

Inhaltsverzeichnis

1 Phänomenologische Beschreibung und Übersicht (KLEEN)	1
Literatur	7
2 Atomphysikalische Grundlagen laseraktiver Stoffe (ROSENBERGER)	9
2.1 Einleitung	9
2.2 Das Einelektronensystem	9
2.2.1 Empirischer Befund	9
2.2.2 Bohrsches Atommodell	9
2.2.3 Hauptquantenzahl, Termschema	10
2.2.4 Quantenmechanische Beschreibung	12
2.2.5 Nebenquantenzahlen l und m_l , Bahndrehimpuls	13
2.2.6 Spinquantenzahlen s und m_s	15
2.3 Mehrelektronensysteme	16
2.3.1 Bezeichnung von Elektronenkonfigurationen	16
2.3.2 Verschiedene Kopplungstypen	17
2.4 LS-Kopplung	18
2.4.1 Kopplung von Bahndrehimpulsen	19
2.4.2 Kopplung von Spindrehimpulsen	20
2.4.3 Kopplung der Bahn- und Spindrehimpulssysteme	21
2.4.4 Multiplizität und Termbezeichnung	21
2.4.5 Termfolge	22
2.4.6 Grundterme	22
2.4.7 Richtungsentartung	22
2.5 Edelgasspektren, Racah-Kopplungsschema	23
2.5.1 Überblick	23
2.5.2 Racah-Kopplungsschema	25
2.5.3 Paschensche Bezeichnung der Edelgasniveaus	25
2.6 Die Spektren der Seltenen Erden	26
2.7 Auswahlregeln für strahlende Übergänge in freien Atomen und Ionen	28
2.8 Atome und Ionen im homogenen äußeren Magnetfeld (Zeemaneffekt)	29
2.8.1 Kopplung von Drehimpulsen und magnetischen Momenten	29
2.8.2 Aufspaltung der Energieniveaus und Auswahlregeln für strahlende Übergänge	31
2.9 Ionen im elektrischen Kristallfeld	32
2.9.1 Die Kristallfeldaufspaltung bei den Seltenen Erden	32
2.10 Molekülspektren	35
2.10.1 Überblick	36
2.10.2 Elektronenzustände von zweiatomigen Molekülen	37
2.10.3 Schwingungszustände von Molekülen	38
2.10.4 Rotationszustände von Molekülen	40
2.11 Besetzung und Übergangswahrscheinlichkeiten	41
2.12 Linienform	44
2.13 Linienintensität und Verstärkung	45
2.14 Querschnitte bei Stoßprozessen	47
Literatur	48

