

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Überblick

1.1	Die Bedeutung des Experimentes	1
1.2	Der Modellbegriff in der Physik	3
1.3	Historischer Rückblick	5
1.3.1	Die antike Naturphilosophie	5
1.3.2	Die Entwicklung der klassischen Physik	7
1.3.3	Die moderne Physik	9
1.4	Unser heutiges physikalisches Weltbild	11
1.5	Beziehungen zwischen Physik und Nachbarwissenschaften	15
1.5.1	Biophysik und medizinische Physik	15
1.5.2	Astrophysik	16
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	18
1.6.1	Längeneinheiten	19
1.6.2	Meßverfahren für Längen	20
1.6.3	Zeiteinheiten	22
1.6.4	Zeitmessungen	25
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	27
1.6.9	Winkleinheiten	27
1.7	Maßsysteme	28
1.8	Meßgenauigkeit und Meßfehler	28
1.8.1	Systematische Fehler	28
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	34
	Zusammenfassung	36
	Übungsaufgaben	37

2. Mechanik eines Massenpunktes

2.1	Das Modell des Massenpunktes. Bahnkurve	39
2.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung	41
2.3	Gleichförmig beschleunigte Bewegung	42
2.3.1	Der freie Fall	43
2.3.2	Der schräge Wurf	43
2.4	Bewegungen mit nicht-konstanter Beschleunigung	44
2.4.1	Die gleichförmige Kreisbewegung	44
2.4.2	Die allgemeine krummlinige Bewegung	45
2.5	Kräfte	47
2.5.1	Kräfte als Vektoren. Addition von Kräften	48
2.5.2	Kraftfelder	48
2.5.3	Messung von Kräften. Diskussion des Kraftbegriffes	50
2.6	Die Grundgleichungen der Mechanik	51
2.6.1	Die Newtonschen Axiome	51
2.6.2	Träge und schwere Masse	52
2.6.3	Die Bewegungsgleichung eines Teilchens in einem beliebigen Kraftfeld	53
2.7	Der Energiesatz der Mechanik	56
2.7.1	Arbeit und Leistung	56
2.7.2	Wegunabhängige Arbeit. Konservative Kraftfelder	58
2.7.3	Potentielle Energie	60
2.7.4	Der Energiesatz der Mechanik	61
2.7.5	Zusammenhang zwischen Kraftfeld und Potential	62
2.8	Drehimpuls und Drehmoment	63
2.9	Gravitation und Planetenbewegungen	65
2.9.1	Die Keplerschen Gesetze	65
2.9.2	Newtons Gravitationsgesetz	67
2.9.3	Planetenbahnen	68
2.9.4	Das effektive Potential	70
2.9.5	Gravitationsfeld ausgedehnter Körper	71
2.9.6	Experimentelle Prüfung des Gravitationsgesetzes	74
2.9.7	Experimentelle Bestimmung der Erdbeschleunigung	75
	Zusammenfassung	78
	Übungsaufgaben	79

3. Bewegte Bezugssysteme und spezielle Relativitätstheorie

3.1	Relativbewegung	83
3.2	Inertialsysteme und Galilei-Transformation	83
3.3	Beschleunigte Bezugssysteme, Trägheitskräfte	85
3.3.1	Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme	85
3.3.2	Rotierende Bezugssysteme	87
3.3.3	Zentrifugal- und Corioliskräfte	89
3.3.4	Zusammenfassung	91
3.4	Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	92
3.5	Lorentz-Transformationen	93

