

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Tabellen	XXV
Einleitung	1

1. Mechanik der Massenpunkte

1.1 Messen und Maßeinheiten	3
1.1.1 Messen	3
1.1.2 Maßeinheiten	3
1.1.3 Maßsysteme und Dimensionen	4
1.1.4 Längeneinheit	4
1.1.5 Winkelmaße	5
1.1.6 Zeitmessung	5
1.1.7 Meßfehler	6
1.2 Kinematik	9
1.2.1 Ortsvektor	9
1.2.2 Geschwindigkeit	9
1.2.3 Beschleunigung	10
1.3 Dynamik	11
1.3.1 Trägheit	11
1.3.2 Kraft und Masse	11
1.3.3 Maßeinheiten	12
1.3.4 Die Newtonschen Axiome	12
1.4 Einfache Bewegungen	13
1.4.1 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung	13
1.4.2 Die gleichförmige Kreisbewegung	14
1.4.3 Die harmonische Schwingung	16
1.5 Arbeit, Energie, Impuls, Leistung	17
1.5.1 Arbeit	17
1.5.2 Kinetische Energie	18
1.5.3 Impuls	19
1.5.4 Kraftfelder	20
1.5.5 Potentielle Energie	20
1.5.6 Der Energiesatz	21
1.5.7 Leistung	22
1.5.8 Zentralkräfte	22
1.5.9 Anwendungen des Energie- und Impulsbegriffes	23
a) Geschöß- oder Treibstrahlgeschwindigkeiten	23
b) Raketenphysik	23
c) Propeller- und Düsenantrieb	24
d) Durchschlagskraft von Geschossen	25
e) Potentielle Energie der Schwere	25
f) Schwingungsenergie	26
g) Stoßgesetze	27

h) Zur Energiekrise	29
i) Der Virialsatz	31
1.5.10 Der Impulsraum	32
1.6 Reibung	34
1.6.1 Reibungsmechanismen	34
1.6.2 Bewegung unter Reibungseinfluß	36
1.6.3 Flug von Geschossen	38
1.6.4 Die technische Bedeutung der Reibung	39
1.7 Gravitation	41
1.7.1 Das Gravitationsgesetz	41
1.7.2 Das Gravitationsfeld	42
1.7.3 Gezeitenkräfte	43
1.7.4 Planetenbahnen	46
1.8 Trägheitskräfte	48
1.8.1 Bezugssysteme	48
1.8.2 Arten der Kräfte	48
1.8.3 Inertialsysteme	49
1.8.4 Rotierende Bezugssysteme	49
1.8.5 Bahnstörungen	51
1.8.6 Invarianzen und Erhaltungssätze	53
Aufgaben zu 1.1–1.8	54–64

2. Mechanik des starren Körpers

2.1 Translation und Rotation	65
2.1.1 Bewegungsmöglichkeiten eines starren Körpers	65
2.1.2 Infinitesimale Drehungen	66
2.1.3 Die Winkelgeschwindigkeit	67
2.2 Dynamik des starren Körpers	67
2.2.1 Rotationsenergie	67
2.2.2 Das Trägheitsmoment	67
2.2.3 Das Drehmoment	68
2.2.4 Der Drehimpuls	69
2.2.5 Das Trägheitsmoment als Tensor	70
2.2.6 Der Drehimpulssatz	70
2.2.7 Die Bewegungsgleichung des starren Körpers	72
2.3 Gleichgewicht und Bewegung eines starren Körpers	72
2.3.1 Gleichgewichtsbedingungen	72
a) Arten des Gleichgewichts	74
b) Einfache Maschinen	74
c) Die Waage	75
d) Standfestigkeit	76
2.3.2 Beschleunigte Rotation	76
2.3.3 Drehschwingungen	77
2.3.4 Kippung	78
2.3.5 Drehung um freie Achsen	78
2.4 Der Kreisel	79
2.4.1 Nutation des kräftefreien Kreisels	79
2.4.2 Präzession des Kreisels	80
Aufgaben zu 2.2–2.4	81–83

