

Inhaltsverzeichnis

Bemerkungen zum einführenden Unterricht in Quantenphysik	1
<u>1. Das Versagen der klassischen Theorie</u>	<u>4</u>
1.1. Die ultraviolett-katastrophe und die Entdeckung des Planck'schen Wirkungsquantums	4
1.1.1. Wärmestrahlung	4
1.1.2. Die Formel von Rayleigh und Jeans	13
1.1.3. Die Strahlungsformel von Planck	19
1.1.4. Der Boltzmann Faktor: Kleiner Exkurs in die Wärmelehre	20
1.1.5. Die mittlere Energie eines Planck'schen Resonators	25
1.1.6. Das Wien'sche Verschiebungsgesetz	26
1.1.7. Das integrierte Spektrum des schwarzen Strahlers	27
1.2. Der Photoeffekt	30
1.3. Die Doppelnatur des Lichtes: Welle oder Teilchen?	34
1.4. Bremsstrahlung	38
1.4.1. Klassische Betrachtungen zur Erzeugung der Bremsstrahlung	38
1.4.2. Experimentelle Untersuchung des Spektrums einer Röntgenröhre	41
1.5. Der Impuls der Lichtquanten	51
1.5.1. Der Strahlungsdruck	51
1.5.2. Der Compton-Effekt	53
1.6. Materiewellen	59
1.6.1. Unterschied und Verwandtschaft zwischen Photonen und Materieteilchen	59
1.6.2. Experimentelle Evidenz für Materiewellen	60
1.6.3. Materiewellen und der klassische Grenzfall	67
1.6.4. Die Wellenfunktion ψ	69
1.6.5. Wellenpakete	70
1.6.6. Phasengeschwindigkeit und Brechung der Materiewellen	72

1.6.7. Die Dispersion der de Broglie-Wellen	75
1.7. Diskrete Zustände	76
1.7.1. Diskrete Energienwerte	76
1.7.2. Diskrete Orientierung von Drehimpulsen und magnetischen Momenten	83
1.7.3. Diskrete Werte des magnetischen Flusses	86
1.8. Die Heisenberg'sche Unschärferelation	87
1.8.1. Das Wesen der Unschärferelation	87
1.8.2. Gedankenexperimente zur Illustration der Unschärferelation	90
1.8.3. de Broglie-Wellen und Unschärferelation	97
<u>2. Zum Formalismus der Quantenmechanik</u>	<u>99</u>
2.1. Die Postulate der Wellenmechanik	100
2.1.1. Erstes Postulat: Wellenfunktionen	100
2.1.2. Zweites Postulat: Die Unschärferelation	102
2.1.3. Operatoren	105
2.1.4. Beispiele von Operatoren in der Ortsraumdarstellung	107
2.1.5. Eigenschaften der Operatoren	111
2.1.6. Drittes Postulat: Die Schrödinger-Gleichung	115
2.1.7. Beispiele von Lösungen der Schrödinger-Gleichung	120
2.2. Eigenwerte und Eigenfunktionen	132
2.2.1. Scharfe und unscharfe Werte von Observablen	132
2.2.2. Beispiele von Eigenfunktionen und Eigenwerten, und das vierte Postulat	135
2.2.3. Simultane Eigenfunktionen zweier Operatoren	141
2.2.4. Orthogonalität der Eigenfunktionen	143
2.2.5. Lineare Kombination von Eigenfunktionen	146
2.2.6. Entwicklung nach Eigenfunktionen	149
2.3. Verallgemeinerung auf Systeme mit vielen Freiheitsgraden	152

3. Der harmonische Oszillator

153

4. Das Wasserstoff-Atom

161

4.1. Die Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoff-Atom

162

4.2. Die Separierung der Variablen und die azimuthale Funktion $\Phi(\varphi)$

165

4.3. Die zonale Funktion $\Theta(\vartheta)$

166

4.4. Die radiale Funktion $R(r)$

173

4.4.1. Der Bohr'sche Radius und die Rydberg-Energie

173

4.4.2. Die Lösung der radialen Gleichung für negative Energie

176

4.5. Diskussion der Wellenfunktionen für gebundene Zustände

182

4.5.1. Entartung, Nomenklatur und Niveau-Schema

182

4.5.2. Die Normierung der Eigenfunktionen

185

4.5.3. Porträts einiger Eigenfunktionen

187

4.6 Zustände mit positiver Energie

194

5. Emission und Absorption elektromagnetischer Strahlung

195

5.1. Einleitung

195

5.2. Oszillierende Ladungsverteilungen

199

5.3. Halbklassische Berechnung der induzierten Emission
und der Absorption

203

5.3.1. Vereinfachende Annahmen

203

5.3.2. Berechnung des Überganges zwischen stationären Zuständen

205

5.3.3. Näherungslösung für schwache, monochromatische Strahlung

206

5.3.4. Näherung für nicht monochromatische Strahlung

212

5.4. Auswahlregeln für elektrische Dipolübergänge

214

5.4.1. Auswahlregeln und Dipolmatrixelemente für den
eindimensionalen harmonischen Oszillator

214

5.4.2 Die Auswahlregeln beim Wasserstoff-Atom

216

5.5. Die Einstein - Koeffizienten	222
5.5.1. Atome im Planck'schen Strahlungsfeld	222
5.5.2. Ein wesentlicher Unterschied zwischen spontaner und induzierter Emission	228
5.6. Das Bohr'sche Korrespondenzprinzip	231
5.6.1. Die spontane Emission beim harmonischen Oszillator und der Grenzübergang zur klassischen Theorie	231
5.6.2. Das Emissionsspektrum des Wasserstoffatoms im Grenzfall hoher Hauptquantenzahl	233
5.7. Erhaltungssätze	234
5.7.1. Energie- und Impulserhaltung	234
5.7.2. Drehimpulserhaltung bei Emission und Absorption	235
5.7.3. Der Drehimpuls und die Zustände des Photons	240
5.8. Spektren	242
5.8.1. Die Spektralseerien des Wasserstoff-Atoms	242
5.8.2. Wasserstoff-ähnliche Atome	245

6. Das magnetische Bahnmoment des Atoms 249

6.1. Ströme im Atom	249
6.2. Der Einfluss eines Magnetfeldes auf das Spektrum eines Atoms: Der Zeeman - Effekt	252
6.2.1. Historische Bemerkungen	252
6.2.2. Eine angenäherte Berechnung des Zeeman - Effektes	253
6.2.3. Die Zeeman - Aufspaltung der Spektrallinien	256
6.2.4. Die Polarisierung der Zeeman - Linien, das Problem der z-Achse und die Unzulänglichkeit der halbklassischen Strahlungstheorie	259

7. Der Spin des Elektrons 262

7.1. Spin-Quantenzahl, Spin-Variable und Spin-Funktion	262
7.2. Die Spin - Bahn - Kopplung	267

7.3. Einbau der Spin-Variablen in die Wellenfunktion	270
<u>8. Das Ausschluss-Prinzip von Pauli</u>	277
8.1. Die Austauschsymmetrie	277
8.1.1. Illustration der Austauschsymmetrie am Zweielektronenproblem ohne Spin	277
8.1.2. Allgemeinere Formulierung der Austauschsymmetrie	281
8.2. Formulierungen des Pauli-Prinzips	281
8.3. Das periodische System der Elemente	283
8.3.1. Die Elektronenzahl der Edelgas-Atome	283
8.3.2. Die Energie des Grundzustandes der Konfigurationen	286
