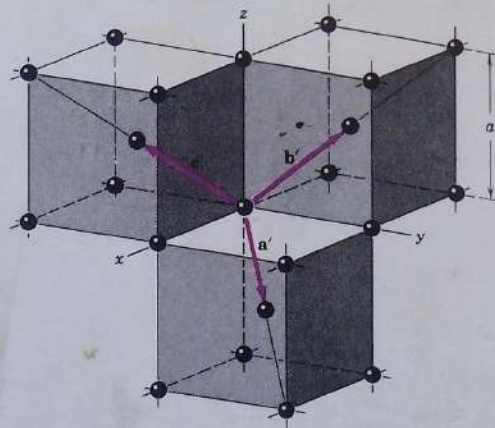


Charles Kittel

Physique de l'état solide



5^e édition

Dunod Université

Charles Kittel

Physique de l'état solide

5e édition

Dunod Université

H ₁		Tableau périodique des éléments, indiquant la configuration des couches électroniques externes des atomes neutres dans leur état fondamental																He ²			
1s		La notation utilisée pour décrire la configuration électronique des atomes et des ions est exposée dans tous les livres d'introduction à la physique atomique. Les lettres s, p, d, ..., se rapportent aux électrons ayant comme moment cinétique orbital 0, 1, 2, ..., en unités de ħ ; le nombre situé à gauche de la lettre est le nombre quantique principal d'une orbite, et l'exposant placé à droite est le nombre d'électrons dans cette orbite.																		1s ²	
Li ³	Be ⁴																				
2s	2s ²																				
Na ¹¹	Mg ¹²																				
3s	3s ²																				
K ¹⁹	Ca ²⁰	Sc ²¹	Ti ²²	V ²³	Cr ²⁴	Mn ²⁵	Fe ²⁶	Co ²⁷	Ni ²⁸	Cu ²⁹	Zn ³⁰	Ga ³¹	Ge ³²	As ³³	Se ³⁴	Br ³⁵	Kr ³⁶				
4s	4s ²	3d	3d ²	3d ³	3d ⁵	3d ⁵	3d ⁶	3d ⁷	3d ⁸	3d ¹⁰	3d ¹⁰	4s ² 4p	4s ² 4p ²	4s ² 4p ³	4s ² 4p ⁴	4s ² 4p ⁵	4s ² 4p ⁶				
Rb ³⁷	Sr ³⁸	Y ³⁹	Zr ⁴⁰	Nb ⁴¹	Mo ⁴²	Tc ⁴³	Ru ⁴⁴	Rh ⁴⁵	Pd ⁴⁶	Ag ⁴⁷	Cd ⁴⁸	In ⁴⁹	Sn ⁵⁰	Sb ⁵¹	Te ⁵²	I ⁵³	Xe ⁵⁴				
5s	5s ²	4d	4d ²	4d ⁴	4d ⁵	4d ⁶	4d ⁷	4d ⁸	4d ¹⁰	4d ¹⁰	4d ¹⁰	5s ² 5p	5s ² 5p ²	5s ² 5p ³	5s ² 5p ⁴	5s ² 5p ⁵	5s ² 5p ⁶				
Cs ⁵⁵	Ba ⁵⁶	La ⁵⁷	Hf ⁷²	Ta ⁷³	W ⁷⁴	Re ⁷⁵	Os ⁷⁶	Ir ⁷⁷	Pt ⁷⁸	Au ⁷⁹	Hg ⁸⁰	Tl ⁸¹	Pb ⁸²	Bi ⁸³	Po ⁸⁴	At ⁸⁵	Rn ⁸⁶				
6s	6s ²	5d	4f ¹⁴	5d ²	5d ³	5d ⁴	5d ⁵	5d ⁶	5d ⁹	5d ⁹	5d ¹⁰	5d ¹⁰	6s ² 6p	6s ² 6p ²	6s ² 6p ³	6s ² 6p ⁴	6s ² 6p ⁵				
Fr ⁸⁷	Ra ⁸⁸	Ac ⁸⁹																			
7s	7s ²	6d																			
			Ce ⁵⁸	Pr ⁵⁹	Nd ⁶⁰	Pm ⁶¹	Sm ⁶²	Eu ⁶³	Gd ⁶⁴	Tb ⁶⁵	Dy ⁶⁶	Ho ⁶⁷	Er ⁶⁸	Tm ⁶⁹	Yb ⁷⁰	Lu ⁷¹					
			4f ²	4f ³	4f ⁴	4f ⁵	4f ⁶	4f ⁷	4f ⁷	4f ⁸	4f ¹⁰	4f ¹¹	4f ¹²	4f ¹³	4f ¹⁴	4f ¹⁴					
			6s ²	6s ²	6s ²	6s ²	6s ²	6s ²	5d	5d	6s ²	6s ²	6s ²	6s ²	6s ²	6s ²					
			Th ⁹⁰	Pa ⁹¹	U ⁹²	Np ⁹³	Pu ⁹⁴	Am ⁹⁵	Cm ⁹⁶	Bk ⁹⁷	Cf ⁹⁸	Es ⁹⁹	Fm ¹⁰⁰	Md ¹⁰¹	No ¹⁰²	Lw ¹⁰³					
			-	5f ²	5f ³	5f ⁴	5f ⁶	5f ⁷	5f ⁷												
			6d ²	6d	6d				6d												
			7s ²	7s ²	7s ²	7s ²	7s ²	7s ²	7s ²												

