

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	10
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	Temperatureinheit	26
1.6.7	Einheit der elektrischen Stromstärke	26
1.6.8	Winkeleinheiten	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	30
1.8.4	Fehlerverteilungsgesetz	31
1.8.5	Fehlerfortpflanzung	32
1.8.6	Ausgleichsrechnung	33

2. Mechanik eines Massenpunktes

2.1	Das Modell des Massenpunktes. Bahnkurve	37
2.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung	38

2.3	Bewegungsgleichung der gleichförmig beschleunigten Bewegung	40
2.3.1	Der freie Fall	41
2.3.2	Der schräge Wurf	41
2.4	Bewegungen mit nicht-konstanter Beschleunigung	42
2.4.1	Die gleichförmige Kreisbewegung	42
2.4.2	Die allgemeine krummlinige Bewegung	43
2.5	Kräfte	45
2.5.1	Kräfte als Vektoren. Addition von Kräften	45
2.5.2	Kraftfelder	46
2.5.3	Messung von Kräften. Diskussion des Kraftbegriffes	47
2.6	Die Grundgleichungen der Mechanik	48
2.6.1	Die Newtonschen Axiome	48
2.6.2	Träge und schwere Masse	50
2.6.3	Die Bewegungsgleichung eines Teilchens in einem beliebigen Kraftfeld	51
2.7	Der Energiesatz der Mechanik	54
2.7.1	Arbeit und Leistung	54
2.7.2	Wegunabhängige Arbeit. Konservative Kraftfelder	55
2.7.3	Potentielle Energie	57
2.7.4	Der Energiesatz der Mechanik	58
2.7.5	Zusammenhang zwischen Kraftfeld und Potential	59
2.8	Drehimpuls und Drehmoment	60
2.9	Gravitation und Planetenbewegungen	61
2.9.1	Die Keplerschen Gesetze	61
2.9.2	Newtons Gravitationsgesetz	63
2.9.3	Planetenbahnen	64
2.9.4	Das effektive Potential	66
2.9.5	Gravitationsfeld ausgedehnter Körper	67
2.9.6	Experimentelle Prüfung des Gravitationsgesetzes	70
2.9.7	Experimentelle Bestimmung der Erdbeschleunigung	72

3. Bewegte Bezugssysteme und spezielle Relativitätstheorie

3.1	Relativbewegung	77
3.2	Inertialsysteme und Galilei-Transformation	77
3.3	Beschleunigte Bezugssysteme, Trägheitskräfte	79
3.3.1	Geradlinig beschleunigte Bezugssysteme	79
3.3.2	Rotierende Bezugssysteme	81
3.3.3	Zentrifugal- und Corioliskräfte	83
3.3.4	Zusammenfassung	86
3.4	Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	86
3.5	Lorentz-Transformationen	87
3.6	Spezielle Relativitätstheorie	89
3.6.1	Das Problem der Gleichzeitigkeit	89
3.6.2	Minkowski-Diagramme	90
3.6.3	Lorentz-Kontraktion von Längen	92