3. Mechanik deformierbarer Körper

3.1 Ruhende Flüssigkeiten und Gase (Hydro- und Aerostatik)	85
3.1.1 Der feste, flüssige und gasförmige Zustand	85
3.1.2 Die Gestalt von Flüssigkeitsoberflächen	86
3.1.3 Druck	86
a) Hydraulische Presse	86
b) Druckarbeit	86
c) Kompressibilität	87
3.1.4 Der Schweredruck	87
a) Kommunizierende Röhren	87
b) Auftrieb	88
c) Schwimmen	88
d) Aräometer	89
3.1.5 Gasdruck	89
3.1.6 Der Atmosphärendruck	90
3.2 Oberflächenspannung	91
a) Tröpfchengröße	92
b) Überdruck in der Seifenblase	93
c) Kapillarität	94
3.3 Strömungen	95
3.3.1 Beschreibung von Strömungen	95
3.3.2 Innere Reibung	99
3.3.3 Die laminare Strömung	100
a) Reibungskräfte in strömenden Flüssigkeiten	100
b) Druckkraft	101
c) Laminare Spaltströmung	102
d) Laminare Rohrströmung	102
e) Laminare Strömung um Kugeln (Stokes)	103
f) Die Prandtl-Grenzschicht	103
g) Schmiermittelreibung	104
3.3.4 Bewegungsgleichung einer Flüssigkeit	105
3.3.5 Kriterien für die verschiedenen Strömungstypen	105
3.3.6 Strömung idealer Flüssigkeiten	107
a) Ausströmen aus einem Loch	108
b) Weitere Beispiele zur Bernoulli-Gleichung	109
c) Kavitation	109
d) Gasdynamik	110
3.3.7 Der hydrodynamische Impulssatz	110
3.3.8 Strömungswiderstand	111
3.3.9 Wirbel	114
3.3.10 Turbulenz	116
3.4 Der deformierbare Festkörper	118
3.4.1 Dehnung und Kompression	118
3.4.2 Scherung	119
3.4.3 Zusammenhang zwischen E -Modul und G -Modul	119
3.4.4 Anelastisches Verhalten	120
3.4.5 Elastische Energie	121
3.4.6 Wie biegen sich die Balken?	122
3.4.7 Knickung	122
3.4.8 Härte	123
Aufgaben zu 3.1–3.4	123–129

4. Schwingungen und Wellen

4.1 Schwingungen	131
4.1.1 Überlagerung von Schwingungen	131
a) Schwingungen verschiedener Richtung	131
b) Schwingungen gleicher Frequenz und Richtung: Zeigerdiagramm, komplexe Rechnung	132
c) Schwingungen mit wenig verschiedenen Frequenzen: Schwebungen, Amplitudenmodulation	135
d) Schwingungen mit stark unterschiedlicher Frequenz: Fourier-Analyse	136
e) Schwingungen mit unbestimmter Phasendifferenz (inkohärente Schwingungen)	139
4.1.2 Gedämpfte Schwingungen	140
4.1.3 Erzwungene Sinusschwingungen	144
4.1.4 Amplituden- und Phasenmodulation	148
4.2 Wellen	149
4.2.1 Beschreibung von Wellen	149
4.2.2 Die Wellengleichung	150
4.2.3 Elastische Wellen	151
4.2.4 Überlagerung von Wellen	152
a) Wellen gleicher Frequenz, aber verschiedener Ausbreitungsrichtung	153
b) Wellen gleicher Ausbreitungsrichtung, aber verschiedener Frequenz	154
4.2.5 Intensität einer Welle	157
4.3 Wellenausbreitung	158
4.3.1 Streuung	158
4.3.2 Das Prinzip von Huygens-Fresnel	159
4.3.3 Das Prinzip von Fermat	160
4.3.4 Beugung	162
4.3.5 Doppler-Effekt; Mach-Wellen	164
4.3.6 Absorption	165
4.3.7 Stoßwellen	166
4.4 Eigenschwingungen	168
4.4.1 Gekoppelte Pendel	168
4.4.2 Wellen im Kristallgitter; die Klein-Gordon-Gleichung	169
4.4.3 Stehende elastische Wellen	171
4.4.4 Eigenschwingungen von Platten, Membranen, Hohlräumen	173
4.4.5 Entartung	176
4.5 Schallwellen	177
4.5.1 Schallmessungen	177
a) Vor einer reflektierenden Wand	177
b) Kundtsches Rohr	177
c) Quinckesches Resonanzrohr	177
d) Ultraschall-Interferometer (Pierce)	178
e) Optische Wellenlängenmessung von Ultraschallwellen (Debye und Sears)	178
4.5.2 Töne und Klänge	179
4.5.3 Lautstärke	180
4.5.4 Das Ohr	181

