

Table des matières

Préface	v
Avant-propos	vii
1 Histoire	1
1.1 Les premiers hadrons	2
1.2 Les résonances	3
1.3 Le moment magnétique du proton	4
1.4 La découverte de l'antiproton	5
1.5 Étrangeté	6
1.6 Le modèle des quarks	8
La voie de l'octet	8
La règle de Zweig	9
1.7 Le charme et la beauté	10
1.8 Radiographie des nucléons	12
1.9 La chromodynamique quantique	13
Exercices	15
Références	15
2 Classification	21
2.1 Quarks et leptons	21
2.2 Les bosons de jauge	22
2.3 Les hadrons ordinaires	23
Mésons	24
Baryons	26
2.4 Hadrons exotiques	27
Exercices	29
Références	29
3 Les instruments et les méthodes	31
3.1 Les rayons cosmiques	31
3.2 Les accélérateurs hadroniques	31
3.3 Les machines à électrons	35
Les collisionneurs électron-positon	35
Rayonnement synchrotron et Compton inverse	35
Collisions électron-proton et électron-noyau	36
3.4 Cibles fixes ou collisionneurs ?	36
3.5 Les détecteurs	37
3.6 Les outils de l'analyse	38
Cinématique	38

Espace de phase	39
Masse invariante	40
Désintégration en deux corps	40
Désintégration en trois corps. Diagramme de Dalitz	43
Exercices	47
Références	49
4 Symétries	51
4.1 Isospin des hadrons	51
4.2 Conjugaison de charge	53
4.3 Parité isotopique ou G-parité	55
4.4 Isospin des antiparticules	56
4.5 La symétrie de saveur $SU(3)_F$	57
4.6 La symétrie $SU(6)$	59
4.7 Le charme et $SU(4)$	59
4.8 Le nombre baryonique	60
Annexe 4.A $SU(2)$ et $SU(3)$	62
Rotations	62
Le groupe $SU(3)$	65
Exercices	67
Références	69
5 Le quarkonium	71
5.1 Le spectre expérimental	71
5.2 Le modèle non relativiste	72
5.3 Rappels sur l'équation de Schrödinger	74
5.4 Conséquences de l'indépendance de saveur	76
5.5 Ordre des niveaux	77
5.6 Fonction d'onde à l'origine	78
5.7 Corrections dépendant du spin	79
États S	79
États P	81
Mélange orbital	82
5.8 Production et désintégration	83
5.9 Le quarkonium par les règles de somme de QCD	85
5.10 Quarkonium par la QCD sur réseaux	86
Exercices	88
Références	91
6 Les baryons	95
6.1 Le cas de trois quarks identiques	96
Mouvement intrinsèque	96
État fondamental	96
Premier état excité	98

Deuxième niveau d'excitation	100
6.2 Les autres baryons légers	100
6.3 Le $[20, 1^+]$, enfin	101
6.4 La résonance de Roper	103
6.5 Les baryons étranges, charmés ou beaux	104
6.6 Les baryons à double saveur lourde	106
6.7 Les baryons à triple saveur lourde	107
6.8 Le confinement de trois quarks	108
6.A Formalisme hypersphérique	111
6.B Méthode variationnelle	112
Exercices	115
Références	117
7 Sacs	121
7.1 Introduction	121
7.2 Le modèle	121
7.3 Résultats	123
7.4 Corrections et développements divers	124
Mouvement du centre de masse	124
Excitations	125
Hadrons très excités	125
Multiquarks	125
Sacs et forces nucléaires	127
7.5 Modèle des sacs pour les quarks lourds	128
7.6 Conclusion	129
Exercices	130
Références	130
8 Chromodynamique quantique	133
8.1 La QCD	133
Le lagrangien de la QCD	133
La liberté asymptotique	134
Le confinement	135
8.2 Simulations sur réseaux	136
8.3 La méthode des règles de somme	137
8.4 Théories effectives	137
Considérations générales	137
Développement en portée	138
Théorie effective en présence d'un quark lourd	141
Symétrie pour les hadrons doublement lourds	142
Symétrie entre quark lourd et diquark lourd	142
Exercices	143
Références	143

