

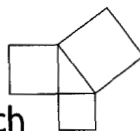
Taschenbuch der Physik

Formeln, Tabellen, Übersichten

Herausgegeben von
Prof. Dr. Horst Stöcker

4., korrigierte Auflage

Verlag
Harri
Deutsch



	Inhaltsverzeichnis	I	=
	Tabellenverzeichnis	XVIII	=
1	Kinematik	1	=
2	Dynamik	32	=
3	Starre Körper	83	=
4	Mikromechanik	117	=
5	Gravitation und Relativitätstheorie	123	=
6	Mechanik der deformierbaren Körper	144	=
7	Nichtlineare Dynamik, Chaos und Fraktale	199	=
	Formelzeichen Mechanik	215	=
8	Tabellen zur Mechanik	216	=
9	Schwingungen	236	=
10	Wellen	266	=
11	Akustik	288	=
12	Optik	310	=
	Formelzeichen Schwingungen, Wellen, Akustik und Optik	380	=
13	Tabellen zu Schwingungen, Akustik und Optik	382	=
14	Ladungen und Ströme	390	=
15	Elektrisches und magnetisches Feld	406	=
16	Anwendungen in der Elektrotechnik	463	=
17	Stromleitung in Flüssigkeiten, in Gasen und im Vakuum	508	=
18	Plasmaphysik	529	=
	Formelzeichen Elektrizitätslehre	548	=
19	Tabellen zur Elektrizitätslehre	550	=
20	Gleichgewicht und Zustandsgrößen	569	=
21	Wärme, Energieumwandlung und Zustandsänderungen	618	=
22	Phasenumwandlungen, Reaktionen und Wärmeausgleich	659	=
	Formelzeichen Wärmelehre	709	=
23	Tabellen zur Thermodynamik	712	=
24	Photonen - Elektromagnetische Strahlung und Lichtquanten	743	=
25	Materiewellen - Wellenmechanik der Teilchen	750	=
26	Atom- und Molekülphysik	773	=
27	Elementarteilchenphysik - das Standard-Modell	803	=
28	Kernphysik	825	=
29	Festkörperphysik	883	=
	Formelzeichentabelle Mikrophysik	983	=
30	Tabellen zur Quantenphysik	988	=
31	Messungen und Messfehler	1006	=
32	Vektorrechnung	1022	=
33	Differential- und Integralrechnung	1027	=
34	Tabellen zum SI-System	1031	=
	Index	1037	=

Inhaltsverzeichnis

I	Mechanik	1
1	Kinematik	1
1.1	Beschreibung von Bewegungen	1
1.1.1	Bezugssysteme	1
1.1.2	Zeit	5
1.1.3	Länge, Fläche, Volumen	7
1.1.4	Winkel	8
1.1.5	Mechanische Systeme	10
1.2	Bewegung in einer Dimension	12
1.2.1	Geschwindigkeit	12
1.2.2	Beschleunigung	14
1.2.3	Einfache Bewegungen in einer Dimension	16
1.3	Bewegung in mehreren Dimensionen	19
1.3.1	Geschwindigkeitsvektor	20
1.3.2	Beschleunigungsvektor	22
1.3.3	Freier Fall und Wurf	25
1.4	Drehbewegung	27
1.4.1	Winkelgeschwindigkeit	28
1.4.2	Winkelbeschleunigung	30
1.4.3	Bahngeschwindigkeit	30
2	Dynamik	32
2.1	Grundgesetze der Dynamik	32
2.1.1	Masse und Impuls	32
2.1.2	Newtonsche Gesetze	34
2.1.3	Bahndrehimpuls	43
2.1.4	Drehmoment	44
2.1.5	Dynamisches Grundgesetz für Drehbewegungen	46
2.2	Kräfte	47
2.2.1	Gewichtskraft	47
2.2.2	Federkräfte und Torsionskräfte	48
2.2.3	Reibungskräfte	50
2.3	Trägheitskräfte in rotierenden Bezugssystemen	53
2.3.1	Zentripetalkraft und Zentrifugalkraft	53
2.3.2	Corioliskraft	55
2.4	Arbeit und Energie	56

