Grimsehl · Lehrbuch der Physik
BAND 3

Grimsehl

Lehrbuch der Physik

BAND 3

Optik

19. Auflage mit 614 Abbildungen

BEGRÜNDET VON PROF. E. GRIMSEHL
WEITERGEFÜHRT VON PROF. DR. W. SCHALLREUTER
NEU BEARBEITET VON PROF. DR. H. HAFERKORN

LEIPZIG

BSB B. G. TEUBNER VERLAGSGESELLSCHAFT
1988

Grimsehl, Ernst:
Lehrbuch der Physik / Grimsehl. – Leipzig : BSB
Teubner
Bd. 3. Optik / begr. von E. Grimsehl, weitergef.
von W. Schallreuter, neu bearb. von H.
Haferkorn. – 19. Aufl. – 1988. – 302 S. :
614 Abb.

ISBN 978-3-322-96432-8 ISBN 978-3-322-96431-1 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-96431-1

© BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1978
Softcover reprint of the hardcover 19th edition 1978
19. Auflage
VLN 294-375/84/88 · LSV 1164
Lektor: Dipl.-Met. Christine Dietrich

Gesamtherstellung: Grafische Werke Zwickau III/29/1
Bestell-Nr. 666 621 1
02400

Geleitwort

Seit Jahrzehnten gibt der „Grimsehl“ aufgrund seines bewährten didaktischen Aufbaues, durch eine ausführliche und gut faßliche Behandlung des Gesamtgebietes der Physik, dank vieler Hinweise auf Zusammenhänge zwischen den einzelnen Teilgebieten der Physik und besonders durch zahlreiche anschauliche Beispiele wertvolle Unterstützung bei der Grundlagenausbildung von Physikern, anderen Naturwissenschaftlern, Lehrern und Ingenieuren. Auch die Absolventen dieser Fachrichtungen verwenden dieses Werk oft zum Nachschlagen einzelner Abschnitte.

In allen Stellungnahmen und Einschätzungen von wissenschaftlichen Institutionen und Hochschullehrern, von seiten der Lehrmittelkommission Physik, des Ministeriums für Hoch- und Fachschulwesen und der Physikalischen Gesellschaft der DDR wurde übereinstimmend zum Ausdruck gebracht, daß der „Grimsehl“ als bedeutendes Standardwerk weitergeführt werden sollte. Dank der aktiven Einflußnahme der Lehrmittelkommission Physik auf die nach dem Ableben von Herrn Prof. Dr. W. Schallreuter, dem langjährigen Herausgeber dieses Lehrbuches, entstandenen Probleme konnten für die völlige Neubearbeitung Herr Prof. Dr. Altenburg (Band 1: Mechanik, Akustik, Wärmelehre), Herr Prof. Dr. Grade-

wald (Band 2: Elektrizitätslehre), Herr Prof. Dr. Haferkorn (Band 3: Optik) und Herr Prof. Dr. Lösche (Band 4: Struktur der Materie) gewonnen werden.

In Verbindung mit der Modernisierung der Buchgestaltung erfolgte eine grundlegende inhaltliche und stilistische Überarbeitung. Dabei wurden die Grundsatzsubstantz des Werkes und seine charakteristischen Eigenschaften, speziell Faßlichkeit und Anschaulichkeit, beibehalten.

Durch kompaktere Darstellung und Umstellung der Stoffanordnung konnte Platz gewonnen werden für die Neuaufnahme von wesentlichen modernen Gebieten der Physik und für die Darstellung von aktuellen Zusammenhängen zwischen theoretischen Erkenntnissen und praktischen Anwendungen. Bei der Überarbeitung erfolgte eine inhaltliche Anpassung an die Lehrprogramme für die Physikausbildung an Universitäten und Hochschulen. Das Niveau der mathematischen Betrachtungsweise der Physik sollte angehoben werden. Wenn der „Grimsehl“ auch kein Lehrbuch der Theoretischen Physik werden soll, so ist jedoch eine mathematische Beschreibung der Naturbeobachtung notwendig. Die SI-Einheiten und IUPAP-Empfehlungen wurden konsequent angewandt.

