

Table des matières

Introduction	1
Remerciements	3
Guide d'utilisation et motivations pour lire ce livre	5
Préliminaire : qu'est-ce qu'une théorie en physique ?	7
1 Une première discussion des principes de la mécanique quantique	9
1.1 Les systèmes quantiques	9
1.2 Les états quantiques	10
1.3 Les appareils de mesure et la mesure	11
1.3.1 Qu'est-ce qu'un appareil de mesure ?	11
1.3.2 Le caractère aléatoire de la mesure en mécanique quantique . .	11
1.3.3 Les valeurs propres et les vecteurs propres	12
1.3.4 Les observables	13
1.4 Illustration sur un exemple simple	15
1.5 Les échelles de la mécanique quantique	16
2 Mécanique quantique des systèmes à deux niveaux	19
2.1 La polarisation de la lumière	19
2.1.1 La polarisation du point de vue classique	19
2.1.2 La polarisation du point de vue quantique	22
2.1.3 Application : la loi de Malus	25
2.2 La molécule d'ammoniac	26
2.2.1 La géométrie de la molécule et les états de position déterminée	26
2.2.2 Les états d'énergie déterminée	27
3 Les principes de la mécanique quantique	31
3.1 Les états	31
3.1.1 Les vecteurs que vous connaissez déjà	32
3.1.2 Les espaces vectoriels	33

3.1.3	Les coordonnées et les bases	33
3.1.4	Première extension : nombre de dimensions arbitraire	34
3.1.5	Seconde extension : utilisation des nombres complexes	35
3.1.6	Retour sur les vecteurs d'état	36
3.1.7	Application : la polarisation circulaire de la lumière	37
3.2	La mesure quantique et les observables	38
3.3	Le produit scalaire	40
3.3.1	Le produit scalaire que vous connaissez	40
3.3.2	Le produit scalaire de la mécanique quantique	40
3.3.3	Un exemple de produit hermitien	42
3.4	Observables	44
3.5	Probabilités lors d'une mesure. Calcul des probabilités en mécanique quantique	47
4	La fonction d'onde	53
4.1	Particule sur une droite, l'observable de position	53
4.2	Probabilités de détection	54
4.3	Passage du discret au continu	55
4.4	La fonction d'onde dans le cas général	55
4.5	Identification de l'espace des états	56
4.6	Les interférences quantiques	57
4.6.1	Une expérience avec des balles de fusil	58
4.6.2	Une expérience avec des ondes	61
4.6.3	Une expérience avec des électrons	66
4.7	Pourquoi les balles de fusil ne se comportent-t-elles pas comme des électrons?	70
4.8	Le produit hermitien pour les fonctions d'onde	71
5	Equation de Schrödinger	73
5.1	L'observable d'énergie	73
5.2	Calcul de l'évolution de l'état d'un système	75
5.3	Evolution d'un système initialement dans un état propre de l'énergie .	77
5.4	Notre exemple favori : la molécule d'ammoniac	78
5.5	Comment déterminer le hamiltonien : le principe de correspondance .	82
5.5.1	L'énergie en mécanique classique	82
5.5.2	Comment trouver le hamiltonien	83
5.6	Une remarque générale quand à la définition du hamiltonien	84
6	Propriétés mathématiques utiles	85
6.1	Généralités sur les valeurs propres et les états propres	85
6.2	Multiplication des opérateurs	86
6.3	Observables et produit hermitien	87