II INHALTSVERZEICHNIS

2.4.1	Arbeit	57
2.4.2	Energie	59
2.4.3	Kinetische Energie	60
2.4.4	Potentielle Energie	61
2.4.5	Reibungsarbeit	63
2.5	Leistung	64
2.5.1	Wirkungsgrad	64
2.6	Stoßprozesse	65
2.6.1	Elastische, gerade, zentrale Stöße	67
2.6.2	Elastische, schiefe, zentrale Stöße	68
2.6.3	Elastischer, schiefer Stoß mit einem ruhenden Körper	69
2.6.4	Unelastische Stöße	71
2.7	Raketen	71
2.7.1	Schubkraft	72
2.7.2	Raketengleichung	73
2.8	Massenpunktsysteme	74
2.8.1	Bewegungsgleichungen	74
2.8.2	Impulserhaltungssatz	76
2.8.3	Drehimpulserhaltungssatz	77
2.8.4	Energieerhaltungssatz	77
2.9	Lagrange- und Hamilton-Gleichungen	78
2.9.1	Lagrange-Gleichungen und Hamiltonsches Prinzip	78
2.9.2	Hamilton-Gleichungen	81
3	Starre Körper	83
3.1	Kinematik	83
3.1.1	Dichte	83
3.1.2	Schwerpunkt	83
3.1.3	Kinematische Grundgrößen	85
3.2	Statik	87
3.2.1	Kraftvektoren	87
3.2.2	Drehmoment	89
3.2.3	Kräftepaar	91
3.2.4	Gleichgewichtsbedingungen der Statik	92
3.2.5	Technische Mechanik	94
3.2.6	Maschinen	95
3.3	Dynamik	100
3.4	Trägheitsmoment und Drehimpuls	100
3.4.1	Massenträgheitsmoment	100
3.4.2	Drehimpuls	105
3.5	Arbeit, Energie und Leistung	106
3.5.1	Kinetische Energie	107
3.5.2	Potentielle Energie der Torsion	109
3.6	Kreiseltheorie	109
3.6.1	Trägheitstensor	110
3.6.2	Nutation und Präzession	112
3.6.3	Anwendungen von Kreiseln	115

4	Mikromechanik	117
4.1	Dünnschichttechnik	117
4.2	Belichtungs- und Ätzverfahren	118
4.3	Anwendungen	119
4.3.1	Sensoren	119
4.3.2	Aktoren	121
4.3.3	Technische Anwendungen	121
5	Gravitation und Relativitätstheorie	123
5.1	Gravitationsfeld	123
5.1.1	Gravitationsgesetz	123
5.1.2	Planetenbewegung	125
5.1.3	Planetensystem	126
5.2	Spezielle Relativitätstheorie	130
5.2.1	Relativitätsprinzip	130
5.2.2	Lorentz-Transformation	132
5.2.3	Relativistische Effekte	136
5.2.4	Relativistische Dynamik	137
5.3	Allgemeine Relativitätstheorie und Kosmologie	140
5.3.1	Sterne und Galaxien	142
6	Mechanik der deformierbaren Körper	144
6.1	Elastizitätslehre	144
6.1.1	Spannung	144
6.1.2	Elastische Verformung	146
6.1.3	Plastische Verformung	157
6.2	Hydrostatik, Aerostatik	161
6.2.1	Flüssigkeiten und Gase	161
6.2.2	Druck	162
6.2.3	Auftrieb	170
6.2.4	Kohäsion, Adhäsion, Oberflächenspannung	172
6.3	Hydrodynamik, Aerodynamik	175
6.3.1	Strömungsfeld	175
6.3.2	Grundgleichungen idealer Strömungen	177
6.3.3	Reale Strömungen	186
6.3.4	Turbulente Strömungen	192
6.3.5	Ähnlichkeitsgesetze	194
6.3.6	Strömungen mit Dichteänderungen	197
7	Nichtlineare Dynamik, Chaos und Fraktale	199
7.1	Dynamische Systeme und Chaos	199
7.1.1	Dynamische Systeme	200
7.1.2	Konservative Systeme	205
7.1.3	Dissipative Systeme	207
7.2	Bifurkationen	209
7.2.1	Logistische Abbildung	209