3.6	Spezielle Relativitätstheorie	95
3.6.1	Das Problem der Gleichzeitigkeit	95
3.6.2	Minkowski-Diagramme	96
3.6.3	Lorentz-Kontraktion von Längen	98
3.6.4	Zeitdilatation	99
3.6.5	Zwillings-Paradoxon	101
3.6.6	Raumzeit-Ereignisse und Kausalität	103
	Zusammenfassung	105
	Übungsaufgaben	105
4.	Systeme von Massenpunkten. Stöße	
4.1	Grundbegriffe	107
4.1.1	Massenschwerpunkt	107
4.1.2	Reduzierte Masse	108
4.1.3	Drehimpuls eines Teilchensystems	109
4.2	Stöße zwischen zwei Teilchen	111
4.2.1	Grundgleichungen	112
4.2.2	Elastische Stöße im Laborsystem	113
4.2.3	Elastische Stöße im Schwerpunktsystem	115
4.2.4	Inelastische Stöße	117
4.2.5	Newton-Diagramme	119
4.3	Was lernt man aus der Untersuchung von Stößen?	120
4.3.1	Streuung in einem Potential	120
4.4	Stöße bei relativistischen Energien	123
4.4.1	Relativistische Massenzunahme	123
4.4.2	Kraft und relativistischer Impuls	125
4.4.3	Die relativistische Energie	126
4.4.4	Inelastische Stöße bei relativistischen Energien	127
4.4.5	Relativistischer Energiesatz	128
4.5	Erhaltungssätze	129
4.5.1	Impulserhaltungssatz	129
4.5.2	Energieerhaltungssatz	129
4.5.3	Drehimpulserhaltung	130
4.5.4	Erhaltungssätze und Symmetrien	130
	Zusammenfassung	132
	Übungsaufgaben	133
5.	Dynamik starrer ausgedehnter Körper	
5.1	Das Modell des starren Körpers	135
5.2	Massenschwerpunkt	136
5.3	Die Bewegung eines starren Körpers	137
5.4	Kräfte und Kräftepaare	137
5.5	Trägheitsmoment und Rotationsenergie	139
5.5.1	Steinerscher Satz	140
5.6	Bewegungsgleichung der Rotation eines starren Körpers	143

5.6.1	Rotation um eine Achse bei konstantem Drehmoment	143
5.6.2	Drehschwingungen um eine feste Achse	144
5.6.3	Vergleich von Translation und Rotation	145
5.7	Rotation um freie Achsen; Kreiselbewegungen	145
5.7.1	Trägheitstensor und Trägheitsellipsoid	146
5.7.2	Hauptträgheitsmomente	148
5.7.3	Freie Achsen	150
5.7.4	Die Eulerschen Gleichungen	151
5.7.5	Der kräftefreie symmetrische Kreisel	152
5.7.6	Präzession des symmetrischen Kreisels	154
5.8	Die Erde als symmetrischer Kreisel	156
	Zusammenfassung	159
	Übungsaufgaben	160

6. Reale feste und flüssige Körper

6.1	Atomares Modell der Aggregatzustände	161
6.2	Deformierbare feste Körper	163
6.2.1	Hookesches Gesetz	163
6.2.2	Querkontraktion	165
6.2.3	Scherung und Torsionsmodul	166
6.2.4	Biegung eines Balkens	167
6.2.5	Elastische Hysterese, Deformationsarbeit	170
6.2.6	Die Härte eines Festkörpers	171
6.3	Ruhende Flüssigkeiten, Hydrostatik	171
6.3.1	Freie Verschiebbarkeit und Oberflächen von Flüssigkeiten	171
6.3.2	Statischer Druck in einer Flüssigkeit	172
6.3.3	Auftrieb und Schwimmen	175
6.4	Phänomene an Flüssigkeitsgrenzflächen	176
6.4.1	Oberflächenspannung	176
6.4.2	Grenzflächen und Haftspannung	178
6.4.3	Kapillarität	181
6.4.4	Zusammenfassung	182
6.5	Reibung zwischen festen Körpern	182
6.5.1	Haftreibung	182
6.5.2	Gleitreibung	183
6.5.3	Rollreibung	184
6.5.4	Bedeutung der Reibung in der Technik	185
6.6	Die Erde als deformierbarer Körper	186
6.6.1	Polabplattung der rotierenden Erde	186
6.6.2	Gezeitenverformung	187
6.6.3	Wirkungen der Gezeiten	191
6.6.4	Messung der Erdverformung	191
	Zusammenfassung	193
	Übungsaufgaben	194

7. Gase

7.1	Makroskopische Betrachtung	195
7.2	Luftdruck und barometrische Höhenformel	196
7.3	Kinetische Gastheorie	198
7.3.1	Das Modell des idealen Gases	198
7.3.2	Grundgleichungen der kinetischen Gastheorie	199
7.3.3	Mittlere kinetische Energie und absolute Temperatur	200
7.3.4	Verteilungsfunktion	201
7.3.5	Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung ...	202
7.3.6	Stoßquerschnitt und mittlere freie Weglänge	205
7.4	Experimentelle Prüfung der kinetischen Gastheorie	207
7.4.1	Molekularstrahlen	207
7.5	Transportprozesse in Gasen	209
7.5.1	Diffusion	210
7.5.2	Brownsche Bewegung	212
7.5.3	Wärmeleitung in Gasen	213
7.5.4	Viskosität von Gasen	215
7.5.5	Zusammenfassung	215
7.6	Die Erdatmosphäre	216
	Zusammenfassung	218
	Übungsaufgaben	219