9	Hadrons exotiques	145
9.1	Introduction	145
9.2	Revue des résultats	146
	Remarques préliminaires	146
	Dibaryons et multibaryons	147
	Baryons exotiques	150
	Mésons exotiques	152
	Résonances très lourdes	156
9.3	Modèles “moléculaires” pour les hadrons exotiques	157
	Généralités	157
	Noyaux légers	157
	Hypernoyaux légers	158
	Hypernoyaux charmés	159
	Baryonium	160
	Molécules méson-baryon	160
	Molécules méson-méson	161
9.4	Les multiquarks dans les modèles de quarks constituants	162
	Liaison chromomagnétique	162
	Liaison chromoélectrique	165
	Exotiques très lourds	166
9.5	Cordes et dualité	167
9.6	Hybrides	169
9.7	Les exotiques sur réseaux	171
9.8	Les exotiques à partir des règles de somme	172
	Exercices	173
	Références	174
10	La structure du nucléon	183
10.1	Introduction	183
10.2	Cinématique de la diffusion d’électrons	184
10.3	Facteurs de forme	184
10.4	Modèles pour les facteurs de forme	186
10.5	Autres facteurs de forme électromagnétiques	188
10.6	Autres facteurs de forme	189
10.7	Diffusion profondément inélastique et autres processus	189
10.8	Cinématique de la diffusion profondément inélastique	190
10.9	Analyse de la diffusion profondément inélastique	191
10.10	Loi d’échelle de Bjorken et relation de Callan-Gross	192
10.11	Fonctions de structure	194
10.12	Fonctions de structure généralisées	197
10.13	Dépendance en impulsion transverse	198
	Exercices	199
	Références	199

11 Le spin des quarks et des hadrons	203
11.1 Introduction	203
11.2 Cibles ou faisceaux polarisés	203
11.3 Effets de spin dans la diffusion hadron-hadron	204
Diffusion élastique pion-nucléon	205
Annihilation en deux mésons pseudoscalaires	207
Diffusion nucléon-nucléon	208
Diffusion antinucléon-nucléon	209
Formation d'une paire hypéron -antihypéron	210
11.4 Le rôle du spin des quarks	213
Écarts hyperfins	213
Fonctions de structure dépendant du spin	215
Exercices	216
Références	219
12 Interactions électromagnétiques	221
12.1 Pseudoscalaires	221
12.2 Effet Primakoff	223
12.3 Les moments magnétiques des baryons	223
12.4 Le rayon de charge du neutron	225
12.5 L'hydrogène muonique et le rayon du proton	226
12.6 Moment quadrupolaire du Ω^-	226
12.7 Les atomes exotiques	227
Capture et cascade	227
Le décalage et l'élargissement des niveaux	228
Exercices	232
Références	234
13 Les désintégrations faibles	237
13.1 Aperçu des interactions faibles	237
13.2 Des hadrons aux quarks	238
13.3 La matrice CKM	239
13.4 Désintégration des hadrons ordinaires	242
13.5 Désintégration des hadrons étranges	243
Désintégration des hypérons	244
Désintégration et oscillation des mésons étranges	244
13.6 Désintégration du charme	250
13.7 Désintégration de la beauté	253
13.8 Désintégration des mésons B_c	254
13.9 Désintégration du top	255
Exercices	256
Références	257
14 Perspectives	261

15	Solution de certains exercices	263
15.1	Exercices du chapitre 1	263
15.2	Exercices du chapitre 2	264
15.3	Exercices du chapitre 3	265
15.4	Exercices du chapitre 4	272
15.5	Exercices du chapitre 5	273
15.6	Exercices du chapitre 6	275
15.7	Exercices du chapitre 7	278
15.8	Exercices du chapitre 9	280
15.9	Exercices du chapitre 10	283
15.10	Exercices du chapitre 11	283
15.11	Exercices du chapitre 12	285
15.12	Exercices du chapitre 13	288
16	Glossaire	291
	Références	305
	Index des sujets	307
	Index des noms	311