

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Materie	1
1.1.1	Elementare Teilchen	4
1.1.2	Nukleonensysteme	4
1.1.3	Nukleonen-Elektronen-Systeme	5
1.1.4	Massensysteme	8
1.2	Antimaterie	8
1.3	Über das vorliegende Buch	10
Buch 1: Grundlagen		12
2	Räume, Zeit und Symmetrien	13
2.1	Abstrakte Räume	13
2.1.1	Der metrische Raum	15
2.1.2	Der normierte Raum	16
2.1.3	Der unitäre Raum	19
2.1.4	Der Hilbert-Raum	20
2.2	Symmetriegruppen	21
2.2.1	Gruppen, Matrizen und Operatoren	23
2.2.2	Liesche Gruppen und Liesche Algebren	29
2.2.3	Ein Beispiel: Drehgruppen	32
2.3	Bezugssysteme	42
2.3.1	Ortsraum, Zeit und Bezugssysteme	44
2.3.2	Ein Beispiel: Inertialsysteme	64
Buch 2: Der klassische Überbau der Quantenphysik		74
3	Das Hamiltonsche Prinzip	75
3.1	Mathematische Grundlagen	76
3.1.1	Funktionalableitungen	76
3.1.2	Greensche Funktionen	79

3.2	Massenpunktmechanik	83
3.2.1	Koordinaten und Koordinatenvektoren	83
3.2.2	Der Euler-Lagrangesche Formalismus	85
3.2.3	Der Hamiltonsche Formalismus	91
3.3	Felddynamik	95
3.3.1	Feldfunktionen und Feldfunktionsvektoren	96
3.3.2	Der Euler-Lagrangesche Feldformalismus	96
3.3.3	Der Hamiltonsche Feldformalismus	100
3.3.4	Ein Beispiel: mechanische Wellen und Felder	102
3.4	Symmetrieeigenschaften der Wirkung	105
3.4.1	Die Wirkungsvariation	106
3.4.2	Das Noethersche Theorem	109
3.4.3	Der Energie-Impuls-Tensor	112
3.5	Komplexe Feldfunktionen	114
3.5.1	Komplexe klassische Felder	114
3.5.2	Komplexe quantenmechanische Felder	117
3.6	Ein Beispiel: Die Maxwell'schen Gleichungen	118
3.6.1	Die Maxwell'schen Gleichungen und ihre Komponenten	119
3.6.2	Der Energie-Impuls-Tensor: elektromagnetische Felder	124
3.6.3	Spezielle Lösungen I: Potentiale und Kräfte	132
3.6.4	Spezielle Lösungen II: Vektorpotentialwellen	143
Buch 3: Quantenmechanik		144
4	Materiefelder, nichtrelativistisch	145
4.1	Mathematische Grundlagen	147
4.1.1	Dirac-Vektoren	147
4.1.2	Dirac-Vektoren und Hilbert-Räume	147
4.2	Grundlegende Formalismen	149
4.2.1	Das Schrödingerbild	149
4.2.2	Das Heisenbergbild	153
4.2.3	Das Wechselwirkungsbild	155
4.2.4	Abgeschlossene Systeme, offene Systeme, Umgebungen	157
4.2.5	Störungstheorie	161
4.2.6	Reine und gemischten Gesamtheiten	171
4.3	Einteilchensysteme in Ortsdarstellung	177
4.3.1	Zeitabhängige Einteilchen-Schrödinger-Gleichung	178
4.3.2	Der grundlegende Einteilchen-Hamiltonoperator	180
4.3.3	Die zugeordnete Lagrange- und Hamiltondichte	181
4.3.4	Die zugeordnete Kontinuitätsgleichung	182
4.3.5	Der zugeordnete Energie-Impuls-Tensor	184
4.3.6	Zeitunabhängige Einteilchen-Schrödinger-Gleichung	184
4.3.7	Observable und Operatoren	186
4.4	Vielteilchensysteme in Ortsdarstellung	191
4.4.1	Zeitabhängige Vielteilchen-Schrödinger-Gleichung	191

