

Théorie *Jean-Pierre Derendinger* quantique des champs



Presses polytechniques et universitaires romandes

Table des matières

1	Théorie des champs classiques	1	
1.1	Action, densité lagrangienne, équations du mouvement	2	✓
1.2	Symétries internes et courants de Noether	4	✓
1.3	Symétries d'espace-temps et théorème de Noether	7	✓
1.3.1	Relativité restreinte: le groupe de Poincaré	7	
1.3.2	Le champ scalaire	12	✓
1.3.3	Le champ vectoriel	13	✓
1.3.4	Le champ spinoriel	13	✓
1.3.5	Masse et spin	15	
1.3.6	Le tenseur énergie-impulsion	19	✓
1.4	Equations du champ libre	22	
1.4.1	Le champ de Klein-Gordon	23	
1.4.2	Le champ de Dirac	25	
1.5	Invariance de jauge et théories de jauge	35	
	Références	44	
	Exercices	44	
2	Quantification canonique du champ libre	47	
2.1	Principe	47	
2.2	Champs scalaires	48	
2.2.1	Le champ scalaire réel	49	
2.2.2	Le champ scalaire complexe	55	
2.3	Champs spinoriels	59	
2.4	Champs de jauge	66	
2.4.1	Quantification covariante	66	
2.4.2	Un exemple de quantification non covariante: la jauge de radiation	78	
2.5	Propagateurs	80	
	Références	88	
	Exercices	89	

3	Processus élémentaires	91
3.1	Matrice S et théorie asymptotique	92
3.2	Réduction	95
3.2.1	Le champ scalaire réel	95
3.2.2	Fermions	100
3.2.3	Photons	104
3.3	Théorie des perturbations, diagrammes de Feynman	106
3.3.1	Une expression pour S et les fonctions de Green	106
3.3.2	Le théorème de Wick	112
3.3.3	Diagrammes de Feynman du champ scalaire réel	116
3.3.4	Diagrammes de Feynman de l'électrodynamique quantique	124
3.4	Grandeurs observables: sections efficaces, temps de vie	130
3.4.1	Collision de deux particules: section efficace	131
3.4.2	Désintégration d'une particule instable: largeur, temps de vie, rapports de branchement	136
3.4.3	Calculs d'espace de phase	137
	Références	142
	Exercices	143
4	Densités lagrangiennes phénoménologiques	145
4.1	Invariance ou violation de C , P et T	146
4.1.1	La conjugaison de charge C	146
4.1.2	Le spineur de Majorana	152
4.1.3	La parité P	154
4.1.4	Invariance ou violation de CP	157
4.1.5	Le renversement du temps T	159
4.1.6	La symétrie CPT	162
4.2	Interactions fortes et électromagnétiques: QCD et QED	163
4.3	Interactions dérivatives: règles de Feynman	168
4.4	Champs massifs de spin un	175
4.5	L'interaction faible des fermions	179
	Références	181
	Exercices	182
5	Applications	183
5.1	Annihilation électron-positon	184
5.2	Diffusion Compton	191
5.2.1	Diffusion électron-photon	191
5.2.2	Rayonnement de freinage (Bremsstrahlung)	195
5.2.3	Quark-gluon $\rightarrow$ quark-gluon	196
5.3	Désintégrations du $W^\pm$ et du Z^0	199

5.3.1	Désintégration $W^- \longrightarrow \ell^- \bar{\nu}_\ell$	200
5.3.2	Désintégration $W^- \longrightarrow D_a \bar{U}_b$	202
5.3.3	Largeur totale, rapports de branchement	203
5.3.4	Désintégration du Z^0	203
5.4	Désintégration du muon	206
5.5	Diffusion profondément inélastique, modèle des partons	210
5.5.1	Diffusion électron-quark	210
5.5.2	Diffusion élastique électron-proton	212
5.5.3	Diffusion inélastique profonde	215
5.5.4	Partons	217
5.6	Désintégration en deux photons du boson de Higgs	218
5.6.1	Le modèle	220
5.6.2	Une densité lagrangienne effective	227
	Références	229
	Exercices	229
6	Renormalisation	231
6.1	Contre-termes et théorie des perturbations	232
6.2	L'électrodynamique à l'ordre d'une boucle: divergences	239
6.3	Régularisation dimensionnelle	243
6.3.1	La fonction gamma	243
6.3.2	Une intégrale en dimension n	244
6.3.3	D'autres intégrales	247
6.4	Régularisation dimensionnelle de l'électrodynamique	249
6.4.1	La densité lagrangienne	249
6.4.2	Propagateur du photon: polarisation du vide	251
6.4.3	Propagateur du fermion, self-énergie	253
6.4.4	Correction de vertex	257
6.4.5	Résumé	262
6.5	L'identité de Ward	264
6.6	Ordres plus élevés, renormalisabilité	267
6.7	Groupe de renormalisation, couplages effectifs	269
	Références	283
	Exercices	284
7	Symétrie spontanément brisée	287
7.1	Le théorème de Goldstone	287
7.2	Le mécanisme de Higgs	293
7.3	Un exemple: le doublet scalaire complexe	297
	Références	302
	Exercices	303

8 Le Modèle standard	305
8.1 Groupe et bosons de jauge	306
8.2 Quarks et leptons	307
8.3 Champs scalaires	309
8.4 Dérivées covariantes, densité lagrangienne	310
8.5 Mécanisme de Higgs et jauge unitaire	313
8.6 Paramètres et valeurs numériques	321
Appendice A Formulaire, conventions et notations	323
Appendice B L'anomalie chirale	333
Bibliographie	339
Index	345

La théorie quantique des champs, qui réunit relativité restreinte et mécanique quantique, est notamment à la base de la description des forces régissant la physique des particules élémentaires. La validité de cette description a été vérifiée jusqu'à un niveau de précision remarquable. L'ouvrage présente les rudiments du formalisme à la base de cette théorie des interactions fondamentales. Il s'adresse en priorité aux étudiants en physique des particules et aux physiciens d'autres domaines intéressés à connaître cette théorie. Une connaissance de la mécanique quantique et de la relativité restreinte est requise, au niveau d'étudiants de deuxième cycle en physique. L'accent est mis sur les applications physiques et les techniques de calcul sont en général exposées en détail.

Jean-Pierre Derendinger est titulaire d'un doctorat en physique théorique de l'Université de Genève obtenu en 1983. Il effectue ensuite différentes recherches dans le domaine de la théorie des interactions fondamentales au CERN, au Laboratoire de physique théorique de l'Ecole normale supérieure de Paris ainsi qu'à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Depuis 1990, il est professeur à l'Université de Neuchâtel.

ISBN 2-88074-491-1



9 782880 744915 >

Presses polytechniques et universitaires romandes