

MAGNÉTISME. — *Inhomogénéité du champ magnétique à la surface d'un échantillon ferromagnétique d'épaisseur finie.* Note (*) de M. ÉMILE OKAL, présentée par M. Alfred Kastler.

On étudie par une méthode expérimentale les variations du champ magnétique à la surface d'un disque ferromagnétique d'épaisseur finie; on discute l'homogénéité du champ dans une expérience de résonance ferromagnétique.

1. INTRODUCTION. — La théorie de l'électrodynamique des milieux continus montre que, pour qu'un corps magnétique plongé dans un champ magnétique extérieur H_{ext} soit le siège d'un champ magnétique \vec{H} uniforme, il est nécessaire qu'il soit de forme ellipsoïdale.

Dans de nombreuses expériences de résonance ferromagnétique, une bonne approximation de cette situation consiste à utiliser des échantillons cylindriques d'épaisseur réduite. Cependant la précision de cette approximation n'est en général pas explicitée.

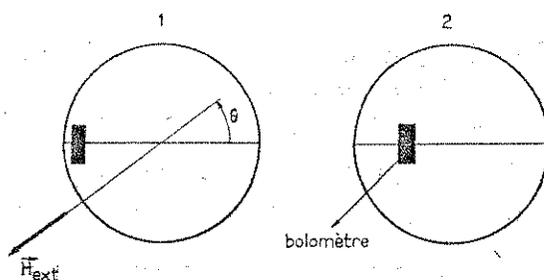


Fig. 1.

Nous présentons dans cet article une étude expérimentale du champ magnétique à la surface d'un échantillon de nickel dont l'épaisseur ($e = 1 \text{ mm}$) n'est pas négligeable devant le diamètre ($d = 19 \text{ mm}$).

Dans la dernière partie, nous comparons les résultats obtenus à ceux d'un calcul approché.

2. MÉTHODE DE MESURE. — Les résistances Allen-Bradley constituent, aux basses températures obtenues par refroidissement à l'hélium liquide, de bons détecteurs bolométriques. Cependant pour $T < 1,5^\circ\text{K}$, elles présentent vis-à-vis d'une onde de fréquence ω , une résonance de spin pour une induction magnétique $B_{\text{rés}} = (1/g\gamma)\omega$. Le spin de l'état fondamental $^3\text{P}_0$ de l'atome de carbone étant 1, on a $g = 2$ et $B_{\text{rés}} = (m/e)\omega$.

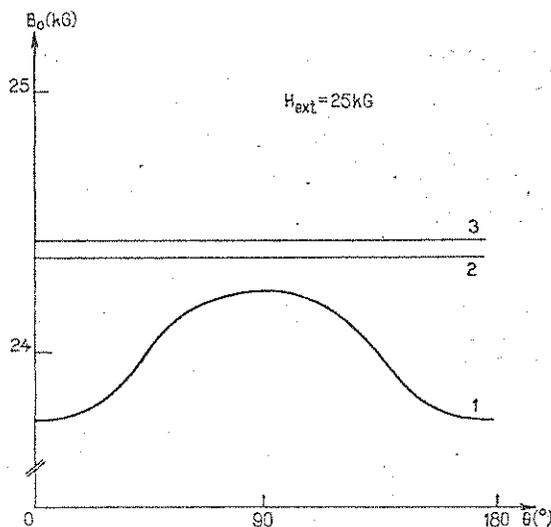


Fig. 2.

L'étude préalable de cette résonance, en l'absence de tout matériau magnétique, permet de vérifier cette interprétation et la valeur de $g\gamma = B_{\text{rés}}/\omega$.

Ainsi étalonné, le bolomètre au carbone, détectant lui-même la résonance dont il est le siège, peut faire office de sonde d'induction magnétique : en présence d'un corps ferromagnétique, et à une fréquence ω donnée, la résonance se produit pour un champ extérieur \vec{H}_{ext} tel que l'induction vue par le détecteur soit toujours $B_{\text{rés}}$. En déplaçant les positions relatives du champ extérieur et du détecteur, on construit la carte des valeurs de \vec{H}_{ext} qui donnent pour induction $B_{\text{rés}}$ aux différents points de la surface.

L'induction magnétique \vec{B}_0 à laquelle répond le détecteur est l'induction immédiatement à la surface de l'échantillon.

