

# LA CLEF DES CHAMPS



D.E.A. de physique nucléaire  
et des particules

Alain Laverne, Grenoble 1981-82



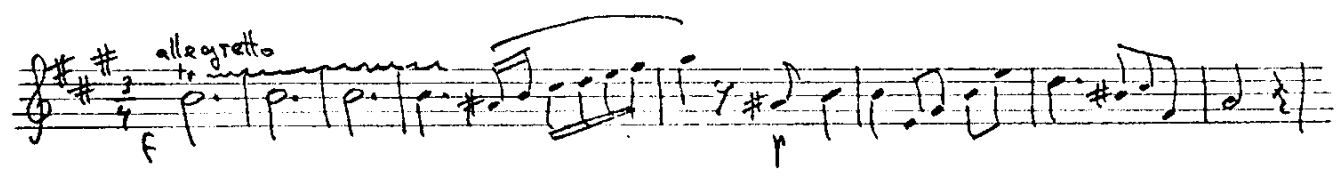
## FLORILÈGE I

<u>Théorie quantique des champs</u>	1
Preamble	1
Espoirs	5
<u>Champ électromagnétique quantique</u>	6
Réécriture de l'hamiltonien des électrons en environnement électromagn.	7
Propriétés des champs classiques	9
Rappel de théorie des perturbations dépendant du temps, règle de Au	13
Probabilité d'absorption	16
Modèle quantique pour le rayonnement électromagnétique	17
<u>Grandeurs physiques du champ de photons</u>	23
$\Phi$ -champ électrique	23
$\Phi$ -champ magnétique	23
$\Phi$ -énergie du champ	24
$\Phi$ -hamiltonien du champ de photons libre	27
$\Phi$ -impulsion du champ	29
Spin du photon	32
<u>Valeurs moyennes - Dispersion</u>	35
Valeurs moyennes de $\vec{E}$ et $\vec{E}^2$ dans le vide	35
Valeurs moyennes de $\vec{E}$ et $\vec{E}^2$ moyens dans le vide	37
<u>Commutateurs</u>	41
<u>Constantes du mouvement</u>	44
Impulsion	44
Moment angulaire	47
<u>Quelques états intéressants</u>	48
Opérateur de phase	48
Propriétés des états $ n\rangle$	51
Propriétés des états $ \varphi\rangle$	52
Les états cohérents	53
Pour les polars	58
Pour les amateurs de classique	61
Epilogue	63
Conclusions	65
<u>Emission et absorption des photons</u>	66
Absorption d'un photon du mode $\vec{k}$	67
Emission d'un photon du mode $\vec{k}$	68
Emission dipolaire électrique spontanée	69
Pourquoi dipolaire électrique ?	72
Ordres de grandeur	76
Emissions quadrupolaire et magnétique dipolaire	78
Détection des photons	78

Equilibre thermodynamique	81
Diffusion des photons par un atome	83
Diffusion élastique	87
Diffusion élastique à basse énergie (Rayleigh)	88
Diffusion élastique à haute énergie (Thomson)	90
Effet Raman	92
Limite de la formule de Kramers - Heisenberg	92



# FLORILEGE II



<u>Quantique des champs, le formalisme</u>	93
Pourquoi la quantique des champs ?	93
Opérateurs de champ	95
Propriétés des opérateurs de champ au cours des transformations	96
Générateurs des translations	98
Générateurs des transformations de Lorentz, homogènes, propres, orthochrones	99
Transformations internes	100
La recette lagrangienne	102
Le dessert d'Emmy Noether	104
Invariance par rapport aux translations	106
Invariance par rapport aux rotations, transformations spat. de Lorentz	107
Invariance par rapport aux transformations internes	107
Commutateurs des opérateurs de champ quantiques	108
Les menus plaisirs	110
Angoisses	111
<u>Champ de spin 0</u>	112
Champ scalaire hermitique libre	112
Développement en ondes planes	112
Générateurs des translations	115
Générateurs des rotations	116
Commutateurs à des temps quelconques	117
Champ scalaire non hermitique	118
Symétrie interne	119
Et si les états du champ scalaire étaient antisymétriques ?	122
Champ scalaire auto-interagissant	127
<u>Champ de spin 1/2</u>	128
Constantes du mouvement dans la théorie du champ de Dirac classique	129
Convenances	132
Champ de Dirac quantique	135
Hamiltonien	137
Choix canonique, théorème spin-statistique	138
Le choix anti-canonique	141
Les générateurs	143
Conclusions	144
<u>Champs de spin 1</u>	147
Champ de Proca	148
Développement sur les modes stationnaires dans la caisse	149
Opérateur de champ quantique	152
Hamiltonien	154

