

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Überblick	1
1.1	Die Bedeutung des Experimentes	3
1.2	Der Modellbegriff in der Physik	4
1.3	Historischer Rückblick	6
1.3.1	Die antike Naturphilosophie	6
1.3.2	Die Entwicklung der klassischen Physik	8
1.3.3	Die moderne Physik	10
1.4	Unser heutiges physikalisches Weltbild	11
1.5	Beziehungen zwischen Physik und Nachbarwissenschaften	14
1.5.1	Biophysik und medizinische Physik	15
1.5.2	Astrophysik	15
1.5.3	Geophysik und Meteorologie	16
1.5.4	Physik und Technik	16
1.5.5	Physik und Philosophie	17
1.6	Die Grundgrößen in der Physik, ihre Normale und Messverfahren	17
1.6.1	Längeneinheiten	18
1.6.2	Messverfahren für Längen	20
1.6.3	Zeiteinheiten	22
1.6.4	Zeitmessungen	24
1.6.5	Masseneinheiten und ihre Messung	25
1.6.6	Stoffmengeneinheit	26
1.6.7	Temperatureinheit	26
1.6.8	Einheit der elektrischen Stromstärke	26
1.6.9	Einheit der Lichtstärke	27
1.6.10	Winkелеinheiten	27
1.7	Maßsysteme	28
1.8	Messgenauigkeit und Messfehler	29
1.8.1	Systematische Fehler	29
1.8.2	Statistische Fehler. Messwertverteilung und Mittelwert	29
1.8.3	Streuungsmaße	31
1.8.4	Fehlerverteilungsgesetz	31
1.8.5	Fehlerfortpflanzung	33
1.8.6	Ausgleichsrechnung	35
	Zusammenfassung	36
	Aufgaben	37
	Literatur	38
2	Mechanik eines Massenpunktes	41
2.1	Das Modell des Massenpunktes. Bahnkurve	43
2.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung	44
2.3	Gleichförmig beschleunigte Bewegung	45
2.3.1	Der freie Fall	46
2.3.2	Der schräge Wurf	46
2.4	Bewegungen mit nicht-konstanter Beschleunigung	47
2.4.1	Die gleichförmige Kreisbewegung	47
2.4.2	Die allgemeine krummlinige Bewegung	48
2.5	Kräfte	50
2.5.1	Kräfte als Vektoren. Addition von Kräften	50
2.5.2	Kraftfelder	51
2.5.3	Messung von Kräften. Diskussion des Kraftbegriffes	52

2.6	Die Grundgleichungen der Mechanik	53
2.6.1	Die Newton'schen Axiome	53
2.6.2	Träge und schwere Masse	55
2.6.3	Die Bewegungsgleichung eines Teilchens in einem beliebigen Kraftfeld	56
2.7	Der Energiesatz der Mechanik	59
2.7.1	Arbeit und Leistung	59
2.7.2	Wegunabhängige Arbeit. Konservative Kraftfelder	61
2.7.3	Potentielle Energie	62
2.7.4	Der Energiesatz der Mechanik	63
2.7.5	Zusammenhang zwischen Kraftfeld und Potential	64
2.8	Drehimpuls und Drehmoment	65
2.9	Gravitation und Planetenbewegungen	67
2.9.1	Die Kepler'schen Gesetze	67
2.9.2	Newtons Gravitationsgesetz	68
2.9.3	Planetenbahnen	69
2.9.4	Das effektive Potential	71
2.9.5	Gravitationsfeld ausgedehnter Körper	72
2.9.6	Experimentelle Prüfung des Gravitationsgesetzes	74
2.9.7	Experimentelle Bestimmung der Erdbeschleunigung	78
	Zusammenfassung	80
	Aufgaben	81
	Literatur	83
3	Bewegte Bezugssysteme und spezielle Relativitätstheorie	85
3.1	Relativbewegung	87
3.2	Inertialsysteme und Galilei-Transformation	87
3.3	Beschleunigte Bezugssysteme, Trägheitskräfte	88
3.3.1	Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme	89
3.3.2	Rotierende Bezugssysteme	90
