

# RELATIVISTISCHE QUANTENMECHANIK

VON

JAMES D. BJORKEN UND SIDNEY D. DRELL

Stanford Linear Accelerator Center / Stanford University



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT - MANNHEIM

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

# INHALTSVERZEICHNIS

## Vorwort

### 1. KAPITEL: Die Dirac-Gleichung

|  |    |
|--|----|
| 1.1 Formulierung einer relativistischen Quantentheorie . . . . . | 13 |
| 1.2 Erste Versuche . . . . .                                     | 15 |
| 1.3 Die Dirac-Gleichung . . . . .                                | 18 |
| 1.4 Nichtrelativistischer Grenzfall . . . . .                    | 22 |
| Aufgaben . . . . .   | 26 |

### 2. KAPITEL : Lorentz-Kovarianz der Dirac-Gleichung

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Kovariante Form der Dirac-Gleichung . . . . . | 27 |
| 2.2 Nachweis der Kovarianz . . . . .              | 29 |
| 2.3 Raumspiegelung . . . . .                      | 36 |
| 2.4 Bilineare Kovarianten . . . . .               | 37 |
| Aufgaben . . . . .                                | 38 |

### 3. KAPITEL : Lösungen der Dirac-Gleichung für freie Teilchen

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Ebene Wellen . . . . .  | 39 |
| 3.2 Projektionsoperatoren für Energie und Spin . . . . .                              | 44 |
| 3.3 Physikalische Interpretation der freien Lösungen und Wellen -<br>pakete . . . . . | 47 |
| Aufgaben . . . . .  | 55 |

### 4. KAPITEL: Die Foldy-Wouthuysen-Transformation

|   |    |
|---|----|
| 4.1 Einleitung . . . . .                        | 56 |
| 4.2 Transformation für freie Teilchen . . . . . | 57 |
| 4.3 Die allgemeine Transformation . . . . .     | 58 |
| 4.4 Das Wasserstoffatom . . . . .               | 63 |
| Aufgaben . . . . .                              | 72 |

### 5. KAPITEL: Löcher-Theorie

|  |    |
|--|----|
| 5.1 Das Problem der Lösungen mit negativer Energie . . . . . | 74 |
| 5.2 Ladungskonjugation . . . . .                             | 77 |
| 5.3 Vakuum-Polarisation . . . . .                            | 81 |
| 5.4 Zeitumkehr und andere Symmetrien . . . . .               | 82 |
| Aufgaben . . . . .   | 86 |

## 6. KAPITEL: Propagator-Theorie

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 6.1 | Einleitung  | .88  |
| 6.2 | Der nichtrelativistische Propagator                       | .88  |
| 6.3 | Formale Definition und Eigenschaften der Greensfunktionen | 94   |
| 6.4 | Der Propagator in der Positron-Theorie                    | .100 |
|     | Aufgaben  | .109 |

## 7. KAPITEL: Anwendungen

|      |   |      |
|------|---|------|
| 7.1  | Coulomb-Streuung von Elektronen   | .111 |
| 7.2  | Spurbildung mit Dirac-Matrizen; der Coulomb-Wirkungsquerschnitt bei Mitteilung über die Spins | .115 |
| 7.3  | Coulomb-Streuung von Positronen   | .118 |
| 7.4  | Elektronstreuung an einem Dirac-Proton  | .120 |
| 7.5  | Korrekturen höherer Ordnung zur Elektron-Proton-Streuung                                      | 128  |
| 7.6  | Bremsstrahlung  | .133 |
| 7.7  | Compton-Streuung  | .140 |
| 7.8  | Paarvernichtung zu Gammastrahlen  | .145 |
| 7.9  | Elektron-Elektron- und Elektron-Positron-Streuung   | 149  |
| 7.10 | Streuung polarisierter Elektronen   | .153 |
|      | Aufgaben  | .159 |

## 8. KAPITEL: Korrekturen höherer Ordnung zur Streumatrix

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 8.1 | Elektron-Positron-Streuung in vierter Ordnung | .161 |
| 8.2 | Vakuum polarisation                           | .166 |
| 8.3 | Renormierung der äußeren Photonlinien         | .174 |
| 8.4 | Selbstmasse des Elektrons                     | .175 |
| 8.5 | Renormierung des Elektron-Propagators         | .177 |
| 8.6 | Die Vertex-Korrektur                          | .180 |
| 8.7 | Die Lamb-shift                                | .191 |
|     | Aufgaben                                      | .196 |

## 9. KAPITEL: Die Klein-Gordon-Gleichung

|     |   |      |
|-----|---|------|
| 9.1 | Einleitung                                    | .197 |
| 9.2 | Der Propagator für Klein-Gordon-Teilchen      | 200  |
| 9.3 | Einführung der elektromagnetischen Potentiale | 202  |
| 9.4 | Streuamplituden                               | 203  |
| 9.5 | Streuprozesse niedriger Ordnung               | 205  |
| 9.6 | Prozesse höherer Ordnung                      | 209  |

|   |     |
|---|-----|
| 9.7 Der nichtrelativistische Grenzfall der Klein-Gordon-Gleichung und seine Interpretation. . . . . | 213 |
| Aufgaben. . . . .   | 221 |

10. KAPITEL: Nichtelektromagnetische Wechselwirkungen

|  |     |
|--|-----|
| 10.1 Einleitungen. . . . .                                     | 223 |
| 10.2 Starke Wechselwirkungen. . . . .                          | 224 |
| 10.3 Der Isotopenspin-Formalismus. . . . .                     | 235 |
| 10.4 Erhaltene Ströme. . . . .                                 | 240 |
| 10.5 Näherungsrechnungen; Nukleon-Nukleon-Streuung . . . .     | 241 |
| 10.6 Meson-Nukleon Streuung. . . . .                           | 245 |
| 10.7 Projektionsoperatoren für Isospin und Drehimpuls . . . .  | 248 |
| 10.8 Wirkungsquerschnitte für die Pion-Nukleon-Streuung . . .  | 251 |
| 10.9 Die elektromagnetische Struktur der Mesonen und Nukleonen | 255 |
| 10.10 Schwache Wechselwirkungen. . . . .                       | 261 |
| 10.11 Der Beta-Zerfall. . . . .                                | 262 |
| 10.12 Zweikomponenten-Theorie des Neutrinos. . . . .           | 273 |
| 10.13 Der Myon-Zerfall. . . . .                                | 276 |
| 10.14 Der Pion-Zerfall. . . . .                                | 280 |
| 10.15 Zweierlei Neutrinos. . . . .                             | 284 |
| 10.16 Die Hypothese der Vektorstrom-Erhaltung. . . . .         | 286 |
| 10.17 Näherungsweise Erhaltung der Axialvektor-Kopplung . . .  | 290 |
| Aufgaben. . . . .  | 295 |

ANHANG A: Notation

|  |     |
|--|-----|
| Orts- und Impulskoordinaten. . . . .                   | 298 |
| Dirac-Matrizen und Spinoren. . . . .                   | 299 |
| Spuren und Identitäten mit $\gamma$ -Matrizen. . . . . | 301 |

ANHANG B:

|  |     |
|--|-----|
| Regeln für Feynman-Graphen. . . . .                | 303 |
| Spinor-Elektrodynamik. . . . .                     | 305 |
| Elektrodynamik eines Bosons mit Spin Null. . . . . | 306 |
| $\gamma_5$ -Meson-Nukleon-Streuung. . . . .        | 306 |
| Elektrodynamik eines Bosons mit Spin Eins. . . . . | 307 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Sachregister. . . . . | 309 |
|-----------------------|-----|