8. Strömende Flüssigkeiten und Gase

8.1	Grundbegriffe und Strömungstypen	221
8.2	Euler-Gleichung für ideale Flüssigkeiten	223
8.3	Kontinuitätsgleichung	224
8.4	Bernoulli-Gleichung	225
8.5	Laminare Strömungen	229
8.5.1	Innere Reibung	229
8.5.2	Laminare Strömung zwischen zwei parallelen Wänden	232
8.5.3	Laminare Strömungen durch Rohre	232
8.5.4	Kugelfall-Viskosimeter, Stokessches Gesetz	233
8.6	Navier-Stokes-Gleichung	234
8.6.1	Wirbel und Zirkulation	235
8.6.2	Helmholtzsche Wirbelsätze	237
8.6.3	Die Entstehung von Wirbeln	238
8.6.4	Turbulente Strömungen; Strömungswiderstand	239
8.7	Aerodynamik	241
8.7.1	Der dynamische Auftrieb	241
8.7.2	Zusammenhang zwischen dynamischem Auftrieb und Strömungswiderstand	243
8.7.3	Kräfte beim Fliegen	244
8.8	Ähnlichkeitsgesetze; Reynoldssche Zahl	245
	Zusammenfassung	246
	Übungsaufgaben	247

9. Vakuumphysik

9.1	Grundlagen und Grundbegriffe	249
9.1.1	Die verschiedenen Vakuumbereiche	249
9.1.2	Einfluß der Wandbelegung	250
9.1.3	Saugvermögen und Saugleistung von Pumpen	251
9.1.4	Strömungsleitwerte von Vakuumleitungen	252
9.1.5	Erreichbarer Enddruck	253
9.2	Vakuumerzeugung	254
9.2.1	Mechanische Pumpen	254
9.2.2	Diffusionspumpen	258
9.2.3	Kryo- und Sorptionspumpen	260
9.3	Messung kleiner Drücke	262
9.3.1	Flüssigkeitsdruckmeßgeräte	262
9.3.2	Membranmanometer	263
9.3.3	Wärmeleitungsmanometer	263
9.3.4	Ionisations- und Penning-Vakuummeter	264
9.3.5	Reibungsvakuummeter	265
	Zusammenfassung	266
	Übungsaufgaben	266

10. Wärmelehre

10.1	Temperatur und Wärmemenge	269
10.1.1	Temperaturmessung, Thermometer und Temperaturskala	270
10.1.2	Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper	272
10.1.3	Thermische Ausdehnung von Gasen, Gasthermometer ...	275
10.1.4	Absolute Temperaturskala	276
10.1.5	Wärmemenge und spezifische Wärme	276
10.1.6	Molvolumen und Avogadro-Konstante	278
10.1.7	Innere Energie und spezifische Molwärme idealer Gase	279
10.1.8	Molekulare Deutung der spezifischen Wärme	279
10.1.9	Spezifische Wärme eines Gases bei konstantem Druck	281
10.1.10	Spezifische Wärme fester Körper	282
10.1.11	Schmelzwärme und Verdampfungswärme	283
10.2	Wärmetransport	284
10.2.1	Konvektion	284
10.2.2	Wärmeleitung	285
10.2.3	Das Wärmerohr (Heatpipe)	290
10.2.4	Wärmestrahlung	291
10.2.5	Methoden der Wärmeisolierung	297
10.3	Die Hauptsätze der Thermodynamik	299
10.3.1	Zustandsgrößen	299
10.3.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	301

10.3.3	Spezielle Prozesse als Beispiele für den ersten Hauptsatz	301
10.3.4	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	303
10.3.5	Der Carnotsche Kreisprozeß	303
10.3.6	Äquivalente Formulierungen des zweiten Hauptsatzes ...	306
10.3.7	Die Entropie	307
10.3.8	Reversible und irreversible Prozesse	311
10.3.9	Thermodynamische Potentiale	312
10.3.10	Der dritte Hauptsatz (Nernstsches Theorem)	314
10.3.11	Thermodynamische Maschinen	316
10.4	Thermodynamik realer Gase und Flüssigkeiten	319
10.4.1	Van-der-Waalssche Zustandsgleichung	319
10.4.2	Stoffe in verschiedenen Aggregatzuständen	321
10.4.3	Lösungen und Mischzustände	328
	Zusammenfassung	331
	Übungsaufgaben	332