Tableau périodique des éléments, indiquant la configuration des couches électroniques externes des atomes neutres dans leur état fondamental

La notation utilisée pour décrire la configuration électronique des atomes et des ions est exposée dans tous les livres d'introduction à la physique atomique. Les lettres s, p, d, ..., se rapportent aux électrons ayant comme moment cinétique orbital 0, 1, 2, ..., en unités de $\hbar$; le nombre situé à gauche de la lettre est le nombre quantique principal d'une orbite, et l'exposant placé à droite est le nombre d'électrons dans cette orbite.

Table des constantes physiques

Désignation	Symbole	Valeur	Unités	
			SI	CGS
Vitesse de la lumière dans le vide	c	2,997 925	10^8 ms^{-1}	10^{10} cms^{-1}
Charge du proton	e	1,602 19	10^{-19} C	—
Constante de Planck	h	4,803 25	—	10^{-10} u.e.s.
		6,626 20	10^{-34} Js	10^{-27} erg.s
		$\hbar = h/2\pi$	10^{-34} Js	10^{-27} erg.s
Nombre d'Avogadro	N	$6,022 17 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$	—	—
Unité de masse atomique	u.m.a.	1,660 53	10^{-27} kg	10^{-24} g
Masse de l'électron au repos	m	9,109 56	10^{-31} kg	10^{-28} g
Masse du proton au repos	M_p	1,672 61	10^{-27} kg	10^{-24} g
Masse du proton/masse de l'électron	M_p/m	1 836,11	—	—
Inverse de la constante de structure fine	α^{-1}	137,036	—	—
Rayon classique de l'électron	r_0	2,817 94	10^{-15} m	10^{-13} cm
Longueur d'onde de Compton de l'électron	λ_e	3,861 59	10^{-13} m	10^{-11} cm
Rayon de Bohr	a_H	5,291 77	10^{-11} m	10^{-9} cm
Magnéton de Bohr	μ_B	9,274 10	10^{-24} JT^{-1}	$10^{-21} \text{ erg G}^{-1}$
1 électron-volt	eV	1,602 19	10^{-19} J	10^{-12} erg
Constante de Rydberg	R_∞	$2,417 97 \times 10^{14} \text{ Hz}$	—	—
		8,065 46	10^5 m^{-1}	10^3 cm^{-1}
		$1,160 48 \times 10^4 \text{ }^\circ\text{K}$	—	—
		2,179 91	10^{-18} J	10^{-11} erg
Constante de Boltzmann	k_B	13,605 8 eV	—	—
		1,380 62	$10^{-23} \text{ J deg}^{-1}$	$10^{-16} \text{ erg deg}^{-1}$
Permittivité du vide	ϵ_0	—	$10^7/4\pi c^2$	1
Perméabilité du vide	μ_0	—	$4\pi \times 10^{-7}$	1

Source : B. N. TAYLOR, W. H. PARKER et D. N. LANGENBERG, *Rev. Mod. Phys.*, **41**, 375 (1969).

