

Table des matières

Introduction	5
1. A la découverte des particules	7
1. Tout est quantité	7
L'atome et ses constituants	9
Les particules élémentaires	11
Particules et nombres quantiques	15
2. Dis-moi comment tu interagis, je dirais qui tu es	15
Observer les particules	15
La vie tumultueuse des électrons	21
Coller des protons	23
Hécatombe chez les neutrons	25
Petite gravité deviendra grande	26
Anatomie des interactions	28
3. Le grand zoo des particules	32
Classer les particules	32
Repérer ce qui est conservé	34
« Three quarks for Muster Mark »	36
Les mystères de l'isospin	39
Les interactions et leurs charges	41
L'antimatière	43
La synthèse du modèle standard	46
2. Des objets relativistes et quantiques	49
1. Un monde relativiste	49
Un infiniment petit infiniment rapide	49
Les piliers de la relativité	50
L'espace et le temps élastiques	55
La covariance ou la pierre angulaire de la relativité	57
Le poids de l'énergie	59
2. Onde ou corpuscule ?	61
La découverte des quanta	61
La dualité onde-corpuscule	63

3. La mécanique quantique	68
Onde de probabilité	68
Gros plan sur l'équation de Schrödinger	74
Impossible mesure	78
Une illustration des relations d'incertitude :	
la durée et la portée des interactions	83
Ne parler que de ce qui est observable	84
Mesure et point de vue	92
Fonction d'onde, états quantiques et probabilités	95
Jouer avec les états quantiques	100
Mécanique quantique et mouvement	103
4. Les particules comme des objets quantiques	112
Le spin des particules	112
Particules et états quantiques	117
Vers une mécanique quantique relativiste	118
3. Des champs quantiques	123
1. Rayonnement, matière et champs quantiques	124
Le rayonnement	125
L'onde de probabilité des photons et l'onde électromagnétique	127
La matière-rayonnement	128
2. Le concept de champ en physique	129
Un nouvel objet physique à modéliser	129
Les singulières propriétés des champs	137
Zoom sur l'énergie du champ	139
3. Vers une théorie quantique des champs	140
Quantifier un champ ?	140
Un oscillateur harmonique quantique	141
De l'oscillateur harmonique quantique aux champs quantiques	144
Le vide comme un état singulier du champ	148
Une illustration de l'énergie du vide : l'effet Casimir	149
Vers une théorie des champs quantique et relativiste	152
4. L'électrodynamique quantique	152
Champs ou potentiels ?	153
Quantifier le champ électromagnétique	155
Le photon	161
Electrodynamique quantique, photons et rayonnement de corps noir :	
une tentative de synthèse	164

5. Les champs en interaction	167
Qu'est-ce qu'une interaction de particules quantiques ?	167
La roulette des interactions quantiques	168
L'interaction vue comme une perturbation	170
Le cas des interactions électromagnétiques	174
Les mystérieuses particules virtuelles	178
6. Des difficultés... et des solutions	181
Le cauchemar des infinis	181
La renormalisation	184
4. Des objets riches en symétries	189
1. Un monde de symétries	189
Les symétries en physique	189
Symétrie, invariance et lois de conservation	193
Symétries et physique quantique	197
Symétries et théorie des groupes	199
Les mystères de SU(2)	208
2. Quelques symétries particulières	209
La conjugaison de charge	209
Le renversement du temps	212
La parité ou le monde vu dans un miroir	214
Parité, chiralité, hélicité et symétrie CP	217
La symétrie CPT	221
3. Relativité et symétries	222
Une réinterprétation de la relativité restreinte	222
Un Univers indépendant du mouvement : la relativité générale	223
Un Univers indépendant de l'échelle : la théorie de Weyl	232
5. Le modèle standard	235
1. Les théories de jauge	236
Symétries globales et symétries locales	236
La gravitation au secours de la géométrie	237
Le paradoxe du potentiel électromagnétique	242
La roue électromagnétique	246
Espaces fibrés, connexions et potentiels	251
La théorie de Yang et Mills ou l'archétype des théories de jauge	256

2. La chromodynamique quantique (QCD)	263
L'idée de quarks	263
Quarks et multiplets de hadrons	265
De la théorie des quarks à la chromodynamique quantique	268
Confinement et liberté asymptotique des quarks	273
3. L'interaction électrofaible	278
Les bizarreries de l'interaction faible	278
De la théorie de Fermi à la théorie V-A	279
L'isospin faible ou la renaissance de la théorie de Yang-Mills	281
Donner une masse aux bosons	284
Un mariage de raison : l'interaction électrofaible	287
4. La question des infinis	291
5. Au-delà du modèle standard	292
Une théorie inachevée	292
À la recherche d'un modèle standard unifié	293
Les deux écritures du Monde	296
L'astuce des super-cordes	298
Quantifier l'espace-temps	301
Compléments	307
1. L'action et le principe de moindre action	307
2. Les ondes	311
Un phénomène qui se déploie dans l'espace et dans le temps	311
La phase des ondes	312
Interférences	313
Les ondes stationnaires	314
La décomposition spectrale d'une onde	316
3. Le champ électromagnétique	317
La notion de champ électrique	317
Le champ magnétique	318
Le « fluide » électromagnétique de la physique classique	319
Index	325