4.5.5 Ultraschall und Hyperschall	183
4.6 Oberflächenwellen auf Flüssigkeiten	184
Aufgaben zu 4.1–4.6	187–192

5. Wärme

5.1 Wärmeenergie und Temperatur	193
5.1.1 Was ist Wärme?	193
5.1.2 Temperatur	193
5.1.3 Thermometer	195
5.1.4 Freiheitsgrade	196
5.1.5 Wärmekapazität	197
5.1.6 Kalorimeter	199
5.2 Kinetische Gastheorie	199
5.2.1 Der Gasdruck	199
5.2.2 Die Zustandsgleichung idealer Gase	200
5.2.3 Der 1. Hauptsatz der Wärmelehre	201
5.2.4 c_V und c_p bei Gasen	202
5.2.5 Adiabatische Zustandsänderungen	202
5.2.6 Druckarbeit	204
5.2.7 Mittlere freie Weglänge und Wirkungsquerschnitt	205
5.2.8 Die Brownsche Molekularbewegung	206
5.2.9 Die Boltzmann-Verteilung	207
5.2.10 Die Maxwell-Verteilung	208
a) Die Verteilungsfunktion	208
b) Molekularstrahlen	209
5.3 Wärmekraftmaschinen	210
5.3.1 Thermische Energiewandler	210
5.3.2 Arbeitsdiagramme	211
5.3.3 Wirkungsgrad von thermischen Energiewandlern	212
5.4 Wärmeleitung und Diffusion	214
5.4.1 Mechanismen des Wärmetransportes	214
5.4.2 Die Gesetze der Wärmeleitung	214
5.4.3 Wärmeübergang und Wärmedurchgang	218
5.4.4 Wärmetransport durch Konvektion	219
5.4.5 Diffusion in Gasen und Lösungen	219
5.4.6 Transportphänomene	221
5.5 Entropie	223
5.5.1 Irreversibilität	223
5.5.2 Wahrscheinlichkeit und Entropie	225
5.5.3 Entropie und Wärmeenergie	226
5.5.4 Berechnung von Entropien	226
5.5.5 Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre	229
5.5.6 Reversible Kreisprozesse	230
5.5.7 Das thermodynamische Gleichgewicht	232
5.5.8 Chemische Energie	234
5.5.9 Freie Energie, Helmholtz-Gleichung und 3. Hauptsatz der Wärmelehre	237
5.6 Aggregatzustände	238

5.6.1	Koexistenz von Flüssigkeit und Dampf	238
	a) Sieden	240
	b) Hygrometrie	240
	c) Verdampfungswärme	241
5.6.2	Koexistenz von Festkörper und Flüssigkeit	243
5.6.3	Koexistenz dreier Phasen	243
5.6.4	Reale Gase	244
5.6.5	Kinetische Deutung der van der Waals-Gleichung	246
5.6.6	Joule-Thomson-Effekt; Gasverflüssigung	247
5.6.7	Erzeugung tiefster Temperaturen	249
5.7	Lösungen	251
	5.7.1 Der Begriff „Lösung“	251
	5.7.2 Der osmotische Druck	251
	5.7.3 Dampfdrucksenkung	252
5.8	Vakuum	253
	5.8.1 Bedeutung der Vakuumtechnik	253
	5.8.2 Vakuumpumpen	254
	5.8.3 Strömung verdünnter Gase	256
	5.8.4 Vakuum-Meßgeräte	257
	Aufgaben zu 5.1–5.7	258–271

6. Elektrizität

6.1	Elektrostatik	273
	6.1.1 Elektrische Ladungen	273
	6.1.2 Das elektrische Feld	274
	6.1.3 Spannung und Potential	277
	6.1.4 Berechnung von Feldern	280
	6.1.5 Kapazität	284
	a) Parallel- und Serienschaltung von Kondensatoren	285
	b) Kirchhoff-Waage	285
	c) Elektrometer	285
	d) Schwebekondensator, Millikan-Versuch	286
	6.1.6 Dipole	286
	6.1.7 Influenz	288
	6.1.8 Energie einer Ladungsverteilung	289
	6.1.9 Das elektrische Feld als Träger der elektrischen Energie	289
6.2	Dielektrika	290
	6.2.1 Die Verschiebungsdichte	290
	6.2.2 Dielektrizitätskonstante	290
	6.2.3 Mechanismen der dielektrischen Polarisation	292
	a) Verschiebungspolarisation	292
	b) Orientierungspolarisation	292
	6.2.4 Energiedichte des elektrischen Feldes im Dielektrikum	293
	6.2.5 Elektrostriktion; Piezo- und Pyroelektrizität	294
6.3	Gleichströme	295
	6.3.1 Stromstärke	295
	6.3.2 Das Ohmsche Gesetz	297
	6.3.3 Energie und Leistung elektrischer Ströme	299

