



Gerthsen Physik

Dieter Meschede

Bis zur 20. Auflage betreut
von Helmut Vogel

23., überarbeitete Auflage
mit 1347 meist zweifarbigen
Abbildungen, 94 Tabellen,
105 durchgerechneten Beispielen
und 1074 Aufgaben
mit vollständigen Lösungen
und Visualisierungen
der Relativitätstheorie
auf CD-ROM



Springer

Inhaltsverzeichnis

Nutzen Sie dieses Buch individuell XXI

1. Mechanik der Massenpunkte

1

1.1 Messen und Maßeinheiten	1
1.1.1 Messen	1
1.1.2 Maßeinheiten	2
1.1.3 Maßsysteme und Dimensionen	2
1.1.4 Längeneinheit	3
1.1.5 Winkelmaße	4
1.1.6 Zeitmessung	4
1.1.7 Messfehler	5
1.2 Kinematik	9
1.2.1 Ortsvektor	9
1.2.2 Geschwindigkeit	10
1.2.3 Beschleunigung	11
1.3 Dynamik	12
1.3.1 Trägheit	12
1.3.2 Kraft und Masse	12
1.3.3 Maßeinheiten	13
1.3.4 Newtons Axiome	13
1.4 Einfache Bewegungen	14
1.4.1 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung	14
1.4.2 Die gleichförmige Kreisbewegung	16
1.4.3 Die harmonische Schwingung	18
1.5 Arbeit, Energie, Impuls, Leistung	20
1.5.1 Arbeit	20
1.5.2 Kinetische Energie	22
1.5.3 Impuls	23
1.5.4 Kraftfelder	24
1.5.5 Potentielle Energie	24
1.5.6 Der Energiesatz	25
1.5.7 Leistung	26
1.5.8 Zentralkräfte	26
1.5.9 Anwendungen des Energie- und Impulsbegriffes	27
1.5.10 Impulsraum	38
1.6 Reibung	40
1.6.1 Reibungsmechanismen	40
1.6.2 Bewegung unter Reibungseinfluss	42
1.6.3 Flug von Geschossen	43
1.6.4 Die technische Bedeutung der Reibung	44
1.7 Gravitation	46
1.7.1 Das Gravitationsgesetz	46

1.7.2 Das Gravitationsfeld	48
1.7.3 Gezeitenkräfte	49
1.7.4 Planetenbahnen	52
1.8 Trägheitskräfte	54
1.8.1 Arten der Kräfte	54
1.8.2 Inertialsysteme	55
1.8.3 Rotierende Bezugssysteme	56
1.8.4 Bahnstörungen	57
1.8.5 Invarianzen und Erhaltungssätze	59
Aufgaben	61

2. Mechanik des starren Körpers

2

2.1 Translation und Rotation	72
2.1.1 Bewegungsmöglichkeiten eines starren Körpers	72
2.1.2 Infinitesimale Drehungen	73
2.1.3 Die Winkelgeschwindigkeit	73
2.2 Dynamik des starren Körpers	74
2.2.1 Rotationsenergie	74
2.2.2 Das Trägheitsmoment	74
2.2.3 Das Drehmoment	75
2.2.4 Der Drehimpuls	76
2.2.5 Das Trägheitsmoment als Tensor	77
2.2.6 Der Drehimpulssatz	77
2.2.7 Die Bewegungsgleichung des starren Körpers	80
2.3 Gleichgewicht und Bewegung eines starren Körpers	80
2.3.1 Gleichgewichtsbedingungen	80
2.3.2 Gleichmäßig beschleunigte Rotation	85
2.3.3 Drehschwingungen	85
2.3.4 Kippung	86
2.3.5 Drehung um freie Achsen	87
2.4 Der Kreisel	88
2.4.1 Nutation des kräftefreien Kreisels	88
2.4.2 Präzession des Kreisels	89
Aufgaben	91