4.4.2	Vielteilchen-Hamiltonoperatoren	192
4.4.3	Zeitunabhängige Vielteilchen-Schrödinger-Gleichung	193
4.4.4	Die Feynmansche Pfadintegralmethode	195
4.5	Das Schema der ersten Quantisierung	201
4.6	Das Korrespondenzprinzip und mehr	202
4.7	Beispiele I: Verschwindende Potentiale	203
4.7.1	De Broglie-Wellen	204
4.7.2	Beugungswellen	208
4.8	Beispiele II: Oszillator-Potentiale	212
4.8.1	Harmonischer Oszillator I: Potenzreihenansatz	213
4.8.2	Harmonischer Oszillator II: Leiteroperatoren	225
4.9	Beispiele III: Coulomb-Potentiale	229
4.9.1	Atome, Moleküle, Gase, Flüssigkeiten und Festkörper	229
4.9.2	1-Elektron-1-Kern-Systeme	235
4.9.3	N-Elektronen-1-Kern-Systeme	260
5	Materiefelder, relativistisch	269
5.1	Mathematische Grundlagen: Spinoren	269
5.1.1	Grundsätzliche Definitionen und Eigenschaften	270
5.1.2	Beispiele für Spinoren	274
5.1.3	Beispiele für Spinoroperatoren	276
5.1.4	Ein Beispiel für eine Spinorgleichung	278
5.2	Relativistische Feldgleichungen	280
5.2.1	Die relativistische erste Quantisierung	280
5.2.2	Die Klein-Gordon-Gleichung	283
5.2.3	Die Dirac-Gleichung	285
5.2.4	Die Dirac-Pauli-Fierz Spinorgleichung	290
5.2.5	Lagrangedichten und Kontinuitätsgleichungen	292
5.2.6	Ein nichtrelativistischer Grenzfall: die Pauli-Gleichung	294
5.3	Beispiele I: Spin und Spinsysteme	299
5.3.1	Statik einfacher Drehimpulssysteme	306
5.3.2	Dynamik einfacher Drehimpulssysteme	320
5.3.3	Die Blochschen Gleichungen	330
5.3.4	Der Elektronenspin, ein relativistischer Effekt?	331
5.4	Beispiele II: Teilchen und Antiteilchen	331
5.4.1	Ein spezielles Teilchen-Antiteilchen-Szenario	331
5.4.2	Teilchen, Antiteilchen und Dirac-Gleichung	333
5.4.3	Antiteilchensysteme: Antiwasserstoff	338
Buch 4: Quantenfeldtheorie, Quantenstatistik, Elementarteilchen		340
6	Einiges über Quantenfeldtheorie	341
6.1	Feynman-Diagramme	343
6.2	Das Schrödingerbild (2. Quantisierung)	345
6.2.1	Die grundlegende Hamiltonfunktion	347

6.2.2	Stationäre Systeme I: Bosonen, Fermionen	348
6.2.3	Stationäre Systeme II: wechselwirkend	371
6.2.4	Stationäre Systeme III: zusammengesetzt	375
6.2.5	Nichtstationäre Systeme I: teilchenzahlkonstant	378
6.2.6	Nichtstationäre Systeme II: teilchenzahlvariabel	383
6.2.7	Nichtstationäre Systeme III: gemischt	384
6.3	Das Heisenbergbild (2. Quantisierung)	384
6.3.1	Heisenberg-Operatoren	385
6.3.2	Heisenbergsche Bewegungsgleichungen	386
6.4	Das Wechselwirkungsbild (2. Quantisierung)	386
6.4.1	Wechselwirkungsbild-Operatoren	386
6.4.2	Wechselwirkungsbild-Bewegungsgleichungen	387
6.5	Ein Beispiel: Lasersysteme	388
6.5.1	Die makroskopisch-deterministische Betrachtungsebene	390
6.5.2	Die mikroskopische Betrachtungsebene	391
6.6	Unendlichkeiten	405
7	Einiges über Quantenstatistik	407
7.1	Grundsätzliches zur Statistik	407
7.2	Klassische Statistik: spezielle Sachverhalte	411
7.2.1	Statistische Gesamtheiten	412
7.2.2	Gibbsche Statistik und statistische Gesamtheiten	414
7.2.3	Gibbsche Statistik und Zustandssummen-Formalismus	416
7.2.4	Der Übergang zur Maxwell-Boltzmann-Statistik	418
7.3	Quantenstatistik: Spezielle Sachverhalte	419
7.3.1	Der Zustandssummen-Formalismus	419
7.3.2	Die Fermi-Dirac- und Bose-Einstein-Statistik	422
8	Einiges über Mikroteilchen	431
8.1	Teilchenklassen	431
8.1.1	Hadronen	438
8.1.2	Leptonen	439
8.1.3	Quarks	440
8.2	Teilcheneigenschaften	440
8.2.1	Die Baryonenzahl	443
8.2.2	Die Leptonenzahl	444
8.2.3	Die Hyperladungsquantenzahl	445
8.2.4	Die Isospinquantenzahlen	446
8.2.5	Die Seltsamkeitsquantenzahl	447
8.2.6	Die Paritätsquantenzahlen	447
8.2.7	Quantenzahlen des Aromas und der Farbe	449
8.3	Teilchenmultipletts	450
8.3.1	Isospinmultipletts	450
8.3.2	Supermultipletts	453
8.4	Das Standard-Modell	459

