

theoretische physik V

Quantenmechanik II

martin wilkens

Inhalt

1	W'hlg Prinzipien der QM	11
1.1	Kinematik	11
1.2	Dynamik	17
1.3	Symmetrien und Erhaltungsgrößen	18
1.4	Aus zwei mach eins – zusammengesetzte Systeme	21
1.5	Gemische Zustände – Quantenmechanik 2.0	24
2	Mehrelektronen-Atome	29
2.1	Atomare Einheiten (Atomic Units au)	30
2.2	Breit-Pauli Hamiltonoperator	31
2.3	Helium-artige	34
2.4	Schalenmodell und Aufbauprinzip	40
2.5	(L,S)-Terme bei Russel-Saunders Kopplung	46

2.6	Schwere Atome und jj -Kopplung	49
3	Vielteilchentheorie in zweiter Quantisierung	51
3.1	Identische Teilchen und Symmetrisierungspostulat	51
3.2	Symmetrische und Antisymmetrische Zustände	53
3.3	Leiternoperatoren	55
3.4	Feldoperatoren	60
3.5	Observable in Fockdarstellung	61
3.6	Dynamik	64
4	Klein-Gordon Gleichung	67
4.1	Freie Klein-Gordon-Gleichung	69
4.1.1	Nichtrelativistischer Grenzfall	70
4.1.2	Lösungen der freien Klein-Gordon-Gleichung	71
4.1.3	Energiesatz	73
4.1.4	Kontinuitätsgleichung	74
4.2	Minimale Kopplung	76
4.3	Zusammenfassung und Ausblick	78
4.4	Aufgaben	80
5	Dirac Gleichung	85
5.1	Freie Diracgleichung	85

5.2	Nichtrelativistischer Grenzfall, Pauli-Gleichung	90
5.3	γ -Matrizen	94
5.4	Lösungen der freien Dirac-Gleichung	97
5.5	Diracs Löchertheorie und Ladungskonjugation \mathcal{C}	101
5.6	Feynmans Positrontheorie und der Feynman-Propagator	105
6	Helizität, Chiralität und \mathcal{PCT}	111
6.1	Helizität	111
6.2	Parität \mathcal{P} (Raumspiegelung)	112
6.3	Chiralität und Weyl-Gleichungen	114
6.4	Zeitumkehr \mathcal{T} (BewegungsUmkehr)	117
6.5	\mathcal{CPT}	118
7	Wahlg: Klassische Feldtheorie	119
7.1	Lagrang'sche Feldtheorie	120
7.2	Energie-Impuls Tensor	122
7.3	Noether	124
7.4	Hamilton'sche Feldtheorie	126
7.5	Ergänzung: Funktional und so	128
8	Kanonische Quantisierung	131
8.1	Reelles Klein-Gordon-Feld	132


8.2	Vakuumfluktuationen	136
8.3	Darstellung von $\Delta^{(+)}$	137
8.4	Mikrokausalitat	139
8.5	Komplexes Klein-Gordon-Feld	142
8.6	Der Meson-Propagator	143
8.7	Quantisierung des freien Diracfeldes	145
9	(Quanten-)Elektrodynamik	151
9.1	Wahlge klassische Elektrodynamik	151
9.2	Quantisierung des freien Strahlungsfeldes	155
9.3	QED	160
9.4	S-Matrix Entwicklung	161
9.5	Wick'sches Theorem	165
9.6	Feynman-Diagramme der QED	166
10	Higgs	169
11	QCD	173
12	GWS	177

Vorwort

Vorgelegt werden hier Notizen zur Vorlesung “Quantenmechanik II” die als Kursvorlesung “Theoretische Physik V” im Format 3V1Ü in Potsdam im 7. Semester (1. Semester Master) angeboten wird.

Die Notizen spiegeln den Gang der Vorlesung wieder. An manchen Stellen sind sie ausführlicher, anderes ist in die Übungen verwiesen.

Die Inhalte des Kurses sind weniger “kanonisiert” als etwa im QM-I Kurs. Zunächst W'hlg, dann Atome und (nichtrelativistische) Vielteilchensysteme, gefolgt von relativistischer Quantenmechanik mit Klein-Gordon und Dirac Wellenmechanik als Auftakt, schließlich Elemente des Standardmodells incl. Quantisierung des Strahlungsfeldes, Diracfeldes usw . . .

 Die Notizen sind voller Fehler und erheben keinerlei Anspruch auf Originalität. Lehrbücher zur QM-II gibt es zehntausend, mehr als etwa zur klassischen Mechanik oder zur Elektrodynamik. Eine kurze kommentierte Auswahl:

W'hlg QM-I Unnötig zu sagen, aber geeignet ist jedes Lehrbuch der QM, z.B. Schwabel, Nolting, Greiner usw. Mein derzeitiger Favorit: “Quantenmechanik – Nichtrelativistische Quantentheorie” von Norbert Straumann. Schwei-

zer Präzisionsarbeit. Eher mathematisch orientiert, aber immer mit Bezug zur Physik. Auch der Nachfolgeband “Relativistische Quantentheorie – Eine Einführung in die Quantenfeldtheorie” folgt dieser Leitidee. Empfehlenswert – insbesondere wenn man eher theoretisch orientiert ist.

Vielteilensysteme hier wird die Luft schon dünner (wenn es um “konkrete Anwendungen” geht), trotzdem

- Schwabl II: Solide. Empfehlenswert.
- Mahan “Many-Particle Systems” – so was wie der Jackson der Vielquantenphysik.
- Negele and Orland “Quantum Many-Particle Systems” – gut für den systematischen Aufstieg von Ein-Teilchen QM zur Vielteilchen-QM, aber nicht ganz so so breit wie Schwabl II.

Relativistische Quantenmechanik jedes Lehrbuch zur “Quantenmechanik II”, insbesondere aber

- Bjorken und Drell “Relativistische Quantenmechanik”: Der Klassiker. Wohlthuend der Verzicht auf den formalen Schnick-Schnack der die heutige Generation von Lehrbüchern zur Quantenfeldtheorie prägt . . .
- Schwabl II: Solide. Empfehlenswert.
- Itzykson und Zuber “Quantum Field Theory” (Kap. 1 und 2): Auch ein Buch der “klassischen Moderne”. Hart – aber für Affionados durchaus empfehlenswert.

Allerdings muss gesagt werden, dass eigenständige Lehrbücher (mit Ausnahmen Bjorken-Drell) zur Relativistischen Quantenmechanik rar sind (Greiner ist zu verschwatzt). Der Grund ist einfach: die relativistische QM wird generell nur als “Durchgangsstation” zur Quantenfeldtheorie gesehen . . .

Quantenfeldtheorie wie gesagt

- Itzykson und Zuber “Quantum Field Theory” ist ein Klassiker
- Mandl und Shaw “Quantum Field Theory” – etwas moderner als IZ

Standardmodell sollte jede Physikerin und jeder Physiker schon mal gesehen haben

- Griffiths “Introduction to Elementary Particle Physics” – cool, empfehlenswert.
- Cottingham und Greenwood “An introduction to the Standard Model of Particle Physics”, dito.

Abschließend eine Empfehlung für die Strandbar – oder einsame Abende unter dem Blue Moon: *Quantum Field Theory – in a nutshell* von A. Zee [Princeton University Press 2003; ISBN 0-691-01019-6]. Gewürzt mit Anekdoten zu den physikalischen Entdeckungen der Quantenfeldtheorie (QFT) vermittelt dieses Buch einen hervorragenden Überblick über die Konzepte der modernen QFT und ihre Genese ohne den Leser mit detaillierten Rechnungen zu traktieren.

