

Inhalt

Geleitwort — VII

Vorwort zur 2. Auflage — IX

Vorwort zur 1. Auflage — XI

Danksagung — XIII

Zum Inhalt von Band V — XV

Symbolverzeichnis Band V — XXIII

1 Quantenoptik — 1

- 1.1 Das Versagen der klassischen Physik — 2
 - 1.1.1 Der (äußere) Photoeffekt (lichtelektrischer Effekt) — 2
 - 1.1.2 Der Compton-Effekt — 6
- 1.2 Einsteins korpuskulare Lichttheorie — 7
 - 1.2.1 Einsteins Erklärung des Photoeffekts — 9
 - 1.2.2 Berechnung des Compton-Effekts — 13
- 1.3 Das Photon als Lichtteilchen — 16
 - 1.3.1 Relativistische Berechnung des Compton-Effekts — 18
 - 1.3.2 Der Photonenimpuls — 21
 - 1.3.3 Photonendrehimpuls — 26
 - 1.3.3.1 Der Eigendrehimpuls (Spin) des Photons — 26
 - 1.3.3.2 Der Nachweis des Eigendrehimpulses des Photons, der Versuch von Beth — 29
 - 1.3.3.3 Mögliche technische Anwendungen: Nanomotoren — 30
 - 1.3.4 Der Bahndrehimpuls des Photons — 31
 - 1.3.4.1 Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Quantenzustände der Photonen — 34
 - 1.3.5 Gedankenexperiment zur quantenhaften Aussendung von Licht — 35
- 1.4 Das Materieteilchen als Welle — 36
- 1.5 Wellenoptik oder Quantenoptik? — 42
 - 1.5.1 Das Doppelspaltexperiment (Youngscher Versuch) mit einzelnen Photonen — 42
 - 1.5.2 Weitere Experimente zur Selbstinterferenz von Teilchen — 47
 - 1.5.3 Die Amplitude der Wahrscheinlichkeitswelle — 50
 - 1.5.4 Ergebnis und Zusammenfassung — 52

1.6	Materiewellen — 53
1.6.1	Die Wellenfunktion — 53
1.6.2	Dispersionsrelation von Materiewellen — 55
1.6.3	Das Wellenpaket — 58
1.6.4	Die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellenfunktion — 62
1.6.5	Ort und Impuls quantenmechanischer Teilchen: Die Heisenbergschen Unschärferelationen — 68
1.7	Absorption, spontane und induzierte (stimulierte) Emission (LASER) — 73
1.7.1	Atome im Strahlungsfeld — 73
1.7.2	Die Einsteinkoeffizienten der Strahlungsübergänge — 76
1.7.2.1	Absorption — 76
1.7.2.2	Induzierte Emission — 77
1.7.2.3	Spontane Emission — 77
1.7.3	Herleitung des Planckschen Strahlungsgesetzes nach Einstein — 80
1.7.4	Der Laser — 82
1.7.4.1	Aufbau eines Lasers — 82
1.7.4.2	Besetzungsinversion und Laserbedingung — 87
1.7.4.3	Absorption, minimal notwendige Lichtverstärkung und Linienprofil — 91
1.7.4.4	Negativer Absorptionskoeffizient und erforderliche Besetzungsinversion — 95
1.7.4.5	Erzeugung der Besetzungsinversion durch ‚Pumpen‘ — 98
1.7.4.6	Die Schwingungsmoden — 101
1.7.4.7	Die Lasergleichung — 104
1.7.4.8	Praktische Ausführung von Lasern — 105
1.7.4.9	Die Laserkühlung — 108
	Zusammenfassung — 109

2 Atomphysik — 115

2.1	Klassische Atomvorstellungen und offene Fragen — 115
2.1.1	Klassische Atomvorstellungen — 115
2.1.2	Ionen und freie Elektronen — 118
2.1.3	Elektronen in Metallen — 120
2.1.4	Offene Fragen am Beginn des 20. Jahrhunderts — 122
2.2	Atomspektren, Stoßanregung, Bohrsches Atommodell — 123
2.2.1	Strahlungsspektren von Atomen — 123
2.2.2	Der Franck-Hertz Versuch: Stoßanregung — 126
2.2.3	Die Bohrschen Postulate — 131
2.2.4	Das Bohrsche Atommodell — 133
2.3	Die Schrödingergleichung — 141
2.3.1	Die Schrödingergleichung für ein freies Teilchen — 141

