

**Stephen G. Lipson
Henry S. Lipson
David S. Tannhauser**

Optik

Übersetzt von Holger Becker

Mit 332 meist zweifarbigen Abbildungen,
125 Aufgaben und vollständigen Lösungen



Springer

Professor Dr. Stephen G. Lipson
Professor Dr. David S. Tannhauser
Department of Physics
Technion-Israel Institute of Technology
Haifa, Israel

Professor Dr. Henry S. Lipson †

Übersetzer

Dr. Holger Becker
Zeneca SmithKline Centre for Analytical Sciences
Department of Chemistry
SW7 2AY South Kensington, London, United Kingdom

Titel der englischen Originalausgabe:
Optical Physics, 3rd Edition. © Cambridge University Press 1995

ISBN 3-540-61912-7 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Lipson, Stephen G.: Optik:

125 Aufgaben und vollständige Lösungen / Stephen G. Lipson; Henry S. Lipson;

David S. Tannhauser.

Aus dem Engl. übers. von Holger Becker.

- Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Budapest; Hongkong; London; Mailand; Paris; Santa Clara; Singapur; Tokio: Springer, 1997

(Springer-Lehrbuch)

Einheitssacht.: Optical physics <dt.>

ISBN 3-540-61912-7

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk-sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlagabbildung: Photo eines anisotropen Kristalls in zirkular polarisiertem Licht, aufgenommen mit einem Polarisationsmikroskop. Mit freundlicher Genehmigung der Carl Zeiss Jena GmbH (Deutschland)

Herstellung: Claus-Dieter Bachem und Petra Treiber, Heidelberg

Redaktion: Antje Endemann, Heidelberg

Datenkonvertierung und Umbruch in $\text{\LaTeX 2}_{\epsilon}$: Thomas Schmidt, Leipzig

Layout und Zeichnungen: Schreiber VIS, Seeheim

Einbandgestaltung: Meta-Design, Berlin

Druck und Einband: Appl, Wemding

SPIN: 10532732 56/3144 - 5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Inhaltsverzeichnis

1. Eine kurze Geschichte der Optik	1
1.1 Die Bedeutung der Geschichte	2
1.2 Die Natur des Lichts	3
1.2.1 Erste Überlegungen	3
1.2.2 Frühes Wissen	3
1.2.3 Welle oder Teilchen?	4
1.2.4 Triumph des Wellenbildes	4
1.3 Die Lichtgeschwindigkeit	5
1.3.1 Messungen	5
1.3.2 Brechungsindex	6
1.4 Transversale oder longitudinale Wellen?	6
1.4.1 Polarisation	6
1.4.2 Die Natur des Lichts	6
1.5 Quantentheorie	7
1.5.1 Die Anfänge	7
1.5.2 Welle-Teilchen-Dualismus	7
1.5.3 Materiewellen	7
1.6 Optische Instrumente	8
1.6.1 Das Teleskop	8
1.6.2 Das Mikroskop	8
1.6.3 Die Grenzen der Auflösung	9
1.6.4 Das Verschieben der Grenze	10
1.6.5 Röntgenbeugung	10
1.6.6 Elektronenmikroskopie	10
1.7 Neuere Entwicklungen	11
2. Wellen	2
2.1 Einführung	14
2.2 Die Wellengleichung für dispersionsfreie Wellen in einer Dimension	15
2.2.1 Die Differentialgleichung für dispersionsfreie Wellen	15
2.2.2 Harmonische Wellen und ihre Superposition	17
2.2.3 Ein Beispiel für eine dispersionsfreie Welle	17
2.3 Dispersionsbehaftete Wellen	18
2.3.1 Die Differentialgleichung für eine dispersionsbehaftete Welle in einem linearen Medium	18
2.3.2 Ein Beispiel für eine dispersionsbehaftete Wellengleichung: die Schrödingergleichung	19
2.4 Komplexe Wellenzahl, Frequenz und Geschwindigkeit	20
2.4.1 Komplexe Wellenzahl: gedämpfte Wellen	20
2.4.2 Imaginäre Geschwindigkeit: evaneszente Wellen	20
2.4.3 Die Diffusionsgleichung	20
2.5 Gruppengeschwindigkeit	21
2.6 Wellen in drei Dimensionen	23
2.6.1 Ebene Wellen	23
2.6.2 Die Wellengleichung in drei Dimensionen	23
2.6.3 Kugelwellen und zylindrische Wellen	24