Leipzig, im September 1977

BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft

Vorwort zur 16. Auflage

Hiermit wird die 16., völlig neu bearbeitete Auflage des „Grimsehl“, Bd. 3: Optik, vorgelegt. Bei der Aktualisierung sind ein großer Teil der Abbildungen erneuert und die Gliederung umgestellt worden.

Die Entscheidung, was an historisch und methodisch Wesentlichem beibehalten, was gestrichen werden sollte, war nicht leicht zu treffen. Trotzdem konnte genügend Platz für neue Probleme geschaffen werden. Einzelne Teile, wie z. B. die Molekülspektren, sind dem Bd. 4 vorbehalten. Dafür sind einige für die Optik wichtige Teile des Bd. 4 – wie der Quantencharakter des Lichtes, Masse und Impuls der Lichtstrahlung, Materiewellen, einschließlich der Schrödinger-Gleichung und der Heisenbergschen Unschärferelation – in den Bd. 3 übernommen worden. Der Autor hofft, dadurch die Wissenschaftsdisziplin Optik systematischer dargestellt und deutlicher in das Gesamtgebiet der Physik eingeordnet zu haben.

Der Autor ist sich bewußt, daß in den im wesentlichen neuen Abschnitten zur nichtlinearen Optik, zur wellenoptischen Abbildung, zur Holographie, zur Übertragungstheorie und – trotz eines größeren Abschnitts – zur Laserphysik vieles nur angedeutet oder knapp behandelt werden mußte. Es sind aber auch Zusätze über Lichtleitkabel, spezielle Linsen, Interferenzfilter und bezüglich der Formelableitungen im Kap. 5 ent-

standen. Alle diese Teile sollen in erster Linie zum weiteren Studium der Spezialliteratur anregen.

Auf eine Besonderheit sei noch hingewiesen. Kap. 2 enthält die geometrische Optik in etwas veränderter Form. Der Autor vertritt die Meinung, daß es keine sachlichen Gründe dafür gibt, in einem Lehrbuch der Physik die bewährten und standardisierten Formelzeichen und Vorzeichenregeln der technischen Optik nicht zu verwenden. Außerdem erscheint es unbedingt notwendig, die geometrisch-optische Abbildung exakt in ihrem Näherungscharakter darzustellen. Diese Fragen sind naturgemäß auch im Kap. 4 zu beachten.

Der Autor dankt dem Verlag besonders für die Möglichkeit, stärkere Veränderungen vornehmen zu können, und für die neue Gestaltung des Bandes. Herrn Dipl.-Math. Neubert sei für die verständnisvolle Zusammenarbeit gedankt. Die Herren Professoren Wilhelmi und Gradewald haben in ihren Gutachten wertvolle Hinweise gegeben. Herr Dipl.-Ing. Herrig hat die neuen photographischen Abbildungen hergestellt; zwei Bilder wurden freundlicherweise von der IHS Dresden zur Verfügung gestellt. Das Manuskript wurde von Frau Mudra, Frl. Koch und meiner Frau geschrieben. Ihnen allen sei hiermit nochmals herzlich gedankt.

