

Inhaltsverzeichnis

Einführung

1	Was ist „Physik“? Wege physikalischer Erkenntnisgewinnung	15
2	Physikalische Größen, Einheiten, Dimensionen, Gleichungen	16
2.1	Größen, Einheiten, Dimensionen	16
2.2	Physikalische Gleichungen	18

TEILCHEN

Mechanik der Punktmasse und des starren Körpers

3	Kinematik der Punktmasse	19
3.1	Raum, Zeit, Bezugssystem	19
3.2	Die gleichförmige Bewegung	21
3.3	Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung	22
3.4	Freier Fall. Senkrechter Wurf	25
3.5	Allgemeine Definition von Geschwindigkeit und Beschleunigung. Ungleichmäßig beschleunigte Bewegung	27
3.6	Geschwindigkeit und Beschleunigung als Vektoren. Zusammengesetzte Bewegungen (Superposition)	29
3.7	Die gleichförmige Kreisbewegung	31
3.8	Die ungleichförmige Kreisbewegung	34
3.9	Bewegung auf beliebig krummliniger Bahn	36
4	Dynamik der Punktmasse	37
4.1	Der Kraftbegriff in der Physik. Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften. Statisches Gleichgewicht	38
4.2	Das Trägheitsgesetz (1. NEWTONsches Axiom)	40
4.3	Das Grundgesetz der Dynamik (2. NEWTONsches Axiom)	40
4.4	Träge und schwere Masse. Gewichtskraft. Radialkraft	41
4.5	Kraftstoß. Impuls (Bewegungsgröße)	43
4.6	Lösung der Bewegungsgleichung für konstante Kraft. Die Wurfbewegung	45
4.7	Das Wechselwirkungsgesetz (3. NEWTONsches Axiom)	48
4.8	Reibungskräfte	49
5	Bewegte Bezugssysteme	51
5.1	Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme. Trägheitskräfte	52
5.2	Gleichförmig rotierende Bezugssysteme. Zentrifugalkraft, CORIOLIS-Kraft	54
5.3	Inertialsysteme. Relativitätsprinzip der klassischen Mechanik	57

6	Grundzüge der speziellen Relativitätstheorie	58
6.1	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die LORENTZ-Transformation	58
6.2	Folgerungen aus der LORENTZ-Transformation	62
6.3	Relativistische Bewegungsgleichung	63
7	Arbeit und Energie	64
7.1	Arbeit	64
7.2	Leistung. Wirkung	68
7.3	Der Energiebegriff. Potentielle und kinetische Energie	69
7.4	Das Gesetz von der Erhaltung der Energie (Energiesatz)	70
7.5	Äquivalenz von Masse und Energie	71
8	Gravitation	73
8.1	Die KEPLERSchen Gesetze der Planetenbewegung und das Gravitationsgesetz	73
8.2	Arbeit gegen die Schwerkraft. Kosmische Geschwindigkeiten	75
9	Dynamik der Punktmassen-Systeme	77
9.1	Impulserhaltungssatz. Massenmittelpunkt	77
9.2	Die Gesetze des Stoßes	79
9.3	Raketenantrieb	83
10	Statik des starren Körpers	85
10.1	Freiheitsgrade des starren Körpers	85
10.2	Kräfte am starren Körper. Drehmoment. Gleichgewichtsbedingungen	85
10.3	Kräftepaar	89
10.4	Der Schwerpunkt	90
10.5	Arten des Gleichgewichts	92
11	Dynamik des starren Körpers	92
11.1	Bewegung eines frei beweglichen Körpers bei Einwirkung einer Kraft	92
11.2	Kinetische Energie der Drehbewegung. Massenträgheitsmoment	93
11.3	Arbeit und Leistung bei der Drehbewegung. Grundgesetz der Dynamik	95
11.4	Der Drehimpuls (Drall). Drehimpulserhaltungssatz	97
11.5	Kreiselbewegungen. Freie Achsen	98
11.6	Bewegung des symmetrischen Kreisels	100

KONTINUA

Mechanik der deformierbaren Medien

12	Die Zustandsformen der Stoffe	103
13	Der deformierbare feste Körper	104
13.1	Elastische Verformung. HOOKEsches Gesetz	104
13.2	Querkontraktion. Kompressibilität	105
13.3	Elastisches Verhalten bei Scherbeanspruchung	107
13.4	Der einachsige Spannungszustand	107
13.5	Zusammenhang zwischen Schubmodul, Elastizitätsmodul und POISSONScher Querkontraktionszahl	108
13.6	Plastische Verformung. Spannungs-Dehnungs-Diagramm	109