2.7	Wellen in inhomogenen Medien	25
2.7.1	Das Huygenssche Prinzip	25
2.7.2	Das Fermatsche Prinzip	26
2.8	Vertiefungsthema: Ausbreitung und Verzerrung eines Wellenpakets in einem dispergierenden Medium	27
2.9	Vertiefungsthema: Gravitationslinsen	29
	Übungsaufgaben	32
3.	Geometrische Optik	3
3.1	Einführung	36
3.2	Die Philosophie optischen Designs	37
3.3	Die klassische Optik in der Gaußschen Näherung	38
3.3.1	Vorzeichenkonvention	38
3.3.2	Die Abbildungsgleichung für eine einzelne dünne Linse in Luft	39
3.4	Strahlengänge durch einfache Systeme	41
3.4.1	Die Lupe	41
3.4.2	Das astronomische Fernrohr und einige Bemerkungen zu Blenden	42
3.4.3	Zusammengesetzte Okulare	44
3.4.4	Das Mikroskop	45
3.5	Matrixformulierung der Gaußschen Optik für axialsymmetrische brechende Systeme	46
3.5.1	Translations- und Brechungsmatrix	47
3.5.2	Matrixdarstellung einer dünnen Linse	48
3.5.3	Objekt- und Bildraum	49
3.6	Bildentstehung	50
3.6.1	Bildentstehung durch eine dünne Linse in Luft	50
3.6.2	Teleskopische oder afokale Systeme	51
3.7	Hauptpunkte und Hauptebenen	51
3.7.1	Geometrische Bedeutung der Brenn- und Hauptpunkte	53
3.7.2	Immersionssysteme und Knotenpunkte	55
3.7.3	Beispiele: Meniskuslinse und Teleobjektiv	56
3.7.4	Experimentelle Bestimmung der Hauptpunkte für ein System in Luft	57
3.8	Abbildungsfehler	57
3.8.1	Monochromatische Aberration	57
3.8.2	Chromatische Aberration	58
3.8.3	Die Korrektur sphärischer Aberration	59
3.8.4	Koma und weitere Abbildungsfehler	60
3.9	Vertiefungsthema: aplanatische Objektive	61
3.10	Vertiefungsthema: der sphärische Fabry-Perot-Resonator	63
	Übungsaufgaben	66
4.	Fouriertheorie	4
4.1	Einführung	70
4.2	Analyse periodischer Funktionen	71
4.2.1	Fouriersches Theorem	71
4.2.2	Fourierkoeffizienten	71
4.2.3	Komplexe Fourierkoeffizienten	72
4.3	Fourieranalyse	73
4.3.1	Gerade und ungerade Funktionen	74
4.3.2	Die Rechteckfunktion	75
4.3.3	Der reziproke Raum in einer Dimension	75
4.3.4	Analyse beliebiger Funktionen	76