Table des constantes physiques

Désignation....	Symbole....	Valeur....	Unités
Vitesse de la lumière dans le vide.....			
Charge du proton.....			
Constante de Planck.....			
Nombre d'Avogadro.....			
Unité de masse atomique.....			
Masse de l'électron au repos.....			
Masse du proton au repos.....			
Masse du proton/masse de l'électron.....			
Inverse de la constante de structure fine.....			
Rayon classique de l'électron.....			
Longueur d'onde de Compton de l'électron.....			
Rayon de Bohr.....			
Magnéton de Bohr.....			
1 électron-volt.....			
Constante de Rydberg.....			
Constante de Boltzmann.....			
Permittivité du vide.....			
Perméabilité du vide.....			

Source: B. N. TAYLOR, W. H. PARKER et D. N. LANGENBERG, Rev. Mod. Phys., 41, 375 (1969).

PREFACE

Cet ouvrage est un traité de base en physique du solide et en science des matériaux, destiné aux étudiants de deuxième ou de troisième cycle universitaire, ainsi qu'aux élèves-ingénieurs. L'objet de la physique de l'état solide est essentiellement l'étude des propriétés remarquables que présentent les atomes et les molécules lorsqu'ils sont rangés de façon périodique dans les cristaux. Ces propriétés comprennent les bandes d'énergie électroniques ainsi que les excitations élémentaires des solides : phonons, plasmons, polarons, excitons, magnons et polaritons. J'explique au long de ce livre comment elles peuvent être comprises à partir de modèles simples. Certes, les solides réels peuvent être plus compliqués ; la puissance prédictive des modèles élémentaires n'en demeure pas moins remarquable.

La première édition de ce texte parut en 1953, cinq ans seulement après la découverte du transistor. Aujourd'hui, nous sommes en pleine révolution de l'électronique et de la science des matériaux. Grâce à l'interaction bénéfique entre théorie et expérience, une activité intellectuelle intense se manifeste en physique du solide, comme en témoigne l'attribution des prix Nobel de physique durant la dernière décennie. A travers le monde, beaucoup plus de physiciens sont utilement employés en physique du solide que dans tout autre domaine de la physique.

Dans cette édition, un effort particulier a été fait pour aider les étudiants : la première moitié du livre leur permettra, en un trimestre ou un semestre, d'acquiescer les bases nécessaires avant d'aborder, au chapitre 8, la physique des semi-conducteurs. Celle-ci ne fait appel qu'à des notions élémentaires d'électricité et de magnétisme. Un cours de base devrait ensuite être complété par tout ou partie des chapitres 12 à 15. La seconde moitié de cet ouvrage constitue une application des notions précédemment acquises à des domaines bien définis, et fait largement appel à l'électromagnétisme : on y traite des plasmons, des propriétés optiques des solides, de la supraconductivité, de la ferroélectricité et du magnétisme.

Le chapitre sur la supraconductivité a été amélioré : on y trouve une évaluation simple des champs critiques, l'interprétation de Josephson-Anderson de l'équation de London, et un calcul montrant que la durée de vie d'un courant supraconducteur doit excéder l'âge de l'univers. L'un des principaux reproches que l'on pourrait faire à la plupart des cours de physique du solide est une description peu satisfaisante des propriétés des trous dans les semi-conducteurs ; j'ai pris soin dans cette édition de les faire apparaître à partir d'arguments aussi clairs et convaincants que possible. Parmi les nouveautés de la présente édition, citons l'instabilité de Peierls, les bulles magnétiques, les oscillateurs à effet Gunn, les cellules solaires, les ondes de Alfvén, les gouttes d'électrons-trous et les effets thermoélectriques. La plupart des 54 tableaux ont été revus ; environ 50 nouvelles figures, ainsi que nombre d'exercices originaux ont été introduits.