14	Ruhende Flüssigkeiten und Gase	111
14.1	Druck in Flüssigkeiten (hydrostatischer Druck)	111
14.2	Schweredruck. Auftrieb. Schwimmstabilität	112
14.3	Druck in Gasen. Zusammenhang zwischen Druck, Volumen und Dichte	114
14.4	Schweredruck in Gasen. Barometrische Höhenformel	116
14.5	Erscheinungen an Grenzflächen. Kohäsion und Adhäsion	117
14.6	Spezifische Oberflächenenergie, Oberflächenspannung	118
14.7	Benetzung und Kapillarwirkung	119
15	Strömende Flüssigkeiten und Gase (Strömungsmechanik)	121
15.1	Das Strömungsfeld. Kennzeichnung und Einteilung von Strömungen	121
15.2	Strömungen idealer Flüssigkeiten und Gase. Kontinuitätsgleichung	123
15.3	Die BERNOULLISCHE Gleichung. Druckmessung	125
15.4	Strömungen realer Flüssigkeiten und Gase. Laminare Strömung	128
15.5	Gesetze von HAGEN-POISEUILLE und STOKES	129
15.6	Umströmung durch reale Flüssigkeiten und Gase. REYNOLDS-Zahl	131
15.7	Die Bewegungsgleichung eines Fluids	133

WÄRME

Thermodynamik und Gaskinetik

16	Verhalten der Körper bei Temperaturänderung	137
16.1	Die Temperatur und ihre Messung	137
16.2	Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper	139
16.3	Durch Änderung der Temperatur bewirkte Zustandsänderungen der Gase. Der absolute Nullpunkt	141
16.4	Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	144
17	Der I. Hauptsatz der Thermodynamik (Energiesatz)	145
17.1	Wärmemenge und Wärmekapazität	145
17.2	Innere Energie eines Systems. Formulierung des I. Hauptsatzes	147
17.3	Spezifische Wärmekapazität des idealen Gases. Kalorische Zustandsgleichung	149
17.4	Anwendung des I. Hauptsatzes auf spezielle Zustandsänderungen des idealen Gases	151
17.5	Zustandsänderungen des idealen Gases in offenen Systemen. Technische Arbeit. Enthalpie	155
18	Kinetische Gastheorie	157
18.1	Die Masse der Atome und Moleküle	157
18.2	Druck und mittlere quadratische Geschwindigkeit der Gasmoleküle. Grundgleichung der kinetischen Gastheorie	158
18.3	Die Geschwindigkeitsverteilung der Gasmoleküle	161
18.4	Molekularenergie und Temperatur. Wärmekapazität der Körper	163
18.5	Stoßzahl und mittlere freie Weglänge	165
18.6	Gemische idealer Gase. Gesetz von DALTON	166
19	Der II. Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiesatz)	168
19.1	Der CARNOT-Kreisprozess. Wärmekraftmaschine, Kältemaschine und Wärmepumpe	168
19.2	Thermodynamische Temperatur	172
19.3	Reversible und irreversible Vorgänge. II. Hauptsatz	172
19.4	Entropie	174
19.5	Entropieänderung des idealen Gases. Irreversible Prozesse	178
19.6	Entropie und Wahrscheinlichkeit	180

19.7	III. Hauptsatz (Satz von der Unerreichbarkeit des absoluten Nullpunkts)	182
20	Reale Gase. Phasenumwandlungen	183
20.1	Die VAN-DER-WAALSsche Zustandsgleichung. Gasverflüssigung	183
20.2	JOULE-THOMSON-Effekt. Erzeugung tiefer Temperaturen	186
20.3	Gleichgewicht zwischen flüssiger und gasförmiger Phase. Sieden und Verdunsten	188
20.4	Gleichgewicht zwischen fester und flüssiger Phase. Koexistenz dreier Phasen	192
20.5	Lösungen. Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktniedrigung	194
21	Ausgleichsvorgänge	196
21.1	Wärmeleitung	196
21.2	Wärmeübergang, Wärmedurchgang, Konvektion	199
21.3	Diffusion	200