IV INHALTSVERZEICHNIS

7.2.2	Universalität	212
7.3	Fraktale	212
Formelzeichen Mechanik		215
8	Tabellen zur Mechanik	216
8.1	Dichte	216
8.1.1	Festkörper	216
8.1.2	Flüssigkeiten	221
8.1.3	Gase	222
8.2	Elastische Eigenschaften	223
8.3	Dynamische Eigenschaften	226
8.3.1	Reibungszahlen	226
8.3.2	Kompressibilität	228
8.3.3	Viskosität	231
8.3.4	Strömungswiderstand	234
8.3.5	Oberflächenspannung	235
II Schwingungen, Wellen, Akustik und Optik		236
9	Schwingungen	236
9.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	239
9.1.1	Federpendel	239
9.1.2	Fadenpendel	241
9.1.3	Physisches Pendel	244
9.1.4	Torsionsschwingung	246
9.1.5	Flüssigkeitspendel	247
9.1.6	Elektrischer Schwingkreis	248
9.2	Gedämpfte Schwingungen	249
9.2.1	Reibung	250
9.2.2	Gedämpfter elektrischer Schwingkreis	254
9.3	Erzwungene Schwingungen	255
9.4	Überlagerung von Schwingungen	257
9.4.1	Überlagerung von Schwingungen gleicher Frequenz	257
9.4.2	Überlagerung von Schwingungen ungleicher Frequenz	259
9.4.3	Überlagerung von Schwingungen in ungleicher Richtung und mit verschiedener Frequenz	260
9.4.4	Fourier-Analyse, Zerlegung nach Schwingungen	262
9.5	Gekoppelte Schwingungen	263
10	Wellen	266
10.1	Grundlegende Eigenschaften von Wellen	266
10.2	Polarisation	272
10.3	Interferenz	272
10.3.1	Kohärenz	272

10.3.2	Interferenz	273
10.3.3	Stehende Wellen	274
10.3.4	Wellen mit unterschiedlichen Frequenzen	277
10.4	Doppler-Effekt	278
10.4.1	Mach-Wellen und Mach-Stoßwellen	279
10.5	Brechung	280
10.6	Reflexion	281
10.6.1	Phasenbeziehungen	281
10.7	Dispersion	282
10.8	Beugung	283
10.8.1	Beugung am Spalt	283
10.8.2	Beugung am Gitter	284
10.9	Modulation von Wellen	285
10.10	Oberflächenwellen und Schwerewellen	287
11	Akustik	288
11.1	Schallwellen	288
11.1.1	Schallgeschwindigkeit	288
11.1.2	Schallkenngrößen	290
11.1.3	Verhältnisgrößen	293
11.2	Schallquellen und Schallempfänger	295
11.2.1	Mechanische Schallsender	295
11.2.2	Elektroakustische Schallwandler	297
11.2.3	Schallabsorption	300
11.2.4	Schalldämmung	302
11.2.5	Strömungsgeräusch	303
11.3	Ultraschall	304
11.4	Physiologische Akustik und das Gehör	305
11.4.1	Schallempfindung	305
11.4.2	Bewertete Schallpegel	306
11.5	Musikalische Akustik	307
12	Optik	310
12.1	Geometrische Optik	311
12.1.1	Optische Abbildung - Grundbegriffe	313
12.1.2	Reflexion	316
12.1.3	Brechung	320
12.2	Linsen	333
12.2.1	Dicke Linsen	333
12.2.2	Dünne Linsen	339
12.3	Linsensysteme	339
12.3.1	Linsen mit Blenden	340
12.3.2	Abbildungsfehler	340
12.4	Optische Instrumente	343
12.4.1	Lochkamera	343

VI INHALTSVERZEICHNIS

12.4.2	Fotokamera	344
12.4.3	Auge	344
12.4.4	Auge und optische Instrumente	346
12.5	Wellenoptik	351
12.5.1	Streuung	351
12.5.2	Beugung und Auflösungsbegrenzung	351
12.5.3	Brechung im Wellenbild	354
12.5.4	Interferenz	354
12.5.5	Diffraktive optische Elemente	358
12.5.6	Dispersion	363
12.5.7	Spektralapparate	364
12.5.8	Polarisation des Lichts	365
12.6	Photometrie	370
12.6.1	Photometrische Größen	370
12.6.2	Lichttechnische Größen	376
Formelzeichen Schwingungen, Wellen, Akustik und Optik		380
13 Tabellen zu Schwingungen, Akustik und Optik		382
13.1	Tabellen zu Schwingungen und Akustik	382
13.2	Tabellen zur Optik	386
III Elektrizitätslehre		390
14 Ladungen und Ströme		390
14.1	Elektrische Ladung	390
14.1.1	Coulombsches Gesetz	392
14.2	Elektrische Ladungsdichte	393
14.3	Elektrischer Strom	395
14.3.1	Amperesches Gesetz	396
14.4	Elektrische Stromdichte	397
14.4.1	Elektrisches Strömungsfeld	398
14.5	Elektrischer Widerstand und elektrischer Leitwert	399
14.5.1	Elektrischer Widerstand	399
14.5.2	Elektrischer Leitwert	400
14.5.3	Spezifischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit	400
14.5.4	Beweglichkeit von Ladungsträgern	401
14.5.5	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	402
14.5.6	Veränderliche Widerstände	403
14.5.7	Schaltung von Widerständen	404
15 Elektrisches und magnetisches Feld		406
15.1	Elektrisches Feld	406
15.2	Influenz	407
15.2.1	Elektrische Feldlinien	407