3. Mechanik deformierbarer Körper

3

3.1 Ruhende Flüssigkeiten und Gase (Hydro- und Aerostatik)	93
3.1.1 Der feste, flüssige und gasförmige Zustand	93

3.1.2	Die Gestalt von Flüssigkeitsoberflächen	94	4.3.7	Stoßwellen	179
3.1.3	Druck	95	4.4 Eigenschwingungen	181	
3.1.4	Der Schweredruck	96	4.4.1	Gekoppelte Pendel	181
3.1.5	Gasdruck	98	4.4.2	Wellen im Kristallgitter; die Klein-Gordon-Gleichung	182
3.1.6	Der Atmosphärendruck	99	4.4.3	Stehende elastische Wellen	184
3.2 Oberflächenspannung	100	4.4.4	Eigenschwingungen von Platten, Membranen und Hohlräumen	186	
3.3 Strömungen	104	4.4.5	Entartung	188	
3.3.1	Beschreibung von Strömungen	104	4.5 Schallwellen	189	
3.3.2	Innere Reibung	109	4.5.1	Schallmessungen	189
3.3.3	Die laminare Strömung	110	4.5.2	Töne und Klänge	191
3.3.4	Bewegungsgleichung einer Flüssigkeit	115	4.5.3	Lautstärke	193
3.3.5	Kriterien für die verschiedenen Strömungstypen	116	4.5.4	Das Ohr	194
3.3.6	Strömung idealer Flüssigkeiten	118	4.5.5	Ultraschall und Hyperschall	196
3.3.7	Der hydrodynamische Impulssatz ..	121	4.6 Oberflächenwellen auf Flüssigkeiten	197	
3.3.8	Strömungswiderstand	123	Aufgaben	202	
3.3.9	Wirbel	125			
3.3.10	Turbulenz	128			
3.4 Der deformierbare Festkörper	130	5. Wärme	5		
3.4.1	Dehnung und Kompression	130	5.1 Wärmeenergie und Temperatur	207	
3.4.2	Scherung	131	5.1.1	Was ist Wärme?	207
3.4.3	Zusammenhang zwischen E -Modul und G -Modul	132	5.1.2	Temperatur	208
3.4.4	Anelastisches Verhalten	132	5.1.3	Thermometer	210
3.4.5	Elastische Energie	134	5.1.4	Freiheitsgrade	211
3.4.6	Wie biegen sich die Balken?	134	5.1.5	Wärmekapazität	212
3.4.7	Knickung	135	5.1.6	Kalorimeter	214
3.4.8	Härte	135	5.2 Kinetische Gastheorie	214	
Aufgaben	136	5.2.1	Der Gasdruck	214	
		5.2.2	Die Zustandsgleichung idealer Gase ..	216	
4. Schwingungen und Wellen	4	5.2.3	Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre ..	217	
4.1 Schwingungen	141	5.2.4	c_V und c_p bei Gasen	218	
4.1.1	Überlagerung von Schwingungen ..	142	5.2.5	Adiabatische Zustandsänderungen ..	219
4.1.2	Gedämpfte Schwingungen	150	5.2.6	Druckarbeit	220
4.1.3	Erzwungene Sinusschwingungen ...	154	5.2.7	Mittlere freie Weglänge und Wirkungsquerschnitt	221
4.1.4	Amplituden- und Phasenmodulation ..	158	5.2.8	Brownsche Bewegung	223
4.2 Wellen	160	5.2.9	Die Boltzmann-Verteilung	224	
4.2.1	Beschreibung von Wellen	160	5.2.10	Die Maxwell-Verteilung	225
4.2.2	Die Wellengleichung	161	5.3 Wärmekraftmaschinen	227	
4.2.3	Elastische Wellen	162	5.3.1	Thermische Energiewandler	227
4.2.4	Überlagerung von Wellen	164	5.3.2	Arbeitsdiagramme	229
4.2.5	Intensität einer Welle	169	5.3.3	Wirkungsgrad von thermischen Energiewandlern ..	229
4.3 Wellenausbreitung	171	5.4 Wärmeleitung und Diffusion	232		
4.3.1	Streuung	172	5.4.1	Mechanismen des Wärmetransportes	232
4.3.2	Das Prinzip von Huygens-Fresnel ..	172	5.4.2	Die Gesetze der Wärmeleitung	232
4.3.3	Das Prinzip von Fermat	173	5.4.3	Wärmeübergang und Wärmedurchgang	236
4.3.4	Beugung	175	5.4.4	Wärmetransport durch Konvektion ..	237
4.3.5	Doppler-Effekt; Mach-Wellen	176	5.4.5	Diffusion in Gasen und Lösungen ..	237
4.3.6	Absorption	178			

5.4.6	Transportphänomene	239
5.5	Entropie	242
5.5.1	Irreversibilität	242
5.5.2	Wahrscheinlichkeit und Entropie ...	243
5.5.3	Entropie und Wärmeenergie	245
5.5.4	Berechnung von Entropien	245
5.5.5	Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre ..	248
5.5.6	Reversible Kreisprozesse	249
5.5.7	Das thermodynamische Gleichgewicht	251
5.5.8	Chemische Energie	255
5.5.9	Freie Energie, Helmholtz-Gleichung und 3. Hauptsatz der Wärmelehre ..	259
5.6	Aggregatzustände	261
5.6.1	Koexistenz von Flüssigkeit und Dampf	261
5.6.2	Koexistenz von Festkörper und Flüssigkeit	265
5.6.3	Koexistenz dreier Phasen	266
5.6.4	Reale Gase	267
5.6.5	Kinetische Deutung der van der Waals-Gleichung	269
5.6.6	Joule-Thomson-Effekt; Gasverflüssigung	270
5.6.7	Erzeugung tiefster Temperaturen ...	272
5.7	Lösungen	274
5.7.1	Grundbegriffe	275
5.7.2	Osmose	275
5.7.3	Dampfdrucksenkung	276
5.7.4	Destillation	277
5.8	Vakuum	278
5.8.1	Bedeutung der Vakuumtechnik	278
5.8.2	Vakuumumpen	279
5.8.3	Strömung verdünnter Gase	281
5.8.4	Vakuum-Messgeräte	282
	Aufgaben	284