<u>Les champs en interaction - La théorie covariante des perturbations</u>	156
Champs sans interaction	157
champs en interaction	157
Représentation d'interaction	158
Opérateur d'évolution: Matrice S	159
Série de perturbation	161
<u>Lagrangiens d'interactions</u>	165
Symétries universelles	165
Symétries particulières	165
Lagrangien d'interaction	166
Exemple	167
<u>Electrodynamique quantique</u>	169
Lagrangien	171
Equations du mouvement	174
Jauge de Coulomb	176
Décomposition transverse	178
Densité hamiltonienne	178
Développement de l'opérateur de champ électromagnétique	181
<u>Art &amp; Métier</u>	182
Produit chronologique	183
Produit normal	183
Exemples	183
Contraction	184
Propagateur de Feynman pour le champ scalaire	185
Propagateur du champ de spin 1/2	187
Théorème de Wick	191
<u>Calcul d'un processus</u>	193
Matrice S. Cas de l'électrodynamique quantique	193
Réaction $e^- e^+$	194
Théorème de Wick pour un produit T de produits :	196
Annihilation $e^- e^+$	197
Élément de matrice invariant - Graphes de Feynman	200
Section efficace	203
Espace de phase	205
<u>Examen</u>	207
Diffusion Møller	208
Propagateur du photon	209
Exercices	210
<u>Corrigé de l'examen</u>	212
Diffusion Møller	212
Propagateur du photon	220
Exercices	223

# FLORILEGE III

Molto moderato  
Fl.  
p dolce e espressivo

## Isospin

Isospin en physique nucléaire	233
Conclusions	238
Invariance $SU(2)$ en quantique des champs	240

## Champ de jauge $SU(2)$ de Yang et Mills

Invariance par rapport aux transformations de jauge locales du groupe $SU(2)$	243
Dérivée covariante	244
Lagrangien matière - champ de Yang-Mills	248
Lagrangien pour l'interaction faible $p, n, V, e$	252
La masse du boson de Yang-Mills	255
Extension aux multiplets	256
Autres groupes	256
Universalité de la constante de couplage	258
Théorie de Yang-Mills quantique	259
Renormalisabilité	259
Auto interaction du champ de Yang-Mills	260

## Chromodynamique

Historique	261
Statistique des quarks	262
La production d'hadrons par collisions $e^-e^+$	263
Jets	264
$SU(3)$ couleur	265
Chromodynamique (pas quantique)	269
Interactions susceptibles d'être décrites	273
Symétries globales	274
Chromodynamique quantique	277
Liberté asymptotique	281
Confinement	285

## L'interaction faible, prologue

Théorie ponctuelle	287
Section efficace $\nu_e + e^- \rightarrow \nu_e + e^-$	287
Théorie du boson vectoriel intermédiaire	289
Réaction $\nu_e + \bar{\nu}_e \rightarrow W^+ + W^-$	293
Renormalisabilité	295

## L'invariance de jauge cachée

Effet d'écran, ou comment la masse vient au photon	299
Diamagnétisme atomique	302
Diamagnétisme d'un supra conducteur	305

## Symétrie cachée en théorie des champs de particules

Symétrie discrète spontanément brisée	308
Symétrie continue spontanément brisée	313
Théorème de Goldstone	315
Modèle de Higgs, la symétrie cachée	319
Bilan	323

## Modèle standard de l'interaction électro-faible. I - les leptons

Considérations phénoménologiques	326
L'ensemble "faites-le-vous-même" d'Iliopoulos	327
Quel groupe de jauge choisir ?	329
L'invariance locale par rapport à $SU(2)_L \times U(1)$	330
Cacher cette symétrie que je ne saurais voir !	335
Masses des bosons de jauge	338
Le lagrangien d'interaction leptons-boson de jauge	343
Lagrangien d'interaction faible effectif	345
Le testage des fermions	349
Prédictions du modèle	352
	355

## Modèle standard de l'interaction électro-faible. II - les hadrons

Les quarks $u, d$ . Transitions $\Delta s = 0$	359
Quark $s$ . Transitions $\Delta s = 1$ . Angle de Cabibbo	361
Les termes de quark dans les courants	363
L'étrange neutralité	364
Sim, un charmant mécanisme à contre-courant	366
Les masses des quarks	369

### Le reste...

Le beau quark	371
Le modèle quark-parton	371
Un cadavre de plus, le boson de Higgs	372
La grande unification	373
	374

### Bilan

Les erreurs	382
Les manques	382

### Bibliographie

383

### Examen

389