Ilmenau, im September 1977

H. Haferkorn

Inhalt

1. LICHT	11
1.1. Lichtmodelle	11
1.1.1. Lichtstrahlen	11
1.1.2. Lichtwellen	11
1.1.3. Lichtquanten	12
1.1.4. Gliederung der Optik	13
1.2. Ausbreitung des Lichtes	14
1.2.1. Lichtquellen	14
1.2.2. Schatten und Blenden	15
1.2.3. Messung der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	17
1.2.4. Messung der Lichtgeschwindigkeit in Stoffen	21
1.3. Physiologische Optik	21
1.3.1. Der Sehvorgang	21
1.3.2. Die Farbempfindung	25
1.3.3. Optische Täuschungen	29
1.3.4. Beidäugiges Sehen	31
1.4. Photometrie	33
1.4.1. Grundbegriffe	33
1.4.2. Visuelle Photometrie	38
1.4.3. Objektive Photometrie	39
1.4.4. Lichtverteilung und Lichtausbeute von Lichtquellen	40
2. GEOMETRISCHE OPTIK	43
2.1. Reflexion des Lichtes	43
2.1.1. Diffuse und gerichtete Reflexion	43
2.1.2. Planspiegel	44
2.1.3. Planspiegelfolgen	45
2.2. Brechung des Lichtes	46
2.2.1. Brechungsgesetz	46
2.2.2. Planparallele Platten	48
2.2.3. Totalreflexion	48
2.2.4. Licht- und Bildleitkabel	49
2.2.5. Prismen	50
2.2.6. Fermatsches Prinzip	52
2.3. Geometrisch-optische Abbildung mit Spiegeln	54
2.3.1. Geometrisch-optische Abbildung	54
2.3.2. Reflektierende Rotationsflächen	56
2.3.3. Abbildung im paraxialen Gebiet	59
2.4. Geometrisch-optische Abbildung mit Linsen	61
2.4.1. Brechende Rotationsflächen	61
2.4.2. Flächenfolgen	64
2.4.3. Zentrierte Linsen	67
2.4.4. Klassifikation der zentrierten Linsen	68
2.4.5. Brennweitenmessung	70
2.4.6. Spezielle Linsen	71

2.5. Blenden und Abbildungsfehler	73
2.5.1. Öffnungsblende	73
2.5.2. Feldblende	74
2.5.3. Abschattung	75
2.5.4. Öffnungsfehler	76
2.5.5. Feldfehler	78
2.5.6. Farbfehler	82
3. WELLENOPTIK	85
3.1. Interferenz	85
3.1.1. Kohärenz	85
3.1.2. Youngsches Interferometer	86
3.1.3. Fresnelscher Spiegel und Fresnelsches Biprisma	87
3.1.4. Farben dünner Blättchen	88
3.1.5. Interferenzen gleicher Dicke	91
3.1.6. Interferenzen gleicher Neigung	92
3.1.7. Interferenzen an zwei Platten	93
3.1.8. Michelson-Interferometer	95
3.1.9. Interferenzspektroskopie	97
3.2. Beugung	102
3.2.1. Huygens-Fresnelsches Prinzip	102
3.2.2. Fresnelsche Beugung	105
3.2.3. Fraunhofersche Beugung an Öffnungen	109
3.2.4. Beugung am Gitter	111
3.2.5. Beugung an Raumgittern	115
3.2.6. Röntgenspektroskopie	117
3.3. Polarisation	120
3.3.1. Polarisation durch Reflexion an Dielektrika	120
3.3.2. Doppelbrechung	124
3.3.3. Polarisation durch Doppelbrechung und Beugung	129
3.3.4. Interferenz polarisierter Lichtwellen	132
3.3.5. Elliptisch und zirkular polarisiertes Licht	136
3.3.6. Drehung der Schwingungsebene	138
3.3.7. Polarisation bei der Metallreflexion	141
3.3.8. Polarisation der Röntgenstrahlen	143
3.4. Dispersion	144
3.4.1. Grundlagen der Dispersion	144
3.4.2. Spektren	148
3.4.3. Infrarotes und ultraviolettes Licht	153
3.4.4. Kennzahlen der Dispersion	155
3.4.5. Grundzüge der Dispersionstheorie	157
3.4.6. Nichtlineare Optik	158
3.4.7. Effekte der nichtlinearen Optik	159
3.4.8. Optische Erscheinungen in der Atmosphäre	160
4. OPTISCHE INSTRUMENTE UND SYSTEME	169
4.1. Wellenoptische Abbildung	169
4.1.1. Beugungsbegrenzte optische Systeme	169
4.1.2. Wellenaberrationen	171
4.1.3. Grundzüge und Anwendungen der Holographie	172
4.2. Brillen und Lupen	175
4.2.1. Fehl- und Alterssichtigkeit	175
4.2.2. Vergrößerung	177
4.2.3. Lupen	178

