

Optik

von
Eugene Hecht

4., überarbeitete Auflage

Aus dem Englischen von Dr. Anna Schleitzer

Oldenbourg Verlag München Wien

Inhalt

Vorwort

1 Ein kurzer Ausflug in die Geschichte

- 1.1 Vorbemerkung
- 1.2 Die Ursprünge
- 1.3 Vom siebzehnten Jahrhundert an
- 1.4 Das neunzehnte Jahrhundert
- 1.5 Das zwanzigste Jahrhundert

2 Die Wellenbewegung

- 2.1 Eindimensionale Wellen
 - 2.1.1 Die Differenzialgleichung einer Welle
- 2.2 Harmonische Wellen
- 2.3 Phase und Phasengeschwindigkeit
- 2.4 Das Superpositionsprinzip
- 2.5 Die komplexe Darstellung
- 2.6 Zeiger und die Addition von Wellen
- 2.7 Ebene Wellen
- 2.8 Die dreidimensionale Wellengleichung
- 2.9 Kugelwellen
- 2.10 Zylinderwellen
 - Aufgaben

3 Theorie des Elektromagnetismus, Photonen und Licht

- 3.1 Die Grundgleichungen der Theorie des Elektromagnetismus
 - 3.1.1 Das faradaysche Induktionsgesetz
 - 3.1.2 Der gaußsche Satz für das elektrische Feld
 - 3.1.3 Der gaußsche Satz für das magnetische Feld
 - 3.1.4 Das amperesche Verkettungsgesetz
 - 3.1.5 Die maxwellschen Gleichungen
- 3.2 Elektromagnetische Wellen
 - 3.2.1 Transversalwellen
- 3.3 Energie und Impuls
 - 3.3.1 Der Poynting-Vektor
 - 3.3.2 Die Bestrahlungsstärke

3.3.3	Photonen	90
3.3.4	Strahlungsdruck und Impuls	99
3.4	Strahlung	103
3.4.1	Linear beschleunigte Ladungen	103
3.4.2	Synchrotronstrahlung	106
3.4.3	Elektrische Dipolstrahlung	109
3.4.4	Die Emission von Licht durch Atome	112
3.5	Licht in Materie	116
3.5.1	Dispersion	119
3.6	Das elektromagnetische Spektrum	128
3.6.1	Radiowellen	130
3.6.2	Mikrowellen	130
3.6.3	Infrarotstrahlung	132
3.6.4	Sichtbares Licht	134
3.6.5	Ultraviolettes Licht	136
3.6.6	Röntgenstrahlung	138
3.6.7	Gammastrahlung	139
3.7	Quantenfeldtheorie	140
	Aufgaben	143
4	Die Ausbreitung des Lichts	150
4.1	Einführung	150
4.2	Rayleigh-Streuung	151
4.2.1	Streuung und Interferenz	153
4.2.2	Die Fortpflanzung des Lichts in dichten Medien	156
4.2.3	Transmission und Brechungsindex	160
4.3	Reflexion	164
4.3.1	Das Reflexionsgesetz	166
4.4	Brechung	171
4.4.1	Das Brechungsgesetz	172
4.4.2	Das huygenssche Prinzip	178
4.4.3	Lichtstrahlen und Normalkongruenz	180
4.5	Das fermatsche Prinzip	181
4.6	Der elektromagnetische Ansatz	190
4.6.1	Wellen an einer Grenzfläche	190
4.6.2	Die fresnelschen Gleichungen	192
4.6.3	Interpretation der fresnelschen Gleichungen	197
4.7	Innere Totalreflexion	208
4.7.1	Die abklingende Welle	211
4.8	Optische Eigenschaften von Metallen	216
4.9	Alltägliche Aspekte der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie	223
4.10	Die stokessche Behandlung der Reflexion und Brechung	230
4.11	Photonen, Wellen und Wahrscheinlichkeit	232
4.11.1	Quantenelektrodynamik	235
	Aufgaben	239