6. Elektromagnetismus:

Ladungen und Ströme

6

6.1	Elektrostatik	293
6.1.1	Elektrische Ladungen	293
6.1.2	Das elektrische Feld	296
6.1.3	Spannung und Potential	298
6.1.4	Berechnung von Feldern	302
6.1.5	Kapazität	305
6.1.6	Dipole	308
6.1.7	Influenz	309
6.1.8	Energie einer Ladungsverteilung ...	310
6.1.9	Das elektrische Feld als Träger der elektrischen Energie	310

6.2	Dielektrika	311
6.2.1	Die Verschiebungsdichte	311
6.2.2	Dielektrizitätskonstante	311
6.2.3	Mechanismen der dielektrischen Polarisierung	314
6.2.4	Energiedichte des elektrischen Feldes im Dielektrikum	316
6.2.5	Elektrostriktion; Piezo- und Pyroelektrizität	316
6.3	Gleichströme	318
6.3.1	Stromstärke	318
6.3.2	Das ohmsche Gesetz	319
6.3.3	Energie und Leistung elektrischer Ströme	321
6.3.4	Gleichstromtechnik	322
6.4	Mechanismen der elektrischen Leitung ...	326
6.4.1	Nachweis freier Elektronen in Metallen	326
6.4.2	Elektronentransport in Metallen ...	327
6.4.3	Elektrische Leitfähigkeit	328
6.4.4	Elektrolyse	331
6.4.5	Elektrolytische Leitfähigkeit	333
6.4.6	Ionenwolken; elektrochemisches Potential	336
6.5	Galvanische Elemente	340
6.5.1	Ionengleichgewicht und Nernst-Gleichung	340
6.5.2	Auflösung von Metallionen	341
6.5.3	Galvanische Elemente	341
6.5.4	Galvanische Polarisierung	342
6.5.5	Polarisation und Oberflächenspannung	343
6.6	Thermoelektrizität	344
6.6.1	Der Seebeck-Effekt	344
6.6.2	Peltier-Effekt und Thomson-Effekt	346
6.7	Ströme und Felder	346
6.7.1	Elektrostatik	346
6.7.2	Lorentz-Kraft und Magnetfeld	347
6.7.3	Kräfte auf Ströme im Magnetfeld ..	348
6.7.4	Der Hall-Effekt	350
6.7.5	Relativität der Felder	351
6.8	Erzeugung von Magnetfeldern	353
6.8.1	Das Feld des geraden Elektronenstrahls oder des geraden Drahtes	353
6.8.2	Der gerade Draht, relativistisch betrachtet	354
6.8.3	Allgemeine Eigenschaften des Magnetfeldes	355
6.8.4	Bezeichnungen elektromagnetischer Felder	357

6.9 Das Magnetfeld von Strömen	357
6.9.1 Vergleich mit dem elektrischen Feld; der Satz von Biot-Savart	360
6.9.2 Magnetostatik	362
6.9.3 Elektromagnete	364
6.9.4 Magnetische Spannung und Vektorpotential	365
6.9.5 Das Magnetfeld der Erde	366
Aufgaben	371

7. Elektrodynamik

7

7.1 Induktion	379
7.1.1 Faradays Induktionsversuche	379
7.1.2 Das Induktionsgesetz als Folge der Lorentz-Kraft	381
7.1.3 Die Richtung des induzierten Stromes (Lenz-Regel)	384
7.1.4 Wirbelströme	385
7.1.5 Induktivität	386
7.1.6 Ein- und Ausschalten von Gleichströmen	387
7.1.7 Energie und Energiedichte im Magnetfeld	388
7.1.8 Gegeninduktion	388
7.2 Magnetische Materialien	390
7.2.1 Magnetisierung	390
7.2.2 Diamagnetismus	392
7.2.3 Paramagnetismus	392
7.2.4 Ferromagnetismus	393
7.2.5 Der Einstein-de Haas-Effekt	395
7.2.6 Struktur der Ferromagnetika	395
7.2.7 Antiferromagnetismus und Ferrimagnetismus	398
7.2.8 Ferro- und Antiferroelektrizität	398
7.3 Wechselströme	398
7.3.1 Erzeugung von Wechselströmen	399
7.3.2 Effektivwerte von Strom und Spannung	401
7.3.3 Wechselstromwiderstände	402
7.3.4 Zweipole, Ortskurven, Ersatzschaltbilder	405
7.3.5 Messinstrumente für elektrische Größen	408
7.3.6 Drehstrom	411
7.3.7 Schwingkreise	413
7.3.8 Transformatoren	415
7.3.9 Das Betatron	418
7.3.10 Elektromotoren und Generatoren	420
7.3.11 Skineffekt	424
7.4 Elektromagnetische Wellen	425
7.4.1 Der Verschiebungsstrom	425