6.3.4	Gleichstromtechnik	299
a)	Meßgeräte; Meßbereichsumschaltung	299
b)	Brückenschaltungen	300
c)	Kompensationsmethode	301
d)	Innenwiderstand einer Spannungsquelle; Leistungsanpassung	301
e)	Vorwiderstand und Potentiometer	302
6.4	Mechanismen der elektrischen Leitung	303
6.4.1	Nachweis freier Elektronen in Metallen	303
6.4.2	Elektronentransport in Metallen	304
6.4.3	Elektrische Leitfähigkeit	305
a)	Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit	305
b)	Innerer Photoeffekt	306
c)	Magnetoresistenz	306
d)	Druckabhängigkeit des Widerstandes	307
e)	Elektrische und Wärmeleitfähigkeit	307
f)	Supraleitung	307
g)	Elektrische Relaxation	307
6.4.4	Elektrolyse	308
6.4.5	Elektrolytische Leitfähigkeit	309
6.4.6	Ionenwolken; elektrochemisches Potential	312
6.5	Galvanische Elemente	316
6.5.1	Ionengleichgewicht und Nernst-Gleichung	316
6.5.2	Auflösung von Metallionen	316
6.5.3	Galvanische Elemente	317
6.5.4	Galvanische Polarisierung	318
6.5.5	Polarisierung und Oberflächenspannung	319
6.6	Thermoelektrizität	319
6.6.1	Der Seebeck-Effekt	319
6.6.2	Peltier-Effekt und Thomson-Effekt	321
	Aufgaben zu 6.1–6.5	322–329

7. Elektrodynamik

7.1	Ladungen und Felder	331
7.1.1	Elektrostatik	331
7.1.2	Lorentz-Kraft und Magnetfeld	331
7.1.3	Kräfte auf Ströme im Magnetfeld	332
7.1.4	Der Hall-Effekt	334
7.1.5	Relativität der Felder	335
7.2	Erzeugung von Magnetfeldern	336
7.2.1	Das Feld des geraden Elektronenstrahles oder des geraden Drahtes	336
7.2.2	Der gerade Draht, relativistisch betrachtet	337
7.2.3	Allgemeine Eigenschaften des Magnetfeldes	338
7.2.4	Das Magnetfeld von Strömen	339
7.2.5	Vergleich mit dem elektrischen Feld; der Satz von Biot-Savart	342
7.2.6	Magnetostatik	345
7.2.7	Elektromagnete	346
7.2.8	Magnetische Spannung und Vektorpotential	347
7.2.9	Das Magnetfeld der Erde	348

7.3 Induktion	351
7.3.1 Faradays Induktionsversuche	351
7.3.2 Das Induktionsgesetz als Folge der Lorentz-Kraft	354
7.3.3 Die Richtung des induzierten Stromes (Lenz-Regel)	356
7.3.4 Wirbelströme	357
7.3.5 Induktivität	357
7.3.6 Ein- und Ausschalten von Gleichströmen	358
7.3.7 Energie und Energiedichte im Magnetfeld	359
7.3.8 Gegeninduktion	359
7.4 Magnetische Materialien	360
7.4.1 Magnetisierung	360
7.4.2 Diamagnetismus	362
7.4.3 Paramagnetismus	363
7.4.4 Ferromagnetismus	364
7.4.5 Der Einstein-de Haas-Effekt	366
7.4.6 Struktur der Ferromagnetika	366
7.4.7 Antiferromagnetismus und Ferrimagnetismus	369
7.4.8 Ferro- und Antiferroelektrizität	369
7.5 Wechselströme	370
7.5.1 Erzeugung von Wechselströmen	370
7.5.2 Effektivwerte von Strom und Spannung	372
7.5.3 Wechselstromwiderstände	373
7.5.4 Zweipole, Ortskurven, Ersatzschaltbilder	377
7.5.5 Meßinstrumente für elektrische Größen	379
7.5.6 Drehstrom	382
7.5.7 Schwingkreise	385
7.5.8 Transformatoren	387
7.5.9 Das Betatron	391
7.5.10 Elektromotoren und Generatoren	392
7.5.11 Skineneffekt	395
7.6 Elektromagnetische Wellen	396
7.6.1 Der Verschiebungsstrom	396
7.6.2 Der physikalische Inhalt der Maxwell-Gleichungen	397
7.6.3 Ebene elektromagnetische Wellen	398
7.6.4 Energiedichte und Energieströmung	401
7.6.5 Der lineare Oszillator	402
7.6.6 Die Ausstrahlung des linearen Oszillators	403
7.6.7 Wellengleichung und Telegraphengleichung	405
7.6.8 Warum funkt man mit Trägerwellen?	407
7.6.9 Drahtwellen	408
7.6.10 Hohlraumoszillatoren und Hohlleiter	409
Aufgaben zu 7.1–7.6	410–418

