

Friedhelm Kuypers

Quantenmechanik

Lehr- und Arbeitsbuch

WILEY-VCH
Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

Vorwort *V*

- 1 Quantenmechanik und moderne Welt *1***
- 2 Die Anfänge der Quantenmechanik *3***
 - 2.1 Plancksches Strahlungsgesetz 1900 *4*
 - 2.2 Der Photoeffekt 1905 *6*
 - 2.3 Das Bohrsche Atommodell 1913 *9*
 - 2.4 Welleneigenschaften der Materie 1924 *13*
 - 2.5 Der Compton-Effekt 1922 *16*
 - 2.6 Das Doppelspalt-Experiment *18*
 - 2.7 Leitgedanken *25*
 - 2.8 Aufgaben *29*
- 3 Die Schrödinger-Gleichung *31***
 - 3.1 Aufstellung der Schrödinger-Gleichung 1926 *32*
 - 3.2 Stationäre Zustände *39*
 - 3.3 Orts- und Impulsoperator *43*
 - 3.4 Die Kontinuitätsgleichung *53*
 - 3.5 Leitgedanken *58*
 - 3.6 Aufgaben *64*
- 4 Freie Wellenpakete *69***
 - 4.1 Klassische Wellenpakete * *69*
 - 4.2 Wellenpakete freier Quantenobjekte *74*
 - 4.3 Interferenz von zwei Wellenpaketen * *83*
 - 4.4 Leitgedanken *86*
 - 4.5 Aufgaben *89*
- 5 Stückweise konstante Potentiale *92***
 - 5.1 Unendlich tiefer Potentialtopf *93*
 - 5.2 Potentialstufe *104*
 - 5.3 Wellenpakete an einer Potentialstufe * *110*
 - 5.4 Potentialwall und Tunneleffekt *114*
 - 5.5 Endlich tiefer Potentialtopf *124*

X | Inhaltsverzeichnis

- 5.6 Abschließende Bemerkungen 129
- 5.7 Leitgedanken 131
- 5.8 Aufgaben 136

- 6 Der harmonische Oszillator 141**
- 6.1 Lösung mit Potenzreihen 142
- 6.2 Algebraische Lösung mit Leiteroperatoren 151
- 6.3 Schwingende Zustände * 156
- 6.4 Leitgedanken 159
- 6.5 Aufgaben 162

- 7 Die mathematische Struktur 167**
- 7.1 Der Hilbertraum 168
- 7.2 Die Operatoren der Quantenmechanik 178
- 7.3 Das Ehrenfestsche Theorem 185
- 7.4 Leitgedanken 190
- 7.5 Aufgaben 193

- 8 Messprozess und Unbestimmtheitsrelation 200**
- 8.1 Der Messprozess 201
- 8.2 Allgemeine Unbestimmtheitsrelation 211
- 8.3 Unbestimmtheitsrelation für Energie und Zeit 221
- 8.4 Wechselwirkungsfreie Messung * 1993 229
- 8.5 Interpretationsprobleme 233
- 8.6 Leitgedanken 237
- 8.7 Aufgaben 241

- 9 Der Drehimpulsoperator 247**
- 9.1 Einführung und Motivation * 248
- 9.2 Eigenwerte des Drehimpulsoperators 248
- 9.3 Eigenfunktionen des Bahndrehimpulsoperators 255
- 9.4 Leitgedanken 260
- 9.5 Aufgaben 263

- 10 Das Wasserstoffatom 267**
- 10.1 Spektrum des Wasserstoffatoms 267
- 10.2 Wellenfunktionen des Wasserstoffatoms 276
- 10.3 Leitgedanken 286
- 10.4 Aufgaben 289

- 11 Elektromagnetische Felder 293**
- 11.1 Hamiltonoperator und Eichinvarianz 293
- 11.2 Homogene Magnetfelder 296
- 11.3 Der Aharonov-Bohm-Effekt * 1959 299
- 11.4 Leitgedanken 304
- 11.5 Aufgaben 306

- 12 Der Spin 308**
 - 12.1 Einführung 309
 - 12.2 Der Stern-Gerlach-Versuch 1922 309
 - 12.3 Spin-1/2-Teilchen 311
 - 12.4 Magnetisches Moment des Spins 319
 - 12.5 Wellenfunktionen mit Spin 324
 - 12.6 Leitgedanken 327
 - 12.7 Aufgaben 330

- 13 Addition von Drehimpulsen 336**
 - 13.1 Einführung und Motivation * 336
 - 13.2 Addition von zwei Spins mit $s = \frac{1}{2}$ 337
 - 13.3 Addition von Bahndrehimpuls und Spin 341
 - 13.4 Allgemeine Addition von zwei Drehimpulsen 345
 - 13.5 Leitgedanken 346
 - 13.6 Aufgaben 350