7.4.2 Der physikalische Inhalt der Maxwell-Gleichungen	426
7.4.3 Ebene elektromagnetische Wellen	427
7.4.4 Energiedichte und Energieströmung	431
7.4.5 Der lineare Oszillator	431
7.4.6 Die Ausstrahlung des linearen Oszillators	433
7.4.7 Wellengleichung und Telegraphengleichung	435
7.4.8 Warum funkt man mit Trägerwellen?	437
7.4.9 Drahtwellen	438
7.4.10 Hohlraumoszillatoren und Hohlleiter	439
Aufgaben	441

8. Freie Elektronen und Ionen

8

8.1 Erzeugung von freien Ladungsträgern	447
8.1.1 Glühemission (Richardson-Effekt)	447
8.1.2 Photoeffekt (Lichtelektrischer Effekt)	449
8.1.3 Feldemission	450
8.1.4 Sekundärelektronen	451
8.1.5 Ionisierung eines Gases	451
8.2 Bewegung freier Ladungsträger	452
8.2.1 Elektronen im homogenen elektrischen Feld	452
8.2.2 Elektronen im homogenen Magnetfeld	453
8.2.3 Oszilloskop und Fernsehrohr	455
8.2.4 Thomsons Parabelversuch; Massenspektroskopie	456
8.2.5 Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Elektronenmasse	457
8.2.6 Die Elektronenröhre	458
8.2.7 Elektronenröhren als Verstärker	461
8.2.8 Schwingungserzeugung durch Rückkopplung	462
8.2.9 Erzeugung und Verstärkung höchsfrequenter Schwingungen	463
8.2.10 Teilchenfallen	464
8.3 Gasentladungen	465
8.3.1 Leitfähigkeit von Gasen	465
8.3.2 Stoßionisation	468
8.3.3 Einteilung der Gasentladungen	469
8.3.4 Glimmentladungen	470
8.3.5 Bogen und Funken	470
8.3.6 Gasentladungslampen	471
8.3.7 Kathoden-, Röntgen- und Kanalstrahlung	472

