

Harry Paul

Photonen

REIHE WISSENSCHAFT

Die REIHE WISSENSCHAFT ist die wissenschaftliche Handbibliothek des Naturwissenschaftlers und Ingenieurs und des Studenten der mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Fächer. Sie informiert in zusammenfassenden Darstellungen über den aktuellen Forschungsstand in den exakten Wissenschaften und erschließt dem Spezialisten den Zugang zu den Nachbardisziplinen.

Harry Paul

Photonen

Experimente und ihre Deutung

Mit 20 Abbildungen und 1 Tabelle



Friedr. Vieweg & Sohn
Braunschweig/Wiesbaden

Verfasser:

Prof. Dr. Harry Paul

Zentralinstitut für Optik und Spektroskopie
der Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Paul, Harry:

Photonen : Experimente und ihre Deutung /

Harry Paul. — Braunschweig ; Wiesbaden :

Vieweg, 1985.

(Reihe Wissenschaft)

ISBN 978-3-663-01963-3

ISBN 978-3-663-01962-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-01962-6

1985

Alle Rechte vorbehalten

© Akademie-Verlag Berlin 1985

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1985

Lizenzausgabe für

Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig,

mit Genehmigung des Akademie-Verlags, DDR - Berlin

Herstellung: VEB Druckhaus „Maxim Gorki“, DDR - 7400 Altenburg

ISBN 978-3-663-01963-3

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1. Einleitung	9
2. Historische Meilensteine	11
2.1. NEWTONS Lichtteilchen	11
2.2. Der YOUNGSche Interferenzversuch	17
2.3. Die EINSTEINSche Lichtquantenhypothese	19
3. Grundzüge der klassischen Beschreibung des Lichts	25
3.1. Das elektromagnetische Feld und seine Energie	25
3.2. Intensität und Interferenz	27
3.3. Ausstrahlung	31
3.4. Spektrale Zerlegung	33
4. Quantenmechanische Aussagen über das Licht	37
4.1. Quantenmechanische Unschärfe	37
4.2. Quantelung der elektromagnetischen Energie	42
4.3. Fluktuationen der elektrischen Feldstärke	43
4.4. Kohärente Zustände des Strahlungsfeldes	45
5. Optische Detektoren	46
5.1. Lichtabsorption	46
5.2. Fotoelektrischer Nachweis von Licht	49
5.3. Photoeffekt und Quantennatur des Lichts	56
6. Spontane Emission	68
6.1. Korpuskulare Züge der Ausstrahlung	68
6.2. Der Wellenaspekt	71
6.3. Paradoxien des Emissionsvorgangs	76
6.4. Komplementarität	78
6.5. Quantenmechanische Beschreibung	80
6.6. Quantenhafte Schwebungen	87

6.7. Parametrische Fluoreszenz	89
6.8. Photonen „in Reinkultur“	92
6.9. Eigenschaften von Photonen	94
7. Interferenz	98
7.1. Strahlteilung	98
7.2. Interferenz des Photons mit sich selbst	104
7.3. Interferenz zwischen unabhängigen Photonen	111
7.4. Intensitätskorrelationen	123
7.5. Verformung von Photonen	127
8. Photonenstatistik	130
8.1. Messung von Sterndurchmessern	130
8.2. „Photonenklumpen“	140
8.3. Fehlende Klumpenbildung	150
8.4. Abstand haltende Photonen	155
9. Ein optisches Einstein-Podolsky-Rosen-Experiment	164
9.1. Die Zwei-Photonen-Kaskade	164
9.2. Das Paradoxon von EINSTEIN, PODOLSKY und ROSEN	167
9.3. Theorien mit verborgenen Parametern.	168
9.4. Experimentelle Ergebnisse	176
10. Resümee	179
Literaturverzeichnis	183
Sachverzeichnis	186

Die ganzen 50 Jahre bewußter Grübeleien haben mich der Antwort der Frage ›Was sind Lichtquanten‹ nicht näher gebracht. Heute glaubt zwar jeder Lump, er wisse es, aber er täuscht sich . . .

ALBERT EINSTEIN
(in einem Brief an M. Besso
vom Jahre 1951)

Vorwort

Nirgends kommt uns der Widerspruch zwischen Teilchen- und Wellenbild mit solcher Schärfe zum Bewußtsein wie beim Licht. Das liegt sicher nicht zuletzt daran, daß optische Erscheinungen einen wesentlichen Teil unserer Erfahrungen ausmachen. In der Schule wurden uns bereits unwiderlegbare Beweise für die Wellennatur des Lichts vorgeführt — wir sträuben uns daher innerlich, den Teilchenaspekt genauso ernst zu nehmen. EINSTEIN selbst betitelte seine bahnbrechende Arbeit aus dem Jahre 1905, in der er die Lichtquantenhypothese entwickelte, noch vorsichtig als „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“!

Weiterhin lassen sich die mit dem Teilchen-Welle-Dualismus zusammenhängenden „Paradoxien“ sehr eindrucksvoll an leicht überblickbaren Gedankenexperimenten aus der Optik aufzeigen. Tatsächlich beleben „naive“ Fragen der Art: „Wie macht es denn eigentlich das Photon (oder, im Fall der Ausstrahlung, das Atom), um dieses oder jenes zu bewerkstelligen?“ nach wie vor die Diskussion in Physikerkreisen. Ich selbst habe so im Laufe der Zeit viele Denkanstöße erhalten. Besonders verpflichtet fühle ich mich in dieser Hinsicht Herrn Prof. Dr. GUSTAV RICHTER, Berlin, der seinerzeit nicht müde wurde, uns Jüngeren, wenn wir etwas Neues ausgerechnet hatten, die dahinter stehende physikalische Problematik deutlich zu machen, und sich nicht zufrieden gab, bis der wirkende physikalische Mechanismus wenigstens in seinen Grundzügen verstanden war.

Mit dem vorliegenden Büchlein möchte ich zu einer Klärung der Photonenproblematik beitragen. Ich versuche, einen Überblick über die verschiedenartigen experimentellen Befunde zu geben, in denen das Photon etwas von seinem „Wesen“ zu erkennen gibt. Der formale Aufwand bei der dazu erforderlichen Analyse wird

dabei so klein wie nur möglich gehalten. Durch Gegenüberstellung mit den jeweiligen klassischen Vorstellungen wird der spezifisch quantenmechanische, „unanschauliche“ Charakter der quantenmechanischen Naturbeschreibung hervorgehoben, der gerade in den Eigenschaften des Photons so deutlich zum Ausdruck kommt. Unter diesem Aspekt, so scheint mir, könnte das Büchlein auch helfen, das Verständnis der Prinzipien der Quantenmechanik zu vertiefen.

Ich setze beim Leser nur Kenntnis der klassischen Elektrodynamik und eine gewisse Vertrautheit mit den Grundzügen der Quantentheorie voraus, wie sie im ersten Teil einer üblichen Quantenmechanikvorlesung vermittelt wird.

Interessierte Leser, die mir gern die eine oder die andere Frage stellen möchten oder sich zu kritischen Bemerkungen herausgefordert fühlen, möchte ich ausdrücklich dazu ermuntern, mit mir in einen Gedankenaustausch zu treten.

Zum Schluß bedanke ich mich sehr herzlich bei meinen Kollegen Dr. TH. RICHTER und Dr. H. STEUDEL für viele klärende Diskussionen und zahlreiche nützliche Hinweise. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. G. WEBER, Jena, für eine sehr sorgfältige Durchsicht des Manuskripts.

Berlin, im September 1983

HARRY PAUL