- 14 Zeitunabhängige Störungstheorie 352**
 - 14.1 Einführung 352
 - 14.2 Störung nicht entarteter Niveaus 353
 - 14.3 Störung entarteter Niveaus 360
 - 14.4 Feinstruktur des Wasserstoffatoms 364
 - 14.5 Der Zeeman-Effekt 371
 - 14.6 Leitgedanken 377
 - 14.7 Aufgaben 384

- 15 Variationsprinzip 388**
 - 15.1 Das Variationsprinzip 388
 - 15.2 Leitgedanken 393
 - 15.3 Aufgaben 394

- 16 Identische Teilchen 396**
 - 16.1 Unterscheidbare Teilchen 397
 - 16.2 Identische Teilchen 398
 - 16.3 Symmetrisierung und Antisymmetrisierung 406
 - 16.4 Leitgedanken 421
 - 16.5 Aufgaben 424

- 17 Mehrelektronenatome 429**
 - 17.1 Das Heliumatom 429
 - 17.2 Das Periodensystem * 436
 - 17.3 Die Hartree-Methode 440
 - 17.4 Leitgedanken 444
 - 17.5 Aufgaben 447

- 18 Moleküle 449**
 - 18.1 Das ionisierte Wasserstoffmolekül 449
 - 18.2 Das Wasserstoffmolekül 454
 - 18.3 Hybridorbitale * 459
 - 18.4 Van-der-Waals-Kräfte * 461
 - 18.5 Leitgedanken 464
 - 18.6 Aufgaben 469

- 19 Kristalle 470**
 - 19.1 Klassische Frequenzaufspaltung 470
 - 19.2 Energiebänder in Kristallen 471
 - 19.3 Leitgedanken 481
 - 19.4 Aufgaben 485

- 20 Zeitabhängige Störungstheorie 487**
 - 20.1 Allgemeine Störungsentwicklung 488
 - 20.2 Absorption und induzierte Emission 494
 - 20.3 Auswahlregeln für elektrische Dipolübergänge 505
 - 20.4 Spontane Emission und Einsteinkoeffizienten 508
 - 20.5 Plötzliche Parameteränderung * 513
 - 20.6 Leitgedanken 516
 - 20.7 Aufgaben 522

- 21 Der Dichteoperator 525**
 - 21.1 Der Dichteoperator reiner Gesamtheiten 525
 - 21.2 Der Dichteoperator gemischter Gesamtheiten 526
 - 21.3 Leitgedanken 537
 - 21.4 Aufgaben 539

- 22 Verschränkung 543**
 - 22.1 Verschränkung 544
 - 22.2 No-Cloning-Theorem 1982 551
 - 22.3 Verschränkung und Doppelspalt-Experiment 555
 - 22.4 Die Dekohärenz-Theorie * 562
 - 22.5 Quantenkryptographie * 571
 - 22.6 Leitgedanken 576
 - 22.7 Aufgaben 581

- 23 EPR und Bellsche Ungleichungen 585**
 - 23.1 Das EPR-Paradoxon 1935 585
 - 23.2 Die Bellschen Ungleichungen 1964 589
 - 23.3 Leitgedanken 594
 - 23.4 Aufgaben 597

Lösungen 599

Lösungen 2: Die Anfänge der Quantenmechanik 599

Lösungen 3: Die Schrödinger-Gleichung 601

Lösungen 4: Freie Wellenpakete 611

Lösungen 5: Stückweise konstante Potentiale 618

Lösungen 6: Der harmonische Oszillator 633

Lösungen 7: Die mathematische Struktur 647

Lösungen 8: Messprozess und Unbestimmtheitsrelation 658

Lösungen 9: Der Drehimpulsoperator 677

Lösungen 10: Das Wasserstoffatom 689

Lösungen 11: Elektromagnetische Felder 702

Lösungen 12: Der Spin 707

Lösungen 13: Addition von Drehimpulsen 725

Lösungen 14: Zeitunabhängige Störungstheorie 729

Lösungen 15: Variationsprinzip 740

Lösungen 16: Identische Teilchen 744

Lösungen 17: Mehrelektronenatome 757

Lösungen 18: Moleküle 761

Lösungen 19: Kristalle 764

Lösungen 20: Zeitabhängige Störungstheorie 768

Lösungen 21: Der Dichteoperator 775

Lösungen 22: Verschränkung 782

Lösungen 23: EPR und Bellsche Ungleichungen 787

Literaturverzeichnis 790**Stichwortverzeichnis** 791