
Table des matières

1	Mise en évidence de phénomènes quantiques	9
I	Aperçu	9
II	Quantification	10
II.1	L'effet photoélectrique - quantification des échanges rayonnement-matière	10
II.1.a	Description	10
II.1.b	Analyse détaillée	11
II.2	Quantification des niveaux d'énergie atomiques	13
II.2.a	Spectres atomiques	13
II.2.b	Expérience de Franck et Hertz (1914) - quantification des niveaux d'énergie atomiques	15
II.3	Expérience de Stern et Gerlach	17
II.4	Conclusion	18
III	Dualité onde-corpuscule	20
III.1	Rayonnement et photon	20
III.2	Caractère ondulatoire de la matière	22
III.2.a	Relation de Louis de Broglie	22
III.2.b	Un exemple des propriétés ondulatoires de la matière : interférences entre atomes	23
III.3	Les quanta	24
IV	La fonction d'onde : amplitude de probabilité	25
IV.1	Expérience des fentes d'Young : interprétation probabiliste	25
IV.2	La fonction d'onde	27
V	Résumé	28
VI	Pour aller plus loin : rayonnement du corps noir	29
VII	Références du chapitre	30
VIII	Exercices	31
2	Fonction d'onde. Équation de Schrödinger	39
I	Aperçu	39
II	Fonction d'onde	40
II.1	La fonction d'onde, amplitude de probabilité	40
II.2	Localisation de la particule	40
II.3	Principe de superposition	42

III	Équation de Schrödinger	42
III.1	L'équation	42
III.2	États stationnaires pour un potentiel indépendant du temps . .	43
III.2.a	Solutions à variables séparées	43
III.2.b	Exemple : évolution libre avec conditions périodiques	44
III.2.c	Propriétés des états stationnaires	45
III.3	Solution générale	46
III.3.a	Base des fonctions d'onde stationnaires	46
III.3.b	Densité de probabilité	46
III.3.c	Exemple : évolution libre sur un segment (puits infini)	47
IV	Paquets d'ondes	49
IV.1	Pourquoi une onde plane n'est pas physiquement acceptable . .	49
IV.2	Superposition d'ondes planes	49
IV.2.a	Superposition de deux ondes planes	49
IV.2.b	Paquet d'ondes	50
IV.3	Exemple d'une particule libre	51
V	Relation d'indétermination spatiale d'Heisenberg	52
V.1	La relation	52
V.2	Illustrations de la relation d'indétermination de Heisenberg . .	53
V.3	Ondes de de Broglie	54
VI	Vecteur densité de courant de probabilité	55
VI.1	Loi de conservation	55
VI.2	Onde plane	55
VII	Résumé	56
VIII	Pour aller plus loin : la quantification	57
IX	Références	57
X	Exercices	58
3	Équation de Schrödinger : exemples	71
I	Aperçu	71
II	Cadre de l'étude	72
II.1	Équation de Schrödinger avec potentiel indépendant du temps	72
II.2	Solution stationnaire dans un intervalle où V est constant . . .	73
II.3	Continuité de la fonction d'onde et de sa dérivée	74
III	Réflexion/transmission par une marche de potentiel	74
III.1	Marche de potentiel	74
III.1.a	Cas où $E > V_0$	75
III.1.b	Cas où $E < V_0$	77
III.1.c	Coefficients de réflexion et transmission	78
III.2	Falaise de potentiel	79
IV	Barrière de potentiel. Effet tunnel	80
IV.1	Barrière de potentiel	80
IV.1.a	Cas où $E < V_0$	81
IV.1.b	Cas où $E > V_0$	82
IV.2	Applications	83
IV.2.a	La radioactivité α	83

IV.2.b	Microscope à effet tunnel	85
V	Puits de potentiel	87
V.1	Rappel : le puits infini	87
V.2	Puits fini rectangulaire	88
V.3	Propriétés des puits réels	92
V.4	Exemple d'un double puits	93
VI	Résumé	97
VII	Pour aller plus loin : l'informatique quantique	98
VIII	Références du chapitre	99
IX	Exercices	99
4	Introduction à la physique statistique	115
I	Aperçu	115
II	Monde microscopique, monde macroscopique	116
III	Atmosphère isotherme et facteur de Boltzmann	117
III.1	Modèle de l'atmosphère isotherme	117
III.2	Facteur de Boltzmann	118
IV	Généralisation du facteur de Boltzmann	119
IV.1	Loi de Boltzmann	119
IV.2	Exemples et ordres de grandeur	120
IV.2.a	Rapport de populations	120
IV.2.b	Exemple du paramagnétisme à deux niveaux	121
V	Systèmes à niveaux d'énergie discrets	122
V.1	Description d'une particule	122
V.1.a	Probabilité d'occupation d'un niveau d'énergie	122
V.1.b	Énergie moyenne d'une particule et écart quadratique moyen	123
V.1.c	Évolution dans le temps de l'énergie d'une particule	124
V.2.	Description d'un système à N particules identiques indépendantes	125
V.2.a	Énergie totale et fluctuations de l'énergie	125
V.2.b	Capacité thermique d'un système de N particules et lien avec les fluctuations d'énergie	127
V.3	Exemples des systèmes à deux niveaux d'énergie $\pm\varepsilon$	127
V.3.a	Probabilités d'occupation et énergie	127
V.3.b	Moment magnétique résultant	128
V.3.c	Capacité thermique	130
VI	Résumé	131
VII	Pour aller plus loin : l'entropie	132
VIII	Références du chapitre	133
IX	Exercices	133
5	Approximation continue. Applications	143
I	Aperçu	143
II	Approximation continue	144
II.1	Exemples	144

	II.1.a	Particule dans une boîte	144
	II.1.b	Niveaux de vibration d'une molécule diatomique . . .	144
	II.2	Limite continue de la loi de Boltzmann	144
III		Théorème d'équipartition de l'énergie	145
	III.1	Énoncé	145
	III.2	Exemples	146
	III.2.a	Oscillateur harmonique unidimensionnel	146
	III.2.b	Énergie cinétique d'un gaz parfait	147
IV		Capacités thermiques des gaz	149
	IV.1	Gaz monoatomiques	149
	IV.2	Gaz diatomiques	149
V		Capacités thermiques des solides	152
VI		Résumé	154
VII		Pour aller plus loin : les statistiques quantiques	155
VIII		Références du chapitre	156
IX		Exercices	156
6		Supplément mathématique	169
	I	Aperçu	169
	II	Espace de Hilbert et fonction d'onde	170
	II.1	Espace de Hilbert	170
	II.2	Exemples	170
	II.3	Premier principe de la mécanique quantique	170
	II.4	Théorème spectral et troisième principe de la mécanique quantique	170
	III	Transformée de Fourier	171
	III.1	Théorème de Parseval-Plancherel	171
	III.2	Relation d'indétermination	172
	IV	Conditions de continuité en un point de discontinuité du potentiel . .	172
	V	Description de plusieurs degrés de liberté	173
	V.1	Introduction	173
	V.2	Intrication	174
		Constantes, ordres de grandeur utiles	177
		Index	179