5	Geometrische Optik	252
5.1	Einführung	252
5.2	Linsen	254
5.2.1	Asphärische Flächen	254
5.2.2	Brechung an Kugelflächen	259
5.2.3	Dünne Linsen	263
5.3	Blenden	287
5.3.1	Apertur- und Feldblenden	287
5.3.2	Eintritts- und Austrittspupillen	288
5.3.3	Das Öffnungsverhältnis und die Blendenzahl	290
5.4	Spiegel	292
5.4.1	Ebene Spiegel	293
5.4.2	Asphärische Spiegel	297
5.4.3	Sphärische Spiegel	300
5.5	Prismen	307
5.5.1	Dispersionsprismen	307
5.5.2	Reflexionsprismen	311
5.6	Faseroptik	316
5.6.1	Technologie der Glasfaserübertragung	322
5.7	Optische Systeme	330
5.7.1	Das Auge	330
5.7.2	Die Brille	336
5.7.3	Die Lupe	344
5.7.4	Okulare	348
5.7.5	Das Mikroskop	350
5.7.6	Die Kamera	353
5.7.7	Das Fernrohr	358
5.8	Wellenfrontumformung	369
5.8.1	Adaptive Optik	370
5.8.2	Phasenkonjugation	375
5.9	Gravitationslinsen	378
	Aufgaben	381
6	Geometrische Optik: Weiterführende Themen	395
6.1	Dicke Linsen und Linsensysteme	395
6.2	Strahlenverlaufsberechnung	401
6.2.1	Matrizenmethoden	403
6.3	Aberrationen	412
6.3.1	Monochromatische Aberrationen	413
6.3.2	Chromatische Aberrationen	436
6.4	Gradient-Index-Systeme	446
6.5	Abschließende Bemerkungen	451
	Aufgaben	451

7	Überlagerung von Wellen	455
7.1	Die Addition von Wellen gleicher Frequenz	456
7.1.1	Die algebraische Methode	456
7.1.2	Die komplexe Methode	463
7.1.3	Zeigeraddition	464
7.1.4	Stehende Wellen	467
7.2	Die Addition von Wellen verschiedener Frequenz	475
7.2.1	Schwebungen	475
7.2.2	Gruppengeschwindigkeit	479
7.3	Anharmonische periodische Wellen	490
7.3.1	Fourierreihen	490
7.4	Nichtperiodische Wellen	500
7.4.1	Fourier-Integrale	500
7.4.2	Impulse und Wellenpakete	504
7.4.3	Die Kohärenzlänge	509
7.4.4	Diskrete Fourier-Transformation	513
	Aufgaben	519
8	Polarisation	526
8.1	Die Natur des polarisierten Lichts	526
8.1.1	Lineare Polarisation	527
8.1.2	Zirkulare Polarisation	529
8.1.3	Elliptische Polarisation	530
8.1.4	Natürliches Licht	533
8.1.5	Der Drehimpuls und das Photonenbild	534
8.2	Polarisatoren	536
8.2.1	Das malussche Gesetz	537
8.3	Dichroismus	539
8.3.1	Der Drahtgitterpolarisator	539
8.3.2	Dichroitische Kristalle	540
8.3.3	Das Polaroidfilter	541
8.4	Doppelbrechung	544
8.4.1	Kalkspat	546
8.4.2	Doppelbrechende Kristalle	553
8.4.3	Doppelbrechende Polarisatoren	555
8.5	Streuung und Polarisation	557
8.5.1	Polarisation durch Streuung	559
8.6	Polarisation durch Reflexion	561
8.6.1	Eine Anwendung der fresnelschen Gleichungen	565
8.7	Phasenschieber	567
8.7.1	Phasenplättchen und Rhomboeder	567
8.7.2	Kompensatoren	574
8.8	Zirkularpolarisatoren	576
8.9	Polarisation von polychromatischem Licht	577

8.9.1	Bandbreite und Kohärenzzeit einer polychromatischen Welle	577
8.9.2	Interferenzfarben	579
8.10	Optische Aktivität	580
8.10.1	Ein Modell	585
8.10.2	Optisch aktive Biomoleküle	587
8.11	Erzwungene optische Effekte - Optische Modulatoren	588
8.11.1	Photoelastizität	588
8.11.2	Der Faraday-Effekt	590
8.11.3	Der Kerr-Effekt und der Pockels-Effekt	593
8.12	Flüssigkristalle	597
8.13	Eine mathematische Beschreibung der Polarisierung	602
8.13.1	Die stokeschen Parameter	602
8.13.2	Die Jones'schen Vektoren	605
8.13.3	Die Jones'schen und die Mueller-Matrizen	608
	Aufgaben	612
9	Interferenz	623
9.1	Allgemeine Betrachtungen	624
9.2	Interferenzbedingungen	631
9.2.1	Zeitliche und räumliche Kohärenz	631
9.2.2	Die Fresnel-Arago-Gesetze	634
9.3	Interferometer mit Wellenfrontaufspaltung	635
9.3.1	Das Young'sche Doppelspaltexperiment	635
9.4	Interferometer mit Amplitudenaufspaltung	646
9.4.1	Dielektrische Schichten - Zweistrahlinterferenz	647
9.4.2	Spiegel-Interferometer	658
9.5	Typen und Lokalisierung von Interferenzmustern	667
9.6	Mehrstrahlinterferenz	670
9.6.1	Das Fabry-Perot-Interferometer	678
9.7	Anwendungen von Ein- und Mehrschichtfilmen	686
9.7.1	Mathematische Behandlung	687
9.7.2	Reflexmindernde Schichten	691
9.7.3	Periodische Mehrschichtsysteme	693
9.8	Anwendungen der Interferometrie	696
9.8.1	Streulichtinterferenz	696
9.8.2	Das Twyman-Green-Interferometer	700
9.8.3	Das rotierende Sagnac-Interferometer	701
9.8.4	Radarinterferometrie	703
	Aufgaben	707
10	Beugung	715
10.1	Einleitende Betrachtungen	715
10.1.1	Das Fresnel-Huygens-Prinzip	716
10.1.2	Undurchsichtige Hindernisse	719