Cet ouvrage est un traité de base en physique du solide et en science des matériaux, destiné aux étudiants de deuxième ou de troisième cycle universitaire, ainsi qu'aux élèves-ingénieurs. L'objet de la physique de l'état solide est essentiellement l'étude des propriétés remarquables que présentent les atomes et les molécules lorsqu'ils sont rangés de façon périodique dans les cristaux. Ces propriétés comprennent les bandes d'énergie électronique ainsi que les excitations élémentaires des solides : phonons, plasmons, polarons, excitons, magnons et polaritons. J'explique au long de ce livre comment elles peuvent être comprises à partir de modèles simples. Certes, les solides réels peuvent être plus compliqués ; la puissance prédictive des modèles élémentaires n'en demeure pas moins remarquable.

La première édition de ce texte parut en 1953, cinq ans seulement après la découverte du transistor. Aujourd'hui, nous sommes en pleine révolution de l'électronique et de la science des matériaux. Grâce à l'interaction bénéfique entre théorie et expérience, une activité intellectuelle intense se manifeste en physique du solide, comme en témoigne l'attribution des prix Nobel de physique durant la dernière décennie. A travers le monde, beaucoup plus de physiciens sont utilement employés en physique du solide que dans tout autre domaine de la physique.

Dans cette édition, un effort particulier a été fait pour aider les étudiants: la première moitié du livre leur permettra, en un trimestre ou un semestre, d'acquérir les bases nécessaires avant d'aborder, au chapitre 8, la physique des semi-conducteurs. Celle-ci ne fait appel qu'à des notions élémentaires d'électricité et de magnétisme. Un cours de base devrait ensuite être complété par tout ou partie des chapitres 12 à 15. La seconde moitié de cet ouvrage constitue une application des notions précédemment acquises à des domaines bien définis, et fait largement appel à l'électromagnétisme : on y traite des plasmons, des propriétés optiques des solides, de la supraconductivité, de la ferroélectricité et du magnétisme.

Le chapitre sur la supraconductivité a été amélioré: on y trouve une évaluation simple des champs critiques, l'interprétation de Josephson-Anderson de l'équation de London, et un calcul montrant que la durée de vie d'un courant supraconducteur doit excéder l'âge de l'univers. L'un des principaux reproches que l'on pourrait faire à la plupart des cours de physique du solide est une description peu satisfaisante des propriétés des trous dans les semi-conducteurs ; j'ai pris soin dans cette édition de les faire apparaître à partir d'arguments aussi clairs et convaincants que possible. Parmi les nouveautés de la présente édition, citons l'instabilité de Peierls, les bulles magnétiques, les oscillateurs à effet Gunn, les cellules solaires, les ondes d'Alfvén, les gouttes d'électrons-trous et les effets thermoélectriques. La plupart des 54 tableaux ont été revus; environ 50 nouvelles figures, ainsi que nombre d'exercices originaux ont été introduits.

Certains enseignants préfèrent commencer leur cours par le modèle de Drude du gaz d'électrons libres. Pour ce faire, il suffit de respecter la séquence de chapitres suivante : 6, 7, 2, 8, 9.

La sélection des sujets que j'ai effectuée dans ce livre ne doit pas être considérée comme une mesure de l'importance des différents champs d'action de la physique du solide, non plus d'ailleurs que le choix des références. Un simple ouvrage de cours ne peut décrire l'ensemble de l'activité actuelle dans ce domaine. Pour les sujets non traités dans ce livre, ou pour des bibliographies détaillées, on pourra consulter d'excellentes revues, comme celle de Seitz - Turnbull - Ehrenreich. On pourrait aujourd'hui citer plus de 20 000 articles de qualité dans la discipline et je n'ai cherché à donner ici qu'un échantillonnage utile, quoique limité, des articles les plus accessibles écrits en anglais. Les traductions de ce livre en français, allemand, italien, espagnol, japonais, russe, polonais, roumain, hongrois, chinois et arabe donnent souvent d'autres références dans ces différentes langues.