3.3.3	Zentrifugal- und Corioliskräfte	92
3.3.4	Zusammenfassung	96
3.4	Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	96
3.5	Lorentz-Transformationen	97
3.6	Spezielle Relativitätstheorie	99
3.6.1	Das Problem der Gleichzeitigkeit	99
3.6.2	Minkowski-Diagramme	100
3.6.3	Skalenlängen	101
3.6.4	Lorentz-Kontraktion von Längen	102
3.6.5	Zeitdilatation	103
3.6.6	Zwillings-Paradoxon	104
3.6.7	Raumzeit-Ereignisse und Kausalität	107
	Zusammenfassung	108
	Aufgaben	108
	Literatur	109
4	Systeme von Massenpunkten. Stöße	111
4.1	Grundbegriffe	112
4.1.1	Massenschwerpunkt	112
4.1.2	Reduzierte Masse	113
4.1.3	Drehimpuls eines Teilchensystems	114
4.2	Stöße zwischen zwei Teilchen	116
4.2.1	Grundgleichungen	116
4.2.2	Elastische Stöße im Laborsystem	117
4.2.3	Elastische Stöße im Schwerpunktsystem	120

4.2.4	Inelastische Stöße	122
4.2.5	Newton-Diagramme	123
4.3	Was lernt man aus der Untersuchung von Stößen?	124
4.3.1	Streuung in einem kugelsymmetrischen Potential	124
4.3.2	Reaktive Stöße	127
4.4	Stöße bei relativistischen Energien	128
4.4.1	Relativistische Massenzunahme	128
4.4.2	Kraft und relativistischer Impuls	129
4.4.3	Die relativistische Energie	130
4.4.4	Inelastische Stöße bei relativistischen Energien	131
4.4.5	Relativistischer Energiesatz	132
4.5	Erhaltungssätze	133
4.5.1	Impulserhaltungssatz	133
4.5.2	Energieerhaltungssatz	133
4.5.3	Drehimpulserhaltung	134
4.5.4	Erhaltungssätze und Symmetrien	134
	Zusammenfassung	135
	Aufgaben	136
	Literatur	137
5	Dynamik starrer ausgedehnter Körper	139
5.1	Das Modell des starren Körpers	141
5.2	Massenschwerpunkt	142
5.3	Die Bewegung eines starren Körpers	142
5.4	Kräfte und Kräftepaare	143
5.5	Trägheitsmoment und Rotationsenergie	145
5.5.1	Steiner'scher Satz	145
5.6	Bewegungsgleichung der Rotation eines starren Körpers	148
5.6.1	Rotation um eine Achse bei konstantem Drehmoment	148
5.6.2	Drehschwingungen um eine feste Achse	150
5.6.3	Vergleich von Translation und Rotation	150
5.7	Rotation um freie Achsen; Kreiselbewegungen	151
5.7.1	Trägheitstensor und Trägheitsellipsoid	151
5.7.2	Hauptträgheitsmomente	153
5.7.3	Freie Achsen	155
5.7.4	Die Euler'schen Gleichungen	156
5.7.5	Der kräftefreie symmetrische Kreisel	156
5.7.6	Präzession des symmetrischen Kreisels	158
5.7.7	Überlagerung von Nutation und Präzession	160
5.8	Die Erde als symmetrischer Kreisel	161
	Zusammenfassung	163
	Aufgaben	164
	Literatur	165
6	Reale feste und flüssige Körper	167
6.1	Atomares Modell der Aggregatzustände	169
6.2	Deformierbare feste Körper	171
6.2.1	Hooke'sches Gesetz	171
6.2.2	Querkontraktion	172
6.2.3	Scherung und Torsionsmodul	173
6.2.4	Biegung eines Balkens	175
6.2.5	Elastische Hysterese, Deformationsarbeit	177
6.2.6	Die Härte eines Festkörpers	177

6.3	Ruhende Flüssigkeiten, Hydrostatik	178
6.3.1	Freie Verschiebbarkeit und Oberflächen von Flüssigkeiten	178
6.3.2	Statischer Druck in einer Flüssigkeit	179
6.3.3	Auftrieb und Schwimmen	182
