

B. Cagnac
J.-C. Pebay-Peyroula

**Physique
atomique**

Tome 2

Applications de la mécanique quantique

Dunod Université

Table des matières du tome 2

QUATRIÈME PARTIE

EXPLICATION QUANTIQUE DE L'ÉDIFICE ATOMIQUE

CHAPITRE XIII. <i>Un seul électron sans spin dans un potentiel central. Etude quantique.</i>	299
1. <i>Introduction.</i>	299
2. <i>Cas du champ coulombien. Nombres quantiques et énergie.</i>	300
A. <i>L'équation de Schrödinger.</i>	300
B. <i>Etude de la partie angulaire.</i>	301
C. <i>Etude de la partie radiale.</i>	303
D. <i>Résultats essentiels.</i>	306
3. <i>Probabilité de présence de l'électron dans un atome hydrogénoïde.</i>	307
A. <i>Probabilités radiales.</i>	308
B. <i>Probabilités angulaires.</i>	310
4. <i>Comparaison avec le modèle de Bohr-Sommerfeld.</i>	311
5. <i>Cas d'un potentiel central non coulombien. Levée de la dégénérescence en l.</i>	314
A. <i>Orbités pénétrantes et non pénétrantes.</i>	314
B. <i>Un modèle quantique pour les atomes à un électron extérieur.</i>	315
CHAPITRE XIV. <i>Electrons indépendants dans un potentiel central. Les configurations électroniques</i>	320
1. <i>Les différentes interactions dans un atome complexe.</i>	320
2. <i>Les niveaux d'énergie d'un système de N électrons indépendants dans un potentiel central. Configurations.</i>	323
A. <i>Niveaux d'énergie.</i>	323
B. <i>Description des états électroniques : couches et sous-couches. Configurations.</i>	324
3. <i>Principe de Pauli et dégénérescence d'une configuration.</i>	326
A. <i>Les nombres quantiques et le principe de Pauli.</i>	326
B. <i>Nombre maximal d'électrons appartenant à la même couche ou sous-couche.</i>	327
C. <i>Ordre de dégénérescence d'une configuration.</i>	328
4. <i>La classification périodique des éléments.</i>	329
A. <i>La configuration de l'état fondamental.</i>	329
B. <i>La configuration fondamentale et les propriétés de l'atome.</i>	331
CHAPITRE XV. <i>Moments cinétiques et recensement des niveaux d'énergie.</i>	337
1. <i>Composition des moments cinétiques.</i>	338
A. <i>Résultats de la Mécanique Quantique relatifs aux moments cinétiques.</i>	338
B. <i>Notations.</i>	338
C. <i>Moment cinétique global d'une sous-couche complète.</i>	340
D. <i>Moment cinétique de l'état fondamental ; quelques exemples.</i>	340