4.4	Nichtperiodische Funktionen	77
4.4.1	Fouriertransformation	77
4.4.2	Fouriertransformation eines Rechteckpulses	79
4.4.3	Die Diracsche δ -Funktion	80
4.4.4	Verschiebung des Ursprungs	81
4.4.5	Mehrfache Deltafunktion	81
4.4.6	Die Gauß-Funktion	83
4.4.7	Transformation komplexer Funktionen	84
4.4.8	Fouriertransformation in zwei Dimensionen und ihre Symmetrieeigenschaften	85
4.5	Inverse Fouriertransformation	86
4.5.1	Beispiele	87
4.6	Faltung	88
4.6.1	Die Lochkamera als Beispiel	88
4.6.2	Faltung mit einer Reihe von Deltafunktionen	89
4.6.3	Faltung in der Optik	90
4.6.4	Fouriertransformation einer Faltung	91
4.6.5	Fouriertransformation eines Wellenpakets als Beispiel für eine Faltung	92
4.7	Korrelationsfunktion	92
4.7.1	Autokorrelationsfunktion und Wiener-Khinchin-Theorem	93
4.7.2	Energieerhaltung: Parsevalsches Theorem	94
Übungsaufgaben		94

5. Elektromagnetische Wellen

5

5.1	Elektromagnetismus und die Wellengleichung	98
5.1.1	Die Maxwell'schen Gleichungen	99
5.1.2	Elektromagnetische Wellen	99
5.1.3	Wellengeschwindigkeit und Brechungsindex	100
5.2	Ebene Wellen als Lösung der Wellengleichung	101
5.2.1	Energiefluß in einer elektromagnetischen Welle	101
5.3	Strahlung	102
5.3.1	Strahlung einer beschleunigten Ladung	102
5.3.2	Strahlung eines schwingenden Dipols	103
5.4	Reflexion und Brechung	104
5.4.1	Randbedingungen an Grenzschichten	105
5.4.2	Die Fresnel-Koeffizienten	105
5.4.3	Brewsterwinkel	108
5.5	Lichteinfall aus dem dichteren Medium	108
5.5.1	Totalreflexion	109
5.5.2	Phasenverschiebungen bei der Totalreflexion	110
5.5.3	Optisches Tunneln	111
5.5.4	Energiefluß in der evaneszenten Welle	111
5.5.5	Fata Morgana	112
5.6	Einfall elektromagnetischer Wellen auf leitende Oberflächen	113
5.6.1	Reflexion an einer Metalloberfläche	115
5.6.2	Reziprozität und Zeitumkehr: die Stokesschen Beziehungen	116
Übungsaufgaben		118

6. Polarisation und anisotrope Medien

6

6.1	Einführung	120
6.2	Polarisiertes Licht in isotropen Medien	120
6.2.1	Linear polarisiertes Licht	121
6.2.2	Zirkular polarisiertes Licht	121
6.2.3	Elliptisch polarisiertes Licht	122

6.2.4	Über die Bedeutung der Polarisationsarten	122
6.2.5	Teilweise polarisiertes und unpolarisiertes Licht	123
6.2.6	Zustände orthogonaler Polarisation	123
6.3	Die Erzeugung polarisierten Lichts	124
6.3.1	Polarisation durch Reflexion	124
6.3.2	Polarisation durch Absorption	125
6.3.3	Extinktionsverhältnis	125
6.4	Wellenausbreitung in anisotropen Medien	126
6.4.1	Die Huygenssche Konstruktion	126
6.4.2	Die Brechungsindex-Oberfläche	127
6.5	Elektromagnetische Wellen in anisotropen Medien	128
6.6	Kristalloptik	129
6.6.1	Der dielektrische Tensor	129
6.6.2	Das Brechungsindex-Ellipsoid	130
6.6.3	Charakteristische Wellen	132
6.6.4	Die Brechungsindex-Oberfläche bei Kristallen	133
6.6.5	Ordentliche und außerordentliche Strahlen	135
6.6.6	Konische Ausbreitung	136
6.7	Uniaxiale Kristalle	136
6.7.1	Wellenausbreitung in einem uniaxialen Kristall	137
6.7.2	Optische Aktivität	137
6.8	Anwendungen der Ausbreitung in anisotropen Medien	138
6.8.1	$\lambda/4$ - und $\lambda/2$ -Plättchen	139
6.8.2	Kompensatoren	139
6.8.3	Die Pöcker-Konstruktion	140
6.8.4	Kristallpolarisatoren	141
6.9	Induzierte Anisotropie	141
6.9.1	Der elektrooptische Effekt	142
6.9.2	Der photoelastische Effekt	143
6.9.3	Der magnetooptische Effekt	143
	Übungsaufgaben	144