6.4	Phänomene an Flüssigkeitsgrenzflächen	183
6.4.1	Oberflächenspannung	183
6.4.2	Grenzflächen und Haftspannung	185
6.4.3	Kapillarität	187
6.4.4	Zusammenfassung	188
6.5	Reibung zwischen festen Körpern	188
6.5.1	Haftreibung	188
6.5.2	Gleitreibung	190
6.5.3	Rollreibung	190
6.5.4	Bedeutung der Reibung in der Technik	191
6.6	Die Erde als deformierbarer Körper	192
6.6.1	Polabplattung der rotierenden Erde	193
6.6.2	Gezeitenverformung	193
6.6.3	Wirkungen der Gezeiten	196
6.6.4	Messung der Erdverformung	197
	Zusammenfassung	198
	Aufgaben	199
	Literatur	200
7	Gase	201
7.1	Makroskopische Betrachtung	202
7.2	Luftdruck und barometrische Höhenformel	203
7.3	Kinetische Gastheorie	206
7.3.1	Das Modell des idealen Gases	206
7.3.2	Grundgleichungen der kinetischen Gastheorie	207
7.3.3	Mittlere kinetische Energie und absolute Temperatur	207
7.3.4	Verteilungsfunktion	208
7.3.5	Maxwell-Boltzmann'sche Geschwindigkeitsverteilung	210
7.3.6	Stoßquerschnitt und mittlere freie Weglänge	213
7.4	Experimentelle Prüfung der kinetischen Gastheorie	214
7.4.1	Molekularstrahlen	215
7.5	Transportprozesse in Gasen	216
7.5.1	Diffusion	217
7.5.2	Brown'sche Bewegung	219
7.5.3	Wärmeleitung in Gasen	220
7.5.4	Viskosität von Gasen	222
7.5.5	Zusammenfassung	223
7.6	Die Erdatmosphäre	223
	Zusammenfassung	226
	Aufgaben	227
	Literatur	228
8	Strömende Flüssigkeiten und Gase	229
8.1	Grundbegriffe und Strömungstypen	231
8.2	Euler-Gleichung für ideale Flüssigkeiten	233
8.3	Kontinuitätsgleichung	234
8.4	Bernoulli-Gleichung	235
8.5	Laminare Strömungen	238
8.5.1	Innere Reibung	238
8.5.2	Laminare Strömung zwischen zwei parallelen Wänden	240
8.5.3	Laminare Strömungen durch Rohre	241
8.5.4	Kugelfall-Viskosimeter, Stokes'sches Gesetz	242

8.6	Navier-Stokes-Gleichung	243
8.6.1	Wirbel und Zirkulation	243
8.6.2	Helmholtz'sche Wirbelsätze	245
8.6.3	Die Entstehung von Wirbeln	246
8.6.4	Turbulente Strömungen; Strömungswiderstand	247
8.7	Aerodynamik	249
8.7.1	Der dynamische Auftrieb	249
8.7.2	Zusammenhang zwischen dynamischem Auftrieb und Strömungswiderstand	250
8.7.3	Kräfte beim Fliegen	251
8.8	Ähnlichkeitsgesetze; Reynolds'sche Zahl	252
8.9	Nutzung der Windenergie	253
	Zusammenfassung	262
	Aufgaben	263
	Literatur	264
9	Vakuum-Physik	267
9.1	Grundlagen und Grundbegriffe	268
9.1.1	Die verschiedenen Vakuumbereiche	268
9.1.2	Einfluss der Wandbelegung	269
9.1.3	Saugvermögen und Saugleistung von Pumpen	270
9.1.4	Strömungsleitwerte von Vakuumleitungen	270
9.1.5	Erreichbarer Enddruck	271
9.2	Vakuumerzeugung	272
9.2.1	Mechanische Pumpen	272
9.2.2	Diffusionspumpen	276
9.2.3	Kryo- und Sorptionspumpen	278
9.3	Messung kleiner Drücke	279
9.3.1	Flüssigkeitsdruckmessgeräte	280
9.3.2	Membranmanometer	280
9.3.3	Wärmeleitungsmanometer	281
9.3.4	Ionisations- und Penning-Vakuummeter	281
9.3.5	Reibungsvakuummeter	282
	Zusammenfassung	283
	Aufgaben	283
	Literatur	284
10	Wärmelehre	285
10.1	Temperatur und Wärmeenergie	287