8.4 Plasmen	473	10.1.6 Auflösungsvermögen des Spektrographen	528
8.4.1 Der „vierte Aggregatzustand“	473	10.1.7 Fraunhofer-Beugung	532
8.4.2 Plasmaschwingungen	475	10.1.8 Fresnel-Linsen	532
8.4.3 Plasmen im Magnetfeld	476	10.1.9 Holographie	534
8.4.4 Fusionsplasmen	478	10.1.10 Fresnel-Beugung	535
Aufgaben	480	10.1.11 Stehende Lichtwellen	536
		10.1.12 Interferenzfarben	537
		10.1.13 Interferometrie	538
9. Geometrische Optik 9		10.2 Polarisation des Lichts	543
9.1 Reflexion und Brechung	483	10.2.1 Lineare und elliptische Polarisation	543
9.1.1 Lichtstrahlen	483	10.2.2 Polarisationsapparate	544
9.1.2 Reflexion	484	10.2.3 Polarisation durch Doppelbrechung	544
9.1.3 Brechung	487	10.2.4 Polarisation durch Reflexion und Brechung	547
9.1.4 Totalreflexion	487	10.2.5 Intensitätsverhältnisse bei Reflexion und Brechung	548
9.1.5 Prismen	489	10.2.6 Reflexminderung	550
9.2 Optische Instrumente	490	10.2.7 Interferenzen im parallelen linear polarisierten Licht	551
9.2.1 Brechung an Kugelflächen	490	10.2.8 Interferenzen im konvergenten polarisierten Licht	553
9.2.2 Dicke Linsen	493	10.2.9 Drehung der Polarisationsebene	553
9.2.3 Linsenfehler	494	10.2.10 Der elektrooptische Effekt (Kerr-Effekt)	555
9.2.4 Abbildungsmaßstab und Vergrößerung	495	10.3 Absorption, Dispersion und Streuung des Lichts	555
9.2.5 Die Lupe	496	10.3.1 Absorption	556
9.2.6 Das Mikroskop	496	10.3.2 Dispersion	557
9.2.7 Der Dia-Projektor	498	10.3.3 Atomistische Deutung der Dispersion	558
9.2.8 Das Fernrohr oder Teleskop	499	10.3.4 Deutung des Faraday-Effektes	561
9.2.9 Das Auge	501	10.3.5 Warum ist der Himmel blau?	562
9.3 Die Lichtgeschwindigkeit c	502	Aufgaben	566
9.3.1 Astronomische Methoden	502		
9.3.2 Laufzeitmessungen im Labor	503	11. Strahlungsfelder 11	
9.3.3 Resonatormethoden	504	11.1 Das Strahlungsfeld	569
9.3.4 Anwendungen	505	11.1.1 Strahlungsgrößen	569
9.3.5 Lichtgeschwindigkeit im Medium ..	505	11.1.2 Photometrische Größen	571
9.4 Matrizenoptik	506	11.1.3 Photometrie und Strahlungsmessung	571
9.5 Geometrische Elektronenoptik	507	11.2 Strahlungsgesetze	573
9.5.1 Das Brechungsgesetz für Elektronen	507	11.2.1 Wärmestrahlung und thermisches Gleichgewicht	573
9.5.2 Elektrische Elektronenlinsen	509	11.2.2 Das Spektrum der schwarzen Strahlung	575
9.5.3 Magnetische Linsen	510	11.2.3 Plancks Strahlungsgesetz	576
9.5.4 Elektronenmikroskope	511	11.2.4 Lage des Emissionsmaximums; Wiensches Verschiebungsgesetz	578
Aufgaben	514	11.2.5 Gesamtemission des schwarzen Strahlers; Stefan-Boltzmann-Gesetz ..	579
10. Wellenoptik 10			
10.1 Interferenz und Beugung	519		
10.1.1 Kohärenz	520		
10.1.2 Die Grundkonstruktion der Interferenzoptik	521		
10.1.3 Gitter	523		
10.1.4 Spalt- und Lochblende	525		
10.1.5 Auflösungsvermögen optischer Geräte	526		

11.2.6	Der kosmische schwarze Strahler ...	580	12.10.7	Gab es einen Urknall?	663
11.2.7	Pyrometrie	581	12.10.8	Das Geheimnis der dunklen Massen	666
11.3	Die Welt der Farben	582	Aufgaben	667	
11.3.1	Farbe	582			
11.3.2	Infrarot und Ultraviolett	587			
11.3.3	Die Strahlung der Sonne	593			
11.3.4	Warum sind die Blätter grün?	599			
Aufgaben	602				
12. Relativistische Physik	12		13. Teilchen, Wellen, mikroskopische Physik	13	
12.1	Maßstäbe und Uhren – Raum und Zeit	607	13.1	Das Photon	678
12.1.1	Bezugs- oder Inertialsysteme.....	608	13.1.1	Entdeckung des Photons	678
12.1.2	Das Michelson-Experiment.....	609	13.1.2	Masse und Impuls der Photonen; Strahlungsdruck	679
12.1.3	Das Relativitätspostulat	613	13.1.3	Stoß von Photonen und Elektronen; Compton-Effekt	680
12.1.4	Die 4. Dimension: Die Zeit	614	13.1.4	Rückstoß bei der γ -Emission; Mößbauer-Effekt	681
12.2	Gleichzeitigkeit	616	13.2	Wellen und Teilchen	683
12.2.1	Pythagoras und Minkowski	618	13.2.1	Materiewellen	683
12.2.2	Abstände in der Raumzeit.....	619	13.2.2	Elektronenbeugung	684
12.2.3	Kausalität.....	620	13.2.3	Elektronenbeugung an Lochblenden	685
12.2.4	Bewegte Uhren gehen langsamer – die Zeitdilatation	620	13.2.4	Selbstinterferenz von Atomen	687
12.2.5	Das Zwillingsparadoxon	623	13.2.5	Interferometrie mit Materiewellen ..	689
12.2.6	Maßstabsvergleich und Längenkontraktion	626	13.2.6	Die Unbestimmtheitsrelation	690
12.3	Die Lorentz-Transformation	627	13.3	Spektren	691
12.4	Vierervektoren	628	13.3.1	Emission und Absorption von Licht	691
12.5	Relativistischer Doppler-Effekt	630	13.3.2	Linienverbreiterung	692
12.6	Addition von Geschwindigkeiten	633	13.3.3	Fluoreszenz	694
12.7	Relativistisches Sehen	634	13.3.4	Phosphoreszenz	695
12.7.1	Ruhende Beobachter, bewegte Objekte	635	13.3.5	Raman-Effekt	695
12.7.2	Bewegte Beobachter, ruhende Objekte	637	13.4	Der Versuch von Franck und Hertz	696
12.8	Relativistischer Impuls und relativistische Energie	639	13.4.1	Die Energiestufen der Atome	697
12.8.1	Die newtonschen Impulse werden beim Wechsel des Bezugssystems nicht erhalten	640	13.4.2	Anregung und Ionisierung	698
12.8.2	Der 4-Impuls.....	641	13.5	Die Entdeckung des Atomkerns	699
12.8.3	Systeme von Teilchen.....	643	13.5.1	Das leere Atom	700
12.9	Elektromagnetische Felder und Bewegung	644	13.5.2	Das Experiment von Rutherford	701
12.9.1	Relativistische Ladungsinvarianz....	645	13.6	Grundzüge der Quantenmechanik	704
12.9.2	Der elektromagnetische Feldtensor ..	648	13.6.1	Einleitung: Mathematisches Handwerkszeug ...	704
12.9.3	Elektromagnetische Wellen.....	650	13.6.2	Vektoren und Funktionen	705
12.10	Gravitation und Kosmologie	650	13.6.3	Matrizen und Operatoren	705
12.10.1	Allgemeine Relativität	650	13.6.4	Eigenfunktionen und Eigenwerte ...	706
12.10.2	Einsteins Gravitationstheorie	652	13.6.5	Zustandsgrößen der Quantenmechanik	708
12.10.3	Gravitationswellen	655	13.6.6	Die Unbestimmtheitsrelation	711
12.10.4	Schwarze Löcher	657	13.6.7	Der Energieoperator (Hamilton-Operator)	713
12.10.5	Kosmologische Modelle	659	13.6.8	Die Schrödinger-Gleichung	716
12.10.6	Die kosmologische Kraft	661	13.7	Teilchen in Potentialtöpfen	717
			13.7.1	Stationäre Zustände	717
			13.7.2	Der Tunneleffekt	720
			13.7.3	Harmonisch gebundene Teilchen ...	722
			13.7.4	Der Knotensatz	724
			Aufgaben	726	