8. Freie Elektronen und Ionen

8.1 Erzeugung von freien Ladungsträgern	419
8.1.1 Glühemission (Richardson-Effekt)	419
8.1.2 Photoeffekt (Lichtelektrischer Effekt)	421
8.1.3 Feldemission	422
8.1.4 Sekundärelektronen	422
8.1.5 Ionisierung eines Gases	422

8.2 Bewegung freier Ladungsträger	424
8.2.1 Elektronen im homogenen elektrischen Feld	424
8.2.2 Elektronen im homogenen Magnetfeld	424
8.2.3 Oszilloskop und Fernsehöhre	426
8.2.4 Thomsons Parabelversuch; Massenspektroskopie	428
8.2.5 Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Elektronenmasse	429
8.2.6 Die Elektronenöhre	429
8.2.7 Elektronenöhren als Verstärker	432
8.2.8 Schwingungserzeugung durch Rückkopplung	433
8.2.9 Erzeugung und Verstärkung höchstfrequenter Schwingungen	434
8.3 Gasentladungen	437
8.3.1 Leitfähigkeit von Gasen	437
a) Ionenkinetik	437
b) Die Ionisationskammer	437
8.3.2 Stoßionisation	439
8.3.3 Einteilung der Gasentladungen	440
8.3.4 Glimmentladungen	441
8.3.5 Bogen und Funken	441
8.3.6 Gasentladungslampen	442
8.3.7 Kathoden- und Kanalstrahlung	443
8.4 Plasmen	444
8.4.1 Der „vierte Aggregatzustand“	444
8.4.2 Plasmaschwingungen	445
8.4.3 Plasmen im Magnetfeld	447
8.4.4 Fusionsplasmen	448
Aufgaben zu 8.1–8.3	450–452

9. Geometrische Optik

9.1 Reflexion und Brechung	453
9.1.1 Lichtstrahlen	453
9.1.2 Reflexion	454
9.1.3 Brechung	456
9.1.4 Totalreflexion	457
9.1.5 Prismen	458
9.2 Optische Instrumente	460
9.2.1 Brechung an Kugelflächen	460
9.2.2 Dicke Linsen	461
9.2.3 Linsenfehler	463
9.2.4 Abbildungsmaßstab und Vergrößerung	464
9.2.5 Die Lupe	465
9.2.6 Das Mikroskop	466
9.2.7 Der Dia-Projektor	468
9.2.8 Das Fernrohr	468
9.2.9 Das Auge	469
9.3 Die Lichtgeschwindigkeit	471
9.3.1 Astronomische Methoden	471
9.3.2 Zahnradmethode	471
9.3.3 Drehspiegelmethode	472
9.3.4 Resonatormethode	472

9.4 Geometrische Elektronenoptik	473
9.4.1 Das Brechungsgesetz für Elektronen	473
9.4.2 Elektrische Elektronenlinsen	474
9.4.3 Magnetische Linsen	476
9.4.4 Elektronenmikroskope	478
Aufgaben zu 9.1–9.4	479–483

