

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
5. L'équation de Schrödinger	75
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
6. Bosons et fermions	91
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
7. Chimie quantique	107
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
8. Équivalence entre matière et énergie : $E = mc^2$	125
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

9. Relativité restreinte	149
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 : tous 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
10. Équation de Dirac.....	171
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
11. Électrodynamique quantique.....	185
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

Quatrième partie

Des centaines de nouvelles particules

12. Particules venues du cosmos.....	207
Découverte du positon.....	207
Découverte du méson μ	209
L'hypothèse du méson de Hideki Yukawa.....	210
Découverte du méson π de Yukawa.....	211
13. Les accélérateurs de particules.....	213
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
14. Leptons, hadrons et bosons.....	227
L'antineutrino électronique de Fermi.....	227
Les leptons.....	229

Les hadrons	231
Multipléts et supermultipléts de hadrons.....	233
Les interactions entre les particules.....	236

Cinquième partie
Vers une théorie unificatrice

<i>15. Quelques groupes en physique quantique</i>	<i>241</i>
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>	<i>261</i>
Lois de conservation	261
Isospin.....	264
Des particules inconnues : les quarks	265
Représentation de SU(2) par les quarks <i>u</i> et <i>d</i>	267
Supermultipléts de mésons.....	268
Supermultipléts de baryons.....	269
De nouveaux quarks dévoilent leur charme.....	271
Symétrie SU(4).....	274
<i>17. Aperçus sur la théorie quantique des champs.....</i>	<i>277</i>
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>	<i>295</i>
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>	<i>307</i>
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>	<i>315</i>