

# TABLE DES MATIERES

## CONTENTS

### A.B. PIPPARD

#### THE DYNAMICS OF CONDUCTION ELECTRONS

<i>Introduction: apologia and bibliographical notes.</i> .....	3
I. <i>Motion of an Electron in One Dimension</i> .....	4
Kronig—Penney model, two-wave approximation, energy gaps, equations of motion, reduced and periodically extended zone schemes.	
II. <i>Motion of an Electron in Three Dimensions</i> .....	11
A. The free electron .....	11
boundary conditions, density of states, electrical conductivity, Lorentz force, energy levels in a magnetic field, magnetoresistance, de Haas—van Alphen effect.	
B. Electrons in a crystal lattice .....	25
nature of wavefunctions, pseudo-potential approximation, Bloch functions, reciprocal lattice, atomic cells and Brillouin zones, remapping of energy surfaces.	
C. Dynamics of an Electron (No Magnetic Field). .....	33
particle velocity, equations of motion, effective mass, density of states, specific heat.	
III. <i>The Boltzmann Transport Equation</i> .....	36
derivation, solution for uniform field and temperature gradient	
Hard Fermi Surface method, electrical and thermal conductivity, thermoelectric effects, Wiedemann—Franz Law, elastic and inelastic collisions.	
IV. <i>Boundaries and Size Effects</i> .....	46
laws of reflexion and refraction, stacking fault, experiment of Friedman and Koenig, surface reflexion and scattering, conduction in thin wire.	

V. <i>Spatially Varying Electric Field</i> .....	51
Fourier components of transverse conductivity, average related to area of Fermi surface, violations of Uncertainty Principle, longitudinal conductivity, plasma oscillations, non-local relation between field and current.	
VI. <i>The Anomalous Skin Effect</i> .....	58
general theory, retardation effects, Holstein limit, field diffusion in "perfect conductor," surface reflexion and scattering, determination of Fermi surfaces.	
VII. <i>Interactions between Electrons</i> .....	71
plasma modes, screening, excitations, definition of Fermi surface, stability of excitations, model of an excitation, currents caused by screened particles, effective charge, influence of interactions on the anomalous skin effect, susceptibility, and Wiedemann—Franz Law.	
VIII. <i>Dynamics of an Electron in a Magnetic Field</i> .....	81
orbits in real and $k$ -space, classification of orbits, enumeration of electrons and holes, cyclotron frequency, quantization of orbits.	
IX. <i>Magnetoresistance and Related Galvanomagnetic Effects</i> .....	90
Kohler's rule, quadratic effects in a cubic metal, magnetoresistance positive, two-band model, high field behaviour, conditions for saturation of transverse magnetoresistance, limit of Hall effect, topological application of magnetoresistance, longitudinal magnetoresistance, thermal resistance, Reghi—Leduc effect.	
X. <i>The de Haas—van Alphen and Associated Effects</i> .....	101
semi-classical general theory, importance of extremal areas, factors influencing the amplitude, determination of Fermi surfaces, observations on noble metals, effective charge, oscillations of density of states, Schubnikov effect.	
XI. <i>Acoustic Attenuation</i> .....	110
A. <i>General Principles</i> .....	110
adiabatic deformations, deformation parameter, relaxation theory of elastic modulus, properties of the parameter $D_{ij}$ , insufficiency of relaxation time assumption, screening in longitudinal and transverse waves, general theory for arbitrary free path, behaviour in the limit of long free path, failure of transverse screening, relation to electron-phonon interactions, thermal conductivity of alloys.	
B. <i>Magneto-acoustic Effects</i> .....	123
oscillations in transverse field due to closed orbits, application to Fermi surface determination, resonance in transverse field due to periodic open orbits, absorption edges in a longitudinal field, absorption edges in a nearly transverse field.	

XII. <i>Cyclotron Resonance</i> .....	129
Azbel'—Kaner effect, approximate theory, resonance at limiting point, applications, Galt effect.	

