

L. D. LANDAU · E. M. LIFSCHITZ

LEHRBUCH
DER THEORETISCHEN
PHYSIK

IVa

RELATIVISTISCHE
QUANTENTHEORIE

AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

LEHRBUCH DER THEORETISCHEN PHYSIK

von

L. D. LANDAU † · E. M. LIFSCHITZ

In deutscher Sprache herausgegeben

von

Prof. Dr. PAUL ZIESCHE

Im Auftrag der Sektion Physik
der Technischen Universität Dresden

Band IV a

RELATIVISTISCHE QUANTENTHEORIE



AKADEMIE-VERLAG · BERLIN

1975

INHALTSVERZEICHNIS

Einige Bezeichnungen	XV
Einleitung	1
§ 1. Unschärferelationen im relativistischen Bereich	1
Kapitel I. Das Photon	6
§ 2. Quantisierung des freien elektromagnetischen Feldes	6
§ 3. Photonen	11
§ 4. Eichvarianz	14
§ 5. Das elektromagnetische Feld in der Quantentheorie	16
§ 6. Drehimpuls und Parität eines Photons	18
§ 7. Kugelwellen für Photonen	20
§ 8. Polarisierung eines Photons	26
§ 9. Ein System aus zwei Photonen	32
Kapitel II. Bosonen	36
§ 10. Die Wellengleichung für Teilchen mit dem Spin 0	36
§ 11. Teilchen und Antiteilchen	41
§ 12. Streng neutrale Teilchen	45
§ 13. Die Transformationen C, P und T	48
§ 14. Die Wellengleichung für ein Teilchen mit dem Spin 1	54
§ 15. Die Wellengleichung für Teilchen mit höheren ganzzahligen Spins	57
§ 16. Zustände eines Teilchens mit bestimmter Spiralität	59
Kapitel III. Fermionen	66
§ 17. 4-Spinoren	66
§ 18. Zusammenhang zwischen Spinoren und 4-Vektoren	69
§ 19. Spiegelung von Spinoren	72
§ 20. Die DIRAC-Gleichung in Spinorschreibweise	77
§ 21. Symmetrische Form der DIRAC-Gleichung	80
§ 22. Die Algebra der DIRAC-Matrizen	85
§ 23. Ebene Wellen	88
§ 24. Kugelwellen	93
§ 25. Zusammenhang zwischen Spin und Statistik	96
§ 26. Ladungskonjugation und Zeitumkehr für Spinoren	99
§ 27. Innere Symmetrie von Teilchen und Antiteilchen	104
§ 28. Bilineare Formen	106
§ 29. Die Polarisationsmatrix	111
§ 30. Das Neutrino	117
§ 31. Die Wellengleichung für ein Teilchen mit dem Spin $3/2$	120