9	Einiges über Eichfeldtheorien	463
9.1	Zur Theorie der Eichfelder	463
9.1.1	Eichfeldtheorien: Eichgruppen und Eichfelder	464
9.1.2	Eichfeldtheorien: abelsche und nichtabelsche	465
9.2	Zur Quantenchromodynamik	468
9.2.1	Quarks und Gluonen: Felder	468
9.2.2	Quarks und Gluonen: Feldgleichungen	469
9.2.3	Zur Feldquantisierung	470
Buch 5: Numerische Aspekte der Quantenphysik		472
10	Analytik und Numerik	473
10.1	Klassische Oszillatoren	473
10.1.1	Die Lorenz-Gleichungen	474
10.1.2	Die Rössler-Gleichungen	477
10.1.3	Die van-der-Pol-Gleichungen	478
10.2	Quantenmechanische Oszillatoren	481
10.2.1	Lagrange- und Hamiltonfunktionen	481
10.2.2	Oszillator-Schrödinger-Gleichungen	485
10.2.3	Analytische Lösungen	486
10.2.4	Numerische Auswertung	488
10.3	Analogien	495
Buch 6: Lineare und nichtlineare Aspekte der Quantenphysik		498
11	Linearität und Nichtlinearität	499
11.1	Was versteht man unter Nichtlinearität?	501
11.2	Modengleichungen	501
11.2.1	Modengleichungen: Begründung	502
11.2.2	Modengleichungen: Separation	502
11.2.3	Modengleichung: Adiabatische Elimination	503
11.2.4	Modengleichungen: „Musterentwicklung“	503
11.3	Operatormodengleichungen	504
11.3.1	Einiges über den Zeitentwicklungsoperator	504
11.3.2	Operatormoden, primäre und sekundäre	505
11.3.3	Operatormoden, „ordnende“ und „versklavte“	507
11.3.4	Zur Einordnung in das Konzept der Synergetik	511
11.3.5	Zur Einordnung in das Konzept der Sekularmittelung	511
11.3.6	Sind Operatormodengleichungen nichtlinearisierbar?	512
12	Über die Quantenphysik hinaus	515
12.1	Raum-Zeit-Geometrie	515
12.1.1	Raum-Zeit-Geometrie I: Massen	515
12.1.2	Raum-Zeit-Geometrie II: elektromagnetische Felder	520
12.1.3	Raum-Zeit-Geometrie III: verallgemeinerte Ladungen	523
12.2	Wellen-Teilchen-Materie	524

12.2.1 Wellen-Teilchen-Materie: zeitunabhängige Zustände	524
12.2.2 Wellen-Teilchen-Materie: zeitabhängige Zustände	525
12.2.3 Wellen-Teilchen-Materie: nichtlineare Erweiterungen	526
12.2.4 Zum Denkansatz	526
Literaturhinweise	527
Sachwortverzeichnis	533
Über den Autor	545
Danksagung und Anmerkungen	545