*Appendices*

1. The Kronig-Penney $\delta$ -function model .....	140
2. The 2-wave approximation .....	141
3. Momentum in a magnetic field .....	142
4. Shift of origin in $k$ -space .....	143
5. Conduction in a thin wire .....	144
6. Relaxation and elasticity .....	145

*M. TINKHAM*

## SUPERCONDUCTIVITY

I. <i>Basic Properties of Superconductors</i> .....	149
A. Perfect conductivity .....	149
B. Perfect diamagnetism .....	150
C. Thermodynamic properties .....	150
II. <i>Early Theories</i> .....	152
A. Two-fluid model .....	152
B. Perfect conductivity model .....	153
C. London theory .....	154
D. Gorter—Casimir—London theory .....	156
E. Introduction of the vector potential in superconductivity theory .....	158
III. <i>More Recent Developments</i> .....	160
A. Isotope effect .....	161
B. Pippard's non-local modification of the London theory .....	161
C. Energy gap in electromagnetic absorption .....	167
D. Ferrell—Glover sum rule .....	170
IV. <i>Bardeen—Cooper—Schrieffer Theory — Equilibrium Properties</i> ...	176
A. Introduction .....	176
B. BCS solution for the ground state .....	180
C. Excitations from the BCS ground state .....	184
D. Minimization of free energy .....	187
V. <i>Alternate Formulations of the BCS Theory</i> .....	192
A. The Anderson pseudospin formulation .....	192
B. The Bogoliubov—Valatin transformation .....	200
C. The Anderson theory of dirty superconductors .....	202

<b>VI. BCS Theory — Dynamic Properties of Superconductors .....</b>	<b>204</b>
A. Coherence effects in matrix elements .....	204
B. Transition probabilities and energy absorption .....	206
C. Electrodynamic properties .....	211
D. Persistent currents .....	216
<b>VII. Ginzburg—Landau—Gor'kov Theory and Related Topics .....</b>	<b>218</b>
A. Formulation of the theory .....	218
B. Applications to bulk samples .....	221
C. Application to thin films and small specimens .....	223
D. Persistence of superconductivity across intermetallic boundaries .....	227
<i>References .....</i>	228
<i>Appendix by C. Kittel</i>	
Quantized Magnetic Flux in Superconductors .....	228

*H. SUHL*

## MAGNETISM AND SUPERCONDUCTIVITY

<i>Introduction .....</i>	233
<b>I. The Question of Uniform Spin Polarization in Superconductors ..</b>	<b>234</b>
<b>II. Attempts to Explain the Observed Spin Polarization .....</b>	<b>238</b>
A. Parallel spin pairing .....	238
B. Spin-orbit coupling combined with surface scattering .....	241
C. Extension of the B.C.S. theory to finite density .....	243
D. Other attempts .....	244
<b>III. Impurities, Especially Magnetic Impurities, in Superconductors ..</b>	<b>244</b>
A. Procedural questions .....	246
B. The Hartree—Fock equations generalized to superconductors .....	248
C. “Localized” superconductivity .....	256
D. Multiple scattering .....	258
<i>Appendix</i>	
Spin Ordering in Superconductors .....	258
<i>References .....</i>	260