Presque toutes les équations importantes ont été écrites dans les deux systèmes d'unités SI et CGS, quand ils différaient. Font exception à cette règle, les légendes des figures, les résumés de chapitres ainsi que les longs passages du texte pour lesquels une indication unique (substituer 1 à C ou 1 à $1/4 \pi \epsilon_0$) permet de passer d'un système à l'autre. Les tableaux sont donnés en unités conventionnelles. Les tables des matières de plusieurs chapitres sont assorties de remarques sur les conventions adoptées pour faciliter l'utilisation parallèle des deux systèmes. Le symbole e désigne la charge du proton ; c'est donc une quantité positive. La notation (18) indique que l'on se réfère à l'équation numéro 18 du chapitre en cours, tandis que (3-18) réfère à l'équation 18 du chapitre 3 ; les figures sont repérées de la même manière. Un accent circonflexe ou un chapeau sur un vecteur, $\hat{k}$ par exemple, indique que ce vecteur est unitaire. Les problèmes longs ou difficiles sont marqués d'un astérisque. Les appendices des précédentes éditions ont été soit incorporés aux chapitres, soit supprimés.

La préparation de cette édition a été rendue possible par la collaboration de nombreux collègues et amis. M. L. Cohen et L. M. Falicov ont aimablement revu plusieurs chapitres nouveaux.

Je voudrais citer aussi, pour cette nouvelle édition : D. Guban, D. Penn, C. D. Jeffries, A. M. Portis, M. J. Buerger, Leo Brewer, F. L. Richards, F. C. Brown, A. Maradudin, B. T. Matthias, R. Dalven, W. M. Star, C. P. Slichter, J. A. Wilson, J. C. Hensel et R. T. Schumacher.

Je suis évidemment toujours reconnaissant à plus de 150 collègues qui ont contribué aux précédentes éditions. Je remercie Félix Cooper pour l'illustration et Carol Tung pour la préparation du manuscrit. Richard Robinson et Frank Velek, de notre bibliothèque de physique, m'ont généreusement dispensé leur aide et leur temps.

Berkeley, Californie

Certains enseignants préfèrent commencer leur cours par le modèle de Drude du gaz d'électrons libres. Pour ce faire, il suffit de respecter la séquence de chapitres suivante : 6, 7, 2, 8, 9.

La sélection des sujets que j'ai effectuée dans ce livre ne doit pas être considérée comme une mesure de l'importance des différents champs d'action de physique du solide, non plus d'ailleurs que le choix des références. Un simple ouvrage de cours ne peut décrire l'ensemble de l'activité actuelle dans ce domaine. Pour les sujets non traités dans ce livre, ou pour des bibliographies détaillées, on pourra consulter d'excellentes revues, comme celle de Seitz - Turnbull - Ehrenreich. On pourrait aujourd'hui citer plus de 20 000 articles de qualité dans la discipline et je n'ai cherché à donner ici qu'un échantillonnage utile, quoique limité, des articles les plus accessibles écrits en anglais. Les traductions de ce livre en français, allemand, italien, espagnol, japonais, russe, polonais, roumain, hongrois, chinois et arabe donnent souvent d'autres références dans ces différentes langues.

Presque toutes les équations importantes ont été écrites dans les deux systèmes d'unités SI et CGS, quand ils diffèrent. Font exception à cette règle, les légendes des figures, les résumés de chapitres ainsi que les longs passages du texte pour lesquels une indication unique (substituer 1 à C ou 1 à $1/4 \pi \epsilon_0$) permet de passer d'un système à l'autre. Les tableaux sont donnés en unités conventionnelles. Les tables des matières de plusieurs chapitres sont assorties de remarques sur les conventions adoptées pour faciliter l'utilisation parallèle des deux systèmes. Le symbole e désigne la charge du proton ; c'est donc une quantité positive. La notation (18) indique que l'on se réfère à l'équation numéro 18 du chapitre en cours, tandis que (3-18) réfère à l'équation 18 du chapitre 3; les figures sont repérées de la même manière. Un accent circonflexe ou un chapeau sur un vecteur, par exemple, indique que ce vecteur est unitaire. Les problèmes longs ou difficiles sont marqués d'un astérisque. Les appendices des précédentes éditions ont été soit incorporés aux chapitres, soit supprimés.

La préparation de cette édition a été rendue possible par la collaboration de nombreux collègues et amis. M. L. Cohen et L. M. Falicov ont aimablement revu plusieurs chapitres nouveaux.

Je voudrais citer aussi, pour cette nouvelle édition: D. Guban, D. Penn, C. D. Jeffries, A. M. Portis, M. J. Buerger, Leo Brewer, F. L. Richards, F. C. Brown, A. Maradudin, B. T. Matthias, R. Dalven, W. M. Star, C. P. Slichter, J. A. Wilson, J. C. Hensel et R. T. Schumacher.