10. Wellenoptik

10.1 Interferenz und Beugung	485
10.1.1 Kohärenz	485
10.1.2 Die Grundkonstruktion der Interferenzoptik	486
10.1.3 Gitter	489
10.1.4 Spalt- und Lochblende	490
10.1.5 Auflösungsvermögen optischer Geräte	492
10.1.6 Auflösungsvermögen des Spektrographen	494
10.1.7 Fresnel-Linsen	496
10.1.8 Holographie	498
10.1.9 Fresnel-Beugung	498
10.1.10 Stehende Lichtwellen	501
10.1.11 Interferenzfarben	502
10.1.12 Interferometrie	504
10.2 Polarisation des Lichts	508
10.2.1 Lineare und elliptische Polarisation	508
10.2.2 Polarisationsapparate	509
10.2.3 Polarisation durch Doppelbrechung	509
10.2.4 Polarisation durch Reflexion und Brechung	513
10.2.5 Intensitätsverhältnisse bei Reflexion und Brechung	514
10.2.6 Reflexminderung	515
10.2.7 Interferenzen im parallelen linear polarisierten Licht	516
10.2.8 Interferenzen im konvergenten polarisierten Licht	517
10.2.9 Drehung der Polarisationsebene; Optische Aktivität	518
10.2.10 Der elektrooptische Effekt (Kerr-Effekt)	520
10.3 Absorption, Dispersion und Streuung des Lichtes	520
10.3.1 Absorption	520
10.3.2 Die Dispersion und ihre Deutung aus der frequenzabhängigen Polarisierbarkeit	521
10.3.3 Atomistische Deutung der Dispersion	522
10.3.4 Deutung des Faraday-Effektes	524
10.3.5 Warum ist der Himmel blau?	525
10.4 Wellen und Teilchen	528
10.4.1 Materiewellen	528
10.4.2 Elektronenbeugung	529
10.4.3 Elektronenbeugung an Lochblenden	531
10.4.4 Die Unschärferelation	533
Aufgaben zu 10.1–10.4	533–536

11. Strahlungsenergie

11.1 Das Strahlungsfeld	537
11.1.1 Strahlungsgrößen	537

11.1.2	Photometrische Größen	539
11.1.3	Photometrie und Strahlungsmessung	539
11.2	Strahlungsgesetze	541
11.2.1	Wärmestrahlung und thermisches Gleichgewicht	541
11.2.2	Das Spektrum der schwarzen Strahlung	543
11.2.3	Plancks Strahlungsgesetz	543
11.2.4	Lage des Emissionsmaximums; Wiensches Verschiebungsgesetz	545
11.2.5	Gesamtemission des schwarzen Strahlers; Stefan-Boltzmann-Gesetz	545
11.2.6	Pyrometrie	546
11.3	Die Welt der Strahlung	547
11.3.1	Farbe	547
11.3.2	Infrarot und Ultraviolett	549
11.3.3	Die Strahlung der Sonne	555
11.3.4	Warum sind die Blätter grün?	560
	Aufgaben zu 11.1–11.3	563–566

12. Das Atom

12.1	Das Photon	567
12.1.1	Entdeckung des Photons	567
12.1.2	Masse und Impuls der Photonen; Strahlungsdruck	568
12.1.3	Stoß von Photonen und Elektronen; Compton-Effekt	569
12.1.4	Rückstoß bei der γ -Emission; Mößbauer-Effekt	570
12.2	Emission und Absorption von Licht	571
12.2.1	Spektren	571
12.2.2	Linienverbreiterung	572
12.2.3	Fluoreszenz	573
12.2.4	Phosphoreszenz	574
12.2.5	Der Versuch von Franck und Hertz	574
12.2.6	Die Energiestufen der Atome	575
12.2.7	Anregung und Ionisierung	576
12.2.8	Raman-Effekt	577
12.2.9	Laser	578
12.3	Das Bohrsche Atommodell	582
12.3.1	Das Versagen der klassischen Physik vor dem Atom	582
12.3.2	Die Bohrschen Postulate	583
12.3.3	Das Wasserstoffspektrum	584
12.3.4	Das Wasserstoffatom nach Bohr	584
12.3.5	Die Spektren anderer Atome	586
12.3.6	Die Bohr-Sommerfeldschen Quantenbedingungen	588
12.3.7	Das Korrespondenzprinzip	589
12.4	Molekülspektren	589
12.4.1	Die Energiestufen der Moleküle	589
12.4.2	Rotationsbanden	590
12.4.3	Das Rotations-Schwingungs-Spektrum	591
12.4.4	Die Potentialkurve des Moleküls	593
12.5	Röntgenstrahlung	594
12.5.1	Erzeugung und Nachweis	594

12.5.2	Röntgenbeugung	594
12.5.3	Röntgenoptik	598
12.5.4	Bremsstrahlung	599
12.5.5	Charakteristische Strahlung	600
12.5.6	Röntgenabsorption	604
12.6	Systematik des Atombaus	607
12.6.1	Das Periodensystem der Elemente	607
12.6.2	Quantenzahlen	610
12.6.3	Bauprinzipien der Elektronenhülle	610
	a) Das Pauli-Prinzip	610
	b) Das Bohr-Sommerfeldsche Bausteinprinzip	611
12.6.4	Deutung des Periodensystems	611
12.6.5	Jenseits des Periodensystems	612
12.7	Atome in elektrischen und magnetischen Feldern	613
12.7.1	Drehimpulsquantelung	613
12.7.2	Atom- und Kernmomente	614
12.7.3	Der Stern-Gerlach-Versuch	615
12.7.4	Zeeman-Aufspaltung und Larmor-Präzession	616
12.7.5	Spinresonanz	617
12.7.6	Kernspinmessung an freien Atomen	617
12.7.7	Kernspinresonanz in kompakter Materie	618
12.7.8	Einfluß der Umgebung bei der Spinresonanz	619
12.7.9	Zeeman-Effekt	620
12.7.10	Stark-Effekt	621
	Aufgaben zu 12.1–12.7	622–627