15.2.2	Elektrische Feldstärke von Punktladungen	411
15.3	Kraft	411
15.4	Elektrische Spannung	412
15.5	Elektrisches Potential	413
15.5.1	Äquipotentialflächen	414
15.5.2	Feldstärke und Potential einiger Ladungsverteilungen	414
15.5.3	Elektrischer Fluss	417
15.5.4	Verschiebungsdichte im Vakuum	419
15.6	Elektrische Polarisierung	420
15.6.1	Dielektrikum	421
15.7	Kapazität	423
15.7.1	Plattenkondensator	423
15.7.2	Parallelschaltung von Kondensatoren	424
15.7.3	Reihenschaltung von Kondensatoren	424
15.7.4	Kapazitäten einfacher Leiteranordnungen	425
15.8	Energie und Energiedichte des elektrischen Feldes	426
15.9	Elektrisches Feld an Grenzflächen	427
15.10	Magnetisches Feld	428
15.11	Magnetismus	428
15.11.1	Magnetische Feldlinien	429
15.12	Magnetische Flussdichte	430
15.13	Magnetischer Fluss	432
15.14	Magnetische Feldstärke	434
15.15	Magnetische Spannung und magnetischer Kreis	435
15.15.1	Durchflutungssatz	437
15.15.2	Biot-Savartsches Gesetz	438
15.15.3	Magnetfeld eines geraden Leiters	440
15.15.4	Magnetische Felder einiger Stromverteilungen	441
15.16	Materie im Magnetfeld	442
15.16.1	Diamagnetismus	443
15.16.2	Paramagnetismus	444
15.16.3	Ferromagnetismus	444
15.16.4	Antiferromagnetismus	447
15.16.5	Ferrimagnetismus	448
15.17	Magnetische Felder an Grenzflächen	448
15.18	Induktion	449
15.18.1	Bewegungsinduktion	449
15.18.2	Transformatorische Induktion	450
15.19	Selbstinduktion	451
15.19.1	Induktivitäten geometrischer Leiteranordnungen	452
15.19.2	Magnetischer Leitwert	454
15.20	Gegeninduktion	454
15.20.1	Transformator	455
15.21	Energie und Energiedichte des Magnetfeldes	456
15.22	Maxwellsche Gleichungen	459

VIII INHALTSVERZEICHNIS

15.22.1	Verschiebungsstrom	460
15.22.2	Elektromagnetische Wellen	460
15.22.3	Poynting-Vektor	462
16	Anwendungen in der Elektrotechnik	463
16.1	Gleichstromkreis	464
16.1.1	Kirchhoffsche Gesetze im Gleichstromkreis	465
16.1.2	Widerstände im Gleichstromkreis	465
16.1.3	Reale Spannungsquelle	467
16.1.4	Leistung und Energie im Gleichstromkreis	468
16.1.5	Leistungsanpassung	470
16.1.6	Strom- und Spannungsmessung	470
16.1.7	Widerstandsbestimmung mittels Kompensationsmethode	471
16.1.8	Auf- und Entladung von Kondensatoren	472
16.1.9	Ein- und Ausschalten des Stroms im RL -Kreis	474
16.2	Wechselstromkreis	475
16.2.1	Wechselgrößen	475
16.2.2	Darstellung von Sinusgrößen im Zeigerdiagramm	477
16.2.3	Rechenregeln für Zeigergrößen	479
16.2.4	Grundbegriffe der Wechselstromtechnik	482
16.2.5	Grundbauelemente im Wechselstromkreis	488
16.2.6	Reihenschaltung von Widerstand und Kapazität	491
16.2.7	Parallelschaltung von Widerstand und Kapazität	492
16.2.8	Parallelschaltung von Widerstand und Induktivität	493
16.2.9	Reihenschaltung von Widerstand und Induktivität	494
16.2.10	Reihenschwingkreis	495
16.2.11	Parallelschwingkreis	496
16.2.12	Äquivalenz von Reihenschaltung und Parallelschaltung	498
16.2.13	Radiowellen	499
16.3	Elektrische Maschinen	501
16.3.1	Prinzipielle Funktionsweise	501
16.3.2	Gleichstrommaschine	502
16.3.3	Drehstrommaschine	504
17	Stromleitung in Flüssigkeiten, in Gasen und im Vakuum	508
17.1	Elektrolyse	508
17.1.1	Stoffmenge	508
17.1.2	Ionen	508
17.1.3	Elektroden	509
17.1.4	Elektrolyte	509
17.1.5	Galvanische Elemente	513
17.1.6	Elektrokinetische Effekte	516
17.2	Stromleitung in Gasen	517
17.2.1	Unselbständige Gasentladung	517
17.2.2	Selbständige Gasentladung	520

