

Photonen

Eine Einführung in die Quantenoptik

Von Prof. Dr. rer. nat. Harry Paul
Humboldt-Universität Berlin

Mit 35 Abbildungen und 2 Tabellen

HLuHB Darmstadt



13325545



B.G. Teubner Stuttgart 1995

Inhalt

1	Einleitung	11
2	Historische Meilensteine	14
2.1	Lichtwellen à la Huygens	14
2.2	Newton'sche Lichtteilchen	17
2.3	Der Youngsche Interferenzversuch	23
2.4	Die Einsteinsche Lichtquantenhypothese	26
3	Grundzüge der klassischen Beschreibung des Lichts	32
3.1	Das elektromagnetische Feld und seine Energie	32
3.2	Intensität und Interferenz	35
3.3	Ausstrahlung	38
3.4	Spektrale Zerlegung	40
4	Quantenmechanische Aussagen über das Licht	45
4.1	Quantenmechanische Unschärfe	45
4.2	Quantelung der elektromagnetischen Energie	50
4.3	Fluktuationen der elektrischen Feldstärke	56
4.4	Kohärente Zustände des Strahlungsfeldes	58

8 Inhalt

5	Optische Detektoren	60
5.1	Lichtabsorption	60
5.2	Photoelektrischer Nachweis von Licht	63
5.2.1	Messung der mittleren Intensität	67
5.2.2	Nachweis von Schwebungen	67
5.2.3	Messung von Intensitätskorrelationen	67
5.2.4	Registrierung der Ankunftszeit einzelner Photonen	68
5.2.5	Photonenzählung	68
5.3	Photoeffekt und Quantennatur des Lichts	69
6	Spontane Emission	81
6.1	Korpuskulare Züge der Ausstrahlung	81
6.2	Der Wellenaspekt	87
6.3	Paradoxien des Emissionsvorgangs	91
6.4	Komplementarität	94
6.5	Quantenmechanische Beschreibung	96
6.6	Quantenhafte Schwebungen	104
6.7	Parametrische Fluoreszenz	106
6.8	Photonen „in Reinkultur“	110
6.9	Eigenschaften von Photonen	112
7	Interferenz	116
7.1	Strahlteilung	116
7.2	Interferenz des Photons mit sich selbst	121
7.3	Verzögerte Entscheidung	128
7.4	Interferenz zwischen unabhängigen Photonen	130
7.5	Welcher Weg?	142
7.6	Intensitätskorrelationen	152
7.7	Verformung von Photonen	159

8	Photonenstatistik	162
8.1	Messung von Sterndurchmessern	162
8.2	„Anhäufelung“ von Photonen	171
8.3	Zufällige Photonenverteilung	179
8.4	Abstand haltende Photonen	185
9	Gequetschtes Licht	195
9.1	Quadraturkomponenten des Feldes	195
9.2	Erzeugung	197
9.3	Homodyn-Nachweis	201
10	Messung von Verteilungsfunktionen	206
10.1	Die Quantenphase des Lichts	206
10.2	Realistische Phasenmessung	208
10.3	Rekonstruktion des Zustandes aus Meßdaten	216
11	Ein optisches Einstein-Podolsky-Rosen-Experiment	220
11.1	Die Zwei-Photonen-Kaskade	220
11.2	Das Paradoxon von Einstein, Podolsky und Rosen	224
11.3	Theorien mit verborgenen Parametern	226
11.4	Experimentelle Ergebnisse	233
11.5	Informationsübertragung mit Überlichtgeschwindigkeit?	236
12	Quanten-Kryptographie	240
12.1	Kryptographische Grundprinzipien	240
12.2	Abhörsicherheit und Quantentheorie	242
13	Resümee: Was wissen wir vom Photon?	246

10 Inhalt

A Anhang. Formale Beschreibung	250
A.1 Quantisierung eines Ein-Moden-Feldes	250
A.2 Einführung und Eigenschaften der kohärenten Zustände	253
A.3 Die Weisskopf-Wigner-Lösung für die spontane Emission	258
A.4 Theorie der Strahlteilung und optischen Mischung	261
A.5 Quantentheorie der Interferenz	265
A.6 Theorie des abgeglichenen Homodyn-Nachweises	267
Literaturverzeichnis	269
Index	275