Je suis évidemment toujours reconnaissant à plus de 150 collègues qui ont contribué aux précédentes éditions. Je remercie Félix Cooper pour l'illustration et Carol Tung pour la préparation du manuscrit. Richard Robinson et Frank Velek, de notre bibliothèque de physique, m'ont généreusement dispensé leur aide et leur temps.

Berkeley, Californie

SOMMAIRE

Guide des principaux tableaux

Quelques références de base

- 1 Structure cristalline 1
- 2 Diffraction cristalline et réseau réciproque 33
- 3 La liaison cristalline 71
- 4 Phonons I. Vibrations du réseau 103
- 5 Phonons II. Propriétés thermiques 123
- 6 Gaz des électrons libres de Fermi 151
- 7 Bandes d'énergie 179
- 8 Cristaux semiconducteurs 203
- 9 Surfaces de Fermi et métaux 247
- 10 Plasmons, polaritons et polarons 285
- 11 Processus optiques et excitons 323
- 12 Supraconductibilité 355
- 13 Diélectriques et ferroélectriques 399
- 14 Diamagnétisme et paramagnétisme 433
- 15 Ferromagnétisme et antiferromagnétisme 457
- 16 Résonance magnétique et masers 497
- 17 Défauts ponctuels et alliages 533
- 18 Dislocations 557

Index alphabétique des auteurs

Index alphabétique des matières

SOMMAIRE

Guide des principaux tableaux

Quelques références de base

- 1 Structure cristalline
- 2 Diffraction cristalline et réseau réciproque
- 3 La liaison cristalline
- 4 Phonons I. Vibrations du réseau 103
- 5 Phonons II. Propriétés thermiques 123
- 6 Gaz des électrons libres de Fermi 151
- 7 Bandes d'énergie 179
- 8 Cristaux semiconducteurs 203
- 9 Surfaces de Fermi et métaux 247
- 10 Plasmons, polaritons et polarons 285
- 11 Processus optiques et excitons 323
- 12 Supraconductibilité 355
- 13 Diélectriques et ferroélectriques 399
- 14 Diamagnétisme et paramagnétisme 433
- 15 Ferromagnétisme et antiferromagnétisme 457
- 16 Résonance magnétique et masers 497
- 17 Défauts ponctuels et alliages 533
- 18 Dislocations 557

Index alphabétique des auteurs

Index alphabétique des matières

GUIDE DES PRINCIPAUX TABLEAUX

- 1.1 Les 14 types de réseaux tridimensionnels
- 1.2 Caractéristiques des réseaux cubiques
- 1.3 Structure cristalline des éléments
- 1.4 Densité et concentration atomique des éléments
- 3.1 Energie de cohésion des éléments
- 3.2 Energie d'ionisation des éléments
- 3.3 Propriétés des cristaux de gaz rares
- 3.4 Modules isothermes de compression et compressibilités à température ambiante
- 3.5 Affinités électroniques des ions négatifs
- 3.6 Propriétés des halogénures d'alcalins
- 3.7 Energie de liaisons covalentes simples
- 3.8 Caractère ionique partiel des liaisons
- 3.9 Rayons moyens en Å des ions alcalins et halogènes
- 3.10 Rayons atomiques et ioniques
- 3.11 Utilisation des rayons standards des ions
- 5.1 Température de Debye et conductivité thermique
- 5.2 Valeurs du libre parcours moyen des phonons
- 6.1 Paramètres calculés de la surface de Fermi des électrons libres d'un métal à température ambiante
- 6.2 Valeurs expérimentales et calculées de la capacité calorifique électronique γ des métaux
- 6.3 Conductivités et résistivités électriques des métaux
- 6.4 Comparaison des constantes de Hall expérimentales
- 6.5 Nombres de Lorenz expérimentaux
- 8.1 Largeur de la bande interdite entre les bandes de valence et de conduction
- 8.2 Masses effectives des électrons et des trous
- 8.3 Mobilité des porteurs à la température ambiante
- 8.4 Constante diélectrique statique de certains semiconducteurs
- 8.5 Energies E_d d'ionisation des donneurs
- 8.6 Energies E_a d'ionisation des accepteurs
- 8.7 Concentrations en électrons et en trous dans les semi-métaux
- 10.1 Longueur d'onde limite de transmission de l'ultraviolet dans les alcalins
- 10.2 Energie des plasmons de volume
- 10.3 Fréquences de réseau
- 10.4 Constantes de couplage, masses
- 11.1 Energie de liaison des excitons
- 12.1 Paramètres de supraconductibilité des éléments
- 12.2 Supraconductibilité de quelques composés
- 12.3 Largeur de bande interdite dans les supraconducteurs
- 12.4 Effet isotopique dans les supraconducteurs