10.1.1	Temperaturmessung, Thermometer und Temperaturskala	287
10.1.2	Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper	289
10.1.3	Thermische Ausdehnung von Gasen, Gasthermometer	292
10.1.4	Absolute Temperaturskala	293
10.1.5	Wärmemenge und spezifische Wärme	294
10.1.6	Molvolumen und Avogadro-Konstante	295
10.1.7	Innere Energie und molare Wärmekapazität idealer Gase	296
10.1.8	Spezifische Wärme eines Gases bei konstantem Druck	297
10.1.9	Molekulare Deutung der spezifischen Wärme	297
10.1.10	Spezifische Wärmekapazität fester Körper	299
10.1.11	Schmelzwärme und Verdampfungswärme	300
10.2	Wärmetransport	301
10.2.1	Konvektion	301
10.2.2	Wärmeleitung	302
10.2.3	Das Wärmerohr (Heatpipe)	306
10.2.4	Methoden der Wärmeisolierung	307

10.2.5	Wärmestrahlung	309
10.2.6	Thermische Solarenergienutzung	315
10.3	Die Hauptsätze der Thermodynamik	316
10.3.1	Zustandsgrößen	317
10.3.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	318
10.3.3	Spezielle Prozesse als Beispiele für den ersten Hauptsatz	319
10.3.4	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	321
10.3.5	Der Carnot'sche Kreisprozess	321
10.3.6	Äquivalente Formulierungen des zweiten Hauptsatzes	324
10.3.7	Die Entropie	325
10.3.8	Reversible und irreversible Prozesse	328
10.3.9	Freie Energie und Enthalpie	330
10.3.10	Chemische Reaktionen	331
10.3.11	Thermodynamische Potentiale; Zusammenhang zwischen Zustandsgrößen	332
10.3.12	Gleichgewichts-Zustände	332
10.3.13	Der dritte Hauptsatz (Nernst'sches Theorem)	333
10.3.14	Thermodynamische Maschinen	335
10.4	Thermodynamik realer Gase und Flüssigkeiten	340
10.4.1	Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung	340
10.4.2	Stoffe in verschiedenen Aggregatzuständen	342
10.4.3	Lösungen und Mischzustände	349
10.5	Vergleich der verschiedenen Zustandsänderungen	351
10.6	Energiequellen und Energie-Umwandlung	351
10.6.1	Wasserkraftwerke	353
10.6.2	Gezeitenkraftwerke	354
10.6.3	Wellenkraftwerk	354
10.6.4	Geothermie-Kraftwerke	355
10.6.5	Solar-thermische Kraftwerke	356
10.6.6	Photovoltaik Anlagen	357
10.6.7	Bio-Energie	357
10.6.8	Energiespeicher	358
	Zusammenfassung	359
	Aufgaben	360
	Literatur	361
11	Mechanische Schwingungen und Wellen	363
11.1	Der freie ungedämpfte Oszillator	365
11.2	Darstellung von Schwingungen	366
11.3	Überlagerung von Schwingungen	367
11.3.1	Eindimensionale Überlagerungen	367
11.3.2	Zweidimensionale Überlagerung, Lissajous-Figuren	370
11.4	Der freie gedämpfte Oszillator	372
11.4.1	$\gamma < \omega_0$, d. h. schwache Dämpfung	372
11.4.2	$\gamma > \omega_0$, d. h. starke Dämpfung	373
11.4.3	$\gamma = \omega_0$	373
11.5	Erzwungene Schwingungen	374
11.5.1	Stationärer Zustand	375
11.5.2	Einschwingvorgang	377
11.6	Energiebilanz bei der Schwingung eines Massenpunktes	378
11.7	Parametrischer Oszillator	379
11.8	Gekoppelte Oszillatoren	380
11.8.1	Gekoppelte Federpendel	380
11.8.2	Erzwungene Schwingungen zweier gekoppelter Pendel	382