14. Physik der Atome und ihre Anwendungen 14

14.1 Quantenphysik und Atome	732
14.1.1 Bohr-Sommerfeld-Modelle des Atoms	732
14.1.2 Quanten-Fluktuationen stabilisieren die Atome	733
14.1.3 Atomare Einheiten und Feinstrukturkonstante α	734
14.2 Das Wasserstoffatom nach Schrödinger	735
14.2.1 Das Kepler-Problem im Coulombfeld	735
14.2.2 Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom	736
14.2.3 Quantenzahlen, Spektrum und Energiediagramm	741
14.2.4 Aufhebung der l -Entartung: Eielektronenatome	743
14.3 Magnetismus von Atomen	744
14.3.1 Stern-Gerlach-Experiment	744
14.3.2 Magnetisches Moment eines Atoms	744
14.3.3 Präzession im Magnetfeld	745
14.3.4 Spektrum im Magnetfeld, der normale Zeeman-Effekt	745
14.4 Elektronenspin und Feinstruktur	747
14.4.1 Magnetische Spin-Bahn-Kopplung	748
14.4.2 Gesamtdrehimpuls	749
14.4.3 Feinstruktur im Eielektronen-Atom	750
14.4.4 Zeeman-Effekt von Eielektronen-Atomen	752
14.4.5 Stark-Effekt	755
14.5 Atome mit zwei Elektronen	755
14.5.1 Das Helium-Atom	755
14.5.2 Der Grundzustand des Helium-Atoms	757
14.5.3 Angeregte Zustände des Helium-Atoms	758
14.5.4 Drehimpulse im Helium-Atom	759
14.5.5 Andere Zweielektronen-Atome	760
14.6 Wie strahlen die Atome?	761
14.6.1 Atomare Antennen	761
14.6.2 Quantentheorie der atomaren Strahlung	765
14.6.3 Absorption und Emission	769
14.6.4 Strahlungsverschiebungen	774
14.7 Lichtkräfte	777
14.7.1 Strahlungsdruck	777
14.7.2 Optische Dipolkräfte	778
14.7.3 Laserkühlung	778
14.8 Atomoptik	780
14.8.1 Atomare Beugung	782