J. BEENAKKER

## PROPERTIES OF HELIUM 3 AND 4

I.	<i>The Similarity between <math>^3\text{He}</math> and <math>^4\text{He}</math></i> .....	263
1.	The interaction between two atoms .....	263
2.	The law of corresponding states .....	264
II.	<i>Superfluidity in <math>^4\text{He}</math> II</i> .....	266
1.	Some experimental data .....	266
2.	The two-fluid model .....	267
3.	The Landau excitation spectrum .....	269
4.	The Landau argument for superfluidity .....	271
5.	The background of the two-fluid model .....	272
6.	Feynman's arguments for the scarcity of low lying energy states .....	273
7.	The character of the lambda point .....	274
III.	<i>The Flowproperties of Helium II</i> .....	275
1.	The equations of motion .....	275
2.	The flow through capillaries — Introduction .....	277
3.	The flow through capillaries at intermediate velocities .....	279
4.	The flow through capillaries at high velocities .....	280
IV.	<i>Rotation of the Superfluid</i> .....	281
1.	Introduction .....	281
2.	The experimental evidence for the existence of vortices .....	283
3.	Experimental evidence for quantized circulation .....	284
4.	Final conclusions .....	285
V.	<i>The Transport Properties of the Excitation Gas.</i> .....	285
1.	Experimental data .....	285
2.	A qualitative interpretation of the viscosity .....	285
3.	An illustration of the excitation gas model on the viscosity of dilute $^3\text{He}$ — $^4\text{He}$ mixtures .....	287
VI.	<i>The Properties of Liquid <math>^3\text{He}</math></i> .....	288
1.	Experimental data .....	288
2.	The ideal Fermi—Dirac gas .....	290
3.	Landau's Fermi liquid model .....	292
VII.	<i>Liquid Mixtures of <math>^3\text{He}</math> and <math>^4\text{He}</math></i> .....	295
1.	The phase diagram .....	295
2.	The thermodynamic data .....	298
3.	Pomeranchuk excitation spectrum for dilute solutions .....	302
	<i>Literature</i> .....	304

## A. HERPIN

## MAGNETISME

I.	<i>Introduction — Théorie Classique</i>	309
1.	La théorie du paramagnétisme de Langevin .....	309
2.	La théorie du ferromagnétisme de Weiss .....	311
3.	Champ moléculaire local .....	312
4.	Le champ moléculaire négatif .....	314
II.	<i>Les Moments Magnétiques</i> .....	319
1.	Théorie classique .....	319
2.	Moments magnétiques atomiques .....	322
3.	Théorèmes de Kramers .....	324
4.	Cas des terres rares et du groupe du fer .....	325
III.	<i>La Théorie de Heisenberg</i> .....	327
1.	La molécule H <sub>2</sub> .....	327
2.	Généralisation à un cristal .....	330
3.	La théorie des bandes .....	332
IV.	<i>Le Superechange</i> .....	334
1.	La théorie de Van Vleck .....	335
2.	La théorie d'Anderson .....	338
V.	<i>Anisotropie Magnétique</i> .....	344
VI.	<i>Les Ondes de Spin</i> .....	351
1.	Formalisme de Holstein—Primakoff .....	352
2.	Conséquences des ondes de spin .....	355
3.	Théorie semi-classique des ondes de spin .....	358
4.	Influence du champ extérieur, de l'anisotropie et du couplage dipolaire .....	360
VII.	<i>Antiferromagnétisme</i> .....	366
1.	Les différents types d'antiferromagnétiques .....	366
2.	Les antiferromagnétiques à deux sous-réseaux .....	373
3.	Helimagnétisme .....	381
4.	Les ondes de spin dans les antiferromagnétiques .....	383
VIII.	<i>Structures Magnétiques Particulières</i> .....	393
1.	Le ferromagnétisme faible .....	393
2.	Structures magnétiques des métaux de terre rare .....	396
IX.	<i>Le Ferrimagnétisme</i> .....	402
1.	Les ferrites .....	404
2.	Couplage triangulaire de Yaffet et Kittel .....	406