6.4	Le produit hermitien et la normalisation des vecteurs d'état	89
6.5	Retour sur les matrices	90
6.6	Rappel sur le produit vectoriel	94
7	Le "principe" d'incertitude	95
7.1	Qu'est-ce qu'une incertitude lors d'une mesure?	95
7.2	Valeur moyenne d'une observable pour un état donné du système . . .	96
7.3	Incertainitude sur une mesure	98
7.4	La commutation des observables	99
7.5	L'inégalité de Heisenberg	100
7.6	Application : l'incertitude position-impulsion	102
7.7	Lien entre le principe d'incertitude et la diffraction	103
7.8	Quelques implications du principe d'incertitude	105
8	Moment cinétique, spin et moment magnétique	107
8.1	Le moment cinétique classique	107
8.2	Le moment magnétique classique	107
8.3	Le moment cinétique en mécanique quantique	109
8.4	Une nouveauté : le moment cinétique intrinsèque	110
8.5	Expression des observables de spin dans le cas de l'électron	111
8.6	Le spin en général	111
8.7	Le moment magnétique intrinsèque	112
9	Une application de la mécanique quantique : la structure du benzène	113
9.1	Description de la molécule de benzène	113
9.2	Que sont les électrons π ?	115
9.3	Un modèle pour décrire nos électrons π	115
9.4	Résolution quantique	116
9.4.1	Une première observable du système	116
9.4.2	Intermédiaire : rappel de l'expression d'un opérateur dans une base	117
9.4.3	Expression du hamiltonien dans la base des $ X_j\rangle$	117
9.5	Les états propres de \hat{H}	119
9.6	Discussion	124
10	Une autre application : la résonance magnétique	125
10.1	Un petit aperçu des techniques d'investigation de la chimie	125
10.2	Qu'est-ce que la résonance magnétique?	127
10.2.1	Le dispositif expérimental de la RMN	127
10.2.2	Le moment magnétique de manière classique	128
10.2.3	Le problème classique d'un moment magnétique dans un champ \vec{B}	129

10.2.4	Le problème quantique d'un moment magnétique dans un champ \vec{B}	134
10.2.5	Evolution d'un moment magnétique $\vec{\mu}$ dans un champ \vec{B} quelconque	135
10.2.6	Evolution du moment magnétique dans le cas d'un spin 1/2 dans un champ \vec{B} homogène dirigé selon \vec{e}_z	135
10.2.7	Un spin 1/2 dans un champ $\vec{B} = B_0\vec{e}_z$ auquel on superpose un champ tournant	138
10.3	Utilité de la RMN en pratique	143
10.3.1	La spectroscopie RMN	143
10.3.2	La RMN dans les hôpitaux	144
10.4	Généralité de l'oscillation de Rabi	144
11	Systèmes à plusieurs particules et paradoxes	145
11.1	Comment traiter de plusieurs particules discernables?	145
11.2	Particules identiques et principe de Pauli	145
11.3	Le chat de Schrödinger	146
11.4	L'expérience d'Aspect	147
12	Comment la mécanique quantique change le monde	151
12.1	La mécanique quantique dans l'électronique	151
12.2	La mécanique quantique dans la chimie	152
12.3	La mécanique quantique vous apporte la lumière	153
12.4	La mécanique quantique vous apporte l'énergie	156
12.5	La mécanique quantique sauve des vies	157
12.6	La mécanique quantique et l'astrophysique	158
12.7	Un petit mot sur la physique fondamentale	158
12.8	La mécanique quantique et les nanotechnologies	158
12.9	La mécanique quantique au secours du secret	159
12.10	Du lien entre science et société	159
Annexes		161
A	Nombres complexes, ondes, diffraction, interférences	163
A.1	Les nombres complexes	163
A.2	Ondes	164
A.2.1	Equation des ondes	165
A.2.2	Un exemple d'ondes : les ondes électromagnétiques	166
A.2.3	Energie et amplitude	166
A.2.4	Les ondes sinusoïdales	168
A.2.5	Pourquoi utiliser les nombres complexes?	168
A.3	L'expérience des fentes d'Young	169

A.4	La diffraction des ondes lumineuses	171
A.5	Réseaux de diffraction, cristaux, ADN	174
B	Matrices de Pauli	177
B.1	Démonstration de l'expression des matrices de Pauli	177
B.2	Démonstration de l'égalité $b_x = c_x^*$	180
C	Définition rigoureuse d'un espace vectoriel	183
C.1	Loi de composition interne	183
C.2	Monoïdes	183
C.3	Groupes, anneaux, corps	184
C.4	Espaces vectoriels	184
	Bibliographie	187
	Les livres Ellipses que nous recommandons	189
	Index	193