14.8.2 Atominterferometer	783
14.9 Der Einfluss der Atomkerne	784
14.9.1 Isotopieverschiebungen	784
14.9.2 Kernmagnetismus und Hyperfeinstruktur	786
14.9.3 Magnetische Resonanz	789
14.9.4 Magnetische Resonanz in Chemie und Medizin	794
14.9.5 Rabi-Atomstrahlresonanz	796
14.9.6 Ramseys Methode der getrennten oszillierenden Felder	798
14.9.7 Atomuhren, atomare Springbrunnen und GPS	800
14.9.8 Optisches Pumpen und Magnetometer	803
14.10 Kräfte zwischen Atomen	804
14.10.1 Van der Waals-Kräfte	804
14.10.2 Atomare Stöße	805
14.10.3 Streuung ununterscheidbarer Teilchen	807
14.11 Quantenmaterie	808
14.11.1 Bose-Einstein-Kondensation	810
14.11.2 Atomare Bose-Kondensate	811
14.11.3 Einteilchen- und Vielteilchen-Quantenzustände	813
14.11.4 Materiewellen	814
14.11.5 Suprafluidität und Vortizes	815
14.11.6 Atomare Fermi-Gase	818
Aufgaben	820

15. Laserphysik 15

15.1 Laserprozesse	823
15.1.1 Wie strahlen die Atome?	823
15.1.2 Energieaustausch von Licht und Materie	825
15.1.3 Inversion und Verstärkung	826
15.1.4 Verstärkung und Verluste im Laser	827
15.1.5 Laserschwelle und gesättigte Verstärkung	828
15.1.6 Laserbetrieb mit drei und vier Niveaus	828
15.2 Laserstrahlen	829
15.2.1 Gaußstrahlen	829
15.2.2 Optische Resonatoren	831
15.2.3 Laserleistung	832
15.3 Laser, Typen und Eigenschaften	833
15.3.1 Helium-Neon-Laser und Gaslaser	833
15.3.2 Neodym-Laser und Festkörperlaser	835
15.3.3 Diodenlaser	837
15.3.4 Durchstimbare Laser	838

15.4	Kurzzeitleaser	839	17.2	Gitterschwingungen	910
15.4.1	Güteschaltung	839	17.2.1	Spezifische Wärmekapazität	911
15.4.2	Modenkopplung	840	17.2.2	Gitterdynamik	915
15.4.3	Das Femtosekunden-Stroboskop	843	17.2.3	Optik der Ionenkristalle	918
15.4.4	Höchstleistungslaser	844	17.2.4	Phononen	920
Aufgaben	845	17.2.5	Wärmeleitung in Isolatoren	921	
16	Die Elemente und die Chemie	16	17.3	Metalle	922
16.1	Systematik des Atombaus	847	17.3.1	Das klassische Elektronengas	923
16.1.1	Das Periodensystem der Elemente	847	17.3.2	Das Fermi-Gas	925
16.1.2	Einteilchenmodell und Quantenzustände	850	17.3.3	Metalloptik	927
16.2	Atome mit mehreren Elektronen in der Quantenmechanik	851	17.3.4	Elektrische und Wärmeleitung	929
16.2.1	Bauprinzipien der Elektronenhülle ..	851	17.3.5	Energiebänder	931
16.2.2	Zentralfeldnäherung	852	17.3.6	Elektronen und Löcher	933
16.2.3	Drehimpuls und Spin im Mehrelektronenatom	853	17.4	Halbleiter	935
16.2.4	Jenseits des Periodensystems	855	17.4.1	Reine Halbleiter	935
16.3	Röntgenstrahlung	856	17.4.2	Gestörte Halbleiter	938
16.3.1	Erzeugung und Nachweis	856	17.4.3	Halbleiter-Elektronik	941
16.3.2	Röntgenbeugung	857	17.4.4	Amorphe Halbleiter	944
16.3.3	Röntgenoptik	861	17.5	Gitterfehler	945
16.3.4	Bremsstrahlung	862	17.5.1	Idealkristall und Realkristall	946
16.3.5	Charakteristische Strahlung	863	17.5.2	Thermische Fehlordnung	946
16.3.6	Röntgenabsorption	865	17.5.3	Chemische Fehlordnung	948
16.4	Moleküle	869	17.5.4	Versetzungen	949
16.4.1	Die Energiestufen der Moleküle	869	17.6	Makromolekulare Festkörper	952
16.4.2	Rotationsbanden	870	17.6.1	Definition und allgemeine Eigenschaften	952
16.4.3	Das Rotations-Schwingungs- Spektrum	871	17.6.2	Länge eines linearen Makromoleküls	953
16.4.4	Die Potentialkurve des Moleküls ...	872	17.6.3	Gummielastizität	955
16.4.5	Molekulare Quantenzustände	874	17.6.4	Hochpolymere	956
16.4.6	Quantenchemie	875	17.7	Supraleitung	957
Aufgaben	880	Aufgaben	963		
17	Festkörperphysik	17	18	Kerne und Elementarteilchen	18
17.1	Kristallgitter	884	18.1	Kernbausteine	969
17.1.1	Dichteste Kugelpackungen	885	18.1.1	Kernbausteine und Kernkräfte	969
17.1.2	Gittergeometrie	889	18.1.2	Massendefekt, Isotopie und Massenspektroskopie	971
17.1.3	Kristallstrukturanalyse	891	18.1.3	Kernmodelle	973
17.1.4	Gitterenergie	895	18.1.4	Kernspaltung	976
17.1.5	Kristallbindung	900	18.1.5	Kernfusion	977
17.1.6	Einiges über Eis	903	18.2	Radioaktivität	981
17.1.7	Kristallwachstum	907	18.2.1	Elementumwandlung	981
17.1.8	Fullerene	909	18.2.2	Zerfallsenergie	984
			18.2.3	Das Zerfallsgesetz	986
			18.3	Schnelle Teilchen	988
			18.3.1	Durchgang schneller Teilchen durch Materie	989
			18.3.2	Nachweis schneller Teilchen	990
			18.3.3	Teilchenbeschleuniger	995
			18.3.4	Strahlendosis und Strahlenwirkung	999