**L. NEEL****PROPRIÉTÉS DES GRAINS FINS ANTIFERROMAGNÉTIQUES**

<b>1. Avant-propos .....</b>	<b>413</b>
<b>A. Généralités sur l'antiferromagnétisme .....</b>	<b>413</b>
<b>2. Interactions et champ moléculaire.</b> 3. Cas des températures élevées. 4. Cas des basses températures. 5. Susceptibilité perpendiculaire. 6. Susceptibilité parallèle. 7. L'énergie magnétocristalline et son rôle. 8. Découplage. 9. Hélimagnétisme. 10. Propriétés magnétiques de NiO à l'état massif. 11. Propriétés magnétiques des grains très fins de NiO.	
<b>B. Superparamagnétisme des grains fins antiferromagnétiques .....</b>	<b>420</b>
<b>12. Structure des grains très fins.</b> 13. Le superparamagnétisme des grains ultra-fins. 14. Blocage de l'orientation des moments. 15. Aimantation thermorémanente. 16. Comparaison avec l'expérience. 17. Origine du blocage des moments magnétiques des grains. 18. L'énergie magnétocristalline de surface comme cause de blocage. 19. Arguments expérimentaux en faveur d'un blocage dû à une énergie de surface.	
<b>C. Superantiferromagnétisme de grains fins antiferromagnétiques .....</b>	<b>429</b>
<b>20. Propriétés magnétiques de grains antiferromagnétiques relativement gros.</b> 21. Équilibre dans un champ magnétique des moments des plans réticulaires actifs d'un grain. 22. La notion de moment d'extrémité. 23. Cas où le champ est de l'ordre de $4n_1 M/n$ . 24. Résolution de l'équation différentielle. 25. Résultats numériques. 26. Cas où le moment d'extrémité diffère de $M/2$ . 27. Variation du moment magnétique des plans réticulaires actifs en fonction de leur distance à la surface du grain. 28. Moment d'extrémité. 29. Rôle des grains contenant un nombre impair de plans réticulaires actifs. 30. Diminution éventuelle du moment permanent des grains ultra-fins par effet de surface.	

**C. KITTEL****MAGNONS**

<b>I. Ferromagnetic Magnons .....</b>	<b>443</b>
A. Holstein—Primakoff transformation .....	444
B. Spin-wave variables .....	445
C. Hamiltonian in spin-wave variables .....	446
D. Magnon exchange interactions .....	447
E. Magnon heat capacity .....	448
F. Magnetization reversal .....	449
<b>II. Antiferromagnetic Magnons .....</b>	<b>450</b>
A. Zero-point energy .....	453
B. Zero-point sublattice magnetization .....	453
C. Heat capacity .....	454
D. Temperature dependence of sublattice magnetization .....	454

<b>III. Macroscopic Magnon Theory .....</b>	<b>455</b>
A. Representation of the exchange energy .....	459
B. Surface correction .....	462
C. Classical macroscopic treatment based on the torque equation .....	462
D. Zero-point amplitude .....	464
<b>IV. Excitation of Spin Waves in Ferromagnets .....</b>	<b>464</b>
A. Parallel pumping .....	465
B. Magnon-phonon coupling .....	467
C. Elementary theory of magnon exchange interactions .....	469
D. Magnetostatic modes .....	471
<b>V. Magnon Relaxation .....</b>	<b>472</b>
A. Uniform Mode .....	472
B. Three-magnon dipolar intrinsic relaxation .....	475

#### A. ABRAGAM

### L'EFFET MÖSSBAUER ET SES APPLICATIONS A L'ÉTUDE DES CHAMPS INTERNES

<b>I. L'effet Mössbauer .....</b>	<b>481</b>
1. Introduction .....	481
2. Section efficace d'excitation par résonance .....	483
<b>II. Théorie de l'effet Mössbauer .....</b>	<b>486</b>
1. Introduction .....	486
2. Formulation mathématique de l'effet Mössbauer .....	487
3. Règle de somme .....	488
4. Section efficace d'absorption .....	489
5. Calcul du coefficient $f$ de Mössbauer .....	491
6. Expression générale du spectre d'absorption, formule de Lamb .....	493
7. Approximation des liaisons faibles .....	494
8. Quelques considérations sur la réduction de l'effet Doppler par le mouvement .....	495
9. L'approximation du couplage fort .....	498
<b>III. L'effet des Ultrasons .....</b>	<b>500</b>
1. Traitement quantique .....	500
2. Traitement classique .....	501
3. Lien entre les deux formalismes .....	502

