

# Table des matières

## Avant propos

## Glossaire

<b>I</b>	<b>Description générale de la matière</b>	<b>1</b>
1	Les grandes familles usuelles de matériaux . . . . .	1
2	Propriétés de la matière . . . . .	3
2.1	La matière à l'échelle macroscopique . . . . .	3
2.2	La matière à l'échelle microscopique . . . . .	12
3	L'observation de la matière . . . . .	18
3.1	Force caractéristique de la matière : force et champ Coulombien . . . . .	18
3.2	Énergie caractéristique de la matière : potentiel Coulombien et énergie potentielle . . . . .	19
3.3	Énergies caractéristiques de la matière . . . . .	24
3.4	Ondes . . . . .	25
4	Premières modélisations de l'interaction rayonnement-matière (1898-1904)	31
4.1	Modèle de Thomson (1898) . . . . .	31
4.2	Modèle de Nagaoka-Perrin-Rutherford (1901-1904) . . . . .	31
5	La matière : un résonateur (1900-1905) . . . . .	33
5.1	Amortissement : modèle de Drude (1900) . . . . .	39
5.2	Modèle de Lorentz(1905) . . . . .	40
<b>II</b>	<b>Ondes EM dans le vide et dans la matière</b>	<b>43</b>
1	L'onde électromagnétique dans le vide . . . . .	44
1.1	Signification des équations de Maxwell dans le vide . . . . .	45
1.2	Équation d'onde : onde plane . . . . .	46
1.3	Intensité de l'onde plane dans le vide . . . . .	49
1.4	Spectre d'ondes planes dans le vide . . . . .	49
1.5	Polarisation d'une onde plane dans le vide . . . . .	50
1.6	Application au faisceau laser se propageant dans le vide . . . . .	57
1.7	Application à la diffraction par un réseau atomique . . . . .	63
1.8	Potentiels vecteurs et scalaires dans le vide . . . . .	64
2	Première description de la matière : des charges et des courants . . . . .	67
2.1	Force de Lorentz . . . . .	69
2.2	Équations de Maxwell en présence de charges et de courants . . . . .	69

2.3	Champ électromagnétique et excitation . . . . .	71
2.4	Milieu matériel linéaire et non linéaire . . . . .	73
2.5	Equation d'onde, onde plane et spectre d'ondes planes . . . . .	74
2.6	Ondes planes homogènes et inhomogènes : onde évanescence . . . . .	75
2.7	Matériaux conducteurs de l'électricité . . . . .	76
2.8	Énergie électromagnétique dans un matériau . . . . .	76
2.9	Onde monochromatique plane dans un matériau . . . . .	78
2.10	Potentiels vecteurs et scalaires dans un matériau . . . . .	87
2.11	Réflexion, transmission d'une onde dans un matériau . . . . .	89
2.12	Diffraction par un réseau . . . . .	98

### **III Description microscopique de la matière** **101**

1	Naissance d'une nouvelle physique : le nécessaire quantum d'énergie . . . . .	102
1.1	Le corps noir et la catastrophe ultraviolette . . . . .	102
1.2	Effet photoélectrique . . . . .	110
1.3	Dualité onde-corpuscule : Planck-Einstein-de Broglie . . . . .	111
2	Modélisation quantique des atomes . . . . .	113
2.1	Modèle de Rutherford, expérience de Geiger et Marsden . . . . .	113
2.2	L'atome d'hydrogène : absorption/émission... . . . . .	115
2.3	Modèle de Bohr . . . . .	116
2.4	Modèle de Bohr-Sommerfeld . . . . .	119
2.5	Le modèle de Bohr : imparfait ? . . . . .	119
3	Principe d'incertitude de Heisenberg (1927) . . . . .	119
4	Principes de la mécanique quantique . . . . .	122
5	Observable et hamiltonien . . . . .	126
6	Résolution de l'équation de Schrödinger . . . . .	127
6.1	L'atome d'hydrogène . . . . .	137
6.2	Atome à plusieurs électrons . . . . .	148
6.3	Tableau de Mendeleïev . . . . .	153
7	Interactions interatomiques . . . . .	156
7.1	Molécules . . . . .	157
7.2	Molécule homonucléaire $A_2$ . . . . .	161
7.3	Molécule hétéronucléaire AB . . . . .	163
7.4	Liaison dipolaire . . . . .	164
7.5	Agrégats d'atomes et cristaux . . . . .	167
7.6	Interaction de Van der Waals . . . . .	172
8	Structures atomiques . . . . .	173
8.1	Structures cristallines . . . . .	173
8.2	Structure non compacte . . . . .	177
8.3	Structures non ordonnées . . . . .	179
8.4	Notion de non-stoechiométrie . . . . .	180
8.5	Réseau réciproque . . . . .	180

