

Inhalt

Wichtiger Hinweis — V

Vorwort — VII

I	Welle und Teilchen — 1
A	Elektromagnetische Wellen und Photonen — 3
B	Materielle Teilchen und Materiewellen — 11
C	Freie Teilchen. Wellenpakete — 15
D	Teilchen in einem zeitunabhängigen Potential — 25

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel I — 35

A_I	De-Broglie-Wellenlängen — 36
B_I	Zur Unschärferelation — 39
1	Makroskopisches System — 39
2	Mikroskopisches System — 40
C_I	Unschärferelationen und Atomparameter — 41
D_I	Ein Experiment zur Unschärferelation — 44
E_I	Ein zweidimensionales Wellenpaket — 47
1	Einführung — 47
2	Winkeldispersion und laterale Ausdehnung — 47
3	Physikalische Diskussion — 49
F_I	Zusammenhang zwischen ein- und dreidimensionalen Problemen — 51
1	Dreidimensionales Wellenpaket — 51
2	Rechtfertigung des eindimensionalen Modells — 54
G_I	Eindimensionales Gaußsches Wellenpaket — 56
1	Definition eines Gaußschen Wellenpakets — 56
2	Orts- und Impulsbreite. Unschärfebeziehung — 58
3	Entwicklung des Wellenpakets — 58
H_I	Stationäre Zustände eines Teilchens in einem eindimensionalen Rechteckpotential — 62
1	Allgemeine Eigenschaften — 62
2	Einfache Beispiele — 64
J_I	Wellenpaket an einer Potentialstufe — 74
1	Totalreflexion: $E < V_0$ — 74
2	Partielle Reflexion: $E > V_0$ — 78
K_I	Aufgaben — 81

II	Der mathematische Rahmen — 85
A	Der Raum der Wellenfunktionen eines Teilchens — 86
B	Zustandsraum und Dirac-Schreibweise — 99
C	Darstellungen im Zustandsraum — 113
D	Eigenwertgleichungen. Observable — 124
E	Zwei wichtige Beispiele — 137
F	Tensorprodukte von Zustandsräumen — 146
Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel II — 158	
A_{II}	Schwarzsche Ungleichung — 159
B_{II}	Eigenschaften linearer Operatoren — 160
1	Spur eines Operators — 160
2	Kommutatoralgebra — 162
3	Einschränkung eines Operators — 162
4	Operatorfunktionen — 163
5	Ableitung eines Operators — 167
C_{II}	Unitäre Operatoren — 170
1	Allgemeine Eigenschaften — 170
2	Unitäre Transformation von Operatoren — 174
3	Infinitesimale unitäre Operatoren — 175
D_{II}	Orts- und Impulsdarstellung — 177
1	Ortsdarstellung — 177
2	Impulsdarstellung — 179
E_{II}	Eigenschaften zweier Observabler mit dem Kommutator $i\hbar$ — 181
1	Der Operator $S(\lambda)$ — 181
2	Eigenwerte und Eigenvektoren des Operators Q — 182
3	$\{ q\rangle\}$ -Darstellung — 183
4	$\{ p\rangle\}$ -Darstellung — 185
F_{II}	Der Paritätsoperator — 186
1	Der Paritätsoperator — 186
2	Gerade und ungerade Operatoren — 189
3	Eigenzustände einer geraden Observablen — 192
4	Anwendung auf einen besonders wichtigen Fall — 192
G_{II}	Zweidimensionaler unendlich tiefer Potentialtopf — 193
1	Definition und Eigenzustände — 193
2	Energieniveaus — 194
H_{II}	Aufgaben — 197
III	Die Postulate der Quantenmechanik — 205
A	Einleitung — 205
B	Die Postulate — 207

- C Physikalische Deutung der Postulate.
Observable und ihre Messung — 218
- D Bedeutung der Schrödinger-Gleichung — 230
- E Superpositionsprinzip und Vorhersagen — 246

Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel III — 262

- A_{III}** **Teilchen in einem unendlich tiefen Potentialtopf — 264**
 - 1 Verteilung der Impulswerte in einem stationären Zustand — 264
 - 2 Entwicklung der Wellenfunktion — 268
 - 3 Störung durch eine Ortsmessung — 272
- B_{III}** **Wahrscheinlichkeitsstrom. Spezialfälle — 274**
 - 1 Wahrscheinlichkeitsstrom in Bereichen konstanten Potentials — 274
 - 2 Anwendung auf Potentialstufen — 275
 - 3 Reflexion an einer zweidimensionalen Potentialstufe — 276
- C_{III}** **Standardabweichung konjugierter Observabler — 280**
 - 1 Unschärferelation für P und Q — 280
 - 2 „Minimales“ Wellenpaket — 281
- D_{III}** **Messung an einem Teilsystem — 284**
 - 1 Berechnung physikalischer Vorhersagen — 284
 - 2 Physikalische Bedeutung des Tensorprodukts — 286
 - 3 Allgemeiner Zustand — 287
- E_{III}** **Der Dichteoperator — 289**
 - 1 Problemstellung — 289
 - 2 Statistisches Zustandsgemisch — 289
 - 3 Reiner Fall. Einführung des Dichteoperators — 291
 - 4 Statistisches Gemisch. Gemischter Fall — 294
 - 5 Beispiele für den Dichteoperator — 299
- F_{III}** **Der Entwicklungsoperator — 303**
 - 1 Allgemeine Eigenschaften — 303
 - 2 Konservative Systeme — 305
- G_{III}** **Schrödinger- und Heisenberg-Bild — 307**
- H_{III}** **Eichinvarianz — 310**
 - 1 Problemstellung. Begriff der Eichung — 310
 - 2 Eichinvarianz in der klassischen Mechanik — 311
 - 3 Eichinvarianz in der Quantenmechanik — 316
- J_{III}** **Der Propagator der Schrödinger-Gleichung — 325**
 - 1 Der physikalische Grundgedanke — 325
 - 2 Existenz und Eigenschaften des Propagators — 326
 - 3 Pfadintegral-Formulierung der Quantenmechanik — 329
- K_{III}** **Instabile Niveaus. Lebensdauer — 333**
 - 1 Einführung — 333
 - 2 Definition der Lebensdauer — 334
 - 3 Phänomenologische Beschreibung — 335

XIV — Inhalt

- L_{III} Aufgaben — 337**
- M_{III} Gebundene Zustände in einem Potentialtopf — 348**
 - 1 Quantisierung der gebundenen Energiezustände — 349
 - 2 Energie des Grundzustandes — 352
- N_{III} Nichtgebundene Zustände — 355**
 - 1 Transmissionsmatrix $M(k)$ — 356
 - 2 Transmissions- und Reflexionskoeffizienten — 359
 - 3 Beispiel — 361
- O_{III} Eindimensionales periodisches Potential — 363**
 - 1 Durchgang durch mehrere identische Potentialbarrieren — 364
 - 2 Erlaubte und verbotene Energiebänder — 369
 - 3 Energiequantisierung bei einem periodischen Potential. Einfluss der Ränder — 371

- IV Einfache Systeme — 381**
 - A Spin-1/2-Teilchen. Quantisierung des Drehimpulses — 382
 - B Die Postulate am Beispiel des Spins 1/2 — 389
 - C Systeme mit zwei Niveaus — 399

- Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel IV — 410**
- A_{IV} Die Pauli-Matrizen — 411**
 - 1 Definition, Eigenwerte und Eigenvektoren — 411
 - 2 Einfache Eigenschaften — 412
 - 3 Eine zweckmäßige Basis — 413
- B_{IV} Diagonalisierung einer hermiteschen 2×2 -Matrix — 415**
 - 1 Einführung — 415
 - 2 Wechsel des Bezugspunktes — 415
 - 3 Eigenwerte und Eigenvektoren — 416
- C_{IV} System mit zwei Niveaus. Fiktiver Spin — 419**
 - 1 Einführung — 419
 - 2 Interpretation des Hamilton-Operators — 420
 - 3 Interpretation der Effekte — 421
- D_{IV} Systeme mit zwei Spins 1/2 — 425**
 - 1 Quantenmechanische Beschreibung — 425
 - 2 Vorhersage von Messergebnissen — 428
- E_{IV} Dichtematrix für einen Spin 1/2 — 432**
 - 1 Einführung — 432
 - 2 Dichtematrix bei vollständiger Polarisation des Spins — 432
 - 3 Beispiel für ein statistisches Gemisch: Unpolarisierter Spin — 433
 - 4 Thermodynamisches Gleichgewicht in einem statischen Feld — 435
 - 5 Zerlegung nach Pauli-Matrizen — 436

F_{IV}	Magnetische Resonanz — 437
1	Klassische Behandlung: Rotierendes Bezugssystem — 437
2	Quantenmechanische Behandlung — 440
3	Zusammenhang zwischen klassischer und quantenmechanischer Behandlung — 445
4	Bloch-Gleichungen — 446
G_{IV}	Modell des Ammoniakmoleküls — 450
1	Beschreibung des Modells — 450
2	Eigenfunktionen und Eigenwerte des Hamilton-Operators — 452
3	Das Ammoniakmolekül als Zwei-Niveau-System — 459
H_{IV}	Kopplung zwischen stabilem und instabilem Zustand — 465
1	Einführung und Bezeichnungen — 465
2	Schwache Kopplung — 465
3	Kopplung von Niveaus mit gleicher Energie — 467
J_{IV}	Aufgaben — 471
V	Der harmonische Oszillator — 477
A	Einführung — 477
B	Eigenwerte des Hamilton-Operators — 482
C	Eigenzustände des Hamilton-Operators — 490
D	Physikalische Diskussion — 497
Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel V — 503	
A_V	Beispiele für harmonische Oszillatoren — 505
1	Kernschwingungen in einem zweiatomigen Molekül — 505
2	Schwingungen von Kernen in einem Kristall — 512
3	Torsionsschwingungen eines Moleküls: Beispiel Ethylen — 515
4	Schwere Myonenatome — 519
B_V	Stationäre Zustände. Hermitesche Polynome — 524
1	Hermitesche Polynome — 524
2	Eigenfunktionen des Hamilton-Operators für den harmonischen Oszillator — 527
C_V	Lösung der Eigenwertgleichung mit der Polynommethode — 531
1	Wechsel der Variablen — 531
2	Polynommethode — 533
D_V	Stationäre Zustände in der Impulsdarstellung — 539
1	Wellenfunktion im Impulsraum — 539
2	Physikalische Diskussion — 542
E_V	Dreidimensionaler isotroper harmonischer Oszillator — 544
1	Hamilton-Operator — 544
2	Separation der Variablen — 545
3	Entartung der Energieniveaus — 548

