Les ondemètres utilisables donnent aisément

une précision de 10^{-6} dans cette gamme. Comme le moment du proton est connu à $2{,}2.10^{-5}$ près, et que les raies les plus fines ont une largeur de l'ordre de 2.10^{-6} Oe., les valeurs absolues des champs peuvent être déterminées aisément à 2.10^{-5} près et les valeurs relatives à 10^{-6}, les largeurs de raies n'entrant pratiquement pas en jeu.

Ces avantages sont appréciables si le champ n'est pas perturbé par la mesure elle-même: l'emploi d'un balayage alternatif du champ étudié peut être un inconvénient, mais l'aimantation des noyaux a un effet absolument négligeable.

Deux autres facteurs sont à considérer: le volume minimum sur lequel la mesure doit être faite, et le temps nécessaire à cette mesure. Cette dernière est pratiquement instantanée dans la gamme indiquée par l'emploi de solutions aqueuses de sels paramagnétiques de concentration convenable.

L'adaptation des résonances protoniques à la mesure des champs (et indirectement des courants électriques) a nécessité la réalisation de dispositifs où les causes d'imprécision ou d'incommodité sont éliminées le mieux possible. On a ainsi réalisé des têtes de résonance dans lesquelles l'échantillon occupe un volume très petit (de l'ordre de 1 mm^3) [1, 2]. Le balayage du champ magnétique a été supprimé et remplacé par un balayage en fréquence non mécanique [3]. Une exploitation convenable des effets de relaxation permet de repérer grossièrement la position de la résonance avant de la pointer avec exactitude [1]. L'emploi des transistors est à la base de dispositifs peu encombrants de mesure rapide des champs [4].

L'homogénéité des champs peut être étudiée à l'aide de la résonance. Les effets de relaxation ou la forme des transitoires [5] y sont étroitement liés. L'emploi de champs sans fer, de forme géométrique connue, a permis de tester avec certitude ces effets, soit sur un système d'Helmholtz [6], soit sur une bobine longue [7]. Pour les champs d'intensité supérieure à 10 000 Oe., les résonances de Li7, de D2 permettent de réduire l'échelle des fréquences de facteurs respectivement égaux à 2,5 et 6,5.

II. *Résonances protoniques aux basses fréquences.*

Les travaux sont relativement peu nombreux. On connaît les belles expériences de Brown. Lösche et ses élèves ont également exploré ce domaine. Trois dispositifs furent successivement réalisés par notre groupe:

1. Un premier permit d'explorer d'une manière continue les résonances protoniques entre 70 et 12 Oe. [8].

2. Le suivant permit de couvrir la gamme 10-2 Oe. [9].

Ces deux dispositifs permettent d'observer directement les résonances sur un oscilloscope avec balayage à 50 c/sec.

3. Le dernier, couvrant la gamme 3-0,5 Oe. [10] a nécessité l'amplification complémentaire d'un lock-in. Ce dernier dispositif a subi depuis l'été dernier quelques améliorations, notamment l'emploi de générateurs à quartz et par ailleurs l'enregistrement des signaux de résonance sur un suiveur de spot type SEFRAM. Les enregistrements montrent à la fois le signal central et les satellites, dus à l'interaction du balayage à basse fréquence.

D'autres améliorations permettront de tirer tout le parti possible de cette méthode dont la précision n'est en principe limitée que par la largeur des raies de résonance nucléaire. Il faut noter qu'aux fréquences inférieures à 50 kc/sec, la tête de mesure croît passablement de taille. Nous avons observé des résonances dans la bande 8-2 kc/s avec des échantillons de 0,5 à 2 l. Si l'on veut s'en tenir à des échantillons ne dépassant pas quelques centimètres cubes, il faut renoncer à la résonance nucléaire au-dessous de 100 kc/sec et préférer la résonance magnétique électronique.

III. *Résonance électronique dans les champs faibles.*

Les premières raies de résonance électronique, celles de sels paramagnétiques courants, étaient si larges (quelques centaines d'Oe.), que leur emploi pour la mesure des champs fut pratiquement écarté. La situation changea complètement avec la découverte de la résonance de radicaux libres (largeur de l'ordre de 1 Oe.). Ces signaux furent rapidement exploités, particulièrement par les physiciens du CERN, pour l'étude et la mesure de champs assez faibles (20-150 Oe.), assez rapidement variables et assez inhomogènes (synchrotron à protons). Gabillard, Grivet et ses collaborateurs ont décrit divers dispositifs basés sur l'emploi du DPPH aux fréquences comprises entre 50 et 2500 Mc/sec.

Malheureusement, il n'était pas encore question de mesures précises de ces champs, car une raie de 1 Oe. de largeur permet tout au plus une précision de l'ordre du millième. Un nouveau pas en avant fut rendu possible par la découverte des raies très fines de la résonance électronique des solutions de sodium dans l'ammoniac liquide (25 milliOersteds = 25 mOe.). La résonance de telles substances fut explorée dans notre laboratoire entre 30 Mc/sec et 50 kc/sec) [11]. Les pointés étant là encore réalisables

en une position définie par le dixième de la largeur de raie, on peut connaître à 2 mOe. près les champs accessibles à la résonance électronique. La précision relative est élevée pour les champs « forts » (supérieurs à quelques Oe.), mais il faut appliquer aux champs inférieurs à 50 mOe. une correction pour tenir compte de la déformation de la courbe de résonance aux basses fréquences. La précision absolue ne dépasse pratiquement pas 2 mOe., mais on peut étudier, comme nous l'avons fait, des champs d'amplitude totale inférieure à 20 mOe.

On peut dire que la plus grande partie du domaine des champs magnétiques accessibles (30 000 — 0,01 Oe.) est ainsi justiciable d'une méthode permettant, souvent avec précision, une mesure instantanée et absolue de leur grandeur.

1. Béné, G., P. Denis et R. Extermann, *Arch. Sc.*, *5*, 406, (1952).
2. —— *Annales de l'Inst. Polytechn. de Grenoble*, numéro spécial, p. 37 (1953).
3. Fischer, G., R. Beeler, C. Manus, G. Béné, P. Denis et R. Extermann, *Arch. Sc.*, *7*, 397 (1954).
4. Denis, P., *Cahiers de Physique*, *67*, 26 (1955).
5. Béné, G., P. Denis et R. Extermann, *HPA*, *26*, 267 (1953).
6. Béné, *HPA*, *24*, 367 (1951).
7. Dick, L., R. Foucher, N. Perrin, H. Vartapetian, G. Béné, P. Denis, et R. Extermann, *C. R. Acad. Sc.*, *239*, 1376 (1954).
8. Winter, J., C. Manus, G. Béné, P. Denis et R. Extermann, *Arch. Sc.*, *7*, 231 (1954).
9. Winter, J., J. Salmon, C. Manus, C. Béné, P. Denis et R. Extermann, *C. R. Acad. Sc.*, *239*, 803 (1954).
10. Manus, C., G. Béné, R. Extermann et R. Mercier, *HPA*, *28*, 617 (1955).
11. Beeler, R. et D. Roux (communication à ce colloque).