FELDER

Gravitation. Elektrizität und Magnetismus

22	Das Gravitationsfeld	203
22.1	Fernwirkung und Nahwirkung. Der Feldbegriff	203
22.2	Gravitationsfeldstärke, Gravitationspotential	205
22.3	Massen als Senken des Gravitationsfeldes	208
23	Das elektrostatische Feld	209
23.1	Die elektrische Ladung. Ladungsnachweis	210
23.2	Ladungen als Quellen bzw. Senken des elektrischen Feldes	211
23.3	Kraftwirkungen des elektrischen Feldes. Elektrische Feldstärke	212
23.4	Elektrostatisches Potential. Spannung	214
23.5	Elektrische Ladungen auf Leitern. Influenz	216
23.6	Elektrischer Fluss, Flussdichte	218
23.7	Das elektrische Zentralfeld (Punktladung und Punktladungssystem)	219
23.8	Kapazität. Kondensatoren	221
24	Das elektrische Feld in Isolatoren (Dielektrika)	223
24.1	Elektrische Polarisation der Dielektrika. Piezoelektrizität	223
24.2	Permittivität (Dielektrizitätskonstante), elektrische Suszeptibilität	224
24.3	Verhalten von D und E an der Grenzfläche zweier Medien	226
24.4	Energieinhalt des elektrischen Feldes	228
25	Der Gleichstromkreis	229
25.1	Das stationäre elektrische Feld in einem Leiter	229
25.2	Stromstärke, Spannung, Widerstand. OHMSches Gesetz	229
25.3	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen. KIRCHHOFFsche Gesetze	232
25.4	Arbeit und Leistung elektrischer Gleichströme	235
26	Elektrische Leitungsvorgänge in Festkörpern und Flüssigkeiten	235
26.1	Klassische Theorie der freien Elektronen in Metallen	236
26.2	Thermoelektrische Effekte	238
26.3	Elektrokinetische Effekte	239
26.4	Elektrolytische Stromleitung. FARADAYSche Gesetze	239
26.5	Elektrochemische Spannungsquellen	241

27	Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und in Gasen	242
27.1	Bewegung freier Ladungsträger im elektrischen Feld	242
27.2	Ladungsträgerinjektion, Katodenstrahlen	244
27.3	Gasentladungen	245
27.4	Plasmaströme	248
28	Das magnetostatische Feld der Dipole und Gleichströme	248
28.1	Analogien und Unterschiede zum elektrostatischen Feld	248
28.2	Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf magnetische Dipole. Magnetische Feldstärke	250
28.3	Das Magnetfeld eines geraden Stromleiters. Durchflutungsgesetz	250
28.4	Einfache Feldberechnungen	252
28.5	Magnetische Flussdichte (Induktion)	253
28.6	Kraftwirkungen des magnetischen Feldes auf Stromleiter	254
28.7	Bewegung freier Ladungsträger im magnetischen Feld. LORENTZ-Kraft	256
28.8	Galvano- und thermomagnetische Effekte. HALL-Effekt	258
29	Das magnetische Feld in Stoffen	259
29.1	Magnetische Polarisation der Stoffe	259
29.2	Magnetisierung der Ferromagnetika. Hysteresese	260
29.3	Der magnetische Kreis. Entmagnetisierung	262
30	Elektromagnetische Induktion	264
30.1	Das FARADAYSche Induktionsgesetz	264
30.2	Selbstinduktion	266
30.3	Energieinhalt des magnetischen Feldes	268
30.4	Elektromagnetische Induktion in einem bewegten Leiter	268
31	Der Wechselstromkreis	270
31.1	Wechselspannung, Wechselstrom, Dreiphasenstrom	270
31.2	Arbeit und Leistung elektrischer Wechselströme	272
31.3	Wechselstromwiderstände. OHMSches Gesetz für Wechselstrom	273
31.4	Der Transformator	278
31.5	Anharmonische Wechselströme in der Elektronik	279
31.6	Gleichrichter und Verstärker. Elektronische Bauelemente	280
32	Die Maxwell'schen Gleichungen	283
32.1	Wirbel des magnetischen Feldes. Verschiebungsstrom	283
32.2	Wirbel des elektrischen Feldes. Wirbelströme	285
32.3	Elektromagnetisches Feld. System der MAXWELLSchen Gleichungen	286
32.4	Relativistische Elektrodynamik	287

WELLEN

Mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen

33	Mechanische Schwingungen	289
33.1	Lineare Federschwingungen	290
33.2	Energiebilanz des harmonischen Oszillators	292
33.3	Drehschwingungen	294
33.4	Pendelschwingungen	295
33.5	Freie gedämpfte Schwingungen	297
33.6	Erzwungene Schwingungen	299