7. Beugung

7

7.1	Das Auftreten von Beugungserscheinungen	148
7.1.1	Interferenz und Beugung	148
7.1.2	Einführung in die Beugungstheorie	149
7.2	Die Näherung skalarer Wellen	149
7.2.1	Erklärung der Beugung mit Hilfe des Huygensschen Prinzips	150
7.2.2	Das Huygens-Kirchhoff-Beugungsintegral	152
7.2.3	Die Mathematik hinter dem Beugungsintegral	152
7.2.4	Beleuchtung durch eine Punktquelle	154
7.2.5	Der Neigungsfaktor	155
7.2.6	Fraunhofer- und Fresnel-Beugung	156
7.2.7	Experimentelle Beobachtung von Beugungsmustern	158
7.3	Fresnel-Beugung	159
7.3.1	Analytisch lösbare, radialsymmetrische Probleme	160
7.3.2	Die Lochblende	160
7.3.3	Die runde Scheibe	161
7.3.4	Die Zonenplatte	161
7.4	Fresnel-Beugung durch lineare Systeme	162
7.4.1	Graphische Auswertung durch Amplituden-Phasen-Diagramme	163
7.4.2	Beugung am Spalt	163
7.4.3	Beugung an einer einzelnen Kante: die Kantenwelle	165
7.5	Vertiefungsthema: Röntgenmikroskopie	166
	Übungsaufgaben	167

8. Fraunhofer-Beugung und Interferenz	8
8.1 Einführung	170
8.1.1 Erzeugung eines linearen Phasenverlaufs	170
8.2 Fraunhofer-Beugung und Fouriertransformation	171
8.2.1 Die Phase des Fraunhofer-Beugungsmusters	173
8.2.2 Fraunhofer-Beugung bei schrägem Lichteinfall	174
8.2.3 Beugung am Spalt	175
8.2.4 Beugung an einem unscharfen Spalt, dargestellt durch eine Dreiecksfunktion	176
8.2.5 Beugung an einem rein phasenverschiebenden Objekt	176
8.2.6 Beugung an einer Rechteckblende	177
8.2.7 Das Beugungsbild einer Lochblende	178
8.2.8 Eine einfache Ableitung der Größe der Airy-Scheibe	179
8.2.9 Überlagerung von Beugungsmustern	180
8.2.10 Komplementäre Objekte: Babinetsches Theorem	180
8.3 Interferenz	181
8.3.1 Interferenzmuster zweier kreisförmiger Lochblenden	181
8.3.2 Interferenzmuster zweier paralleler Blenden beliebiger Form	182
8.3.3 Interferenzmuster eines periodischen Gitters aus identischen Blenden	183
8.3.4 Beugungsgitter	184
8.3.5 Beugungsmuster eines Lochblendengitters	185
8.3.6 Reziprokes Gitter in zwei Dimensionen	186
8.3.7 Beugungsmuster eines Gitters aus parallelen Blenden	187
8.3.8 Beugung an einem Gitter aus zufallsverteilten parallelen Blenden	188
8.4 Dreidimensionale Interferenz	190
8.4.1 Kristalle und Faltungen	190
8.4.2 Beugung an einem dreidimensionalen Gitter	191
8.4.3 Reziprokes Gitter in drei Dimensionen	193
8.4.4 Beugung an einem ganzen Kristall	194
8.4.5 Der akustooptische Effekt	194
8.5 Vertiefungsthema: inelastische Streuung von thermischen Neutronen an Phononen	196
8.6 Vertiefungsthema: Phasenwiedergewinnung	199
8.6.1 A priori Information	199
8.6.2 Direkte Methoden in der Kristallographie	200
8.6.3 Ein zentrumssymmetrisches Beispiel für die direkte Methode	203
8.6.4 Phasenwiedergewinnung aus optischen Beugungsmustern	203
Übungsaufgaben	206
9. Interferometrie	9
9.1 Einführung	210
9.1.1 Interferometrie mit Hilfe des Youngschen Beugungsmusters	211
9.2 Beugungsgitter	213
9.2.1 Herstellung von Beugungsgittern	213
9.2.2 Auflösungsvermögen	214
9.2.3 Effekte von periodischen Fehlern – Geister	216
9.2.4 Beugungseffizienz	218
9.2.5 Blaze-Gitter	219
9.3 Zweistrahlinterferometrie	221
9.3.1 Jamin- und Mach-Zehnder-Interferometer	221
9.3.2 Michelson-Interferometer	222