3	Optische Resonatoren und Ausbreitungsgesetze für Laserstrahlen (GRAU)	49
3.1	Einführende Bemerkungen	49
3.2	Der Übergang vom Hohlraumresonator zum Fabry-Perot-Resonator	51
3.3	Der Fabry-Perot-Resonator	54
3.3.1	Die Integralgleichung des Fabry-Perot-Resonators	54
3.3.2	Analytische Lösung für den Fabry-Perot-Resonator	58
3.4	Der konfokale Resonator mit sphärischen Spiegeln	59
3.4.1	Die Integralgleichung des konfokalen Resonators	59
3.4.2	Diskussion der Lösung für den konfokalen Resonator	61
3.5	Allgemeine Resonatoren mit sphärischen Spiegeln	65
3.5.1	Einleitung	65
3.5.2	Der Strahlverlauf und die Resonanzbedingung	65
3.5.3	Das Stabilitätsdiagramm der Resonatoren mit sphärischen Spiegeln	67
3.5.4	Beugungsverluste in allgemeinen Resonatoren	69
3.5.5	Äquivalente Resonatoren	70
3.6	Anpassung und Abbildung Gaußscher Strahlen	72
3.7	Äquivalenz von Resonator und Linsenleitung, Blenden und Linsen im Resonator; Ringresonatoren	77
3.8	Unterdrückung unerwünschter Moden	80
	Literatur	84
4	Der Laser als Verstärker und Oszillator (GÜRS)	87
4.1	Einleitung	87
4.2	Optische Verstärker	87
4.3	Nichtlineare Verstärkung, Sättigung	90
4.4	Die Schawlow-Townessche Anschwingbedingung für den Laseroszillator	93
4.5	Die Bilanzgleichungen	96
4.6	Das zeitliche Emissionsverhalten, Relaxationsschwingungen	99
4.7	Die Verteilung der Schwingungsenergie über die Länge des Laserresonators	101
4.8	Optimale Auskopplung	103
4.9	Zur Quantentheorie des Lasers	105
4.10	Die Bilanzgleichungen als Näherung der „neoklassischen“ Gleichungen	109
4.11	Der Effekt der Frequenzverschiebung bei homogen verbreiteter Linie	111
4.12	Linienprofil und Laserfrequenz bei inhomogen verbreiteter Linie	112
4.13	Die Möglichkeit der Koexistenz mehrerer angeregter Eigenschwingungen	115
4.14	Spezielle Effekte	117
	Literatur	118
5	Der optisch gepumpte Festkörperlaser (GÜRS)	119
5.1	Optisches Pumpen	119
5.1.1	Einleitung	119
5.1.2	Drei- und Vier-Niveau-Laser	119
5.1.3	Pumpquellen	120
5.1.4	Pumplichtreflektoren	123
5.1.5	Kondensoranordnungen	130
5.2	Resonanzstrukturen	133
5.3	Die für das Schwingungsverhalten eines Festkörperlasers maßgebenden Größen	137
5.3.1	Pumpleistung	137
5.3.2	Resonatorverluste	138
5.3.3	Linienbreite	141
5.3.4	Lebensdauer	142

5.4	Die Eigenschaften der Emission	144
5.4.1	Einleitung	144
5.4.2	Das zeitliche Emissionsverhalten	145
5.4.3	Die räumliche Verteilung der Schwingungsintensität und der Öffnungswinkel des Laserstrahls	154
5.4.4	Die Polarisation der Laserstrahlung	156
5.5	Der Festkörperlaser mit nur einer Eigenschwingung, „mode-selection“	158
5.5.1	Selektive Anregung des transversalen Grundmodes	158
5.5.2	Erzeugung nur einer longitudinalen Eigenschwingung	159
5.6	Der Riesenimpuls-Laser	161
5.6.1	Die Methoden der Impulserzeugung	161
5.6.2	Die Dynamik des Riesenimpuls-Lasers mit aktivem Schalter	170
5.6.3	Theorie des Lasers mit passivem Schalter	177
5.6.4	Geeignete Materialien für Riesenimpuls-Laser	179
5.6.5	Spektrum des Riesenimpuls-Lasers	180
5.7	Der kontinuierliche Festkörperlaser	180
5.7.1	Einleitung	180
5.7.2	Sonnengepumpte Laser	182
5.7.3	Kontinuierliche Rubinlaser	182
5.7.4	Kontinuierliche Granatlaser	183
5.8	Spektroskopische Daten der wichtigsten Kristalle und Gläser	185
5.9	Der reale Festkörperlaser mit Materialfehlern und thermischen Störungen	196
5.10	Flüssigkeitslaser	198
	Tabelle: Werkstoffe und Daten von Festkörperlasern	201
	Literatur	209
6	Der Gaslaser (ROSENBERGER)	219
6.1	Überblick	219
6.2	Erzielung von Besetzungsinversion	222
6.2.1	Anregungsmechanismen	222
6.2.2	Messung von Dichte und Energieverteilung der Elektronen	228
6.2.3	Energieverteilung und Dichte der Elektronen bei unterschiedlichen Entladungsformen	232
6.2.4	Lebensdauerbedingung	241
6.3	Der Helium-Neon-Laser	243
6.3.1	Überblick	243
6.3.2	Die Besetzung der oberen Laserniveaus $2s$ und $3s$	244
6.3.3	Besetzung der unteren Laserniveaus $2p$ und $3p$	246
6.3.4	Lebensdauern und Übergangswahrscheinlichkeiten; $2s-2p$ -Übergänge	248
6.3.5	$3s-2p$ - und $3s-3p$ -Übergänge	250
6.3.6	Wechselwirkung verschiedener Laserübergänge, Kaskadenlaser	252
6.3.7	Verstärkung des He-Ne-Lasers	253
6.3.8	Die Sättigung der Verstärkung bei Oszillation	257
6.3.9	Leistungsdichte und optimale Ausgangsleistung des He-Ne-Lasers	261
6.3.10	Das Eigen- und Zwischenfrequenzspektrum des He-Ne-Lasers	266
6.3.11	Wechselwirkung gekoppelter Oszillationen	270
6.3.12	Oszillation und Kopplung von Eigenschwingungen beliebiger und unterschiedlicher Polarisation	273
6.3.13	Zeeman-Effekt im Helium-Neon-Laser	274
6.4	Laserübergänge in neutralen Gasen und Dämpfen (außer He-Ne)	277
6.4.1	Überblick	277
6.4.2	Neonlaser	279
6.4.3	Xenonlaser	280