34	Elektrische Schwingungen	302
34.1	Der geschlossene Schwingkreis	302
34.2	Strom- und Spannungsresonanz	305
34.3	Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen	308
35	Überlagerung harmonischer Schwingungen	309
35.1	Überlagerung zweier Schwingungen längs gleicher Richtung	309
35.2	Gekoppelte Schwingungen	311
35.3	Überlagerung zweier Schwingungen längs aufeinander senkrechter Richtungen	314
35.4	Überlagerung von harmonischen zu anharmonischen Schwingungen	316
35.5	Nichtlineare Schwingungen. Deterministisches Chaos	319
36	Allgemeine Wellenlehre	322
36.1	Zusammenhang von Schwingungen und Wellen	322
36.2	Die eindimensionale Wellengleichung und ihre allgemeine Lösung	325
36.3	Transversal- und Longitudinalwellen	326
36.4	Stehende Wellen. Eigenschwingungen	328
36.5	Wellenausbreitung in ausgedehnten Medien	331
37	Schallwellen (Akustik)	333
37.1	Wellenausbreitung im Schallfeld. Phasengeschwindigkeit	333
37.2	Schallfeldgrößen	335
37.3	Schallquellen. Ton, Klang, Geräusch	337
37.4	Schallempfänger und Gehör. Schallpegel und Lautstärke	338
37.5	Stehende Schallwellen	340
37.6	DOPPLER-Effekt	341
37.7	MACHscher Kegel	343
38	Elektromagnetische Wellen	343
38.1	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen entlang von Leitungen	343
38.2	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im freien Raum	346
38.3	Erzeugung und Nachweis elektromagnetischer Wellen	349
38.4	Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen (H. HERTZ, 1888)	351
38.5	Das elektromagnetische Spektrum	352
39	Einfluss von Stoffen auf die Wellenausbreitung	354
39.1	Absorption und Streuung	354
39.2	Phasengeschwindigkeit und Dispersion. Gruppengeschwindigkeit	355
39.3	HUYGENSSches Prinzip	358
39.4	Reflexion und Brechung (Refraktion). Totalreflexion	359
39.5	Optische Dispersion. Prisma, Spektral- und Körperfarben	362
40	Strahlenoptik (Geometrische Optik)	364
40.1	Lichtstrahlen. FERMATSches Prinzip	364
40.2	Reflexion und Brechung von Lichtstrahlen	366
40.3	Abbildung durch Spiegel (ebener und gekrümmte Spiegel)	368
40.4	Abbildung durch Linsen (dünne und dicke Linsen, Linsensysteme)	372
40.5	Das Auge und der Sehvorgang	377
40.6	Optische Geräte zur Sehwinkelvergrößerung (Lupe, Mikroskop, Fernrohr)	378
40.7	Abbildungsfehler	380
41	Wellenoptik	381
41.1	Interferenz. Interferenzbedingungen	381
41.2	Interferenzen gleicher Neigung und gleicher Dicke	383

41.3	Beugung (Diffraktion). Das Beugungsphänomen	385
41.4	FRAUNHOFERSche Beugung am Spalt und an der Lochblende	387
41.5	Auflösungsvermögen optischer Geräte. Holografie	389
41.6	FRAUNHOFERSche Beugung am Strichgitter	392
41.7	Spektrometer	394
41.8	Beugung von Röntgenstrahlen am Raumgitter der Kristalle	396
41.9	Polarisation. Polarisation des Lichts durch Reflexion und Brechung	399
41.10	Polarisation durch Doppelbrechung	401
41.11	Interferenz des polarisierten Lichts	403
41.12	Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichts	407
41.13	Nichtlineare Optik	407