4.3.	Photo- und Projektionsoptik	179
4.3.1.	Photographische Abbildung	179
4.3.2.	Schärfentiefe und Perspektive	180
4.3.3.	Photoobjektive	181
4.3.4.	Bildwerfer	182
4.4.	Mikroskop	183
4.4.1.	Zusammengesetztes Mikroskop	183
4.4.2.	Beleuchtung im Mikroskop	185
4.4.3.	Objektive und Okulare	186
4.4.4.	Abbesche Theorie des Mikroskops	188
4.4.5.	Mikroskopieverfahren	189
4.4.6.	Röntgenmikroskopie	191
4.5.	Fernrohr	193
4.5.1.	Astronomisches Fernrohr	193
4.5.2.	Holländisches Fernrohr	196
4.5.3.	Erdfernrohre	197
4.5.4.	Objektive und Okulare	198
4.6.	Grundlagen der optischen Übertragungstheorie	199
4.6.1.	Inkohärente Übertragung	199
4.6.2.	Kohärente Übertragung	202
4.6.3.	Partiell-kohärente Übertragung	203
5.	OPTIK IN BEWEGTEN KOORDINATENSYSTEMEN	205
5.1.	Galileitransformation	205
5.1.1.	Inertialsysteme in der Newtonschen Mechanik	205
5.1.2.	Doppler-Effekt. Aberration	206
5.1.3.	Mitführung	208
5.1.4.	Elektrische und magnetische Effekte	212
5.2.	Lorentztransformation	215
5.2.1.	Michelsonversuch	215
5.2.2.	Lorentztransformation	217
5.2.3.	Bewegte Masse	219
5.2.4.	Trägheit der Energie. Relativitätstheorie	220
6.	QUANTENOPTIK. MATERIEWELLEN	222
6.1.	Lichtstrahlung	222
6.1.1.	Klassische Theorie der Lichtausstrahlung	222
6.1.2.	Strahlungsgesetze	223
6.1.3.	Plancksches Strahlungsgesetz	227
6.1.4.	Nichtschwarze Körper	230
6.1.5.	Masse und Impuls der Lichtstrahlung	232
6.1.6.	Quantencharakter des Lichtes	233
6.2.	Atomhülle und Spektren	236
6.2.1.	Bohrsches Atommodell	236
6.2.2.	Bohrsches Korrespondenzprinzip	240
6.2.3.	Periodisches System der Elemente	241
6.2.4.	Anregungsbedingungen	242
6.2.5.	Linienspektren	247
6.2.6.	Kontinuierliche Spektren	253
6.2.7.	Röntgenspektren	254
6.2.8.	Wirkung elektromagnetischer Felder	260

6.3. Maser und Laser	265
6.3.1. Spontane und induzierte Emission	265
6.3.2. Intensität und Breite der Spektrallinien	266
6.3.3. Prinzip der Maser und Laser	268
6.3.4. Maser	270
6.3.5. Laser	270
6.3.6. Anwendungen der Laser	273
6.4. Materiewellen	276
6.4.1. Prinzipien von MAUPERTUIS, HAMILTON, FERMAT	276
6.4.2. De Broglie-Wellen	276
6.4.3. Elektronenoptik	279
6.4.4. Schrödinger-Gleichung	284
6.4.5. Heisenbergs Matrizenmechanik	288
6.4.6. Heisenbergs Unschärferelation	289
TABELLEN	291
Tab. I. Verzeichnis von Formelzeichen	291
Tab. II. Atmosphärische Strahlenbrechung (Refraktion)	292
Tab. III. Brechzahlen. Drehung der Schwingungsebene	292
Tab. IV. Wellenlänge ausgewählter Spektrallinien	293
BILDKORREKTUREN	294
LITERATUR	294
NAMENVERZEICHNIS	295
SACHVERZEICHNIS	297
BILDQUELLEN	302