Aux très hautes fréquences ($f \sim 70 \text{ GHz}$) utilisées, les champs \vec{H}_{ext} nécessaires ($> 20 \text{ kGs}$) à la résonance suffisent à aimanter l'échantillon en un seul domaine. Par raison d'alignement, l'aimantation constante \vec{M} est dirigée selon \vec{H}_{ext} , c'est-à-dire dans le cas qui nous intéresse, parallèle-

ment à la surface. Les conditions classiques de continuité de B_n et \vec{H}' entraînent alors la continuité globale de \vec{H} à la surface. \vec{B}_0 représente donc le champ \vec{H}_i immédiatement à l'intérieur de l'échantillon.

Il reste maintenant à obtenir en retour la carte de \vec{H} en fonction du point choisi, à \vec{H}_{ext} constant : comme il s'agit de faibles variations, on y parvient par une mesure de la dérivée dH_{ext}/dH_i , obtenue en variant légèrement la fréquence ω de l'onde.

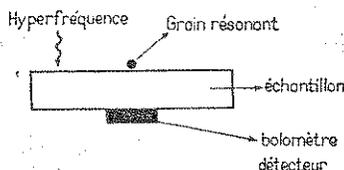


Fig. 3.

3. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL. — On utilise un spectromètre 4 mm à cavité Fabry-Pérot, alimenté par un klystron et refroidi à l'hélium pompé ($T = 1,5^\circ K$).

4. RÉSULTATS. — (o) *En l'absence de matériau magnétique*, on relève

$$B_{rés} = 26,01 \text{ kGs} \quad \text{à} \quad \lambda = 4,11736 \text{ mm}$$

et

$$B_{rés} = 24,21 \text{ kGs} \quad \text{à} \quad \lambda = 4,42333 \text{ mm}.$$

(1) *Bolomètre sur le bord de l'échantillon (fig. 1)*. — Les résultats sont rassemblés sur le tableau et la figure 2.

TABLEAU ($\lambda = 4,42333 \text{ mm}$).

θ	0.	20.	45.	70.	90.
H_{ext} pour $B = B_{rés}$	25,48	25,44	25,21	25,01	24,97
B_0 pour $H_{ext} = 25 \text{ kGs}$	23,73	23,77	24,00	24,20	24,23

(2) *Bolomètre au milieu du rayon (fig. 1)*. — A la précision de nos pointés ($\sim 1^\circ/00$), le champ H_{ext} est trouvé constant et égal quel que soit θ à 24,82 kGs, pour $\lambda = 4,42333 \text{ mm}$, soit $B_0 = 24,37 \text{ kGs}$, pour $H_{ext} = 25 \text{ kGs}$.

(3) *Bolomètre au centre*. — Dans ce cas, on risquerait par le montage usuel d'amortir la cavité Fabry-Pérot qui ne pourrait plus résonner. Aussi remplace-t-on le bolomètre par un minuscule grain de la même matière. A la résonance, la variation d'absorption électromagnétique se traduit par

(4)

l'échauffement de l'échantillon, qui est lui-même détecté par un deuxième bolomètre au carbone, en bon contact thermique avec l'échantillon, mais placé cette fois derrière lui, insensible à l'hyperfréquence (*fig. 3*).

On obtient alors

$$H_{\text{ext}} = 26,67 \text{ kGs} \quad \text{pour } \lambda = 4,10588 \text{ mm,}$$

soit

$$B_0 = 24,43 \text{ kGs} \quad \text{pour } H_{\text{ext}} = 25 \text{ kGs.}$$

5. DISCUSSION. — L'ensemble de ces résultats prouve qu'à l'intérieur du cercle de rayon $R/2$, le champ est constant à environ 3 ‰ près.

Un calcul numérique approché sur ordinateur, utilisant les charges fictives de polarisation du champ démagnétisant confirme ce chiffre de 3 ‰

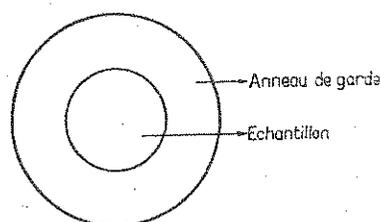


Fig. 4.

mais donne cependant un champ légèrement plus fort. On peut attribuer ce désaccord, d'une part au fait que le bolomètre n'étant pas ponctuel, il ne peut mesurer le champ exactement à la surface, et d'autre part, à l'incertitude avec laquelle est connue l'aimantation M aux très basses températures.

On peut conclure que dans une expérience de résonance ferromagnétique sur un échantillon ayant un rapport $d/e = 10$, il suffit de le munir d'un anneau de garde portant ce rapport à 20, pour assurer la constance du champ à l'intérieur de l'échantillon lui-même à mieux que 1 ‰ près (*fig. 4*).

(*) Séance du 5 avril 1971.

(Groupe de Physique
des Solides de l'E. N. S.,
24, rue Lhomond,
75-Paris, 5^e.)