QUANTEN

Struktur und Eigenschaften der Materie

42	Die Gesetze der Strahlung	409
42.1	Das Wesen der Temperaturstrahlung (Wärmestrahlung)	409
42.2	Strahlungsphysikalische Größen	410
42.3	Emission und Absorption von Strahlung. KIRCHHOFFsches Strahlungsgesetz	412
42.4	Das PLANCKsche Strahlungsgesetz	414
42.5	Folgerungen aus dem PLANCKschen Strahlungsgesetz	415
42.6	Lichttechnische Größen (Photometrie)	418
42.7	Zusammenhang zwischen strahlungsphysikalischen und lichttechnischen Größen	420
43	Der Welle-Teilchen-Dualismus der Mikroobjekte	421
43.1	Die Teilchennatur des Lichts. Lichtquanten (Photonen)	421
43.2	Der lichtelektrische Effekt (Photoeffekt)	422
43.3	Der COMPTON-Effekt	424
43.4	Rückstoß durch Quantenemission. MÖSSBAUER-Effekt	426
43.5	Die Wellennatur der Teilchen	428
43.6	Das HEISENBERGsche Unbestimmtheitsprinzip (Unschärferelation)	431
44	Atombau und Spektren	433
44.1	Die Streuexperimente von LENARD und RUTHERFORD. Das RUTHERFORDsche Atommodell	433
44.2	Das Spektrum des Wasserstoffatoms	435
44.3	Das BOHRsche Atommodell	437
44.4	Die Spektren der Alkaliatome. Bahndrehimpulsquantenzahl	441
44.5	Richtungsquantelung des Bahndrehimpulses der Elektronen	443
44.6	Das magnetische Bahnmoment der Elektronen. BOHRsches Magneton	444
44.7	Elektronenspin und magnetisches Spinnmoment. Die Feinstruktur der Atomspektren	445
44.8	Mehrelektronensysteme	447
44.9	Aufspaltung der Spektrallinien im Magnetfeld (ZEEMAN-Effekt)	448
44.10	Das PAULI-Prinzip und das Periodensystem der Elemente	450
44.11	Die Röntgenspektren und ihre Deutung	453
44.12	Absorption und Streuung von Röntgenstrahlen	455
44.13	Induzierte Emission. Maser und Laser	459
45	Wellenmechanik	461
45.1	Die SCHRÖDINGER-Gleichung	461
45.2	Elektron im Kastenpotential	463
45.3	Das wellenmechanische Bild des Atoms	465
45.4	Der Tunneleffekt	466

46	Elektrische und magnetische Eigenschaften von Festkörpern	468
46.1	Elektrische Leitfähigkeit. Das Modell des Elektronengases	468
46.2	Bändermodell des Festkörpers. Metalle, Halbleiter, Isolatoren	469
46.3	Elektrische Ströme in Halbleitern. Eigenleitung, Störstellenleitung	472
46.4	Der pn-Übergang	475
46.5	Halbleiterdiode, Transistor	477
46.6	Magnetische Eigenschaften. Dia- und Paramagnetismus	479
46.7	Ferromagnetismus, Antiferro- und Ferrimagnetismus	480
46.8	Supraleitung	483
46.9	Supraflüssigkeit	485
47	Atomkerne	486
47.1	Masse, Ladung und Zusammensetzung der Kerne	486
47.2	Isotope	487
47.3	Isobare, Isotone, Nuklide, Isomere	488
47.4	Massendefekt und Bindungsenergie der Kerne	488
47.5	Stabilitätskriterien. Kernsystematik	490
47.6	Kernkräfte	492
47.7	Kernmodelle	493
48	Die natürliche Radioaktivität	494
48.1	Der α -Zerfall der schweren Kerne	494
48.2	Der β -Zerfall. Gammastrahlung	495
48.3	Das Zerfallsgesetz. Spezifische Aktivität	497
48.4	Radioaktive Zerfallsreihen und radioaktives Gleichgewicht	499
48.5	Dosimetrie und biologische Wirkung ionisierender Strahlung	500
49	Künstliche Kernumwandlungen	502
49.1	Arten künstlicher Kernumwandlungen	502
49.2	Massen- und Energiebilanz von Kernreaktionen. Wirkungsquerschnitt	503
49.3	Kernspaltung. Gewinnung von Kernspaltungsenergie	504
49.4	Arten von Kernreaktoren	506
49.5	Kernfusion	507
50	Elementarteilchen	508
50.1	Entwicklung zum Teilchen-„Zoo“	508
50.2	Erhaltungssätze für Baryonenladung, Leptonenladung, Isospin, Strangeness und Hyperladung	509
50.3	Die elementaren Teilchen: Leptonen und Quarks	511
50.4	Zusammengesetzte Elementarteilchen. Hadronen	513
50.5	Die elementaren Kräfte (Wechselwirkungen). Feldquanten	513
50.6	Vereinheitlichte Theorie der elementaren Kräfte (Supersymmetrie, Theory of Everything)	516
50.7	Kosmologie	517
	ANHANG: Fehlerrechnung (Messabweichungen)	518
	Bildquellenverzeichnis	528
	Lösungen der Aufgaben	529
	Sachwortverzeichnis	534