

QUANTEN- ELEKTRODYNAMIK

Eine Vorlesungsmitschrift und Nachdruck von Originalarbeiten

VON

R. P. FEYNMAN

CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

MITGESCHRIEBEN VON

A. R. HIBBS

MITSCHEIFT KORRIGIERT VON

E. R. HUGGINS

H. T. YURA

ZWEITE AUFLAGE KORRIGIERT VON

PETER CZIFFRA



BIBLIOGRAPHISCHES INSTITUT • MANNHEIM/ZÜRICH

HOCHSCHULTASCHENBÜCHER-VERLAG

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort des Herausgebers	5	
Einleitung	11	
Wechselwirkung zwischen Licht und Materie - Quantenelektrodynamik		
Diskussion der Fermi-Methode	13	
Die Gesetze der Quantenelektrodynamik	14	
<i>Die Absorption von Licht.</i>	20	
<i>Die Auswahlregeln in der Dipol-Näherung.</i>	25	
<i>Strahlungsgleichgewicht.</i>	30	
<i>Die Streuung von Licht.</i>	31	
<i>Selbstenergie.</i>	34	
Zusammenfassung der Prinzipien und Resultate der speziellen Relativitätstheorie		35
Lösung der Maxwell-Gleichung im leeren Raum	39	
Mechanik relativistischer Teilchen	41	
Relativistische Wellengleichung		
Einheiten	45	
Klein-Gordon-, Pauli- und Dirac-Gleichung	46	
Algebra der γ -Matrizen	51	
Ähnlichkeits-Transformation	55	
Relativistische Invarianz	56	
Hamilton-Form der Dirac-Gleichung	56	
Nichtrelativistische Näherung in der Dirac-Gleichung	61	
Lösung der Dirac-Gleichung für ein freies Teilchen		67
Definition des Spins eines bewegten Elektrons	71	
Normierung der Wellenfunktionen	73	
Methoden zur Berechnung von Matrixelementen	75	
Interpretationen der Zustände negativer Energie	77	

Potential-Probleme in der Quantenelektrodynamik

Paarerzeugung und -Vernichtung	82
Energieerhaltung	83
Der Ausbreitungs-Kern	83
Zur Anwendung des Kerns K_+ (2.1).	87
Übergangswahrscheinlichkeit	88
Streuung eines Elektrons an einem Coulomb-Potential	89
<i>Zustandsdichte, Wirkungsquerschnitt.</i>	91
Berechnung des Ausbreitungskernes für ein freies Teilchen	93
Impulsdarstellung	99
<i>Matrixelemente.</i>	99

Relativistische Behandlung der Wechselwirkung

von Teilchen mit Licht	103
Strahlung, die von Atomen ausgesandt wird	104
Streuung von Gamma-Strahlen an Atomelektronen	104
Anmerkung zur Dichte der Endzustände	106
Compton-Strahlung	107
<i>Berechnung von $|M|^2$.</i>	107
<i>Diskussion der Klein-Nishina-Formel.</i>	113
<i>Mittelung über die Polarisationen.</i>	114
<i>Totaler Streuquerschnitt.</i>	115
Zweiphoton-Paarvernichtung	116
Positronvernichtung in Ruhe	118
Bremsstrahlung	120
Paarerzeugung	124
Eine Methode zur Summation von Matrixelementen über Spinzustände	125
Auswirkungen der Abschirmung des Coulomb-Feldes in Atomen	128
Wechselwirkung von mehreren Elektronen	131
<i>Verwendung von $\bar{\psi}_+(s^2)$.</i>	133
Herleitung der „Regeln“ der Quantenelektrodynamik	136
Elektron-Elektron-Streuung	138
<i>Die Summe über vier Polarisationen.</i>	140

Diskussion und Interpretationen von verschiedenen

„Korrektur“-Termen	
Elektron-Elektron-Wechselwirkung	142
Elektron-Positron-Wechselwirkung	145

Positronium . . . . .	.146
Zwei-Photon-Austausch zwischen Elektronen und/oder Positronen	148
Selbstenergie des Elektrons. . . . .	.149
Methode zur Integration von Integralen, die in der Quantenelektrodynamik auftreten. . . . .	.154
Selbstenergieintegral mit einem äußeren Potential. . . . .	.155
Streuung an einem äußeren Potential. . . . .	.157
Lösung der fiktiven „Infrarotkatastrophe“. . . . .	.165
Eine andere Behandlung der Infrarot-Schwierigkeit. . . . .	.168
Wirkung auf ein Atomelektron. . . . .	.169
Prozesse mit geschlossenen Schleifen, Vakuumpolarisation	173
Streuung von Licht an einem Potential. . . . .	.175
 Pauli-Prinzip und Dirac-Gleichung	 178
 Nachdrucke	
Zusammenstellung von numerischen Faktoren für Übergangswahrscheinlichkeiten. Phys. Rev. 84,123 (1951). . . . .	.182
Die Theorie der Positronen. Phys. Rev. 76, 749-759 (1949)	185
Behandlung der Quantenelektrodynamik in Raum-Zeit. Phys. Rev. 76, 769-789 (1949).	208