VI *Table des matières*

2.	<i>Interaction spin-orbite</i>	341
	A. Champ magnétique B' dans le repère lié à l'électron.....	341
	B. Interaction du moment magnétique de spin avec le champ B'	343
3.	<i>Principes du calcul des niveaux d'énergie dans les atomes à plusieurs électrons</i> ..	345
	A. Les approximations possibles sur le hamiltonien.....	345
	B. Le couplage L-S.....	346
	C. Le couplage $j-j$	349
4.	<i>Détermination des moments cinétiques et recensement des différents niveaux d'énergie d'une configuration</i>	351
	A. Electrons appartenant à des sous-couches toutes différentes.....	351
	B. Electrons équivalents (de la même sous-couche).....	353
	C. La règle de Hund.....	355
CHAPITRE XVI. <i>Spectroscopie des systèmes à un et deux électrons</i>		355
1.	<i>Règles de sélection</i>	358
2.	<i>Atome à un électron extérieur, compte tenu du spin de l'électron</i>	360
	A. Moment cinétique total.....	360
	B. Le couplage spin-orbite.....	360
	C. Spectre observé.....	363
3.	<i>Atomes à deux électrons</i>	363
	A. Méthode d'étude.....	364
	B. Couplages entre moments cinétiques et modèle vectoriel.....	364
	C. Le couplage L-S.....	367
	D. Le couplage $j-j$	372
	E. Atomes légers.....	373
4.	<i>Niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène. Structure fine des raies</i>	373
	A. 1 ^{re} étape. Le modèle des orbites circulaires de Bohr.....	374
	B. 2 ^e étape. Le modèle relativiste de Bohr-Sommerfeld.....	374
	C. 3 ^e étape. Correction relativiste au modèle quantique.....	375
	D. 4 ^e étape. Couplage spin-orbite.....	375
	E. 5 ^e étape. Corrections radiatives.....	378
5.	<i>Spectres de rayons X</i>	380
	A. Moments cinétiques attribués aux différents niveaux.....	380
	B. Termes spectraux et énergie.....	382
	C. Spectres observés.....	383
CHAPITRE XVII. <i>Le magnétisme atomique. Effets Zeeman et Paschen Back</i>		384
1.	<i>Le Hamiltonien d'une particule chargée dans un champ électromagnétique</i> ...	385
	A. Fonction de Lagrange et équations du mouvement de la particule.....	385
	B. La fonction de Hamilton.....	387
	C. L'opérateur Hamiltonien.....	388
2.	<i>Le Hamiltonien dans un champ magnétique constant et uniforme</i>	389
	A. Cas d'un électron.....	389
	B. Cas de l'atome.....	390
3.	<i>Effet Zeeman en champ faible dans le cas du couplage L-S</i>	392
	A. Emploi de la théorie des perturbations.....	392
	B. Le théorème de Wigner Eckart et l'existence du facteur de Landé g	393
	C. Calcul du facteur de Landé.....	395

D.	Le diagramme Zeeman en champ faible.....	396
E.	Effet Zeeman décrit par l'intermédiaire du modèle vectoriel.....	398
4.	<i>Effet Paschen-Back en champ fort. Cas des champs intermédiaires.....</i>	399
A.	Première étape négligeant le couplage spin-orbite.....	399
B.	Deuxième étape.....	401
C.	Emploi du modèle vectoriel.....	402
D.	Le cas des champs intermédiaires.....	403
5.	<i>L'effet Zeeman et l'effet Paschen-Back des atomes à un ou deux électrons.....</i>	405
A.	Atomes à un électron extérieur.....	405
B.	Atomes à deux électrons en couplage $j-j$	409
CHAPITRE XVIII. <i>Le noyau et la physique de l'atome.....</i>		412
1.	<i>Le noyau. Moment cinétique et moment magnétique.....</i>	412
A.	Le moment magnétique du proton.....	412
B.	Le moment magnétique du neutron.....	414
C.	Moment cinétique et moment magnétique des noyaux.....	416
2.	<i>La structure hyperfine magnétique des niveaux d'énergie.....</i>	418
A.	Composition des moments cinétiques.....	419
B.	Energie d'interaction.....	419
3.	<i>Interactions magnétiques entre le noyau et les électrons. Calcul de la constante de structure hyperfine.....</i>	422
A.	Interaction du moment nucléaire avec le moment orbital d'un électron... ..	422
B.	Interaction avec le spin d'un électron décrivant une orbite non pénétrante.....	423
C.	Cas d'une orbite électronique pénétrante.....	423
D.	Corrections diverses.....	424
4.	<i>Corrections à apporter à l'interaction électrostatique électrons-noyau.....</i>	425
A.	Effets quadripolaires électriques.....	425
B.	Effets isotopiques de masse et de volume.....	427
5.	<i>La structure hyperfine des raies spectrales.....</i>	428
6.	<i>Le magnétisme d'un atome possédant un spin nucléaire. Effets Zeeman et Back-Goudsmit.....</i>	431
A.	La perturbation W dépendant du champ magnétique.....	431
B.	Cas des champs faibles. Effet Zeeman.....	432
C.	Effet Back-Goudsmit en champ fort.....	434
D.	Cas des champs très forts.....	436
7.	<i>Diagrammes d'énergie dans les régions de champ intermédiaire. Moments magnétiques effectifs.....</i>	437
CHAPITRE XIX. <i>Les méthodes expérimentales en physique de l'atome.....</i>		439
1.	<i>Introduction.....</i>	439
A.	Les motivations.....	439
B.	L'exploitation du signal dans une expérience.....	440
2.	<i>La spectroscopie optique.....</i>	442
A.	La spectroscopie interférentielle.....	442
B.	La spectroscopie par croisement de niveaux.....	446

