

B. Cagnac
J.-C. Pebay-Peyroula

**Physique
atomique**

Tome 1
Expériences et principes fondamentaux

Dunod Université

Table des matières du tome 1

<i>Notations utilisées dans ce cours</i>	XIII
<i>Formulaire d'électromagnétisme</i>	XVIII
<i>Introduction</i>	XIX

PREMIÈRE PARTIE

ONDE ET PHOTON

CHAPITRE I. <i>Quantification de l'énergie</i>	3
1. <i>Rappel de la loi de Planck</i>	3
2. <i>Effet photoélectrique</i>	5
A. Description expérimentale	5
B. Interprétation du seuil et de la contre-tension maximale	6
C. Sensibilité et rendement quantique	10
D. Photoionisation	11
3. <i>Spectres optiques</i>	13
A. Principe de combinaison et loi de Bohr	14
B. Expériences de résonance optique. Etat fondamental d'un atome	18
C. Largeur des raies spectrales. Effet Doppler	22
4. <i>Excitation électronique d'une vapeur atomique</i>	24
A. Potentiels d'ionisation	25
B. Collisions élastiques et inélastiques	28
C. Potentiels de résonance. Expérience de Franck et Hertz	29
D. Potentiels critiques	32
5. <i>Unités d'énergie</i>	34
CHAPITRE II. <i>Quantité de mouvement du rayonnement</i>	38
1. <i>Aspect classique. La pression de radiation</i>	38
A. Calcul de la pression de radiation en électromagnétisme classique	38
B. Interprétation en terme de quantité de mouvement	42
C. Vérification expérimentale	44
2. <i>Quantité de mouvement du photon</i>	46
A. A partir de la pression de radiation	46
B. A partir de la relativité	48
3. <i>Collisions élastiques de photons. Effet Compton</i>	49
A. Les expériences de Compton sur la diffusion des rayons X	49
B. Calcul de la collision élastique photon-électron libre	51
C. Observation des électrons Compton	54
D. Collision élastique photon-électron lié. Diffusion Thomson	55

VIII *Table des matières*

4.	<i>Collisions inélastiques de photons</i>	56
	A. Absorption de photons.....	56
	B. Emission de photons.....	58
	C. Application aux rayons γ . Effet Mossbauer.....	59
5.	<i>Revue d'ensemble des processus de collision</i>	63
CHAPITRE III. <i>Les probabilités des transitions radiatives</i>		66
1.	<i>L'absorption des photons</i>	66
	A. Modèle des sphères dures et notion de section efficace.....	66
	B. Coefficient d'absorption et mesure expérimentale des sections efficaces.....	69
	C. Probabilité de transition par unité de temps.....	71
	D. Étalement du phénomène sur l'échelle des fréquences.....	72
2.	<i>L'émission spontanée des photons</i>	74
	A. Probabilité d'émission spontanée et durée de vie d'un état excité.....	74
	B. Mesure expérimentale des durées de vie.....	77
	C. Comparaison avec la théorie classique du rayonnement.....	80
3.	<i>Emission induite et théorie du rayonnement d'Einstein</i>	81
	A. Notion d'émission induite.....	81
	B. Bilan des trois types de transitions dans l'expérience de résonance optique.....	83
	C. Relations entre les probabilités des transitions radiatives.....	84
CHAPITRE IV. <i>Dualité onde-corpuscule</i>		88
1.	<i>Liaison entre les photons et l'amplitude du champ classique</i>	88
	A. Densité d'énergie et nombre de photons.....	88
	B. Intensités lumineuses faibles et comptage des photoélectrons.....	90
	C. Interférences photon par photon et interprétation probabiliste de l'onde.....	93
2.	<i>Caractéristiques des photons en liaison avec la fonction spatio-temporelle du champ classique. Principe d'incertitude</i>	97
	A. Onde plane illimitée.....	97
	B. Onde limitée dans le temps à l'intérieur d'un créneau.....	98
	C. Train d'onde amorti et largeur naturelle.....	101
	D. Généralisation à la fonction spatiale de l'onde.....	105
	E. Énoncé rigoureux des relations d'incertitude.....	107
3.	<i>Propriétés du rayonnement induit. LASER et MASER</i>	109
	A. Caractéristiques de l'onde induite.....	109
	B. Condition d'amplification de l'onde incidente.....	111
	C. Réalisation d'une inversion de population.....	113
	D. Amplification et Oscillation. Rôle d'une cavité résonnante.....	117
	E. Calcul du gain et condition d'oscillation.....	120
	F. Propriétés du rayonnement LASER.....	124
4.	<i>Cas des particules matérielles</i>	130
	A. Les ondes de Louis de Broglie.....	130
	B. Interférences d'électrons.....	131
	C. Application à l'étude des structures cristallines des ondes associées aux électrons et aux neutrons.....	136