13. Kerne und Elementarteilchen

13.1	Der innere Aufbau der Atome	629
13.1.1	Das leere Atom	629
13.1.2	Die Entdeckung des Atomkerns	630
13.1.3	Kernbausteine und Kernkräfte	633
13.1.4	Massendefekt, Isotopie und Massenspektroskopie	635
13.1.5	Kernmodelle	636
13.1.6	Kernspaltung	639
13.1.7	Kernfusion	641
13.2	Radioaktivität	644
13.2.1	Elementumwandlung	644
13.2.2	Zerfallsenergie	647
13.2.3	Das Zerfallsgesetz	649
13.3	Schnelle Teilchen	651
13.3.1	Durchgang schneller Teilchen durch Materie	651
13.3.2	Nachweis schneller Teilchen	654
	a) Ionisationskammer und Halbleiterzähler	654
	b) Nebel- und Blaskammer	656
	c) Funkenkammer	657
	d) Zählrohr	657
	e) Szintillationszähler	658
	f) Tscherenkow-Zähler	658
	g) Kernspur-Platten	658
	h) Draht- oder Driftkammer	659

13.3.3	Teilchenbeschleuniger	659
13.3.4	Strahlendosis und Strahlenwirkung	663
13.4	Elementarteilchen	666
13.4.1	Historischer Überblick	666
13.4.2	Wie findet man neue Teilchen?	668
13.4.3	Myonen und Pionen	672
13.4.4	Neutron und Neutrinos	673
13.4.5	Wechselwirkungen	675
13.4.6	Elektromagnetische Wechselwirkung	678
13.4.7	Die innere Struktur der Nukleonen	680
13.4.8	Das Quarkmodell	681
13.4.9	Quantenchromodynamik	684
13.4.10	Symmetrien, Invarianzen, Erhaltungssätze	687
13.4.11	Magnetische Monopole	689
13.5	Kosmische Strahlung	690
13.5.1	Ursprung und Nachweis	690
13.5.2	Wechselwirkung mit Materie	692
13.5.3	Strahlungsgürtel	692
	Aufgaben zu 13.1–13.5	695–703

14. Festkörperphysik

14.1	Kristallgitter	706
14.1.1	Dichteste Kugelpackungen	706
14.1.2	Gittergeometrie	711
14.1.3	Kristallstrukturanalyse	713
14.1.4	Gitterenergie	717
14.1.5	Kristallbindung	722
14.1.6	Einiges über Eis	725
14.1.7	Kristallwachstum	728
14.2	Gitterschwingungen	730
14.2.1	Spezifische Wärmekapazität	730
14.2.2	Gitterdynamik	733
14.2.3	Optik der Ionenkristalle	736
14.2.4	Phononen	738
14.2.5	Wärmeleitung in Isolatoren	740
14.3	Metalle	741
14.3.1	Das klassische Elektronengas	741
14.3.2	Das Fermi-Gas	743
14.3.3	Metalloptik	745
14.3.4	Elektrische und Wärmeleitung	745
14.3.5	Energiebänder	748
14.3.6	Elektronen und Löcher	750
14.4	Halbleiter	752
14.4.1	Reine Halbleiter	752
14.4.2	Gestörte Halbleiter	754
14.4.3	Halbleiter-Elektronik	756
14.4.4	Amorphe Halbleiter	760
14.5	Gitterfehler	761
14.5.1	Idealkristall und Realkristall	761

14.5.2	Thermische Fehlordnung	762
14.5.3	Chemische Fehlordnung	763
14.5.4	Versetzen	765
14.6	Makromolekulare Festkörper	767
14.6.1	Definition und allgemeine Eigenschaften	767
14.6.2	Länge eines linearen Makromoleküls	768
14.6.3	Gummielastizität	769
14.7	Supraleitung	771
	Aufgaben zu 14.1–14.7	775–780