17.3	Elektronenemission	521
17.3.1	Glühemission	522
17.3.2	Photoemission	522
17.3.3	Feldemission	523
17.3.4	Sekundärelektronenemission	523
17.4	Elektronenröhren	524
17.4.1	Röhrendiode	524
17.4.2	Röhrentriode	525
17.4.3	Tetrode	527
17.4.4	Katodenstrahlen	527
17.4.5	Kanalstrahlen	528
18	Plasmaphysik	529
18.1	Eigenschaften eines Plasmas	529
18.1.1	Plasmakenngrößen	529
18.1.2	Plasmastrahlung	535
18.1.3	Plasmen in Magnetfeldern	536
18.1.4	Plasmawellen	538
18.2	Erzeugung von Plasmen	540
18.2.1	Thermische Plasmaerzeugung	541
18.2.2	Plasmaerzeugung durch Kompression	541
18.3	Energieerzeugung mit Plasmen	543
18.3.1	MHD-Generator	543
18.3.2	Kernfusionsreaktoren	544
18.3.3	Fusion unter magnetischer Halterung	545
18.3.4	Fusion unter Trägheitseinschluss	546
	Formelzeichen Elektrizitätslehre	548
19	Tabellen zur Elektrizitätslehre	550
19.1	Metalle und Legierungen	550
19.1.1	Spezifischer elektrischer Widerstand	550
19.1.2	Spannungsreihen	552
19.2	Dielektrika	554
19.3	Praktische Tabellen der Elektrotechnik	560
19.4	Magnetische Eigenschaften	562
19.5	Ferromagnetische Eigenschaften	564
19.5.1	Magnetische Anisotropie	566
19.6	Ferrite	567
19.7	Antiferromagnete	568
19.8	Ionenbeweglichkeit	568
IV	Wärmelehre	569
20	Gleichgewicht und Zustandsgrößen	569
20.1	Systeme, Phasen und Gleichgewicht	569

X INHALTSVERZEICHNIS

20.1.1	Systeme	569
20.1.2	Phasen	570
20.1.3	Gleichgewicht	571
20.2	Zustandsgrößen	573
20.2.1	Zustandsgröße: Begriffsbestimmung	573
20.2.2	Temperatur	575
20.2.3	Druck	580
20.2.4	Teilchenzahl, Stoffmenge und Avogadrozahl	584
20.2.5	Entropie	587
20.3	Thermodynamische Potentiale	588
20.3.1	Prinzip der maximalen Entropie - Prinzip der minimalen Energie	588
20.3.2	Innere Energie als Potential	588
20.3.3	Entropie als thermodynamisches Potential	589
20.3.4	Freie Energie	590
20.3.5	Enthalpie	591
20.3.6	Freie Enthalpie	593
20.3.7	Maxwell-Relationen	594
20.3.8	Thermodynamische Stabilität	595
20.4	Ideales Gas	596
20.4.1	Boyle-Mariottesches Gesetz	596
20.4.2	Gesetz von Gay-Lussac	597
20.4.3	Zustandsgleichung	598
20.5	Kinetische Theorie des idealen Gases	599
20.5.1	Druck und Temperatur	599
20.5.2	Maxwell-Boltzmann-Verteilung	601
20.5.3	Freiheitsgrade	602
20.5.4	Gleichverteilungssatz	603
20.5.5	Transportvorgänge	603
20.6	Zustandsgleichungen	606
20.6.1	Zustandsgleichung des idealen Gases	606
20.6.2	Zustandsgleichung realer Gase	610
20.6.3	Zustandsgleichungen für Flüssigkeiten und Festkörper	615
21	Wärme, Energieumwandlung und Zustandsänderungen	618
21.1	Energieformen	618
21.1.1	Energieeinheiten	618
21.1.2	Arbeit	619
21.1.3	Chemisches Potential	620
21.1.4	Wärme	620
21.2	Energieumwandlung	622
21.2.1	Umwandlung von äquivalenten Energien in Wärme	622
21.2.2	Umwandlung von Wärme in andere Energieformen	625
21.2.3	Exergie und Anergie	626
21.3	Wärmekapazität	626
21.3.1	Totale Wärmekapazität	626