Kapitel IV. Ein Teilchen in einem äußeren Feld	124
§ 32. Die DIRAC-Gleichung für ein Elektron in einem äußeren Feld.	124
§ 33. Entwicklung nach Potenzen von $1/c$	128
§ 34. Feinstrukturniveaus des Wasserstoffatoms.	132
§ 35. Bewegung im kugelsymmetrischen Feld	135
§ 36. Bewegung im COULOMB-Feld	139
§ 37. Streuung an einem kugelsymmetrischen Feld.	146
§ 38. Streuung im ultrarelativistischen Feld.	148
§ 39. Das System der Wellenfunktionen zum kontinuierlichen Spektrum für die Streuung am COULOMB-Feld	150
§ 40. Ein Elektron im Feld einer ebenen elektromagnetischen Welle	154
§ 41. Bewegung eines Spins in einem äußeren Feld.	157
§ 42. Neutronenstreuung an einem elektrischen Feld	163
Kapitel V. Strahlung	166
§ 43. Der Operator für die elektromagnetische Wechselwirkung	166
§ 44. Emission und Absorption	168
§ 45. Dipolstrahlung.	171
§ 46. Elektrische Multipolstrahlung	174
§ 47. Magnetische Multipolstrahlung	178
§ 48. Winkelverteilung und Polarisation der Strahlung	181
§ 49. Strahlung von Atomen. Elektrische Strahlung	189
§ 50. Strahlung von Atomen. Magnetische Strahlung	194
§ 51. Strahlung von Atomen. ZEEMAN- und STARK-Effekt	197
§ 52. Strahlung von Atomen. Das Wasserstoffatom	200
§ 53. Strahlung zweiatomiger Moleküle. Elektronenspektren	204
§ 54. Strahlung zweiatomiger Moleküle. Schwingungs- und Rotations- spektren	211
§ 55. Strahlung von Kernen	212
§ 56. Photoeffekt. Nichtrelativistischer Fall	215
§ 57. Photoeffekt. Relativistischer Fall	219
§ 58. Photodesintegration des Deuterons	223
§ 59. Bremsstrahlung im Magnetfeld.	227
Kapitel VI. Streuung von Licht	238
§ 60. Der Streutensor	238
§ 61. Streuung an beliebig orientierten Systemen	245
§ 62. Streuung an Molekülen	252
§ 63. Natürliche Breite von Spektrallinien	256
§ 64. Resonanzfluoreszenz	260
Kapitel VII. Die Streumatrix.	265
§ 65. Die Streuamplitude.	265
§ 66. Reaktionen mit polarisierten Teilchen.	270
§ 67. Kinematische Invarianten.	274
§ 68. Physikalische Bereiche	276
§ 69. Partialwellenentwicklung	282
§ 70. Symmetrie der Streuamplituden zu bestimmten Spinalzuständen	285

§ 71. Invariante Amplituden	292
§ 72. Unitaritätsbedingung	296
Kapitel VIII. Invariante Störungstheorie	301
§ 73. Zeitgeordnetes Produkt	301
§ 74. FEYNMAN-Diagramme für die Streuung von Elektronen	304
§ 75. FEYNMAN-Diagramme für die Streuung eines Photons	311
§ 76. Der Elektronenpropagator	314
§ 77. Der Photonenpropagator	318
§ 78. Allgemeine Regeln zur Diagrammtechnik	321
§ 79. Crossing-Invarianz	329
§ 80. Virtuelle Teilchen	331
Kapitel IX. Wechselwirkung von Elektronen	336
§ 81. Streuung eines Elektrons an einem äußeren Feld	336
§ 82. Streuung von Elektronen und Positronen an einem Elektron	340
§ 83. Die BREITSche Gleichung	349
§ 84. Positronium	356
§ 85. Die Wechselwirkung von Atomen über große Entfernungen	360
Kapitel X. Wechselwirkung von Elektronen mit Photonen	367
§ 86. Streuung eines Photons an einem Elektron	367
§ 87. Streuung eines Photons an einem Elektron. Polarisierungseffekte	372
§ 88. Vernichtung eines Elektronenpaares unter Erzeugung zweier Photonen	381
§ 89. Vernichtung von Positronium	385
§ 90. Bremsstrahlung eines Elektrons beim Stoß mit einem Kern. Nichtrelativistischer Fall	390
§ 91. Bremsstrahlung eines Elektrons beim Stoß mit einem Kern. Relativistischer Fall	399
§ 92. Paarerzeugung durch ein Photon im Kernfeld	408
§ 93. Exakte Theorie der Paarerzeugung und der Bremsstrahlung im ultrarelativistischen Fall	411
§ 94. Bremsstrahlung bei einem Elektron-Elektron-Stoß im ultrarelativistischen Fall	424
§ 95. Emission weicher Photonen	429
§ 96. Die Methode der äquivalenten Photonen	436
§ 97. Paarerzeugung bei Stößen	443
§ 98. Emission eines Photons durch ein Elektron im Feld einer intensiven elektromagnetischen Welle	448
Ergänzung	
§ 82 a. Ionisierungsverluste schneller Teilchen	455
Anhang	462
§ a. Der Operator für endliche Drehungen	462
§ b. Die Matrixelemente für einen Kreislauf	466
Korrekturen zu Teil IVb	470
Sachverzeichnis	471