18.4 Elementarteilchen	1002		
18.4.1 Historischer Überblick	1002		
18.4.2 Wie findet man neue Teilchen?	1004		
18.4.3 Myonen und Pionen	1008		
18.4.4 Neutron und Neutrinos	1009		
18.4.5 Wechselwirkungen	1012		
18.4.6 Elektromagnetische Wechselwirkung	1016		
18.4.7 Die innere Struktur der Nukleonen ..	1018		
18.4.8 Das Quarkmodell	1019		
18.4.9 Quantenchromodynamik	1023		
18.4.10 Symmetrien, Invarianzen, Erhaltungssätze	1026		
18.4.11 Magnetische Monopole	1029		
18.5 Kosmische Strahlung	1030		
18.5.1 Ursprung und Nachweis	1030		
18.5.2 Wechselwirkung mit Materie	1031		
18.5.3 Strahlungsgürtel	1032		
Aufgaben	1035		
19. Statistische Physik	19		
19.1 Statistik der Ensembles	1045		
19.1.1 Zufallstexte	1045		
19.1.2 Wahrscheinlichkeit einer Komposition	1046		
19.1.3 Die wahrscheinlichste Komposition ..	1048		
19.1.4 Schwankungserscheinungen	1050		
19.1.5 Die kanonische Verteilung	1051		
19.1.6 Beispiel: „Harmonischer Oszillator“	1054		
19.1.7 Mischungsentropie	1055		
19.1.8 Das kanonische Ensemble (Ensemble von Gibbs)	1056		
19.1.9 Arbeit und Wärme	1057		
19.2 Physikalische Ensembles	1058		
19.2.1 Physikalische Deutung	1058		
19.2.2 Zustandsänderungen	1058		
19.2.3 Verteilungsmodul und Temperatur ..	1059		
19.2.4 Wahrscheinlichkeit und Entropie ...	1060		
19.2.5 Die freie Energie; Gleichgewichtsbedingungen	1060		
19.2.6 Statistische Gewichte	1062		
19.2.7 Der Phasenraum	1063		
19.2.8 Das ideale Gas	1064		
19.2.9 Absolute Reaktionsraten	1066		
19.3 Quantenstatistik	1067		
19.3.1 Abzählung von Quantenteilchen	1067		
19.3.2 Fermi-Dirac- und Bose-Einstein-Statistik	1068		
19.3.3 Das Fermi-Gas	1071		
		19.3.4 Stoßvorgänge bei höchsten Energien	1074
		19.3.5 Extreme Zustände der Materie	1076
		19.3.6 Biografie eines Schwarzen Loches ..	1077
		Aufgaben	1079
		20. Nichtlineare Dynamik	20
		20.1 Stabilität	1086
		20.1.1 Dynamische Systeme	1086
		20.1.2 Stabilität von Fixpunkten	1088
		20.1.3 Der Phasenraum deterministischer Systeme	1090
		20.2 Nichtlineare Schwingungen	1093
		20.2.1 Pendel mit großer Amplitude	1093
		20.2.2 Erzwungene Schwingungen mit nichtlinearer Rückstellkraft	1094
		20.2.3 Selbsterregte Schwingungen	1096
		20.2.4 Parametrische Schwingungserregung	1100
		20.3 Biologische und chemische Systeme	1101
		20.3.1 Populationsdynamik	1101
		20.3.2 Einfache ökologische Modelle	1106
		20.3.3 Kinetische Probleme	1109
		20.4 Chaos und Ordnung	1113
		20.4.1 Einfache Wege ins Chaos	1113
		20.4.2 Chaos und Fraktale	1115
		20.4.3 Iteratives Gleichungslösen	1120
		20.4.4 Chaos im Kochtopf	1121
		Aufgaben	1125
		Quellennachweis	
		für die Einleitungs- und Ausblickabbildungen ...	1131
		Sach- und Namenverzeichnis	
		A–Z	1133