21.3.2	Molare Wärmekapazität	628
21.3.3	Spezifische Wärmekapazität	629
21.4	Zustandsänderungen	633
21.4.1	Reversible und irreversible Prozesse	633
21.4.2	Isothermer Prozess	634
21.4.3	Isobarer Prozess	635
21.4.4	Isochorer Prozess	636
21.4.5	Adiabatischer (isentrop) Prozess	636
21.4.6	Gleichgewichtszustände	639
21.5	Thermodynamische Hauptsätze	639
21.5.1	Nullter Hauptsatz	639
21.5.2	Erster Hauptsatz	640
21.5.3	Zweiter Hauptsatz	642
21.5.4	Dritter Hauptsatz	643
21.6	Carnotscher Kreisprozess	643
21.6.1	Prinzip und Anwendung	643
21.6.2	Reduzierte Wärme	646
21.7	Thermodynamische Maschinen	647
21.7.1	Rechts- und linkslaufende Prozesse	647
21.7.2	Wärmepumpe und Kältemaschine	648
21.7.3	Stirling-Prozess	649
21.7.4	Dampfmaschine	650
21.7.5	Offene Systeme	651
21.7.6	Otto- und Diesel-Motor	652
21.7.7	Gasturbinen	654
21.8	Gasverflüssigung	655
21.8.1	Herstellung tiefer Temperaturen	655
21.8.2	Joule-Thomson-Effekt	656
22	Phasenumwandlungen, Reaktionen und Wärmeausgleich	659
22.1	Phase und Aggregatzustand	659
22.1.1	Phase	659
22.1.2	Aggregatzustände	659
22.1.3	Aggregatumsänderungen	660
22.1.4	Dampf	661
22.2	Ordnung von Phasenübergängen	662
22.2.1	Phasenübergang erster Ordnung	662
22.2.2	Phasenübergang zweiter Ordnung	663
22.2.3	Lambda-Übergänge	663
22.2.4	Phasenkoexistenzgebiet	664
22.2.5	Kritische Indizes	665
22.3	Phasenübergang und Van-der-Waals-Gas	665
22.3.1	Phasengleichgewicht	665
22.3.2	Maxwell-Konstruktion	666
22.3.3	Siedeverzug und Kondensationsverzögerung	668

XII INHALTSVERZEICHNIS

22.3.4	Gesetz der übereinstimmenden Zustände	669
22.4	Beispiele für Phasenübergänge	669
22.4.1	Magnetische Phasenumwandlungen	669
22.4.2	Ordnungs-Unordnungs-Phasenübergänge	670
22.4.3	Umwandlungen der Kristallstruktur	670
22.4.4	Flüssige Kristalle	672
22.4.5	Supraleitung	672
22.4.6	Suprafluidität	672
22.5	Mehrkomponentige Gase	673
22.5.1	Partialdruck und Daltonsches Gesetz	674
22.5.2	Euler-Gleichung und Gibbs-Duhem-Relation	674
22.6	Mehrphasensysteme	675
22.6.1	Phasengleichgewicht	675
22.6.2	Gibbsche Phasenregel	676
22.6.3	Clausius-Clapeyron-Gleichung	676
22.7	Dampfdruck von Lösungen	677
22.7.1	Raoult'sches Gesetz	677
22.7.2	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktniedrigung	678
22.7.3	Henry-Dalton-Gesetz	679
22.7.4	Dampf-Luft-Gemische (feuchte Luft)	679
22.8	Chemische Reaktionen	683
22.8.1	Stöchiometrie	684
22.8.2	Phasenregel bei chemischen Reaktionen	685
22.8.3	Massenwirkungsgesetz	685
22.8.4	pH-Wert und Löslichkeitsprodukt	687
22.9	Temperaturausgleich	688
22.9.1	Mischungstemperatur zweier Systeme	688
22.9.2	Reversible und irreversible Prozessführung	689
22.10	Wärmeübertragung	690
22.10.1	Wärmestrom	690
22.10.2	Wärmeübergang	691
22.10.3	Wärmeleitung	693
22.10.4	Wärmewiderstand	696
22.10.5	Wärmedurchgang	698
22.10.6	Wärmestrahlung	702
22.10.7	Strahlungsaufnahme	702
22.11	Wärme- und Massentransport	704
22.11.1	Fouriersches Gesetz	704
22.11.2	Kontinuitätsgleichung	705
22.11.3	Wärmeleitungsgleichung	706
22.11.4	Ficksches Gesetz und Diffusionsgleichung	706
22.11.5	Lösung von Wärmeleitungs- und Diffusionsgleichung	707