6.4.4	Laser-Übergänge zwischen den Niveaus $2p$ und $1s$ der Edelgase Neon, Argon, Krypton und Xenon	282
6.4.5	Laserübergänge in atomarem Sauerstoff, Stickstoff und Kohlenstoff (Anregung durch Stöße 2. Art mit nachfolgender Dissoziation)	284
6.5	Ionenlaser	285
6.5.1	Überblick	285
6.5.2	Edelgas-Ionen-Laser	289
6.5.3	Quecksilber-Ionen-Laser	298
6.6	Laserübergänge in Molekülen	299
6.6.1	Überblick	299
6.6.2	Laserübergänge zwischen Rotations-Schwingungstermen linearer Moleküle; CO_2 -Laser	301
6.6.3	Elektronenbandenübergänge in Wasserstoff, Stickstoff und Kohlenmonoxyd	306
6.7	Gaslaser mit speziellen Anregungsmechanismen	308
6.7.1	Anregung durch optisches Pumpen; der Cäsiumdampf-Laser	308
6.7.2	Anregung durch Photodissoziation	309
6.7.3	Anregung durch chemische Reaktionen	309
6.8	Praktische Ausführungsformen von Gaslasern	310
6.9	Stabilisierung der Frequenz von Gaslasern	313
	Tabelle: Laserübergänge in Atomen, Ionen und Molekülen.	316
	Literatur	347
7	Der Halbleiterlaser (WINSTEL)	360
7.1	Einleitung und historischer Überblick	360
7.2	Grundlagen	367
7.2.1	Elektronen im Halbleiter	367
7.2.2	Elektronenübergänge im Halbleiter	370
7.2.3	Strahlende Band-Band-Übergänge	373
7.2.4	Emissions- und Absorptionsspektren	375
7.2.5	Rekombinationsrate und Trägerlebensdauer	378
7.2.6	Die Laserbedingung	380
7.3	Physik des Injektionslasers	381
7.3.1	Anregungsarten	381
7.3.2	Laserbedingung für den realen Halbleiterlaser	383
7.3.3	Der Schwellenstrom beim Diodenlaser	384
7.3.4	Wellenausbreitung im Diodenlaser	388
7.3.5	Schwingungsmoden beim Diodenlaser	396
7.3.6	Zeitverhalten der Emission eines Diodenlasers	398
7.4	Spezielle Eigenschaften von Injektionslasern	401
7.4.1	Einfluß von Magnetfeld und mechanischen Spannungen	401
7.4.2	Herstellungsverfahren für Diodenlaser	403
7.4.3	Aufbau optimaler Diodenlaser für hohe Betriebstemperaturen	404
7.4.4	Der Elektronenstrahl-Injektionslaser	410
	Tabelle: Kenndaten verschiedener für Laser interessanter Halbleitermaterialien	412
	Literatur	415
8	Modulationsverfahren (MÜLLER)	423
8.1	Einleitung	423
8.2	Externe Modulationsverfahren	425
8.2.1	Elektrische Doppelbrechung in Kristallen vom Typ XH_2PO_4	425
8.2.2	Phasenmodulation von Licht	426

