

Table des Matières

1	Introduction	1
1.1	Granulation de la matière	1
1.2	Premières analyses quantitatives de la structure atomique	3
1.3	Instabilité électrodynamique de l'atome classique	4
2	La radioactivité	5
2.1	Phénoménologie de la radioactivité	5
2.2	Loi de décroissance radioactive	7
3	Les expériences de Rutherford	9
3.1	Preuve expérimentale de la structure lacunaire de la matière	9
3.2	Section efficace	10
3.3	Section efficace différentielle pour la diffusion Rutherford	11
4	Quantification de l'énergie : le rayonnement thermique	13
4.1	Le rayonnement thermique : définition et phénoménologie sommaire	13
4.2	Formule de Rayleigh - Jeans (1900)	14
4.3	Loi de Planck (1900)	15
5	Quantification de l'énergie : le photon	17
5.1	L'effet photoélectrique	17
5.2	L'effet Compton	19
6	Structure atomique, raies spectrales, théorie de Bohr	21
6.1	Spectre des atomes	21
6.2	Le modèle de Bohr (1913)	22
7	L'Ancienne Théorie des Quanta	25
7.1	Mécanique analytique	25
7.2	Retour sur la règle de Planck pour l'oscillateur harmonique	26
7.3	Les règles de quantification de Bohr - Wilson - Sommerfeld (BWS)	27

8	Structure du noyau atomique	29
8.1	Caractéristiques physiques du noyau	29
8.2	Composition du noyau	30
8.3	Énergie de liaison du noyau	31
8.4	Transitions nucléaires	32
9	L'avènement de la Mécanique quantique	33
9.1	La Mécanique des matrices de Heisenberg	33
9.2	La Mécanique ondulatoire de Schrödinger	35
10	Fonction d'onde	37
10.1	L'interprétation de Born	37
10.2	La fonction d'onde en tant qu'outil de calcul	38
10.3	Le déterminisme quantique	39
10.4	Relations d'indétermination de Heisenberg	40
11	Magnétisme atomique	41
11.1	Inexistence du magnétisme en théorie classique	41
11.2	Expérience de Stern et Gerlach (1921)	42
12	Postulats et structure formelle de la Mécanique quantique	43
12.1	Postulats	43
12.2	Les fondements du formalisme	45
13	Opérateurs	47
13.1	Opérateurs hermitiques, opérateurs unitaires	47
13.2	Manipulation et combinaison des opérateurs	48
13.3	Représentations $-q$ et $-p$	49
14	Évolution temporelle d'un système quantique	51
14.1	Description de l'évolution dans le temps	51
14.2	Propagateur	53
15	Potentiels à une dimension constants par morceaux	55
15.1	Propriétés des problèmes à une dimension	55
15.2	Conséquence des conditions aux limites : quantification des états liés	56
15.3	Exemple : le puits carré	57
16	L'oscillateur harmonique	59
16.1	Résolution de l'équation aux valeurs propres	59
16.2	Opérateurs de création et d'annihilation	61

17 Symétrie et lois de conservation	63
17.1 Symétrie universelle. Symétrie propre	63
17.2 Symétrie spatiale	64
17.3 Invariance de jauge	65
17.4 Symétries discrètes	66
17.5 Symétrie et dégénérescence	66
18 Théorie du moment cinétique	67
18.1 Valeurs et vecteurs propres d'un moment cinétique	67
18.2 Addition de moments cinétiques. Coefficients de Clebsch - Gordan	69
18.3 Théorème de Wigner - Eckart	69
19 Potentiel central et atome d'hydrogène	71
19.1 Hamiltonien du champ central	71
19.2 Particule libre	72
19.3 Atome d'hydrogène	73
20 Le spin	75
20.1 L'irrésistible ascension du spin	75
20.2 Généralisation de la notion de fonction d'onde	76
20.3 Équation de Dirac	77
21 Illustration des postulats de la Mécanique quantique	79
21.1 L'effet Zénon quantique	79
21.2 Sauts quantiques	80
21.3 Cryptographie quantique	82
21.4 Décohérence	82
21.5 Intrication	83
22 Particules identiques	85
22.1 Spécificité des particules identiques en Mécanique quantique	85
22.2 Différences fondamentales entre bosons et fermions	87
22.3 La Seconde quantification	88
23 Méthodes d'approximation pour les états propres	89
23.1 Méthode variationnelle	89
23.2 Théorie des perturbations stationnaires	90
24 Théorie des perturbations dépendant du temps	93
24.1 Approximations successives de l'opérateur d'évolution	93
24.2 Deux cas importants	95
24.3 Le théorème de Gell-Mann et Low	96

25 Introduction à la description purement quantique de l'interaction champ - matière	97
25.1 Hamiltonien atome + champ	97
25.2 Émission spontanée	98
25.3 Deux autres applications : Wigner - Weisskopf vs. Rabi, et interaction de van der Waals	100
26 Introduction à la théorie de la diffusion	101
26.1 Diffusion par un potentiel	101
26.2 Équation intégrale de la diffusion. Approximation de Born	102
26.3 Déphasages. Résonances de diffusion	103
27 Atomes à plusieurs électrons	105
27.1 Modèle à électrons indépendants	105
27.2 Termes spectraux. Structure fine et multiplets	106
27.3 Origine microscopique du magnétisme	107
28 Introduction à la physique des molécules	109
28.1 L'approximation de Born et Oppenheimer	109
28.2 Nature physique de la liaison chimique	110
28.3 Mouvement des noyaux. Spectres de vibration et de rotation	111
29 Matière condensée ordonnée	113
29.1 Cohésion des solides ordonnés	113
29.2 Structure cristalline. Diffraction	114
30 Électrons dans un cristal	117
30.1 Théorème de Bloch	117
30.2 Deux schémas classiques d'approximation	118
30.3 Conducteurs, semi-conducteurs, isolants	119
30.4 Universalité des conséquences de la symétrie discrète	120
31 Vibrations d'un solide ordonné	121
31.1 Dynamique et quantification	121
31.2 Contribution des phonons à la chaleur spécifique	123
31.3 Phonons et diffraction	123
32 Notions de transport dans les solides	125
32.1 Conductivité d'un métal	125
32.2 Supraconductivité	126
Bibliographie	129
Index	133