VIII *Table des matières*

3.	<i>La spectroscopie des radiofréquences</i>	452
A.	Caractères généraux des expériences de spectroscopie hertzienne	453
B.	Mesure du « Lamb-shift » du niveau $n = 2$ de l'atome d'hydrogène	455
C.	Structure hyperfine de l'hydrogène. Le MASER à hydrogène	458
D.	La spectroscopie des états excités par résonance magnétique et détection optique	459
E.	Etude du niveau fondamental par la méthode de Rabi sur jet atomique	461
F.	Etude du niveau fondamental par les méthodes de pompage optique	464
4.	<i>Durées de vie et forces d'oscillateur</i>	468
A.	Définition des forces d'oscillateur et des durées de vie	468
B.	Etude expérimentale des durées de vie atomiques	471
C.	Etude expérimentale des forces d'oscillateur	474
5.	<i>Collisions électroniques et atomiques</i>	475
A.	Section efficace de collision	475
B.	Les différents processus de collisions	478
C.	Ionisation et excitation par impact d'électrons	479
6.	<i>Moment dipolaire électrique du neutron et de l'électron</i>	483
A.	Motivation des études expérimentales	483
B.	Moment dipolaire électrique du neutron	484
C.	Moment dipolaire électrique de l'électron	487
7.	<i>Muonium, atomes mésiques et positronium</i>	487
A.	Le positronium	488
B.	Le muonium	490
C.	Atomes mésiques	491
CHAPITRE XX. <i>Les lasers en physique atomique</i>		495
1.	<i>Les propriétés fondamentales du rayonnement laser</i>	495
A.	La directivité	495
B.	Puissance émise. Densité de puissance. Energie	496
C.	Finesse spectrale ou cohérence temporelle	497
2.	<i>Les différents types de laser</i>	498
A.	Lasers mettant en jeu des niveaux discrets atomiques ou moléculaires	499
B.	Lasers à excimères	503
C.	Lasers à ions dilués dans une matrice solide	506
D.	Lasers à colorants	508
E.	Lasers à semi-conducteurs	512
F.	Perspectives d'avenir et autres types de sources lumineuses	515
3.	<i>Le laser moyen d'excitation</i>	517
A.	Les possibilités d'excitation ouvertes par les lasers	517
B.	Les principaux axes de recherche	521
C.	Deux applications importantes	522
4.	<i>Spectroscopie laser à haute résolution</i>	523
A.	Spectroscopie sur jets atomiques	524
B.	Spectroscopie sur jets d'ions fortement accélérés	526
C.	Spectroscopie de saturation	528
D.	Spectroscopie multiphotonique	533
E.	Applications de la spectroscopie sans largeur Doppler	535

5.	<i>Phénomènes transitoires après une impulsion laser</i>	537
A.	La génération d'impulsions	537
B.	Etudes des durées de vie et des phénomènes de collision ou relaxation ...	541
C.	Battements quantiques	541
	<i>Complément : Faisceaux gaussiens</i>	543
ANNEXE I.	<i>Notations</i>	546
ANNEXE II.	<i>Formulaire d'électromagnétisme</i>	551
ANNEXE III.	<i>Rayonnement classique</i>	553
ANNEXE IV.	<i>Moments de multipôles</i>	564
ANNEXE V.	<i>Collisions élastiques non relativistes</i>	577
ANNEXE VI.	<i>Représentation des opérateurs scalaires et vectoriels. Théorème de Wigner-Eckart</i>	580
ANNEXE VII.	<i>Introduction aux équations de Bloch-Maxwell. Cas de deux niveaux</i> ..	586
ANNEXE VIII.	<i>Résumé historique</i>	598
ANNEXE IX.	<i>Bibliographie</i>	601
	<i>Index</i>	603