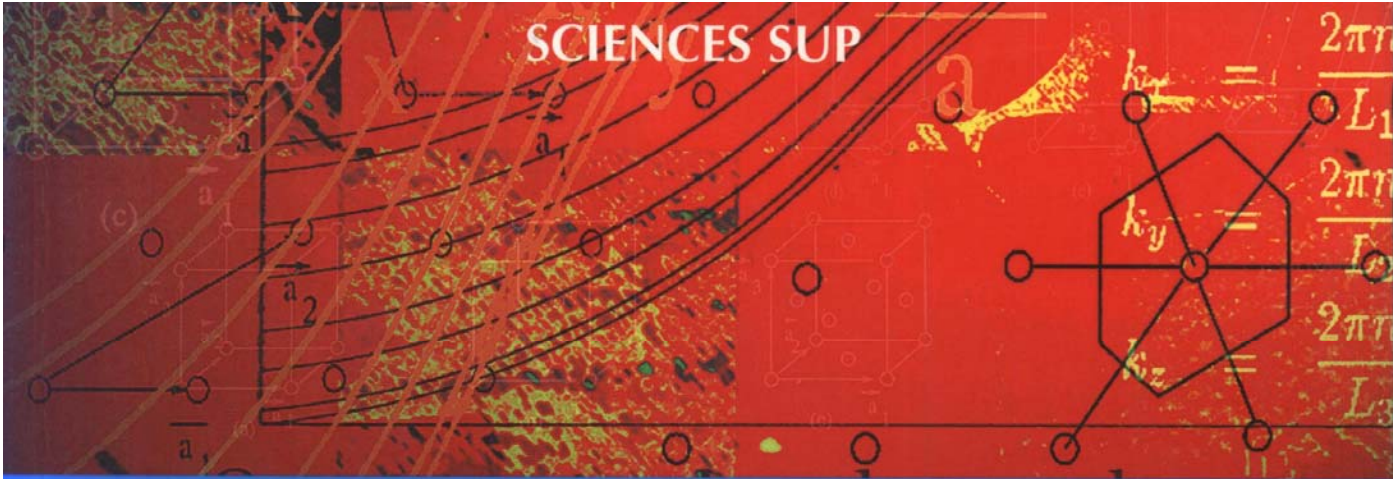




SCIENCES SUP

Cours, exercices et problèmes corrigés

Licence 3^e année • Master • Écoles d'ingénieurs

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

Hung T. Diep

DUNOD

2-530-106-1

2-530-106-1

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

Cours, exercices
et problèmes corrigés



Hung T. Diep

Professeur à l'université de Cergy-Pontoise

DUNOD

Table des matières

Avant-propos	IX
--------------	----

CHAPITRE 1 • ÉLÉMENTS DE PHYSIQUE STATISTIQUE	1
--	----------

1.1	Introduction	1
1.2	Systèmes isolés : description microcanonique	2
1.3	Systèmes en contact avec un réservoir de chaleur : description canonique	3
1.4	Systèmes en contact avec un réservoir de chaleur et de particules : description grand-canonique	6
1.5	Distribution de Fermi-Dirac et Bose-Einstein	8
1.6	Espace de phase - Densité d'états	10

Exercices et problèmes	11
------------------------	----

I ÉLECTRONS

CHAPITRE 2 • MODÈLE DES ÉLECTRONS LIBRES DU MÉTAL	15
--	-----------

2.1	Introduction	15
2.2	Théorie des électrons libres	16
2.3	Propriétés générales : relations fondamentales	20
2.4	Propriétés à température nulle	21
2.5	Propriétés à basse température	22
2.6	Conclusion	25

