

# Table des matières

<i>Prologue. Qu'est-ce que la physique quantique ?</i> .....	3
De la physique classique à la physique quantique .....	3
Les fondements de la physique deviennent quantiques .....	4
Pourquoi s'intéresser aux origines de la physique quantique .....	4

## *Première partie Quantification de la matière et du rayonnement*

<i>1. De l'existence des atomes</i> .....	9
Allons donc voir chez les Grecs.....	10
L'Église récupère les atomes cachés longtemps sous le tapis .....	11
Les cristaux démontrent l'existence des atomes .....	15
Le mariage atomique des éléments chimiques.....	16
Après plus de deux millénaires, l'existence des atomes est reconnue .....	20
Comment voir les atomes d'un cristal.....	23
<i>2. Découverte des constituants de l'atome</i> .....	25
De l'étincelle électrique aux rayons cathodiques .....	25
Les rayons cathodiques se métamorphosent en électrons .....	27
Les « rayons uraniques » de Henri Becquerel .....	30
Le noyautage des atomes .....	32
Les noyaux atomiques ont des structures complexes .....	35
<i>3. Quantification du rayonnement</i> .....	39
Descartes propose une théorie de la lumière.....	39
Un milieu mystérieux qui emplit tout l'espace .....	42
Quantification de l'énergie lumineuse par Isaac Newton.....	44
Max Planck devient l'initiateur de la physique quantique en 1900 .....	46
La spectroscopie atomique .....	49
La transformation de la matière en rayonnement.....	51

## *Deuxième partie Mécanique quantique non relativiste*

<i>4. Les ondes s'associent aux particules</i> .....	59
L'atome d'hydrogène de Bohr .....	60
L'atome de Bohr-Sommerfeld .....	62
Le photon présente des caractéristiques dignes d'une particule.....	63
Premier postulat fondamental de la mécanique quantique .....	67

Vérification de l'hypothèse ondulatoire .....	70
L'optique électronique .....	74
<b>5. L'équation de Schrödinger .....</b>	<b>75</b>
Le théoricien se pose des devinettes et essaie de les résoudre .....	75
Erwin Schrödinger résout une devinette .....	76
Max Born donne une interprétation physique de la fonction d'onde .....	79
Nouvelle représentation de l'atome d'hydrogène .....	81
Extension de l'équation de Schrödinger à tous les atomes .....	85
Équation de Schrödinger dépendant du temps .....	88
<b>6. Bosons et fermions .....</b>	<b>91</b>
Des résultats expérimentaux difficiles à interpréter .....	91
Le spin de l'électron .....	94
L'équation de Pauli .....	97
Fonctions d'onde symétriques et antisymétriques .....	99
Bosons et fermions .....	100
Inégalités de Heisenberg .....	102
L'ère de la physique quantique .....	105
<b>7. Chimie quantique .....</b>	<b>107</b>
La classification périodique des éléments chimiques .....	107
Les atomes dans l'approximation du champ central .....	110
Système périodique des éléments .....	113
Molécules diatomiques .....	115
Équation de Schrödinger d'une molécule quelconque .....	119
Propriétés de symétrie des molécules .....	120
Groupes finis de symétrie des molécules .....	122
<b>8. Équivalence entre matière et énergie : <math>E = mc^2</math> .....</b>	<b>125</b>
Des entités qui furent « indestructibles » .....	125
Pression exercée par la lumière sur la matière .....	128
Mesure de la pression de radiation .....	131
Henri Poincaré démontre l'inertie de l'énergie électromagnétique .....	132
Démonstration de la formule $E = mc^2$ .....	135
Le « défaut de masse » des éléments chimiques vérifie $E = mc^2$ .....	138
Première vérification expérimentale de la formule $E = mc^2$ .....	140
Première particule d'antimatière .....	142
La matérialisation de l'énergie par Irène et Frédéric Joliot-Curie .....	143

### *Troisième partie*

#### *De la mécanique relativiste à l'électrodynamique quantique*

<b>9. Relativité restreinte .....</b>	<b>149</b>
Insuffisances de la mécanique quantique non relativiste .....	149
Première idée : il existe des systèmes de référence où les lois de la physique ont la même forme .....	152
Deuxième idée : l'espace a les mêmes propriétés en tout point et en toute direction .....	155