9.3.3	Lokalisation von Beugungsstreifen	225
9.3.4	Das Michelson-Morley-Experiment	226
9.4	Das Sagnac-Interferometer	228
9.4.1	Lichtgeschwindigkeit in einem bewegten Medium	229
9.4.2	Optische Gyroskope	229
9.5	Interferenz durch Mehrfachreflexion	231
9.5.1	Das Fabry-Perot-Interferometer	236
9.5.2	Mehrfachreflexionen in einem verstärkenden Medium	238
9.5.3	Der konfokale Resonator: transversale Moden	239
9.6	Vertiefungsthema: die Berry-Phase in der Interferometrie	241
	Übungsaufgaben	244

10. Optische Wellenleiter und brechungsindexmodulierte Medien

10

10.1	Optische Wellenleiter	248
10.1.1	Geometrische Überlegungen zur Wellenleitung	248
10.1.2	Wellengleichung für einen ebenen Wellenleiter	250
10.1.3	Dispersion	254
10.1.4	Monomodalen-Wellenleiter	254
10.2	Glasfasern	255
10.2.1	Glasfasern mit stufenförmigem Brechungsindexprofil	257
10.2.2	Glasfasern mit Brechungsindexgradienten	257
10.2.3	Herstellung von Glasfasern	259
10.2.4	Kommunikation mit Hilfe von Glasfasern	260
10.2.5	Anwendungen in der Bilderzeugung	261
10.3	Wellenausbreitung in einem Medium mit Brechungsindexmodulationen	261
10.3.1	Allgemeine Methode für Mehrschichtsysteme	261
10.3.2	Schräger Einfall	264
10.3.3	Einzelschicht als Antireflexbeschichtung	264
10.3.4	Periodische Vielfachschichten: wellenlängenselektive Spiegel	266
10.3.5	Interferenzfilter	269
	Übungsaufgaben	270

11. Kohärenz

11

11.1	Einführung	274
11.2	Eigenschaften realer Lichtwellen	274
11.2.1	Amplitude und Phase von quasimonochromatischem Licht	276
11.2.2	Das Spektrum einer Zufallsfolge von Wellenpaketen	279
11.2.3	Weißes Licht	279
11.3	Physikalische Ursachen der Linienbreite	280
11.3.1	Natürliche Linienbreite	280
11.3.2	Dopplerverbreiterung	280
11.3.3	Stoßverbreiterung	281
11.4	Quantifizierung des Konzepts der Kohärenz	282
11.4.1	Die gemeinsame Kohärenzfunktion	283
11.4.2	Das optische Stethoskop und die Sichtbarkeit von Interferenzstreifen	283
11.5	Zeitliche Kohärenz	286
11.5.1	Der Grad zeitlicher Kohärenz	286
11.5.2	Zeitliche Kohärenz und Autokorrelation	287
11.6	Fourier-Spektroskopie	287
11.6.1	Zwei Beispiele für Fourier-Spektroskopie	289
11.6.2	Auflösungsvermögen und Empfindlichkeit	292