Exercices et problèmes	25
------------------------	----

CHAPITRE 3 • SYMÉTRIE CRISTALLINE	28
3.1 Introduction	28
3.2 Réseaux cristallins : description	28
3.3 Réseaux de Bravais	29
3.4 Réseaux réciproques	33
3.5 Zones de Brillouin	36
3.6 Règles de somme, analyse de Fourier	38
3.7 Conclusion	41
Exercices et problèmes	42
CHAPITRE 4 • BANDES D'ÉNERGIE (I) : MODÈLE DES ÉLECTRONS PRESQUE LIBRES	43
4.1 Fonction d'onde d'un électron dans un potentiel périodique : fonction de Bloch	43
4.2 Représentation de zone étendue, représentation de zone réduite	45
4.3 Modèle des électrons presque libres	47
4.4 Électrons dans un potentiel périodique : équation générale	53
4.5 Remplissage d'une bande d'énergie : classification des matériaux du point de vue de bande d'énergie	55
4.6 Semi-conducteurs : généralités	56
4.7 Conclusion	60
Exercices et problèmes	60
CHAPITRE 5 • BANDES D'ÉNERGIE (II) : MODÈLE DES LIAISONS FORTES	63
5.1 Bande d'énergie en une dimension	63
5.2 Cas de trois dimensions	67
5.3 Vitesse, accélération, masse effective	68
5.4 Conclusion	69
Exercices et problèmes	70

II PHONONS

CHAPITRE 6 • DYNAMIQUE DU RÉSEAU CRISTALLIN (I)	75
6.1 Introduction	75
6.2 Approximation harmonique	76
6.3 Vibrations d'un réseau d'atomes à une dimension	78
6.4 Cas de deux et trois dimensions	81
6.5 Notion de quantification de vibrations : phonon	85
6.6 Conclusion	88
Exercices et problèmes	88

CHAPITRE 7 • DYNAMIQUE DU RÉSEAU CRISTALLIN (II)	91
7.1 Introduction	91
7.2 Densité de modes	92
7.3 Propriétés thermodynamiques	94
7.4 Conclusion	98
Exercices et problèmes	98

III MAGNÉTISME

CHAPITRE 8 • SYSTÈMES DE SPINS SANS INTERACTION	103
8.1 Introduction	103
8.2 Paramagnétisme	104
8.3 Diamagnétisme atomique	107
8.4 Diamagnétisme de Landau	109
8.5 Effet de Hass-van Alphen	114
8.6 Conclusion	116
Exercices et problèmes	116

CHAPITRE 9 • FERROMAGNÉTISME : ORIGINE ET THÉORIE DU CHAMP MOYEN	119
9.1 Systèmes de spins en interaction	119
9.2 Ferromagnétisme dans l'approximation du champ moyen	120
9.3 Anisotropie magnétique	127
9.4 Conclusion	128
9.5 Complément : origine de l'interaction magnétique	128
Exercices et problèmes	136

CHAPITRE 10 • THÉORIE DES MAGNONS DANS LES FERROMAGNÉTIQUES	137
10.1 Traitement classique	137
10.2 Théorie quantique : méthode de Holstein-Primakoff	141
10.3 Propriétés magnétiques d'un ferromagnétique à basse température	144
10.4 Conclusion	146
Exercices et problèmes	147

CHAPITRE 11 • ANTIFERROMAGNÉTISME - FERRIMAGNÉTISME	149
11.1 Antiferromagnétisme	149
11.2 Antiferromagnétisme : théorie des magnons	155
11.3 Ferrimagnétisme	161
11.4 Conclusion	164
Exercices et problèmes	165

