

Inhaltsverzeichnis

1	Quantentheorie vor 1925	1
1.1	Bohr-Sommerfeldsche Quantisierungsregel	1
1.2	Sommerfelds Herleitung	2
1.3	Bohrsche Postulate	7
1.4	Atomgröße	7
2	Heisenberg 1925	11
2.1	Die Spektrallinien	11
2.2	Einführung von Matrizen	15
2.3	Aufgaben	20
3	Ausbau der Matrizenmethode	21
3.1	Vertauschungsrelation	21
3.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	26
3.3	Transformationen	27
3.4	Aufgaben	29
4	Observable und Unschärferelation	31
4.1	Zustandsvektor	31
4.2	Stern-Gerlach-Versuch	32
4.3	Zustände und Postulate	33
4.4	Projektionsmatrizen	34
4.5	Wahrscheinlichkeitsinterpretation	36
4.6	Dichtematrix	37
4.6.1	Definitionen	37
4.6.2	Beispiele	40
4.7	Zeitliche Entwicklung des Erwartungswertes	41
4.8	Heisenbergs Unschärferelation	41
4.9	Aufgaben	43
5	Harmonischer Oszillator	45
5.1	Physik des Harmonischen Oszillators	45
5.2	Erwartungswerte (Mittelwerte) und Varianzwerte	54
5.3	Aufgaben	55

6	Drehimpuls	57
6.1	Matrizenvektor des Drehimpulses	57
6.2	Eigenwerte und Eigenvektoren von L^2 und L_3	61
6.2.1	Vertauschbarkeit von L^2 und L_3	61
6.2.2	Eigenwerte und Eigenvektoren	62
6.2.3	Maximal- und Minimalwerte der Eigenwerte	64
6.3	Orientierung der Drehimpulsvektoren	67
6.4	Die Matrizen L^2 und L_3	68
6.5	Die Matrizen L_+ , L_- , L_1 und L_2	70
6.6	Aufgaben	74
7	Pauli und das Wasserstoffatom	75
7.1	Grundlegende Matrizen und Matrizenvektoren	75
7.2	Einführung des zeitlich konstanten Matrizenvektors $\mathfrak{A}$	77
7.3	Spektrum des Wasserstoffs	81
7.4	Aufgaben	82
8	Spin	83
8.1	Magnetfelder und Licht	83
8.2	Herleitung des Zeeman-Effekts (ohne Spin)	84
8.3	Symmetriebetrachtungen	86
8.4	Symmetriebetrachtung führt zum Spin	89
8.5	Spin- $\frac{1}{2}$ -Systeme	92
8.6	Addition von Drehimpulsen	93
8.6.1	Clebsch/Gordan-Koeffizienten	93
8.6.2	Clebsch-Gordan-Koeffizienten im Internet	97
8.7	Spin-Bahn-Kopplung	97
8.8	Aufgaben	103
9	Atome in elektromagnetischen Feldern	105
9.1	Normaler Zeeman-Effekt	105
9.2	Anomaler Zeeman-Effekt	105
9.2.1	Kleine Feldstärke	105
9.2.2	Hohe Feldstärke	109
9.3	Aufgaben	109
10	Systeme aus mehreren Teilchen	111
10.1	Zusammengesetzte Systeme	111
10.1.1	Systeme mit zwei unterscheidbaren Teilchen	111
10.1.2	Systeme mit N unterscheidbaren Teilsystemen	114
10.1.3	Verschränkte Systeme	115
10.2	Ununterscheidbare Teilsysteme	116
10.2.1	Vertauschung von zwei Teilchen	120
10.2.2	Vertauschen von drei identischen Teilchen	124
10.2.3	Vertauschen von N identischen Teilchen	126
10.3	Aufgaben	129

11	Äquivalenz von Matrizen- mit Wellenmechanik	131
11.1	Die De-Broglie-Wellenlänge	131
11.2	Operatoren in Schrödingers Wellenmechanik	132
11.3	Schrödingers Wellenmechanik	133
11.4	Äquivalenz von Heisenberg- und Schrödinger-Bild	136
11.5	Beispiel: Harmonischer Oszillator	141
11.6	Aufgaben	142
12	Relativistische Quantenmechanik	143
12.1	Spezielle Relativitätstheorie	143
12.1.1	Vierdimensionale Raumzeit	143
12.1.2	Lorentz-Transformation	145
12.1.3	Lorentz-Transformation der Geschwindigkeit	145
12.1.4	Lorentz-Transformation von Impulsen	146
12.1.5	Bewegungsgleichung und Kraft	147
12.1.6	Energie und Ruhemasse	148
12.2	Die Dirac-Gleichung	149
12.2.1	Die Wellengleichung für ein freies Teilchen	149
12.2.2	Invariante Form der Dirac-Gleichung	152
12.2.3	Lösung der Dirac-Gleichung	153
12.2.4	Diracs Interpretation der negativen Energie	155
12.3	Aufgaben	155
13	Anhang	157
13.1	Anhang A	157
13.1.1	Lösung der Aufgaben	157
13.2	Anhang B	183
13.2.1	Das Kronecker-Produkt	183
13.3	Anhang C	185
13.3.1	Fourier-Zerlegung periodischer Funktionen	185
13.4	Anhang D	186
13.4.1	Laplace-Runge-Lenz-Vektor	186
13.5	Anhang E	188
13.5.1	Permutation allgemein	188
13.6	Anhang F	190
13.6.1	Determinanten	190
13.7	Anhang G	191
13.7.1	Diracs Bra-Ket-Notation	191
13.8	Anhang H	192
13.8.1	Beweis der Pauli-Formeln (7.12)–(7.16)	192
13.9	Anhang I	201
13.9.1	Physikalische Größen und Einheiten	201
	Literatur	203
	Stichwortverzeichnis	205