Troisième idée : toutes les horloges d'un référentiel doivent être réglées strictement à la même heure.....	155
Quatrième idée : toutes les phénomènes ont une cause.....	159
La transformation de Galilée .....	159
Les postulats de Poincaré .....	162
La transformation de Lorentz-Poincaré .....	163
Les postulats de Poincaré démontrent l'invariance de la vitesse de la lumière.....	165
La mécanique relativiste.....	166
Vitesse limite des particules.....	167
Expressions de l'énergie d'une particule .....	168
<b>10. Équation de Dirac .....</b>	<b>171</b>
Origine relativiste de la mécanique quantique .....	171
Équation de Klein-Gordon .....	172
Équation de Dirac pour une particule libre .....	175
Équation de Dirac pour une particule chargée dans un champ.....	175
Le spin de l'électron .....	177
Équation de Dirac pour l'atome d'hydrogène .....	179
Structure fine du spectre de l'atome d'hydrogène .....	180
<b>11. Électrodynamique quantique .....</b>	<b>185</b>
Les idées de quantification du champ électromagnétique.....	185
L'oscillateur harmonique en mécanique quantique non relativiste .....	188
Quantification du champ électromagnétique libre .....	189
Formulation lagrangienne de la mécanique quantique.....	191
Mesures expérimentales et électrodynamique quantique .....	195
Quantification par l'intégrale de chemin .....	198
Illustration par Feynman de l'intégrale de chemin.....	200
Champ quantique d'électrons.....	203
Interactions entre électrons et photons .....	203
 <i>Quatrième partie</i> <i>Des centaines de nouvelles particules</i> 	
<b>12. Particules venues du cosmos.....</b>	<b>207</b>
Découverte du positon.....	207
Découverte du méson $\mu$ .....	209
L'hypothèse du méson de Hideki Yukawa.....	210
Découverte du méson $\pi$ de Yukawa.....	211
<b>13. Les accélérateurs de particules.....</b>	<b>213</b>
Naissance des premiers accélérateurs de particules.....	213
Accélérateurs linéaires .....	216
Accélérateurs circulaires.....	218
Recherches sur la structure du noyau atomique.....	220
Les détecteurs de particules.....	223
Mécanique quantique du noyau atomique .....	225
<b>14. Leptons, hadrons et bosons.....</b>	<b>227</b>
L'antineutrino électronique de Fermi.....	227
Les leptons.....	229

Les hadrons .....	231
Multiplets et supermultiplets de hadrons.....	233
Les interactions entre les particules.....	236

*Cinquième partie*  
*Vers une théorie unificatrice*

<i>15. Quelques groupes en physique quantique .....</i>	<b>241</b>
Définition d'un groupe .....	241
Notion d'opérateur agissant sur des vecteurs .....	243
$SO(2)$ : groupe des rotations dans un plan .....	246
$SO(3)$ : groupe des rotations spatiales.....	247
$U(n)$ : groupes unitaires.....	248
Groupes de l'espace-temps à quatre dimensions .....	250
Spineurs de Pauli et groupe $SU(2)$ .....	254
Matrices infinitésimales des groupes continus.....	257
Notions sur la somme et le produit directs des représentations.....	259
<i>16. Les quarks, particules élémentaires formant les hadrons .....</i>	<b>261</b>
Lois de conservation .....	261
Isospin .....	264
Des particules inconnues : les quarks .....	265
Représentation de $SU(2)$ par les quarks $u$ et $d$ .....	267
Supermultiplets de mésons.....	268
Supermultiplets de baryons.....	269
De nouveaux quarks dévoilent leur charme.....	271
Symétrie $SU(4)$ .....	274
<i>17. Aperçus sur la théorie quantique des champs.....</i>	<b>277</b>
Champs classiques et quantification des champs .....	278
Symétries discrètes .....	281
Interaction forte.....	282
Les interactions faibles.....	284
Le « Modèle standard ».....	288
Les supercordes et autres théories concurrentes.....	292
<i>18. Applications technologiques .....</i>	<b>295</b>
Les premières bombes atomiques .....	295
Les centrales nucléaires .....	297
Les horloges atomiques .....	299
Le microscope à effet tunnel .....	300
Masers et lasers .....	302
<i>Épilogue.....</i>	<b>307</b>
Astrophysique quantique .....	307
Cosmogonie quantique.....	310
À la recherche de l'unification.....	312
Le Grand Collisionneur de Hadrons et son détecteur ATLAS.....	313
<i>Bibliographie.....</i>	<b>315</b>