2.3.2	Die stationäre Schrödingergleichung —	144
2.3.3	Die allgemeine Schrödingergleichung und relativistische Formulierungen —	148
2.4	Anwendungen der Schrödingergleichung —	156
2.4.1	Das Teilchen im Kastenpotenzial —	156
2.4.1.1	Unendlich tiefer Potenzialtopf —	157
2.4.1.2	Dreidimensionaler Potenzialtopf —	163
2.4.1.3	Endlich tiefer Potenzialtopf —	165
2.4.2	Der Tunneleffekt —	168
2.4.2.1	Potenzialstufe —	168
2.4.2.2	Potenzialwall endlicher Breite, Tunneleffekt —	174
2.4.2.3	Anwendung des Tunneleffekts: Das Raster-Tunnelmikroskop —	180
2.4.3	Der quantenmechanische lineare harmonische Oszillator —	181
2.4.4	„Quantum dots“ und „quantum corrals“ —	188
2.5	Das Elektron im Coulombpotenzial des Protons: Das Wasserstoffatom —	189
2.5.1	Die Schrödingergleichung für das Wasserstoffatom —	189
2.5.2	Quantenzahlen und Energieniveaus —	192
2.5.3	Die stationären Energie-Niveaus des Wasserstoffatoms: Die „Grobstruktur“ —	194
2.5.4	Die Wellenfunktion im Grundzustand und in den untersten angeregten Zuständen —	201
2.5.5	Bahndrehimpuls und magnetisches Moment, normaler Zeemaneffekt —	210
2.5.6	Der Elektronenspin —	220
2.5.6.1	Der Stern-Gerlach-Versuch —	221
2.5.6.2	Der Einstein-de Haas-Effekt —	224
2.5.7	Spin-Bahn-Kopplung, Feinstruktur, anomaler Zeeman-Effekt —	228
2.5.8	Vollständige Beschreibung des Wasserstoffatoms —	239
2.6	Vielelektronensysteme und periodisches System —	240
2.6.1	Vielelektronensysteme: Kopplung der Bahn- und Eigendrehimpulse —	240
2.6.1.1	Die Russell-Saunders-Kopplung (<i>LS</i> Kopplung, „normale“ Kopplung) —	241
2.6.1.2	Die <i>JJ</i> -Kopplung —	244
2.6.1.3	Theoretische Modelle für Vielelektronensysteme —	245
2.6.1.4	Magnetische Eigenschaften der Atome —	248
2.6.2	Das periodische System —	248
	Zusammenfassung —	252
Anhang 1	Die Sommerfeldsche Erweiterung des Bohrschen Atommodells —	258
Anhang 2	Der quantenmechanische, lineare harmonische Oszillator —	260
Anhang 3	Lösung der Schrödingergleichung für das Wasserstoffatom —	265

- Anhang 4 Der Bahndrehimpuls \vec{L} eines Elektrons — 273
- Anhang 5 Magnetisches Moment und Eigendrehimpuls (Spin) des Elektrons aus der Dirac-Gleichung — 277
- Anhang 6 Das Periodische System der Elemente — 281

3 Subatomare Physik — 283

- 3.1 Kernphysik — 285
 - 3.1.1 Entwicklung und Terminologie — 285
 - 3.1.2 Kerneigenschaften — 293
 - 3.1.2.1 Kernradius und Kernmasse — 293
 - 3.1.2.2 Die Bindungsenergie des Atomkerns — 300
 - 3.1.2.3 Nukleonen und Kernniveaus, Kernmagnetismus, die Kernkraft — 302
 - 3.1.3 Kernmodelle — 313
 - 3.1.3.1 Tröpfchenmodell und Kernbindungsenergie — 314
 - 3.1.3.2 Das Fermigas-Modell — 318
 - 3.1.3.3 Das Einzelteilchen-Schalenmodell — 321
 - 3.1.3.4 Das kollektive Kernmodell — 325
 - 3.1.4 Der radioaktive Zerfall — 326
 - 3.1.4.1 Das radioaktive Zerfallsgesetz — 327
 - 3.1.4.2 Der α -Zerfall — 330
 - 3.1.4.3 Der β -Zerfall — 335
 - 3.1.4.4 Der γ -Zerfall — 344
 - 3.1.4.5 Radioaktive Altersbestimmung — 345
 - 3.1.5 Kernreaktionen, Kernspaltung, Kernenergie — 348
 - 3.1.5.1 Direkte Kernumwandlungen, Erhaltungssätze, Wirkungsquerschnitt — 348
 - 3.1.5.2 Kernspaltung (Zerfall des Kerns in zwei vergleichbar große Bruchstücke) — 352
 - 3.1.5.3 Kernfusion — 366
 - 3.1.5.4 Wechselwirkung von Teilchen mit Materie — 375
- 3.2 Physik der kleinsten Teilchen („Elementarteilchen“) — 384
 - 3.2.1 Klassifikation der Elementarteilchen — 385
 - 3.2.2 Erlaubte und verbotene Teilchenprozesse: Erhaltungssätze — 388
 - 3.2.2.1 Erhaltung der Leptonenzahl L — 389
 - 3.2.2.2 Erhaltung der Baryonenzahl B — 391
 - 3.2.2.3 Erhaltung der „Seltsamkeit“ S (strangeness) — 392
 - 3.2.2.4 Erhaltung des Isospins und Zusammenfassung der Quantenzahlen der Hadronen — 393
 - 3.2.3 Das Quarkmodell — 394
 - 3.2.3.1 Der „achtfache“ Weg — 394
 - 3.2.3.2 Das Quarkmodell — 397

3.2.4	Fundamentale Wechselwirkungen und Austauschteilchen —	404
3.2.4.1	Elektromagnetische Wechselwirkung —	404
3.2.4.2	Schwache Wechselwirkung —	405
3.2.4.3	Starke Wechselwirkung —	407
3.2.5	Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik —	409
3.2.6	Ein kurzer Ausflug in die Kosmologie, wo sich das Kleine mit dem Großen verbindet —	411
3.2.6.1	Das Hubble-Gesetz —	412
3.2.6.2	Die Kosmische Hintergrundstrahlung —	418
3.2.6.3	Dunkle Materie —	422
3.2.6.4	Die kritische Massendichte des Universums —	423
3.2.6.5	Das kosmologische Standardmodell —	426
	Zusammenfassung —	434
Anhang 1	Der Mößbauer-Effekt —	442
A1.1	Die natürliche Linienbreite —	442
A1.2	Lichtemission eines angeregten Atoms —	444
A1.3	Emission von γ -Strahlung eines angeregten Atomkerns —	446
A1.4	Der Mößbauer-Effekt —	448
A1.5	Anwendung des Mößbauer-Effekts: Mößbauer-Spektroskopie —	452

Literatur — 457

Register — 459