### **IV Propriétés des matériaux** **189**

1	Propriétés électroniques, optiques et magnétiques . . . . .	190
1.1	Milieux linéaires . . . . .	190
1.2	Modèle de Lorentz : interprétation et confrontation avec la réalité . . . . .	191

1.3	Milieux non magnétiques et indice optique . . . . .	196
1.4	Diélectriques . . . . .	198
1.5	Métaux . . . . .	201
1.6	Semiconducteur . . . . .	219
1.7	Polarisation de la matière . . . . .	224
2	Propriétés magnétiques . . . . .	245
2.1	Diamagnétisme . . . . .	246
2.2	Paramagnétisme . . . . .	247
2.3	Ferromagnétisme, anti-ferromagnétisme . . . . .	252
3	Propriétés vibrationnelles . . . . .	253
3.1	Oscillateur harmonique : cas de la molécule diatomique . . . . .	253
3.2	Vibrations moléculaires : degrés de liberté . . . . .	255
3.3	Vibrations dans un cristal . . . . .	257
4	Propriétés thermiques . . . . .	267
4.1	Capacité thermique . . . . .	267
4.2	Transfert de chaleur . . . . .	271
5	Propriétés mécaniques . . . . .	273
5.1	Élasticité . . . . .	274
5.2	Plasticité . . . . .	276
5.3	Anisotropie du matériau . . . . .	277
<b>V</b>	<b>Méthodes de caractérisation basées sur l'IMR</b>	<b>279</b>
1	Diffusion élastique . . . . .	280
1.1	Diffusion Rayleigh . . . . .	281
1.2	Diffraction X . . . . .	284
2	Diffusion inélastique . . . . .	287
2.1	Diffusion des neutrons . . . . .	288
2.2	Effet photoélectrique . . . . .	288
2.3	Diffusion Compton . . . . .	289
3	Spectroscopie . . . . .	289
3.1	Spectroscopie électronique . . . . .	290
3.2	Spectroscopie vibrationnelle . . . . .	291
3.3	Spectroscopie de résonance . . . . .	296
3.4	Spectroscopie Auger, spectroscopie de fluorescence X . . . . .	297
<b>A</b>	<b>Annexe mathématique</b>	<b>299</b>
1	Trigonométrie . . . . .	299
2	Nombres complexes . . . . .	300
3	Fonctions hyperboliques . . . . .	302
4	Fonction périodique, translation de fonction . . . . .	302
5	Calcul d'intégrale . . . . .	302
6	La gaussienne . . . . .	303
7	Vecteur, base, orthogonalité, opérateurs . . . . .	305
8	Systèmes de coordonnées orthonormales utiles . . . . .	306
9	Opérateurs linéaires . . . . .	308
9.1	Gradient . . . . .	309
9.2	Divergence . . . . .	309

9.3	Rotationnel . . . . .	309
9.4	Laplacien . . . . .	310
9.5	Propriétés (formulaire) . . . . .	311
10	Séries de Fourier, transformées de Fourier . . . . .	312
10.1	Série de Fourier . . . . .	312
10.2	Transformée de Fourier . . . . .	314
11	Lagrangien, hamiltonien et impulsion . . . . .	319
11.1	Équations du mouvement . . . . .	319
11.2	Grandeurs conjuguées, hamiltonien . . . . .	320
11.3	Particule dans un champ électromagnétique . . . . .	321
<b>B Propriétés des matériaux</b>		<b>323</b>
<b>Bibliographie</b>		<b>329</b>
<b>Index</b>		<b>330</b>