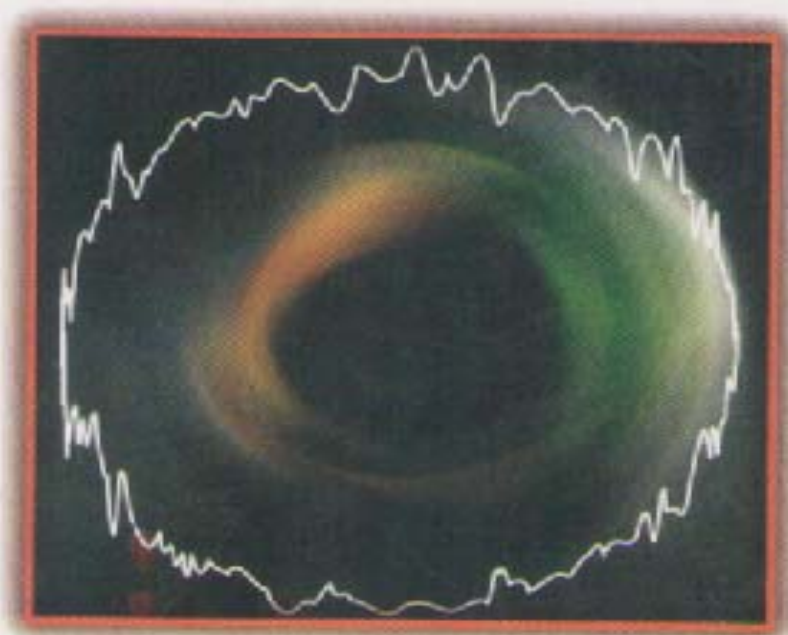


Abdelhamid LAYADI

# INTRODUCTION AU MAGNÉTISME



Office des Publications Universitaires

Abdelha

Maitre de Conférences

Université Ferhat ABBAS, Sétif



2-538-14-1

# INTRODUCTION AU MAGNÉTISME



OFFICE DES PUBLICATIONS UNIVERSITAIRES

1, Place centrale de Ben-Aknoun (Alger)

**TABLES DES MATIERES**

**CHAPITRE 1 : RAPPELS DE MAGNETOSTATIQUE**

**DANS LE VIDE**

1. Introduction	1
2. Les champs $B$ et $H$	5
3. La Loi de Biot et Savart	7
4. La Loi d'Ampère	10
5. Le potentiel vecteur $A$	10
6. La loi de Faraday	12
7. Force magnétique	17
7.1 Force sur une particule chargée	17
7.2 Force sur un conducteur	17
8. Le dipole magnétique	19
8.1 Définition	19
8.2 Moment magnétique $m$ d'un dipole	20
8.3 Potentiel et champ créés par un dipole	21

8.4 Dipole dans un champ magnétique uniforme $H$	22
---	----

PROBLEMES	24
-----------	----

## CHAPITRE 2 : ORIGINES DU MAGNETISME DANS LA MATIERE

29

1. Moment magnétique de l'atome	30
---------------------------------	----

1.1 Moment magnétique associé au mouvement orbital de l'électron	30
---	----

1.2 Relation entre le moment cinétique orbital $L$ et le moment magnétique $m$ de l'électron	32
--	----

1.3 Moment magnétique associé au spin de l'électron	34
--	----

1.4 Quantification des moments magnétiques	35
---	----

1.5 Moment magnétique total de l'atome	38
--	----

2. L'aimantation $M$	51
----------------------	----

3. La susceptibilité magnétique $X$	53
-------------------------------------	----

4. L'induction magnétique $B$	53
-------------------------------	----

5. Champs à la surface de séparation entre deux milieux	55
--	----

## Tables des Matières

6. Champ créé par la matière aimantée	57
6.1 Calcul de H par la méthode des courants équivalents	57
6.2 Méthode des charges magnétiques (ou potentiel scalaire)	62
6.3 Le champ démagnétisant	70
7. Classification des matériaux	73
<b>PROBLEMES</b>	78
<b>CHAPITRE 3 : DIAMAGNETISME</b>	85
1. Introduction	86
2. Interaction du moment magnétique de l'électron avec un champ magnétique uniforme	87
3. Susceptibilité diamagnétique	91
4. Propriétés magnétiques des supraconducteurs	96
<b>PROBLEMES</b>	105
<b>CHAPITRE 4 : PARAMAGNETISME</b>	109
1. Introduction	110
2. Théorie de Brillouin	112