23 Tabellen zur Thermodynamik	712
23.1 Charakteristische Temperaturen	712
23.1.1 Einheiten und Eichpunkte	712
23.1.2 Schmelz- und Siedepunkte	713
23.1.3 Curie- und Néel-Temperaturen	721
23.2 Kenngrößen realer Gase	722
23.3 Thermische Eigenschaften der Stoffe	723
23.3.1 Viskosität	723
23.3.2 Ausdehnung, Wärmekapazität und thermische Leitfähigkeit	723
23.4 Wärmeübertragung	729
23.5 Praktische Korrekturdaten	731
23.5.1 Druckmessung	731
23.5.2 Volumenmessungen – Umrechnung auf Standardtemperatur	735
23.6 Erzeugung flüssiger Tieftemperaturbäder	736
23.7 Trockenmittel	736
23.8 Dampfdruck	737
23.8.1 Lösungen	737
23.8.2 Relative Feuchte	737
23.8.3 Dampfdruck von Wasser	738
23.9 Spezifische Enthalpien	740
 V Quantenphysik	 743
24 Photonen - Elektromagnetische Strahlung und Lichtquanten	743
24.1 Plancksches Strahlungsgesetz	743
24.2 Photoelektrischer Effekt	746
24.3 Compton-Effekt	747
 25 Materiewellen - Wellenmechanik der Teilchen	 750
25.1 Wellennatur der Teilchen	750
25.2 Heisenbergsche Unschärferelation	751
25.3 Wellenfunktion und Observable	752
25.4 Schrödingergleichung	759
25.4.1 Stückweise konstante Potentiale	761
25.4.2 Harmonischer Oszillator	765
25.4.3 Pauli-Prinzip	767
25.5 Spin und magnetische Momente	768
25.5.1 Spin	768
25.5.2 Magnetische Momente	770
 26 Atom- und Molekülphysik	 773
26.1 Grundbegriffe der Spektroskopie	774
26.2 Wasserstoffatom	776
26.2.1 Bohrsche Postulate	777
26.3 Stationäre Zustände und Quantenzahlen im Zentralfeld	781

XIV INHALTSVERZEICHNIS

26.4	Vielelektronenatome	785
26.5	Röntgenstrahlen	790
26.5.1	Anwendung von Röntgenstrahlen	792
26.6	Molekülspektren	793
26.7	Atome in äußeren Feldern	796
26.8	Periodensystem der Elemente	798
26.9	Wechselwirkung von Photonen mit Atomen und Molekülen	800
26.9.1	Spontane und induzierte Emission	800
27	Elementarteilchenphysik - das Standard-Modell	803
27.1	Vereinheitlichung der Wechselwirkungen	803
27.1.1	Standard-Modell	803
27.1.2	Feldquanten oder Eichbosonen	806
27.1.3	Fermionen und Bosonen	808
27.2	Leptonen, Quarks und Vektorbosonen	810
27.2.1	Leptonen	810
27.2.2	Quarks	811
27.2.3	Hadronen	813
27.2.4	Beschleuniger und Detektoren	817
27.3	Symmetrien und Erhaltungssätze	819
27.3.1	Paritätserhaltung und schwache Wechselwirkung	819
27.3.2	Ladungserhaltung und Paarbildung	820
27.3.3	Ladungskonjugation und Antiteilchen	822
27.3.4	Zeitumkehr-Invarianz und Umkehrreaktionen	822
27.3.5	Erhaltungssätze	823
27.3.6	Jenseits des Standard-Modells	823
28	Kernphysik	825
28.1	Bausteine des Atomkerns	825
28.2	Grundgrößen des Atomkerns	828
28.3	Nukleon-Nukleon-Wechselwirkung	830
28.3.1	Phänomenologische Nukleon-Nukleon-Potentiale	830
28.3.2	Mesonenaustauschpotentiale	831
28.4	Kernmodelle	832
28.4.1	Fermigas-Modell	832
28.4.2	Kernmaterie	832
28.4.3	Tröpfchen-Modell	833
28.4.4	Schalenmodell	834
28.4.5	Kollektivmodell	837
28.5	Kernreaktionen	839
28.5.1	Reaktionskanäle und Wirkungsquerschnitte	839
28.5.2	Erhaltungssätze in Kernreaktionen	842
28.5.3	Elastische Streuung	845
28.5.4	Compoundkernreaktion	845
28.5.5	Optisches Modell	848