<b>IV. Application de L'Effet Mössbauer à L'Etude des Structures Hyperfines .....</b>	<b>502</b>
1. Généralités sur les structures hyperfines .....	502
A. Déplacement dû au rayon fini du noyau .....	503
B. L'interaction quadrupolaire .....	505
C. Les interactions magnétiques .....	509
<b>V. Bref Rappel de Quelques Propriétés du Rayonnement <math>\gamma</math> .....</b>	<b>512</b>
<b>VI. Le Fer <math>^{57}Fe</math> .....</b>	<b>515</b>
<b>VII. L'Effet Mössbauer dans L'Etain <math>^{119}Sn</math> .....</b>	<b>543</b>
<i>Etude des champs internes dans les métaux et alliages ferromagnétiques .....</i>	548

**J. FRIEDEL****DEFAUTS PONCTUELS ET IRRADIATION**

<b>1. Introduction .....</b>	<b>551</b>
-1.1 Les défauts ponctuels .....	551
-1.2 Modes de production .....	552
1.2.1 Défauts stables à basse température; 1.2.2 Irradiation;	
1.2.3 Ecrouissage; 1.2.4 Température	
-1.3 Conclusion .....	560
<b>2. Défauts Ponctuels dans les Métaux .....</b>	<b>560</b>
-2.1 Structure atomique .....	561
2.1.1 Modèle élastique simple; 2.1.2 Modèles atomiques;	
-2.2 Structure électronique .....	564
2.2.1 Seitz et Huntington; 2.2.2 Resistivité; 2.2.3 Energies de formation; 2.2.4 Energies d'interaction chimique	
-2.3 Valeurs expérimentales .....	571
2.3.1 Hautes températures; 2.3.2 Trempe	
-2.4 Diffusion .....	574
2.4.1 Loi d'Einstein; 2.4.2 Autodiffusion; 2.4.3 Potentiel chimique. Forces élastiques et électriques; 2.4.4 Potentiel chimique. Loi de Fick; 2.4.5 Diffusion d'impuretés de substitution; 2.4.6 Diffusion superficielle, intergranulaire et le long des dislocations	
<b>3. Défauts Ponctuels dans les Solides Covalents .....</b>	<b>581</b>
-3.1 Structure atomique .....	582
-3.2 Structure électronique .....	583
3.2.1 Modèle de James et Lark Horowitz; 3.2.2 Critiques du modèle; 3.2.3 Analyses théoriques	

<i>4. Solides ioniques .....</i>	590
<i>-4.1 Structure .....</i>	591
4.1.1 Lacunes; 4.1.2 Centres colorés associés à des lacunes isolées; 4.1.3 Interstitiels; 4.1.4 Associations	
<i>-4.2 Production thermique .....</i>	597
4.2.1 Centres optiquement inactifs; 4.2.2 Centres colorés	
<i>5. Irradiations et Trempe .....</i>	599
<i>-5.1 Processus de déplacements atomiques .....</i>	599
5.1.1 Effet Wigner classique; 5.1.2 Effets thermiques; 5.1.3 Remplacements. Collisions focalisées. Pointes de déplacement; 5.1.4 Création de défauts ponctuels dans les solides ioniques par irradiation	
<i>-5.2 Processus de revenu .....</i>	612
5.2.1 Revenus après trempes; 5.2.2 Revenus après irradiations de basses températures	
<i>-5.3 Propriétés plastiques .....</i>	622
5.3.1 Durcissement de trempe; 5.3.2 Durcissement d'irradiation	
<i>References Générales .....</i>	627
<i>INDEX (English) .....</i>	629
<i>(Français) .....</i>	635