15. Relativitätstheorie

15.1	Bezugssysteme	781
15.1.1	Gibt es „absolute Ruhe“?	781
15.1.2	Der Michelson-Versuch	781
15.1.3	Das Relativitätsprinzip	782
15.1.4	Punktereignisse	783
15.1.5	Rückdatierung	784
15.2	Relativistische Mechanik	785
15.2.1	Relativität der Gleichzeitigkeit	785
15.2.2	Maßstabsvergleich	786
15.2.3	Uhrenvergleich	787
15.2.4	Addition von Geschwindigkeiten	788
15.2.5	Messung von Beschleunigungen	789
15.2.6	Die bewegte Masse	790
15.2.7	Die Masse-Energie-Äquivalenz	791
15.2.8	Flugplan einer Interstellarrakete	792
15.2.9	Antriebsprobleme der Photonenrakete	794
15.3	Relativistische Physik	795
15.3.1	Die Lorentz-Transformation	795
15.3.2	Die Struktur der Raumzeit	796
15.3.3	Relativistische Elektrodynamik	797
15.3.4	Materiewellen	799
15.3.5	Speicherringe und Teilchenstrahlwaffen	801
15.4	Gravitation und Kosmologie	801
15.4.1	Allgemeine Relativität	801
15.4.2	Einsteins Gravitationstheorie	803
15.4.3	Gravitationswellen	806
15.4.4	Schwarze Löcher	807
15.4.5	Kosmologische Modelle	808
15.4.6	Die kosmologische Kraft	810
15.4.7	Gab es einen Urknall?	812
	Aufgaben zu 15.1–15.4	814–824

16. Quantenmechanik

16.1	Mathematisches Handwerkszeug	825
16.1.1	Vektoren und Funktionen	825

16.1.2	Matrizen und Operatoren	826
16.1.3	Eigenfunktionen und Eigenwerte	827
16.2	Grundzüge der Quantenmechanik	828
16.2.1	Die Axiome	828
16.2.2	Die Unschärferelation	829
16.2.3	Der Energieoperator (Hamilton-Operator)	831
16.2.4	Die Schrödinger-Gleichung	833
16.3	Teilchen in Potentialtöpfen	834
16.3.1	Stationäre Zustände	834
16.3.2	Der Tunneleffekt	836
16.3.3	Der Knotensatz	838
16.4	Atome und Moleküle	839
16.4.1	Das Wasserstoffatom	839
16.4.2	Atome mit mehreren Elektronen	841
16.4.3	Das Periodensystem	843
16.4.4	Die effektive Kernladung	844
16.4.5	Wie strahlen die Atome?	844
16.4.6	Hybridzustände	846
16.4.7	Quantenchemie	846
	Aufgaben zu 16.1–16.4	850–853

17. Statistische Physik

17.1	Statistik der Ensembles	855
17.1.1	Zufallstexte	855
17.1.2	Wahrscheinlichkeit einer Komposition	856
17.1.3	Die wahrscheinlichste Komposition	857
17.1.4	Schwankungserscheinungen	859
17.1.5	Die kanonische Verteilung	860
17.1.6	Beispiel: „Harmonischer Oszillator“	862
17.1.7	Mischungsentropie	863
17.1.8	Das kanonische Ensemble (Ensemble von Gibbs)	863
17.1.9	Arbeit und Wärme	864
17.2	Physikalische Ensembles	865
17.2.1	Physikalische Deutung	865
17.2.2	Zustandsänderungen	865
17.2.3	Verteilungsmodul und Temperatur	866
17.2.4	Wahrscheinlichkeit und Entropie	867
17.2.5	Die freie Energie; Gleichgewichtsbedingungen	867
17.2.6	Statistische Gewichte	868
17.2.7	Der Phasenraum	869
17.2.8	Das ideale Gas	870
17.2.9	Absolute Reaktionsraten	871
17.3	Quantenstatistik	872
17.3.1	Abzählung von Quantenteilchen	872
17.3.2	Fermi-Dirac- und Bose-Einstein-Statistik	873
17.3.3	Das Fermi-Gas	875
17.3.4	Stoßvorgänge bei höchsten Energien	877
17.3.5	Extreme Zustände der Materie	879
	Aufgaben zu 17.1–17.3	880–884

Abbildungsnachweis	885
Sach- und Namenverzeichnis	887
Anhang	
Umrechnung von Energiemaßen und -äquivalenten	917
Einige Eigenschaften fester Elemente	918
Periodensystem der Elemente	919
Wichtige physikalische Konstanten	920