11.7	Räumliche Kohärenz	293
11.7.1	Qualitative Untersuchung der räumlichen Kohärenz	294
11.7.2	Der Grad räumlicher Kohärenz	295
11.7.3	Das van Cittert-Zernike-Theorem	296
11.7.4	Partielle Kohärenz von einer ausgedehnten Quelle	298
11.7.5	Ein Laborexperiment zur räumlichen Kohärenz	298
11.8	Fluktuationen in Lichtstrahlen und die klassische Photonenstatistik	299
11.9	Anwendung der Kohärenztheorie in der Astronomie	302
11.9.1	Das Michelsonsche Stellarinterferometer	302
11.9.2	Das Intensitätsinterferometer von Brown und Twiss	305
11.9.3	Apertursynthese	305
	Übungsaufgaben	307

12. Bildentstehung

12

12.1	Einführung	312
12.2	Die Beugungstheorie der Bildentstehung	312
12.2.1	Die Abbesche Theorie: das Bild eines unendlich ausgedehnten periodischen Objekts	313
12.2.2	Die Abbesche Sinusbedingung	315
12.2.3	Bildentstehung als doppelter Beugungsvorgang	315
12.2.4	Beispiele für die Beugungstheorie der Bildentstehung	318
12.2.5	Das Phasenproblem	320
12.3	Auflösungsgrenze optischer Instrumente	321
12.3.1	Das Rayleigh-Kriterium für ein inkohärentes Objekt	322
12.3.2	Kohärent beleuchtete Objekte	323
12.3.3	Anwendung der Abbe-Theorie auf das Auflösungsvermögen	324
12.3.4	Auflösungsvermögen bei kohärenter Beleuchtung	325
12.3.5	Artefakte	327
12.3.6	Die Bedeutung des Kondensors	327
12.4	Anwendungen der Abbeschen Theorie: räumliche Filterung	328
12.4.1	Dunkelfeldabbildung	329
12.4.2	Phasenkontrastmikroskopie	330
12.4.3	Die Schlierenmethode	332
12.4.4	Beugungskontrast	333
12.4.5	Ein analytisches Beispiel zur Verdeutlichung von Dunkelfeld-, Schlieren- und Phasenkontrastabbildung	334
12.4.6	Das Interferenzmikroskop	336
12.5	Methoden zur Steigerung der Auflösung	339
12.5.1	Apodisation	340
12.5.2	Superauflösung	341
12.5.3	Konfokales Rastermikroskop	342
12.5.4	Optische Nahfeldmikroskopie	345
12.6	Holographie	345
12.6.1	Das Gabor-Verfahren	346
12.6.2	Der Einsatz des Lasers	346
12.6.3	Phasen- und Volumenhologramme	350
12.6.4	Holographische Interferometrie	351
12.6.5	Anwendungen der Abbeschen Theorie mit holographischen Filtern	352

12.7 Vertiefungsthema:	
interferometrische Bilderzeugung in der Astronomie	353
12.7.1 Radioastronomie	353
12.7.2 Interferometer aus zwei Antennen	354
12.7.3 Beugungsgitter und Antennenfelder	355
12.7.4 Das Mills-Antennenkreuz	356
12.8 Vertiefungsthema:	
astronomische Anwendung der Speckle-Interferometrie	357
Übungsaufgaben	362