DEUXIÈME PARTIE

MODÈLE PLANÉTAIRE ET NOMBRE QUANTIQUE PRINCIPAL

CHAPITRE V. <i>Modèle planétaire classique</i>	141
1. <i>Généralités sur les problèmes à deux corps</i>	141
A. Réduction au centre de masse	142
B. Intégrales premières du mouvement de force centrale	143
2. <i>Expérience de diffusion de Rutherford</i>	145
A. Déviation d'un projectile passant à proximité d'une seule cible	146
B. Statistique sur l'ensemble des particules. Section efficace différentielle	148
C. Cas particulier de l'énergie potentielle en $1/r$. Expérience de Rutherford	150
3. <i>Mouvements planétaires des électrons internes à l'atome</i>	154
CHAPITRE VI. <i>Modèle de Bohr pour l'atome d'hydrogène</i>	157
1. <i>Explication du spectre de l'hydrogène par les orbites circulaires</i>	157
A. La condition de quantification	157
B. Interprétation des séries du spectre	159
C. Calcul des paramètres caractéristiques du mouvement circulaire	160
2. <i>Entraînement du noyau et ions hydrogénoïdes</i>	161
3. <i>Généralisation aux orbites elliptiques et structure fine</i>	163
CHAPITRE VII. <i>Spectres de rayons X</i>	167
1. <i>Spectres d'absorption X</i>	167
2. <i>Spectres de vitesses des photoélectrons X</i>	170
3. <i>Spectres d'émission X</i>	173
A. Le spectre continu	174
B. Le spectre de raies. Comparaison avec le spectre d'absorption	175
C. Conditions d'observation des raies d'émission X, et principe d'exclusion	178
D. Comparaison avec les spectres optiques	181
4. <i>Loi de Moseley</i>	183
A. Résultats expérimentaux	183
B. Interprétation par la théorie de Bohr	184

TROISIÈME PARTIE

MOMENT CINÉTIQUE ET MOMENT MAGNÉTIQUE

CHAPITRE VIII. <i>Magnétisme classique dû au mouvement orbital</i>	191
1. <i>Définition microscopique du moment magnétique</i>	191
A. Rappel de la notion classique de moment magnétique	191
B. Généralisation à un système de charges ponctuelles en mouvement	193
2. <i>Théorème de Larmor</i>	195
A. Introduction d'un repère tournant (trièdre de Larmor)	195
B. Approximation et théorème de Larmor	197

X Table des matières

3.	<i>Application au calcul de la susceptibilité diamagnétique</i>	198
4.	<i>Application à l'effet Zeeman classique</i>	201
	A. Changements de fréquence due à la rotation de Larmor.....	201
	B. Polarisation des ondes émises.....	202
	C. Observation expérimentale de l'effet Zeeman.....	204
CHAPITRE IX. <i>Effets gyromagnétiques</i>		205
1.	<i>Rapport gyromagnétique et précession de Larmor</i>	205
	A. Comparaison du moment magnétique et du moment cinétique.....	205
	B. Action d'un champ magnétique : effet gyroscopique.....	206
2.	<i>Paramagnétisme et relaxation</i>	208
3.	<i>Expériences de Einstein et de Haas</i>	210
	A. Principe de l'expérience.....	210
	B. Réalisation de l'expérience en mouvement balistique.....	213
	C. Expérience en mouvement oscillant entretenu.....	214
	D. Résultat des mesures et conclusions.....	215
4.	<i>Expériences de Barnett</i>	216
5.	<i>Expériences de résonance magnétique</i>	219
	A. Principe de l'expérience (calcul en l'absence de relaxation).....	220
	B. Calcul tenant compte de la relaxation. Les équations de Bloch.....	222
	C. Solution stationnaire des équations de Bloch.....	224
	D. Vérification expérimentale par la détection radioélectrique.....	227
	E. Applications du phénomène de résonance magnétique (R.P.E. et R.M.N.).....	229
	F. Complément : calcul des échanges d'énergie.....	232
CHAPITRE X. <i>Quantification spatiale</i>		235
1.	<i>L'expérience de Stern et Gerlach</i>	235
	A. Principe de l'expérience.....	235
	B. Description du dispositif expérimental.....	236
	C. Résultats de l'expérience.....	240
2.	<i>Les règles de quantification</i>	241
	A. Définition des nombres quantiques sur les moments cinétiques.....	241
	B. Application aux moments magnétiques. Magnéton de Bohr et facteur de Landé.....	243
3.	<i>Sous-niveaux Zeeman</i>	245
4.	<i>Application au calcul de l'intensité d'aimantation paramagnétique</i>	246
	A. Calcul de Brillouin.....	247
	B. Comparaison avec le calcul classique de Langevin.....	249
	C. Vérification expérimentale des formules de Brillouin.....	251
5.	<i>Application à la résonance magnétique</i>	252
	A. Loi de Bohr entre sous-niveaux Zeeman adjacents.....	252
	B. Expériences sur un jet atomique par la méthode de Rabi. Probabilité de transition.....	253
	C. Expériences en régime stationnaire. Egalisation des populations et absorption de la puissance de l'onde.....	255
	Complément : loi de répartition des vitesses dans un jet atomique.....	258

CHAPITRE XI. <i>Moment cinétique du rayonnement</i>	261
1. <i>Aspect classique. Mouvement de rotation sous l'action d'une onde polarisée circulairement</i>	261
A. Calcul classique du couple exercé sur une lame cristalline	261
B. Interprétation en termes de moment cinétique	264
C. Vérification expérimentale	266
2. <i>Moment cinétique des photons de polarisation circulaire. Application aux transitions de résonance magnétique</i>	268
A. Polarisation de l'onde qui produit la résonance magnétique	269
B. Mouvement de rotation provoqué par la résonance magnétique	270
3. <i>Règle de sélection sur le nombre quantique magnétique. Effet Zeeman</i>	271
A. Règle de sélection	271
B. Fréquences et nombres des composantes Zeeman	272
C. Observation expérimentale et polarisations	276
4. <i>Application à la détection optique des résonances hertziennes</i>	278
5. <i>Application au pompage optique</i>	282
CHAPITRE XII. <i>Moments cinétique et magnétique des électrons libres</i>	286
1. <i>L'hypothèse du spin</i>	286
2. <i>Rotation de Larmor de spins d'électrons libres</i>	288
A. Polarisation par diffusion des spins électroniques	288
B. Rotation de Larmor des spins	290
C. Mesure directe de $g-2$	291
3. <i>Résonance magnétique sur les spins d'électrons libres</i>	294
Index	297