11.8.3	Normalschwingungen	383

11.9	Mechanische Wellen	384
11.9.1	Verschiedene Darstellungen harmonischer ebener Wellen	384
11.9.2	Zusammenfassung	386
11.9.3	Allgemeine Darstellung beliebiger Wellen. Wellengleichung	386
11.9.4	Verschiedene Wellentypen	387
11.9.5	Ausbreitung von Wellen in verschiedenen Medien	389
11.9.6	Energiedichte und Energietransport in einer Welle	395
11.9.7	Dispersion, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	396
11.10	Überlagerung von Wellen	398
11.10.1	Kohärenz und Interferenz	398
11.10.2	Überlagerung zweier harmonischer Wellen	399
11.11	Beugung, Reflexion und Brechung von Wellen	400
11.11.1	Huygens'sches Prinzip	401
11.11.2	Beugung an Begrenzungen	402
11.11.3	Zusammenfassung	403
11.11.4	Reflexion und Brechung von Wellen	404
11.12	Stehende Wellen	405
11.12.1	Eindimensionale stehende Wellen	405
11.12.2	Experimentelle Demonstration stehender Wellen	406
11.12.3	Zweidimensionale Eigenschwingungen von Membranen	407
11.13	Wellen bei bewegten Quellen	409
11.13.1	Doppler-Effekt	409
11.13.2	Wellenfronten bei bewegten Quellen	410
11.13.3	Stoßwellen	412
11.14	Akustik	412
11.14.1	Definitionen	412
11.14.2	Druckamplitude und Energiedichte von Schallwellen	413
11.14.3	Erzeugung von Schallwellen	414
11.14.4	Schalldetektoren	415
11.14.5	Ultraschall	415
11.14.6	Anwendungen des Ultraschalls	416
11.14.7	Verfahren der Ultraschalldiagnostik	417
11.15	Physik der Musikinstrumente	418
11.15.1	Einteilung der Musikinstrumente	418
11.15.2	Akkorde, Tonleitern und Stimmungen	419
11.15.3	Physik der Geige	420
11.15.4	Physik beim Klavierspiel	422
	Zusammenfassung	423
	Aufgaben	424
	Literatur	425
12	Nichtlineare Dynamik und Chaos	427
12.1	Stabilität dynamischer Systeme	430
12.2	Logistisches Wachstumsgesetz und Feigenbaum-Diagramm	434
12.3	Parametrischer Oszillator	436
12.4	Bevölkerungsexplosion	437
12.5	Systeme mit verzögerter Rückkopplung	439
12.6	Selbstähnlichkeit	440
12.7	Fraktale	441
12.8	Mandelbrot-Mengen	442
12.9	Folgerungen für unser Weltverständnis	446
	Zusammenfassung	446
	Aufgaben	447
	Literatur	448

13	Anhang	449
13.1	Vektorrechnung	450
13.1.1	Definition des Vektors	450
13.1.2	Darstellung von Vektoren	450
13.1.3	Polare und axiale Vektoren	451
13.1.4	Addition von Vektoren	451
13.1.5	Multiplikation von Vektoren	452
13.1.6	Differentiation von Vektoren	453
13.2	Koordinatensysteme	455
13.2.1	Kartesische Koordinaten	456
13.2.2	Zylinderkoordinaten	456
13.2.3	Sphärische Koordinaten (Kugelkoordinaten)	457
13.3	Komplexe Zahlen	458
13.3.1	Rechenregeln für komplexe Zahlen	458
13.3.2	Polardarstellung	459
13.4	Fourieranalyse	459
14	Lösungen der Übungsaufgaben	461
14.1	Kapitel 1	462
14.2	Kapitel 2	463
14.3	Kapitel 3	466
14.4	Kapitel 4	469
14.5	Kapitel 5	472
14.6	Kapitel 6	474
14.7	Kapitel 7	475
14.8	Kapitel 8	478
14.9	Kapitel 9	481
14.10	Kapitel 10	482
14.11	Kapitel 11	486
14.12	Kapitel 12	490
	Serviceteil	495
	Stichwortverzeichnis	496