GUIDE DES PRINCIPAUX TABLEAUX

Les 14 types de réseaux tridimensionnels

Caractéristiques des réseaux cubiques

Structure cristalline des éléments

Densité et concentration atomique des éléments

Energie de cohésion des éléments

Energie d'ionisation des éléments

Propriétés des cristaux de gaz rares

Modules isothermes de compression et compressibilités à température ambiante

Affinités électroniques des ions négatifs

Propriétés des halogénures d'alcalins

Energie de liaisons covalentes simples

Caractère ionique partiel des liaisons

Rayons moyens en Å des ions alcalins et halogènes

Rayons atomiques et ioniques

Utilisation des rayons standards des ions

Température de Debye et conductivité thermique

Valeurs du libre parcours moyen des phonons

Paramètres calculés de la surface de Fermi des électrons libres d'un métal à température ambiante

Valeurs expérimentales et calculées de la capacité calorifique électronique γ des métaux

Conductivités et résistivités électriques des métaux

Comparaison des constantes de Hall expérimentales

Nombres de Lorenz expérimentaux

Largeur de la bande interdite entre les bandes de valence et de conduction

Masses effectives des électrons et des trous

Mobilité des porteurs à la température ambiante

Constante diélectrique statique de certains semiconducteurs

Energies E_i d'ionisation des donneurs

Energies E_a d'ionisation des accepteurs

Concentrations en électrons et en trous dans les semi-métaux

Longueur d'onde limite de transmission de l'ultraviolet dans les alcalins

Énergie des plasmons de volume

Fréquences de réseau

Constantes de couplage, masses

Energie de liaison des excitons

Paramètres de supraconductibilité des éléments

Supraconductibilité de quelques composés

Largeur de bande interdite dans les supraconducteurs

Effet isotopique dans les supraconducteurs

- 12.5 Longueur de cohérence intrinsèque et profondeur de pénétration de London
- 13.1 Polarisabilités électroniques des ions
- 13.2 Cristaux ferroélectriques
- 13.3 Transitions de phase nonferroélectriques à déplacement de structure
- 13.4 Cristaux antiferroélectriques
- 14.1 Nombre effectif de magnétons pour les ions trivalents du groupe des lanthanides
- 14.2 Nombre effectif de magnétons pour les ions du groupe du fer
- 15.1 Exposants de point critique pour les aimants ferromagnétiques
- 15.2 Cristaux ferromagnétiques
- 15.3 Cristaux antiferromagnétiques
- 16.1 Paramètres de résonance magnétique nucléaire
- 16.2 Déplacements de Knight en RMN dans les éléments métalliques
- 17.1 Coefficients de diffusion et énergies d'activation
- 17.2 Energie d'activation du mouvement d'une lacune d'ion positif
- 17.3 Energies d'absorption expérimentales des centres F
- 17.4 Rapports électrons/atomes des composés électroniques
- 18.1 Comparaison du module de cisaillement et de la limite élastique
- 18.2 Méthodes d'évaluation des densités de dislocations

Longueur de cohérence intrinsèque et profondeur de pénétration de London
Polarisabilités électroniques des ions
Cristaux ferroélectriques
Transitions de phase nonferroélectriques à déplacement de structure
Cristaux antiferroélectriques
Nombre effectif de magnétons pour les ions trivalents du groupe des lanthanides
Nombre effectif de magnétons pour les ions du groupe du fer
Exposants de point critique pour les aimants ferromagnétiques
Cristaux ferromagnétiques
Cristaux antiferromagnétiques
Paramètres de résonance magnétique nucléaire
Déplacements de Knight en RMN dans les éléments métalliques
Coefficients de diffusion et énergies d'activation
Energie d'activation du mouvement d'une lacune d'ion positif
Énergies d'absorption expérimentales des centres F
Rapports électrons/atomes des composés électroniques
Comparaison du module de cisaillement et de la limite élastique
Méthodes d'évaluation des densités de dislocations

Collection conçue à l'intention des étudiants,
DUNOD UNIVERSITÉ est adaptée aux enseignements des Universités,
des classes préparatoires et des Grandes Écoles.