## Introduction au Magnétisme

2.1 L'aimantation	112
2.2 L'aimantation à saturation	117
2.3 La loi de Curie	119
2.4 La loi de Curie-Weiss	122
3. La résonance paramagnétique	126
4. L'effet magnétocalorique	135
4.1 Introduction	135
4.2 La réfrigération par désaimantation adiabatique	137
5. Magnétisme dans les métaux	140
5.1 Introduction	140
5.2 Paramagnétisme de Pauli	143
5.3 Diamagnétisme de Landau	145
5.4 L'effet de Haas Van Alphen	146
<b>PROBLEMES</b>	147
<b>CHAPITRE 5 : FERROMAGNETISME</b>	157
1. Introduction	158
2. Théorie du champ moléculaire	161
2.1 Introduction	161
2.2 L'aimantation $M(T)$ dans la région ferromagnétique	166

## Tables des Matières

2.3	Température de Curie dans le modèle du champ moléculaire	168
2.4	La susceptibilité dans la région paramagnétique	169
3.	L'énergie d'échange	173
3.1	Introduction	173
3.2	Modèle d'Ising	177
3.3	Variation de l'intégrale d'échange en fonction de la distance interatomique	179
4.	La courbe d'hystérésis	181
PROBLEMES		185
CHAPITRE 6 : ANTIFERROMAGNETISME ET FERRIMAGNETISME		
		189
1.	Antiferromagnétisme	190
1.1	Introduction	190
1.2	Susceptibilité d'un corps antiferromagnétique	194
2.	Ferrimagnétisme	209
2.1	Introduction	209
2.2	Les corps ferrimagnétiques	210

2.3	Température de compensation	216
<b>PROBLEMES</b>		218
<b>CHAPITRE 7 : ANISOTROPIE MAGNETIQUE</b>		223
1.	Introduction	223
2.	Anisotropie de forme	227
2.1	Introduction	227
2.2	L'énergie d'anisotropie de forme	234
3.	Anisotropie magnétocristalline	236
3.1	Anisotropie uniaxe	236
3.2	Anisotropie cubique	240
3.3	Origine microscopique de l'anisotropie magnétocristalline	248
4.	Magnétostriction	250
4.1	Introduction	250
4.2	L'énergie d'anisotropie due à une contrainte	254
4.3	Origine microscopique de la magnétostriction	255
5.	L'anisotropie de surface	257
6.	L'anisotropie d'échange	260
<b>PROBLEMES</b>		269



## Tables des Matières

Appendice A : Les systèmes d'unités	275
Appendice B : Structure des atomes	285
Références	291



Le Docteur Abdelhamid LAYADI est professeur au Département de Physique de l'Université Ferhat ABBAS, à Sétif. Il a obtenu un Master et un PHD (en 1989) en Physique à Carnegie-Mellon University aux Etats-Unis et a travaillé au Centre de recherches en Magnétisme à CMU, Pittsburgh, USA. Il est auteur de plusieurs dizaines de publications récentes en magnétisme dans Phys. Rev. B, J. of Applied Physics et J. of Magnetism and Magnetic Materials.

Le magnétisme est un phénomène physique qui a fasciné et occupé les chercheurs pendant des siècles. Beaucoup d'applications technologiques sont basées sur le magnétisme: les moteurs, générateurs...Mais c'est surtout l'enregistrement magnétique (cassettes audio et vidéo, disquette et CD dans les ordinateurs...) qui suscite, en ce moment, un intérêt particulier dans les centres de recherches et les universités.

Ce livre contient les notions fondamentales de Magnétisme.

On y trouvera les différentes lois qui lient le champ magnétique au courant électrique, l'origine du magnétisme dans la matière, les propriétés magnétiques des matériaux (diamagnétisme, paramagnétisme, ferromagnétisme, antiferromagnétisme et ferrimagnétisme), l'anisotropie magnétique...D'autres phénomènes magnétiques (la résonance magnétique, le magnétisme dans les métaux et les supraconducteurs...) sont aussi décrits.

Cet ouvrage peut être utilisé comme manuel pour le module 'Magnétisme prévu, dans les nouveaux programmes, en 4<sup>ème</sup> année de la filière 'DES en Physique' et pour les Ingénieurs. Il est également recommandé dans les cours classiques de 'Physique du Solide' pour les étudiants préparant un DES ou un Ingénierat. Certains points ont été développés (comme l'anisotropie magnétique...) et seraient, plutôt, destinés aux étudiants en Post-graduation voulant se spécialiser en magnétisme. Finalement, l'ouvrage pourrait aussi servir de base et de référence aux chercheurs dans ce domaine.