13. Die klassische Dispersionstheorie

13

13.1 Klassische Dispersionstheorie	366
13.1.1 Das klassische Atom	366
13.2 Rayleigh-Streuung	368
13.2.1 Wellenlängenabhängigkeit der gestreuten Strahlung	369
13.2.2 Polarisation der gestreuten Strahlung	369
13.2.3 Inkohärente und kohärente Streuung	369
13.3 Kohärente Streuung und Dispersion	371
13.3.1 Brechung als Spezialfall kohärenter Streuung	371
13.3.2 Resonanz und anomale Dispersion	373
13.3.3 Dispersion fern von einem Absorptionsband:	
Brechungsindex für Röntgenstrahlen	374
13.3.4 Plasmakante beim freien Elektronengas	374
13.3.5 Brechungsindex eines freien Elektronengases	
in einem magnetischen Feld	375
13.3.6 Brechungsindex eines Festkörpers	
für Neutronenstrahlen	376
13.4 Dispersionsrelationen	377
13.4.1 Verbindung zwischen Impuls- und Frequenzantwort	377
13.4.2 Kramers-Kronig-Relationen	378
13.5 Vertiefungsthema: nichtlineare Optik	380
13.5.1 Erzeugung der zweiten Harmonischen	380
13.5.2 Vier-Wellen-Mischen	382
13.5.3 Phasenkonjugierte Spiegel	383
Übungsaufgaben	385

14. Quantenoptik und Laser

14

14.1 Die Quantisierung des elektromagnetischen Feldes	388
14.1.1 Die „Ultraviolett-Katastrophe“	388
14.1.2 Die Quantisierung der elektromagnetischen Moden	
eines Hohlraums	389
14.1.3 Interferenz im Grenzfall sehr schwachen Lichts	391
14.2 Moden des elektromagnetischen Feldes	
in einem linearen Hohlraum	393
14.2.1 Energiequantisierung und Nullpunktsenergie	394
14.2.2 Unschärferelation	395
14.2.3 Fluktuationen in chaotischem Licht	397
14.3 Wechselwirkung von Licht mit Materie	398
14.3.1 Der photoelektrische Effekt	401
14.3.2 Spontane und stimulierte Emission	401
14.4 Laser	403
14.4.1 Populationsinversion in einem chemischen Laser	404
14.4.2 Atomare Fluoreszenz	405
14.4.3 Optisch gepumpte Rubin- und Erbium-Laser	406
14.4.4 Entladungsgepumpte Gaslaser	406
14.4.5 Populationsinversion in p - n -Übergängen bei Halbleitern	407

14.5	Komponenten eines Lasers	408
14.5.1	Der optische Resonator	408
14.5.2	Kontinuierliche Laser im Vergleich zu gepulsten Lasern	409
14.5.3	Der Aufbau des He-Ne-Lasers	409
14.5.4	Der Aufbau eines Halbleiter-Lasers	410
14.6	Laserlicht	411
14.6.1	Kohärenzfunktion	411
14.7	Vertiefungsthema:	
	Komprimiertes Licht und seine Anwendungen	412
14.7.1	Sub-Poisson-Licht	412
14.7.2	Sub-Poisson-Licht und digitale optische Kommunikation	413
14.7.3	Komprimiertes Licht und Interferometrie	414
14.7.4	Erzeugung von komprimiertem Licht	415
	Übungsaufgaben	417

15. Lösungen der Übungsaufgaben

15

Allgemeine Bemerkungen	420
Kapitel 2	420
Kapitel 3	423
Kapitel 4	426
Kapitel 5	429
Kapitel 6	433
Kapitel 7	437
Kapitel 8	440
Kapitel 9	444
Kapitel 10	448
Kapitel 11	450
Kapitel 12	454
Kapitel 13	459
Kapitel 14	461

A. Anhang

A

A.1	Bessel-Funktionen in der Wellenoptik	468
A.1.1	Bessel-Funktionen	468
A.2	Vorlesungsversuche der Fourieroptik	471
A.2.1	Einführung	471
A.2.2	Korrelation und Faltung durch eine Lochkamera	471
A.2.3	Fraunhofer-Beugung	473
A.2.4	Fresnel-Beugung	476

Literaturverzeichnis

Kapitel 1–15, Anhang	477
-----------------------------	-----

Sach- und Namenverzeichnis

A–Z	485
------------	-----

Optik

Lipson, S.G.; Lipson, H.S.; Tannhauser, D.S.

1997, XXIII, 490 S. 1160 Abb., 988 Abb. in Farbe.,

Softcover

ISBN: 978-3-540-61912-3