IV SUJETS AVANCÉS EN PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

CHAPITRE 12 • ÉLECTRONS EN INTERACTION : APPROXIMATION DE HARTREE-FOCK	169
12.1 Introduction	169
12.2 Fonction d'onde antisymétrique	170
12.3 Équation de Hartree-Fock	172
12.4 Gaz d'électrons en interaction	175
12.5 Conclusion	182
Exercices et problèmes	183
CHAPITRE 13 • MÉTHODE DE LA SECONDE QUANTIFICATION	185
13.1 Introduction	185
13.2 Cas des bosons	186
13.3 Cas des fermions	190
13.4 Opérateurs de champ	196
13.5 État fondamental et état excité	198
13.6 Applications : gaz d'électrons en interaction	199
13.7 Conclusion	207
Exercices et problèmes	207
CHAPITRE 14 • SIMULATION MONTE CARLO ET TRANSITION DE PHASE	211
14.1 Introduction	211
14.2 Transition de phase : généralités	212
14.3 Transition de phase : théorie de Landau-Ginzburg	216
14.4 Groupe de renormalisation	221
14.5 Simulation Monte Carlo	226
14.6 Techniques avancées de simulation Monte Carlo	238
14.7 Conclusion	241
Exercices et problèmes	242
CHAPITRE 15 • FONCTION DE GREEN EN MAGNÉTISME	244
15.1 Définition	244
15.2 Formalisme de la fonction de Green	245
15.3 Ferromagnétisme	246
15.4 Antiferromagnétisme	251
15.5 Conclusion	253
Exercices et problèmes	253

CHAPITRE 16 • MAGNÉTISME DES SURFACES	255
16.1 Surface : géométrie et paramètres	255
16.2 Magnétisme des surfaces : généralités	256
16.3 Solides semi-infinis	258
16.4 Films minces ferromagnétiques	262
16.5 Films minces antiferromagnétiques	268
16.6 Discussion	271
16.7 Conclusion	272
Exercices et problèmes	272
 CHAPITRE 17 • PHÉNOMÈNES DE TRANSPORT	 273
17.1 Introduction	273
17.2 Équation de Boltzmann	274
17.3 Équation de Boltzmann linéarisée	276
17.4 Application : loi d'Ohm	278
17.5 Autres conductivités	280
17.6 Calcul du coefficient de diffusion par l'équation de Boltzmann	284
17.7 Électrons dans un champ électrique fort	286
17.8 Différents types de collision dans les solides	292
17.9 Conclusion	292
Exercices et problèmes	293
 CHAPITRE 18 • SYSTÈMES DE SPINS FRUSTRÉS	 302
18.1 Introduction	302
18.2 Frustration : définition - exemples	303
18.3 Hélimagnétisme : excitations élémentaires	306
18.4 Systèmes de spins d'Ising frustrés solubles	309
18.5 Systèmes de spins autres que le modèle d'Ising	317
18.6 Conclusion	319
Exercices et problèmes	319
 ANNEXES	
 ANNEXE A • Développement de Sommerfeld	 321
 ANNEXE B • Relations de commutation des opérateurs de Holstein-Primakoff	 322
 ANNEXE C • Corrigés des exercices et des problèmes	 325
 Bibliographie	 349
Index	353

SCIENCES SUP



Hung T. Diep

PHYSIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE

La physique de la matière condensée est sans conteste l'une des disciplines phares de la physique, un domaine de recherche riche et incontournable, dont les applications semblent illimitées. Découvert il y a un peu plus de cinquante ans, le semi-conducteur en est l'une des réalisations les plus remarquables.

Cet ouvrage complet et accessible présente, avec un vocabulaire simple mais précis, les bases théoriques de la physique de la matière condensée nécessaires à la compréhension des phénomènes observés dans les solides. De nombreux exemples et des exercices ou problèmes corrigés illustrent le propos du livre et permettent au lecteur de s'entraîner ou d'explorer de nouvelles applications.

Après un premier chapitre rappelant les connaissances de base en mécanique statistique, l'ouvrage couvre en quatre parties l'ensemble de la discipline : les propriétés des électrons dans l'état cristallin, les vibrations du réseau d'atomes du solide, le magnétisme, et enfin quelques développements permettant d'aborder nombre d'applications.

HUNG T. DIEP
est professeur à
l'Université de Cergy-
Pontoise.



9 782100 068524

ISBN 2 10 006852 0



<http://www.dunod.com>