10.1.3	Fraunhofer-und Fresnelbeugung	722
10.1.4	Mehrere kohärente Oszillatoren	724
10.2	Fraunhoferbeugung	729
10.2.1	Beugung am Einzelspalt	729
10.2.2	Beugung am Doppelspalt	736
10.2.3	Beugung an vielen Spalten	741
10.2.4	Beugung an einer rechteckigen Öffnung	747
10.2.5	Beugung an einer kreisrunden Öffnung	752
10.2.6	Das Auflösungsvermögen abbildender Systeme	759
10.2.7	Der Besselstrahl nullter Ordnung	763
10.2.8	Das Beugungsgitter	765
10.3	Fresnelbeugung	779
10.3.1	Die freie Ausbreitung einer Kugelwelle	779
10.3.2	Die Vibrationskurve	786
10.3.3	Kreisförmige Öffnungen	788
10.3.4	Kreisförmige Hindernisse	793
10.3.5	Die fresnelsche Zonenplatte	795
10.3.6	Die fresnelschen Integrale und die Beugung am rechteckigen Loch	799
10.3.7	Die Cornu-Spirale	803
10.3.8	Fresnelbeugung am Spalt	809
10.3.9	Beugung am halbnendlichen, undurchsichtigen Schirm	813
10.3.10	Beugung an einem schmalen Hindernis	815
10.3.11	Das Prinzip von Babinet	817
10.4	Die skalare Beugungstheorie von Kirchhoff	819
10.5	Beugungswellen	824
	Aufgaben	827
11	Fourier-Optik	835
11.1	Einleitung	835
11.2	Fourier-Transformierte	836
11.2.1	Eindimensionale Transformierte	836
11.2.2	Zweidimensionale Transformierte	840
11.2.3	Die diracsche Delta-Funktion	846
11.3	Optische Anwendungen	854
11.3.1	Lineare Systeme	854
11.3.2	Das Faltungsintegral	859
11.3.3	Fourier-Methoden in der Beugungstheorie	868
11.3.4	Spektren und Korrelation	876
11.3.5	Übertragungsfunktionen	887
	Aufgaben	896
12	Grundlagen der Kohärenztheorie	901
12.1	Einführung	901
12.2	Die Sichtbarkeit	905

<i>Inhalt</i>	XV
12.3 Die wechselseitige Kohärenzfunktion und der Kohärenzgrad	913
12.3.1 Zeitliche und räumliche Kohärenz	918
12.4 Kohärenz und Stellarinterferometrie	920
12.4.1 Das Michelson-Stellarinterferometer	920
12.4.2 Korrelationsinterferometrie	923
Aufgaben	929
13 Moderne Optik	933
13.1 Laser und Laserstrahlung	933
13.1.1 Strahlungsenergie und Materie im Gleichgewicht	934
13.1.2 Induzierte Emission	941
13.1.3 Der Laser	947
13.1.4 Das Wunder Laserlicht	966
13.2 Das Bild als räumliche Verteilung optischer Information	974
13.2.1 Raumfrequenzen	974
13.2.2 Die abbesche Bildentstehungstheorie	978
13.2.3 Räumliche Filterung	981
13.2.4 Phasenkontrast	989
13.2.5 Die Dunkelfeld- und die Schlierenmethode	995
13.3 Holographie	998
13.3.1 Verfahren	998
13.3.2 Entwicklungen und Anwendungen	1013
13.4 Nichtlineare Optik	1020
13.4.1 Optische Gleichrichtung	1022
13.4.2 Erzeugung von Harmonischen	1023
13.4.3 Frequenzmischung	1026
13.4.4 Selbstfokussierung von Licht	1028
Aufgaben	1028
Anhang 1: Theorie des Elektromagnetismus	1036
1 Die maxwellschen Gleichungen in differenzieller Form	1036
2 Elektromagnetische Wellen	1037
Anhang 2: Kirchhoffsche Beugungstheorie	1041
Lösungen ausgewählter Aufgaben	1043
Literatur	1092
Sachverzeichnis	1099