

Quantenmechanik I

Prof. A. Wipf

Theoretisch-Physikalisches-Institut

Friedrich-Schiller-Universität, Max Wien Platz 1

07743 Jena

7. Auflage, WS 2005/2006

1. Auflage, WS 1996/1997

Hinweise auf Tippfehler und andere Unzulänglichkeiten sind willkommen
(per email an: wipf@tpi.uni-jena.de)

Inhaltsverzeichnis

1	Ursprünge der Quantentheorie	1
1.1	Literaturhinweise	1
1.2	Einführung	3
1.2.1	Erste Probleme mit der klassischen Physik	8
1.3	Hohlraumstrahlung	10
1.3.1	Plancksches Strahlungsgesetz	14
1.4	Lichtquanten	16
1.4.1	Einsteins Lichtquantenhypothese	17
1.4.2	Lichtelektrischer Effekt (Photoeffekt)	17
1.4.3	Comptoneffekt	18
1.5	Materiewellen	21
1.5.1	Elektronenstreuung	23
1.6	Quantisierungsregeln von Bohr-Sommerfeld	24
1.6.1	Bohrsches Modell des Wasserstoffatoms	26
1.7	Emission, Absorption und Strahlungsgesetz	28
1.8	Zusammenfassung	31
1.9	Anhang: Theorie der Hohlraumstrahlung	33
1.10	Anhang: Einheitensysteme, Konstanten	40
2	Wellenmechanik	44
2.1	Unbestimmtheitsprinzip für materielle Teilchen	44
2.1.1	Orts- und Impulsmessung von Teilchen	45

2.2	Materiewellen für kräftefreie Teilchen	48
2.2.1	Allgemeine Lösung der freien Schrödingergleichung	51
2.2.2	Zerfließen von Wellenpaketen	52
2.2.3	Impulsoperator	55
2.3	Wellenmechanik mit Kräften	57
2.3.1	Von der klassischen Mechanik zur Wellenmechanik	58
2.3.2	Wellengleichung bei elektromagnetischen Kräften	62
2.3.3	Allgemeine Potentialprobleme	64
2.4	Erhaltung der Wahrscheinlichkeit	67
3	Formalismus der Quantenmechanik	71
3.1	Hilberträume und lineare Operatoren	71
3.1.1	Dirac-Notation	75
3.1.2	Symmetrische Operatoren	76
3.2	Eigenfunktionen und Spektralzerlegung	81
3.2.1	Operatoren mit diskrettem Spektrum	82
3.2.2	Operatoren mit kontinuierlichen Spektren	84
3.2.3	Orts- und Impulsoperator	88
3.2.4	Spektralprojektoren	89
3.3	Unitäre Operatoren	91
3.3.1	Unitäre Translationsoperatoren	92
3.3.2	Cayley-Transformation	93
4	Observable, Zustände und Unbestimmtheit	95
4.1	Die Postulate der Quantenmechanik	95
4.2	Allgemeine Unbestimmtheitsrelation	99
4.3	Reine und gemischte Zustände	100
4.3.1	Spinpolarisierte Elektronen	104
5	Zeitentwicklung und Bilder	107

5.1	Dysons Lösung der Schrödingergleichung	108
5.2	Die Bilder der Quantenmechanik	111
5.2.1	Der Übergang vom Schrödinger- zum Heisenbergbild	111
5.2.2	Heisenberg-Gleichung und Ehrenfest-Theorem	112
5.2.3	Das Wechselwirkungsbild und die Streumatrix	114
5.3	Zeitentwicklung von Gemischen	116
6	Eindimensionale Systeme	118
6.1	Potentialprobleme	118
6.2	Knotensatz	119
6.3	Barrieren	122
6.4	Tunneleffekt	126
6.5	Resonanzen	129
6.5.1	Analytische Eigenschaften von $S(E)$	131
6.6	Zerfallsbreiten	132
6.7	Numerische Lösung der stationären Gleichung	134
6.7.1	Numerov-Algorithmus und Schieß-Verfahren	134
6.7.2	Matrizenmechanik auf dem Computer	139
7	Der harmonische Oszillator	145
7.1	Auf- und Absteigeoperatoren	146
7.1.1	Energien und Eigenfunktionen	147
7.1.2	Interpretationen	151
7.2	Kohärente Zustände	153
7.2.1	Erwartungswerte und Unschärfen	155
8	Symmetrien in der Quantenmechanik	159
8.1	Raumspiegelungen	160
8.2	Translationen	162
8.3	Periodische Potentiale	163

8.3.1	Blochwellen	165
8.3.2	Kronig-Penney-Modell und Energiebänder	166
8.4	Drehungen	170
8.4.1	Unitäre Darstellung der Drehungen	170
8.4.2	Einteilchensysteme	171
8.4.3	Drehimpulsoperatoren	173
8.5	Eigenvektoren/werte des Drehimpulses	176
8.5.1	Kugelflächenfunktionen	180
8.6	Darstellung der Drehungen	184
9	Zentralkräfte - Das Wasserstoffatom	187
9.1	Elektronen im Zentralfeld	188
9.2	Elektron im kugelförmigen Potentialtopf	192
9.3	Wasserstoffatom - diskretes Spektrum	194
9.3.1	Separation der Schwerpunktsbewegung	196
9.3.2	Dynamik der Relativbewegung	197
9.3.3	Eigenfunktionen und Erwartungswerte	203
10	Geladene Teilchen im elektromagnetischen Feld	206
10.1	Elektronen im Magnetfeld	208
10.2	Wasserstoffatom im Magnetfeld	213
10.3	Der Spin des Elektrons	216
10.4	Magnetische Momente	221
10.5	Spinpräzession	224
10.6	Lie Gruppen und Algebren	226
11	Stationäre Näherungsverfahren	230
11.1	Rayleigh-Schrödingersche Störungstheorie	231
11.1.1	Störung des harmonischen Oszillators	234
11.1.2	Anharmonischer Oszillator	235

11.2 Entartete Störungstheorie	237
11.3 Stark-Effekt	239
11.4 Van-der-Waals-Wechselwirkung	241
11.5 Hellmann-Feynman-Formel	244
11.5.1 Virialsatz	245
11.6 Das Rayleigh-Ritzsche Variationsprinzip	247
11.6.1 Nochmals der anharmonische Oszillator	248
11.7 Heliumartige Atome	250