F_v	Geladener harmonischer Oszillator im konstanten elektrischen Feld — 549
1	Eigenwertgleichung von $H'(\mathcal{E})$ in der Ortsdarstellung — 549
2	Physikalische Diskussion — 551
3	Anwendung des Translationsoperators — 553
G_v	Quasiklassische Zustände des Oszillators — 556
1	Quasiklassische Zustände — 557
2	Eigenschaften der Zustände $ \alpha\rangle$ — 561
3	Zeitliche Entwicklung eines quasiklassischen Zustands — 568
4	Beispiel eines makroskopischen Oszillators — 571
H_v	Eigenschwingungen gekoppelter Oszillatoren — 573
1	Gekoppelte Schwingungen in der klassischen Mechanik — 573
2	Schwingungszustände des Systems in der Quantenmechanik — 579
J_v	Lineare Oszillatorkette. Phononen — 584
1	Klassische Behandlung — 585
2	Quantenmechanische Behandlung — 595
3	Anwendung auf Kristallschwingungen — 599
K_v	Kontinuierliches System. Photonen — 603
1	Problemstellung — 603
2	Eigenschwingungen eines mechanischen Systems (Saite) — 604
3	Photonen — 611
L_v	Oszillator im thermodynamischen Gleichgewicht — 619
1	Energieerwartungswert — 620
2	Physikalische Diskussion — 621
3	Anwendungen — 623
4	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Observablen X — 627
M_v	Aufgaben — 634
VI	Der Drehimpuls in der Quantenmechanik — 639
A	Die Bedeutung des Drehimpulses — 639
B	Drehimpulsvertauschungsrelationen — 641
C	Allgemeine Theorie des Drehimpulses — 644
D	Anwendung auf Bahndrehimpulse — 658
Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel VI — 675	
A_{VI}	Die Kugelflächenfunktionen — 676
1	Berechnung der Kugelflächenfunktionen — 676
2	Eigenschaften der Kugelflächenfunktionen — 681
B_{VI}	Drehimpuls und Drehungen — 689
1	Einleitung — 689
2	Eigenschaften der räumlichen Drehungen \mathcal{R} — 690
3	Drehoperatoren im Zustandsraum. Teilchen ohne Spin — 693

4	Drehoperatoren für ein beliebiges System — 699
5	Drehung von Observablen — 703
6	Drehinvarianz — 706
C_{VI}	Drehung zweiatomiger Moleküle — 712
1	Einleitung — 712
2	Klassische Behandlung des starren Rotators — 713
3	Quantisierung des starren Rotators — 714
4	Nachweise für die Rotation von Molekülen — 720
D_{VI}	Drehimpuls eines zweidimensionalen Oszillators — 727
1	Einleitung — 727
2	Klassifikation der stationären Zustände — 731
3	Andere Klassifikation der stationären Zustände — 733
4	Quasiklassische Zustände — 738
E_{VI}	Geladenes Teilchen im Magnetfeld. Landau-Niveaus — 742
1	Wiederholung der klassischen Ergebnisse — 742
2	Allgemeine Eigenschaften — 747
3	Homogenes Magnetfeld — 750
F_{VI}	Aufgaben — 766
VII	Teilchen in einem Zentralpotential. Das Wasserstoffatom — 775
A	Stationäre Zustände in einem Zentralpotential — 776
B	Massenmittelpunkts- und Relativbewegung — 785
C	Das Wasserstoffatom — 792
	Übersicht über die Ergänzungen zu Kapitel VII — 806
A_{VII}	Wasserstoffartige Systeme — 807
1	Wasserstoffartige Systeme mit einem Elektron — 808
2	Wasserstoffartige Systeme ohne Elektronen — 813
B_{VII}	Der dreidimensionale isotrope harmonische Oszillator — 817
1	Lösung der Radialgleichung — 818
2	Energieniveaus und stationäre Wellenfunktionen — 821
C_{VII}	Wahrscheinlichkeitsströme der stationären Zustände des Wasserstoffatoms — 827
1	Allgemeiner Ausdruck — 827
2	Anwendung auf die stationären Zustände — 828
D_{VII}	Das Wasserstoffatom im homogenen Magnetfeld — 831
1	Der Hamilton-Operator des Problems — 832
2	Der Zeeman-Effekt — 838
E_{VII}	Einige Atomorbitale. Hybridorbitale — 844
1	Einleitung — 844
2	Atomorbitale zu reellen Wellenfunktionen — 845
3	<i>sp</i> -Hybridisierung — 851

XVIII — Inhalt

4 sp^2 -Hybridisierung — 854

5 sp^3 -Hybridisierung — 857

Fvii Vibrations- und Rotationsniveaus zweiatomiger Moleküle — 860

1 Einleitung — 860

2 Näherungslösung der Radialgleichung — 861

3 Berechnung einiger Korrekturen — 867

Gvii Aufgaben — 874

Bibliographie — 877

Sach- und Namenverzeichnis — 899