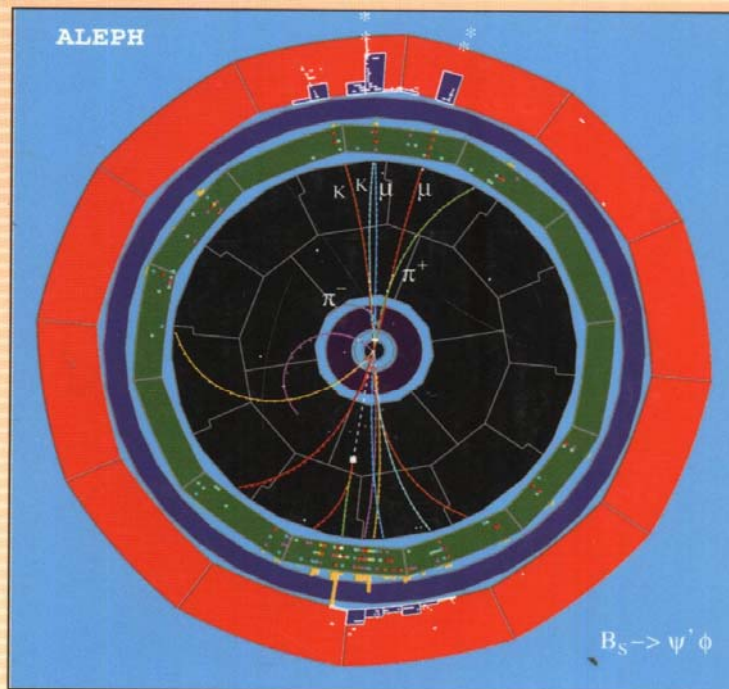


André Rougé

---

# Introduction à la physique subatomique



LES ÉDITIONS DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

2-539-38-1

2-539-38-1



# Introduction à la physique subatomique

André Rougé



# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Avant-Propos</b>  | <b>5</b>  |
| <b>A Prologue</b>  | <b>7</b>  |
| <b>1 Panorama de la physique des particules</b>                            | <b>9</b>  |
| 1.1 Historique . . . . .   | 10        |
| 1.2 Résumé-lexique . . . . .   | 18        |
| 1.3 Production et détection des particules . . . . .                       | 26        |
| <b>B Symétries</b>   | <b>31</b> |
| <b>2 Symétries, invariances, lois de conservation</b>                      | <b>33</b> |
| 2.1 Symétries et lois de conservation en mécanique classique . . . . .     | 34        |
| 2.2 Lois de symétrie en mécanique quantique . . . . .                      | 35        |
| <b>3 Moments cinétiques et rotations, addition des moments cinétiques</b>  | <b>49</b> |
| 3.1 Quelques propriétés des rotations . . . . .                            | 50        |
| 3.2 Rotations en mécanique quantique . . . . .                             | 51        |
| 3.3 Rappels des propriétés des moments cinétiques . . . . .                | 52        |
| 3.4 Transformation des observables, conservation du moment cinétique . . . | 53        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.5      | Spin, hélicité, le spin des particules de masse nulle . . . . .              | 56         |
| 3.6      | Application à l'étude d'une désintégration . . . . .                         | 61         |
| 3.7      | Addition des moments cinétiques . . . . .                                    | 65         |
| <b>4</b> | <b>Symétries discrètes, parité, conjugaison de charge</b>                    | <b>75</b>  |
| 4.1      | La parité . . . . .  | 75         |
| 4.2      | La conjugaison de charge . . . . .   | 82         |
| 4.3      | Autres symétries discrètes . . . . .   | 86         |
| 4.4      | La non-conservation de P et de C dans les interactions faibles . . . . .     | 91         |
| <b>5</b> | <b>Le modèle non-relativiste des quarks</b>                                  | <b>99</b>  |
| 5.1      | Introduction, les quarks, la couleur . . . . .                               | 99         |
| 5.2      | Les baryons . . . . .  | 112        |
| 5.3      | Les mésons légers . . . . .  | 122        |
| 5.4      | Les quarks lourds, le quarkonium . . . . .                                   | 126        |
| <b>C</b> | <b>Réactions</b>   | <b>133</b> |
| <b>6</b> | <b>Collisions, sections efficaces</b>  | <b>135</b> |
| 6.1      | Définition de la section efficace . . . . .                                  | 135        |
| 6.2      | Calcul des sections efficaces . . . . .                                      | 143        |
| <b>7</b> | <b>Désintégrations, durées de vie</b>  | <b>159</b> |
| 7.1      | Durées de vie, largeurs, rapports de branchement. . . . .                    | 159        |
| 7.2      | Calcul des vies moyennes en mécanique quantique . . . . .                    | 160        |
| 7.3      | Ordres de grandeur . . . . .   | 165        |
| <b>8</b> | <b>Oscillations</b>  | <b>175</b> |
| 8.1      | Désintégration et oscillations, $K^0 \bar{K}^0$ et $B^0 \bar{B}^0$ . . . . . | 175        |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 8.2      | Oscillations des neutrinos . . . . .                             | 197        |
| <b>9</b> | <b>Processus fondamentaux</b>                                    | <b>219</b> |
| 9.1      | Amplitudes invariantes . . . . .                                 | 220        |
| 9.2      | Opérateurs d'annihilation et de création, hamiltoniens . . . . . | 223        |
| 9.3      | Quelques propriétés des perturbations invariantes . . . . .      | 233        |
|          | <b>Exercices</b>   | <b>237</b> |
|          | <b>Exercices de la partie A</b>                                  | <b>239</b> |
|          | <b>Exercices de la partie B</b>                                  | <b>243</b> |
|          | <b>Exercices de la partie C</b>                                  | <b>267</b> |
|          | <b>Appendices</b>  | <b>287</b> |
| <b>A</b> | <b>Nomenclature, coefficients, constantes</b>                    | <b>289</b> |
| A.1      | Nomenclature . . . . .   | 289        |
| A.2      | Constantes . . . . .   | 290        |
| A.3      | Harmoniques sphériques, matrices de rotation . . . . .           | 290        |
| A.4      | Coefficients de Clebsch-Gordan . . . . .                         | 292        |
| <b>B</b> | <b>Distributions, distribution de Dirac, bases continues</b>     | <b>295</b> |
| B.1      | Distributions . . . . .  | 295        |
| B.2      | Bases continues . . . . .  | 297        |
| <b>C</b> | <b>Applications de la théorie des groupes</b>                    | <b>299</b> |
| C.1      | Introduction . . . . .   | 299        |
| C.2      | Vocabulaire . . . . .  | 301        |