11. Mechanische Schwingungen und Wellen

11.1	Der freie ungedämpfte Oszillator	335
11.2	Darstellung von Schwingungen	336
11.3	Überlagerung von Schwingungen	337
11.3.1	Eindimensionale Überlagerungen	338
11.3.2	Zweidimensionale Überlagerung, Lissajous-Figuren	341
11.4	Der freie gedämpfte Oszillator	342
11.5	Erzwungene Schwingungen	345
11.6	Energiebilanz bei der Schwingung eines Massenpunktes	348
11.7	Parametrischer Oszillator	349
11.8	Gekoppelte Oszillatoren	351
11.8.1	Gekoppelte Federpendel	351
11.8.2	Erzwungene Schwingungen zweier gekoppelter Pendel	353
11.8.3	Normalschwingungen	354
11.9	Mechanische Wellen	355
11.9.1	Verschiedene Darstellungen harmonischer ebener Wellen	355
11.9.2	Zusammenfassung	357
11.9.3	Allgemeine Darstellung beliebiger Wellen; Wellengleichung	357
11.9.4	Verschiedene Wellentypen	358
11.9.5	Ausbreitung von Wellen in verschiedenen Medien	361
11.9.6	Energiedichte und Energietransport in einer Welle	366
11.9.7	Dispersion, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	367
11.10	Überlagerung von Wellen	369
11.10.1	Kohärenz und Interferenz	369
11.10.2	Überlagerung zweier harmonischer Wellen	370

11.11	Beugung, Reflexion und Brechung von Wellen	371
11.11.1	Huygensssches Prinzip	371
11.11.2	Beugung an Begrenzungen	373
11.11.3	Zusammenfassung	374
11.11.4	Reflexion und Brechung von Wellen	374
11.12	Stehende Wellen	376
11.12.1	Eindimensionale stehende Wellen	376
11.12.2	Experimentelle Demonstration stehender Wellen	377
11.12.3	Zweidimensionale Eigenschwingungen von Membranen	379
11.13	Wellen bei bewegten Quellen	381
11.13.1	Doppler-Effekt	381
11.13.2	Wellenfronten bei bewegten Quellen	382
11.13.3	Stoßwellen	383
11.14	Akustik	384
11.14.1	Definitionen	384
11.14.2	Druckamplitude und Energiedichte von Schallwellen	385
11.14.3	Erzeugung von Schallwellen	386
11.14.4	Schalldetektoren	386
11.15	Physik der Musikinstrumente	387
11.15.1	Einteilung der Musikinstrumente	387
11.15.2	Akkorde, Tonleitern und Stimmungen	388
11.15.3	Physik der Geige	389
11.15.4	Physik beim Klavierspiel	391
	Zusammenfassung	392
	Übungsaufgaben	394

12. Nichtlineare Dynamik und Chaos

12.1	Stabilität dynamischer Systeme	399
12.2	Logistisches Wachstumsgesetz und Feigenbaum-Diagramm	403
12.3	Parametrischer Oszillator	405
12.4	Bevölkerungsexplosion	406
12.5	Systeme mit verzögerter Rückkopplung	408
12.6	Selbstähnlichkeit	409
12.7	Fraktale	410
12.8	Mandelbrot-Mengen	411
12.9	Folgerungen für unser Weltverständnis	414
	Zusammenfassung	415
	Übungsaufgaben	416

Anhang

1.	Vektorrechnung	417
1.1	Definition des Vektors	417
1.2	Darstellung von Vektoren	417
1.2.1	Kartesische Koordinaten	417

1.2.2	Sphärische oder Polarkoordinaten	418
1.2.3	Zylindrische Koordinaten	418
1.3	Polare und axiale Vektoren	418
1.4	Addition von Vektoren	419
1.5	Multiplikation von Vektoren	419
1.5.1	Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar	419
1.5.2	Das Skalarprodukt	419
1.5.3	Das Vektorprodukt	420
1.5.4	Mehrfache Produkte	420
1.6	Differentiation von Vektoren	421
1.6.1	Vektorfelder	421
1.6.2	Differentiation eines Vektors nach einer skalaren Größe	421
1.6.3	Der Gradient einer skalaren Größe	422
1.6.4	Die Divergenz eines Vektorfeldes	422
1.6.5	Die Rotation eines Vektorfeldes	423
1.6.6	Mehrfach-Differentiationen	423
2.	Koordinatensysteme	424
2.1	Kartesische Koordinaten	424
2.2	Zylinderkoordinaten	424
2.3	Sphärische Koordinaten (Kugelkoordinaten)	425
3.	Komplexe Zahlen	426
3.1	Rechenregeln für komplexe Zahlen	427
3.2	Polardarstellung	428
4.	Fourieranalyse	428
Lösungen der Übungsaufgaben		429
Farbtafeln		461
Literaturverzeichnis		469
Sach- und Namenverzeichnis		475