

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort V

<b>1</b>	<b>Quantenmechanik und moderne Welt</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Die Anfänge der Quantenmechanik</b>	<b>3</b>
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
<b>3</b>	<b>Die Schrödinger-Gleichung</b>	<b>31</b>
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
<b>4</b>	<b>Freie Wellenpakete</b>	<b>69</b>
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
<b>5</b>	<b>Stückweise konstante Potentiale</b>	<b>92</b>
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

5.6	Abschließende Bemerkungen	129
5.7	Leitgedanken	131
5.8	Aufgaben	136
<b>6</b>	<b>Der harmonische Oszillator</b>	<b>141</b>
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
<b>7</b>	<b>Die mathematische Struktur</b>	<b>167</b>
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
<b>8</b>	<b>Messprozess und Unbestimmtheitsrelation</b>	<b>200</b>
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
<b>9</b>	<b>Der Drehimpulsoperator</b>	<b>247</b>
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
<b>10</b>	<b>Das Wasserstoffatom</b>	<b>267</b>
10.1	Spektrum des Wasserstoffatoms	267
10.2	Wellenfunktionen des Wasserstoffatoms	276
10.3	Leitgedanken	286
10.4	Aufgaben	289
<b>11</b>	<b>Elektromagnetische Felder</b>	<b>293</b>
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

<b>18</b>	<b>Moleküle</b>	<b>449</b>
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
<b>19</b>	<b>Kristalle</b>	<b>470</b>
19.1	Klassische Frequenzaufspaltung	470
19.2	Energiebänder in Kristallen	471
19.3	Leitgedanken	481
19.4	Aufgaben	485
<b>20</b>	<b>Zeitabhängige Störungstheorie</b>	<b>487</b>
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
<b>21</b>	<b>Der Dichteoperator</b>	<b>525</b>
21.1	Der Dichteoperator reiner Gesamtheiten	525
21.2	Der Dichteoperator gemischter Gesamtheiten	526
21.3	Leitgedanken	537
21.4	Aufgaben	539
<b>22</b>	<b>Verschränkung</b>	<b>543</b>
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
<b>23</b>	<b>EPR und Bellsche Ungleichungen</b>	<b>585</b>
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**