28.5.6	Direkte Reaktion	849
28.5.7	Schwerionenreaktionen	850
28.5.8	Kernspaltung	852
28.6	Kernzerfall	854
28.6.1	Zerfallsgesetz	855
28.6.2	α -Zerfall	858
28.6.3	β -Zerfall	860
28.6.4	γ -Zerfall	862
28.6.5	Emission von Nukleonen und Nukleonenclustern	863
28.7	Kernreaktor	864
28.7.1	Reaktortypen	865
28.8	Kernfusion	867
28.9	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	870
28.9.1	Ionisierende Teilchen	870
28.9.2	γ -Strahlung	873
28.10	Dosimetrie	875
28.10.1	Dosismessverfahren	878
28.10.2	Umweltradioaktivität	880
29	Festkörperphysik	883
29.1	Struktur fester Körper	883
29.1.1	Einige Grundbegriffe der Festkörperphysik	883
29.1.2	Struktur der Kristalle	884
29.1.3	Bravais-Gitter	886
29.1.4	Methoden der Strukturuntersuchung	890
29.1.5	Bindungsverhältnisse in Kristallen	892
29.2	Gitterfehler	895
29.2.1	Punktfehler	895
29.2.2	Eindimensionale Defekte	897
29.2.3	Zweidimensionale Gitterfehler	899
29.2.4	Amorphe Festkörper	899
29.3	Mechanische Eigenschaften von Werkstoffen	900
29.3.1	Makromolekulare Festkörper	901
29.3.2	Verbundwerkstoffe	904
29.3.3	Legierungen	905
29.3.4	Flüssigkristalle	907
29.4	Phononen und Gitterschwingungen	908
29.4.1	Elastische Wellen	908
29.4.2	Phononen und spezifische Wärmekapazität	912
29.4.3	Einstein-Modell	913
29.4.4	Debye-Modell	914
29.4.5	Wärmeleitung	916
29.5	Elektronen im Festkörper	918
29.5.1	Freies Elektronengas	918
29.5.2	Bändermodell	923

XVI INHALTSVERZEICHNIS

29.6	Halbleiter	928
29.6.1	Störstellenleitung	930
29.6.2	Halbleiterdiode	933
29.6.3	Transistor	940
29.6.4	Unipolare (Feldeffekt-)Transistoren	947
29.6.5	Thyristor	950
29.6.6	Integrierte Schaltkreise (IC)	952
29.6.7	Operationsverstärker	955
29.7	Supraleitung	961
29.7.1	Grundlegende Eigenschaften der Supraleitung	961
29.7.2	Hochtemperatur-Supraleiter	965
29.8	Magnetische Eigenschaften	967
29.8.1	Ferromagnetismus	969
29.8.2	Antiferromagnetismus und Ferrimagnetismus	972
29.9	Dielektrische Eigenschaften	973
29.9.1	Paraelektrika	976
29.9.2	Ferroelektrika	977
29.10	Optische Eigenschaften von Kristallen	978
29.10.1	Exzitonen und ihre Eigenschaften	978
29.10.2	Photoleitfähigkeit	980
29.10.3	Lumineszenz	981
29.10.4	Optoelektronische Eigenschaften	981
Formelzeichentabelle Mikrophysik		983
30	Tabellen zur Quantenphysik	988
30.1	Ionisationspotentiale	988
30.2	Atom- und Ionenradien der Elemente	993
30.3	Elektronenemission	995
30.4	Röntgenstrahlung	999
30.5	Kernreaktionen	999
30.6	Wechselwirkung der Strahlung mit Materie	1000
30.7	Halleffekt	1001
30.8	Supraleiter	1002
30.9	Halbleiter	1004
30.9.1	Thermische, magnetische und elektrische Eigenschaften von Halbleitern	1004
VI	Anhang	1006
31	Messungen und Messfehler	1006
31.1	Beschreibung von Messungen	1006
31.1.1	Größen und SI-Einheiten	1006
31.2	Fehlerrechnung und Statistik	1009
31.2.1	Fehlerarten	1009
31.2.2	Mittelwerte von Messreihen	1010

31.2.3	Streuung	1012
31.2.4	Korrelation	1013
31.2.5	Ausgleichsrechnung, Regression	1014
31.2.6	Häufigkeitsverteilungen	1014
31.2.7	Zuverlässigkeit	1019
32	Vektorrechnung	1022
32.1	Vektoren	1022
32.2	Multiplikation mit einem Skalar	1023
32.3	Addition und Subtraktion von Vektoren	1023
32.4	Multiplikation von Vektoren	1024
33	Differential- und Integralrechnung	1027
33.1	Differentialrechnung	1027
33.1.1	Differentiationsregeln	1027
33.2	Integralrechnung	1028
33.2.1	Integrationsregeln	1029
33.3	Ableitungen und Integrale elementarer Funktionen	1030
34	Tabellen zum SI-System	1031