Ouvrages de base (*série marron*) :
1^{er} cycle universitaire et classes préparatoires.

Ouvrages fondamentaux (*série orange*) :
enseignements s'étendant sur les 1^{er} et 2^e cycles universitaires.

Ouvrages de spécialité (*série violette*) :
2^e cycle universitaire et formation des ingénieurs.

Manuel de référence en physique du solide et en science des matériaux, cet ouvrage est destiné aux étudiants de deuxième ou de troisième cycle universitaire ainsi qu'aux élèves-ingénieurs. L'objet de la physique de l'état solide est essentiellement l'étude des propriétés remarquables que présentent les atomes et les molécules lorsqu'ils sont rangés de façon périodique dans les cristaux. Ces propriétés comprennent les bandes d'énergie électroniques ainsi que les excitations élémentaires des solides : phonons, plasmons, polarons, excitons, magnons et polaritons.

Dans cette nouvelle édition, complètement refondue, un effort particulier a été fait pour aider les étudiants : la première moitié du livre leur permettra d'acquérir les bases nécessaires pour aborder la physique des semiconducteurs ; la seconde moitié constitue une application des notions précédemment acquises à des domaines bien définis. On y traite des plasmons, des propriétés optiques des solides, de la supraconductivité, de la ferroélectricité et du magnétisme.

Parmi les nouveautés apportées à cette nouvelle édition, on peut citer l'instabilité de Peierls, les bulles magnétiques, les oscillateurs à effet Gunn, les cellules solaires, les ondes d'Alfvén, les gouttes d'électrons-trous et les effets thermoélectriques.

Avec ses nombreux problèmes, ses résumés, ses bibliographies, ses quelque 600 figures, ce manuel de référence constitue également un remarquable outil de travail.



Collection conçue à l'intention des étudiants,
DUNOD UNIVERSITÉ est adaptée aux enseignements des Universités, des classes préparatoires et des Grandes Écoles.

Ouvrages de base (série marron):

1st cycle universitaire et classes préparatoires.

Ouvrages fondamentaux (série orange):

enseignements s'étendant sur les 1 et 2: cycles universitaires.

Ouvrages de spécialité (série violette):

2 cycle universitaire et formation des ingénieurs.

Manuel de référence en physique du solide et en science des matériaux, cet ouvrage est destiné aux étudiants de deuxième ou de troisième cycle universitaire ainsi qu'aux élèves-ingénieurs. L'objet de la physique de l'état solide est essentiellement l'étude des propriétés remarquables que présentent les atomes et les molécules lorsqu'ils sont rangés de façon périodique dans les cristaux. Ces propriétés comprennent les bandes d'énergie électronique ainsi que les excitations élémentaires des solides : phonons, plasmons, polarons, excitons, magnons et polaritons.

Dans cette nouvelle édition, complètement refondue, un effort particulier a été fait pour aider les étudiants : la première moitié du livre leur permettra d'acquérir les bases nécessaires pour aborder la physique des semiconducteurs; la seconde moitié constitue une application des notions précédemment acquises à des domaines bien définis. On y traite des plasmons, des propriétés optiques des solides, de la supraconductivité, de la ferroélectricité et du magnétisme. Parmi les nouveautés apportées à cette nouvelle édition, on peut citer l'instabilité de Peierls, les bulles magnétiques, les oscillateurs à effet Gunn, les cellules solaires, les ondes d'Alfvén, les gouttes d'électrons-trous et les effets thermoélectriques.

Avec ses nombreux problèmes, ses résumés, ses bibliographies, ses quelque 600 figures, ce manuel de référence constitue également de travail.