

Wilfried Kuhn  
Janez Strnad

# **Quantenfeldtheorie**

Photonen und ihre Deutung



# Inhaltsverzeichnis

<b>Methodisches Konzept</b>	<b>1</b>
<b>1 Klassische Mechanik</b>	<b>5</b>
1.1 Grundbegriffe . . . . .	5
1.2 Harmonischer Oszillator . . . . .	7
<b>2 Quantenmechanik</b>	<b>10</b>
2.1 Grundbegriffe . . . . .	10
2.2 Schrödinger-Gleichung . . . . .	12
2.3 Vertauschbarkeit von Operatoren . . . . .	15
2.4 Harmonischer Oszillator . . . . .	16
2.5 Hermite-Polynome . . . . .	19
2.6 Erzeugungs- und Vernichtungsoperatoren . . . . .	22
2.7 Orthogonalität und Normierung . . . . .	27
2.8 Entwicklung nach Eigenfunktionen . . . . .	29
2.9 Erwartungswerte und Unschärfen . . . . .	31
2.10 Matrizen . . . . .	34
2.11 Selbstadjungierte Operatoren . . . . .	38
2.12 Unschärfebeziehung . . . . .	42
2.13 Kohärente Zustände . . . . .	44
2.14 Heisenberg-Bild . . . . .	54
2.15 Teilchenzahldarstellung und Dirac-Schreibweise . . . . .	58
2.16 Gequetschte Zustände . . . . .	63
2.17 Phase . . . . .	67
2.18 Quantenmechanik und klassische Mechanik . . . . .	78
<b>3 Klassische Elektrodynamik</b>	<b>81</b>
3.1 Grundlagen . . . . .	81
3.2 Laufende und stehende Wellen . . . . .	85
3.3 Schwingungen und Wellen . . . . .	89
3.4 Modendichte . . . . .	91
3.5 Dipolstrahlung . . . . .	93
<b>4 Theorie der Photonen</b>	<b>96</b>
4.1 Quantisierung des elektromagnetischen Feldes . . . . .	96
4.2 Feldquantisierung mit stehenden Wellen . . . . .	98

4.3	Feldquantisierung mit laufenden Wellen . . . . .	104
4.4	Was sind eigentlich Photonen? . . . . .	108
4.5	Kohärente Zustände . . . . .	112
4.6	Quantentheorie und klassische Elektrodynamik . . . . .	116
4.7	Vielmodenzustände . . . . .	117
4.8	Statistische Gemische . . . . .	122
4.9	Thermisches monochromatisches Licht . . . . .	125
4.10	Thermisches Vielmoden-Licht . . . . .	128
4.11	Strahlung des schwarzen Körpers . . . . .	131
4.12	Strahlungsübergänge . . . . .	133
4.13	Matrixelemente für Strahlungsübergänge . . . . .	138
4.14	Spontane und stimuliertes Emission und Absorption . . . . .	139
4.15	Halbklassische Näherung . . . . .	143
4.16	Einstein-Koeffizienten . . . . .	145
4.17	Spontane Emission . . . . .	148
4.18	Gibt es eine Photonen-Wellenfunktion? . . . . .	150
4.19	Photonen und Elektronen . . . . .	154
<b>5</b>	<b>Effekte und Experimente</b>	<b>161</b>
5.1	Laser . . . . .	161
5.2	Intensitätsmessung . . . . .	167
5.3	Interferenz . . . . .	168
5.4	Photoionisation . . . . .	178
5.5	Casimir-Kraft . . . . .	183
5.6	Lamb-Verschiebung . . . . .	189
5.7	Photonenkorrelationen erster Ordnung . . . . .	193
5.8	Photonenkorrelationen zweiter Ordnung . . . . .	197
5.9	Hohlraum-Quantenelektrodynamik und Mikromaser . . . . .	205
5.10	Experiment mit einzelnen Photonen . . . . .	210
5.11	Photonenzählung . . . . .	216
5.12	Nichtklassisches Licht . . . . .	218
5.13	Compton-Effekt . . . . .	221
5.14	Photoeffekt . . . . .	226
	<b>Schlußwort</b>	<b>235</b>
	<b>Literatur</b>	<b>238</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>239</b>