---

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| C.3      | Le lemme de Schur, règles de sélection et dégénérescences . . . . .  | 306        |
| C.4      | Les groupes de permutations et le principe de Pauli . . . . .        | 308        |
| C.5      | Le groupe des rotations, $SU(2)$ et les spins demi-entiers . . . . . | 313        |
| C.6      | Le groupe de Poincaré et la définition relativiste du spin . . . . . | 317        |
| C.7      | Équation de Dirac et groupe de Lorentz . . . . .                     | 322        |
| C.8      | $SU(2)$ , $SU(3)$ , algèbres de Lie et symétries internes . . . . .  | 338        |
|          | Index de l'Appendice C . . . . .                                     | 386        |
| <b>D</b> | <b>Corrigés des exercices</b>  | <b>389</b> |
|          | <b>Index</b>   | <b>439</b> |



André Rougé

**André Rougé** est directeur de recherche au CNRS et professeur à l'École Polytechnique, ses travaux de recherche récents portent sur l'étude de l'interaction électrofaible auprès des collisionneurs  $e^+e^-$  et la physique du lepton tau.

---

Cet ouvrage s'adresse à des étudiants de maîtrise ou des grandes Écoles. Sa lecture ne suppose que des connaissances de base en mécanique quantique et en relativité restreinte.

---

Ce cours offre une présentation de la physique des particules contemporaine, c'est à dire de la description de la structure de la matière en termes de constituants élémentaires (quarks et leptons) et d'interactions fondamentales déterminées par des principes de symétrie. Il est illustré par les résultats des expériences les plus récentes. Le texte est complété par un recueil de plus de cinquante problèmes et exercices dont les corrigés sont donnés en appendice. Pour les étudiants ayant une formation mathématique un peu plus poussée, un appendice reprend un certain nombre des questions traitées dans la langage de la théorie des groupes.

*Illustration de couverture :  
Production d'une paire de quarks « beaux »  
dans une annihilation électron positron ( $e^+e^- \rightarrow b\bar{b}$ ).  
Expérience ALEPH au CERN.*