8.2.3	Amplitudenmodulation von Licht mit Hilfe des linearen elektrooptischen Effektes	427
8.2.4	Einseitenband-Modulation, Frequenzversetzung	431
8.2.5	Lauffeldmodulatoren	433
8.2.6	Modulatoren unter Verwendung optischer Resonatoren	436
8.2.7	Ablenkmodulation	438
8.2.8	Weitere zur Modulation geeignete Effekte	442
8.3	Interne Modulation	442
8.3.1	Niederfrequenzmodulation — Quasistationäre Betrachtungsweise	443
8.3.2	Abgestimmte Hochfrequenzmodulation	446
8.3.3	Modulationsverfahren, die nur für die interne Modulation geeignet sind	450
8.4	Auskoppelmodulation	450
8.5	Demodulation	455
	Literatur	456
9	Rauschen und Kohärenz im optischen Spektralbereich (GRAU)	459
9.1	Grundlagen des Quantenrauschens	459
9.1.1	Der Begriff der Moden im Strahlungsfeld	459
9.1.2	Unschärferelation und Quantenrauschen	462
9.1.3	Berechnung des Quantenrauschens	464
9.1.4	Das minimale Rauschen bei verschiedenen Empfangsverfahren	466
9.1.5	Die Photonverteilung von Signal, Rauschen und deren Superposition	470
9.2	Rauschen von Quantenverstärkern. Informationstheorie	472
9.2.1	Einleitung	472
9.2.2	Berechnung des Verstärkerrauschens	473
9.2.3	Der maximale Transinformationsgehalt im Quantenbereich	475
9.2.4	Abschließende Bemerkungen	477
9.3	Kohärenzeigenschaften optischer Felder	477
9.3.1	Einleitung	477
9.3.2	Der klassische Kohärenzbegriff	478
9.4	Das Rauschen von Laseroszillatoren	482
9.4.1	Einleitung	482
9.4.2	Qualitative Betrachtungen zum Oszillatorrauschen	483
9.4.3	Die lineare Theorie der Linienbreite	485
9.4.4	Die nichtlineare Theorie der Linienbreite	489
9.5	Messungen an optischen Feldern	492
9.5.1	Die Verteilung der Photoelektronen	492
9.5.2	Das Spektrum des Photostromes	494
9.5.3	Praktische Beispiele für Photoelektronenverteilungen	495
9.5.4	Streuung der Photoelektronenanzahl bei Beleuchten eines Detektors mit Gaußschem Licht und nichtidealem Laserlicht	497
9.5.5	Das Spektrum des Photostromes bei Beleuchten eines Detektors mit Gaußschem Licht und nichtidealem Laserlicht	499
9.5.6	Koinzidenzmessungen	500
9.5.7	Experimente mit Laserlicht	501
	Literatur	504
10	Anwendungen	510
10.1	Nachrichtenübertragung (MÜLLER)	510
	Literatur	513
10.2	Übertragungsleitungen für Lichtstrahlen (GRAU)	514
	Literatur	515

10.3	Ortung (MÜLLER)	516
	Literatur	518
10.4	Optische Datenverarbeitung (MÜLLER)	519
	Literatur	523
10.5	Holographie (GRAU)	524
	Literatur	527
10.6	Kurzzeitphotographie (GÜRS)	528
	Literatur	529
10.7	Nichtlineare Optik (GRAU)	529
	10.7.1 Einleitung	529
	10.7.2 Grundlegende Beziehungen	532
	10.7.3 Effekte zufolge des Tensors $\chi_{ij}^{(2)}$	534
	10.7.4 Effekte zufolge des Tensors $\chi_{ijkl}^{(3)}$	537
	10.7.5 Weitere nichtlineare Effekte	540
	Literatur	540
10.8	Plasmaerzeugung und -diagnostik (GÜRS)	542
	Literatur	543
10.9	Materialbearbeitung (GÜRS)	545
	Literatur	549
10.10	Medizinische und biologische Anwendungen (MÜLLER)	550
	Literatur	551
10.11	Präzisionsmessung geometrischer und mechanischer Größen (GÜRS)	553
	Literatur	555
	Sachverzeichnis	557