3.6.4	Zeitdilatation	93
3.6.5	Zwillings-Paradoxon	95
3.6.6	Raumzeit-Ereignisse und Kausalität	98
4.	Systeme von Massenpunkten. Stöße	
4.1	Grundbegriffe	101
4.1.1	Schwerpunkt	101
4.1.2	Reduzierte Masse	102
4.1.3	Drehimpuls eines Teilchensystems	103
4.2	Stöße zwischen zwei Teilchen	105
4.2.1	Grundgleichungen	105
4.2.2	Elastische Stöße im Laborsystem	106
4.2.3	Elastische Stöße im Schwerpunktsystem	109
4.2.4	Inelastische Stöße	111
4.2.5	Newton-Diagramme	112
4.3	Was lernt man aus der Untersuchung von Stößen?	113
4.3.1	Streuung in einem Potential	114
4.4	Stöße bei relativistischen Energien	117
4.4.1	Relativistische Massenzunahme	117
4.4.2	Kraft und relativistischer Impuls	118
4.4.3	Die relativistische Energie	119
4.4.4	Unelastische Stöße bei relativistischen Energien	120
4.4.5	Relativistischer Energiesatz	121
5.	Dynamik starrer ausgedehnter Körper	
5.1	Das Modell des starren Körpers	125
5.2	Massenschwerpunkt	126
5.3	Die Bewegung eines starren Körpers	127
5.4	Kräfte und Kräftepaare	127
5.5	Trägheitsmoment und Rotationsenergie	129
5.5.1	Steinerscher Satz	130
5.6	Bewegungsgleichung der Rotation eines starren Körpers	132
5.6.1	Rotation um eine Achse bei konstantem Drehmoment	133
5.6.2	Drehschwingungen um eine feste Achse	134
5.6.3	Vergleich von Translation und Rotation	135
5.7	Rotation um freie Achsen. Kreiselbewegungen	135
5.7.1	Trägheitstensor und Trägheitsellipsoid	136
5.7.2	Hauptträgheitsmomente	137
5.7.3	Freie Achsen	139
5.7.4	Die Eulerschen Gleichungen	141
5.7.5	Der kräftefreie symmetrische Kreisel	141
5.7.6	Präzession des symmetrischen Kreisels	144
5.8	Die Erde als symmetrischer Kreisel	146

6. Reale feste und flüssige Körper

6.1	Atomares Modell der Aggregatzustände	151
6.2	Deformierbare feste Körper	153
6.2.1	Hookesches Gesetz	153
6.2.2	Querkontraktion	155
6.2.3	Scherung und Torsionsmodul	156
6.2.4	Biegung eines Balkens	157
6.2.5	Elastische Hysterese, Deformationsarbeit	159
6.2.6	Die Härte eines Festkörpers	160
6.3	Ruhende Flüssigkeiten, Hydrostatik	161
6.3.1	Freie Verschiebbarkeit und Oberflächen von Flüssigkeiten	161
6.3.2	Statischer Druck in einer Flüssigkeit	162
6.3.3	Auftrieb und Schwimmen	164
6.4	Phänomene an Flüssigkeitsgrenzflächen	165
6.4.1	Oberflächenspannung	166
6.4.2	Grenzflächen und Haftspannung	167
6.4.3	Kapillarität	170
6.4.4	Zusammenfassung	171
6.5	Reibung zwischen festen Körpern	171
6.5.1	Haftreibung	172
6.5.2	Gleitreibung	173
6.5.3	Rollreibung	173
6.5.4	Bedeutung der Reibung in der Technik	175
6.6	Die Erde als deformierbarer Körper	176
6.6.1	Polabplattungen der rotierenden Erde	176
6.6.2	Gezeitenverformung	177
6.6.3	Wirkungen der Gezeiten	180
6.6.4	Messung der Erdverformung	181

7. Gase

7.1	Makroskopische Betrachtung	183
7.2	Luftdruck und barometrische Höhenformel	184
7.3	Kinetische Gastheorie	186
7.3.1	Das Modell des idealen Gases	186
7.3.2	Grundgleichungen der kinetischen Gastheorie	186
7.3.3	Mittlere kinetische Energie und absolute Temperatur	187
7.3.4	Verteilungsfunktion	188
7.3.5	Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung	189
7.3.6	Stoßquerschnitt und mittlere freie Weglänge	192
7.4	Experimentelle Prüfung der kinetischen Gastheorie	194
7.4.1	Molekularstrahlen	194
7.5	Transportprozesse in Gasen	196
7.5.1	Diffusion	197

7.5.2	Brownsche Bewegung	199
7.5.3	Wärmeleitung in Gasen	200
7.5.4	Viskosität von Gasen	201
7.5.5	Zusammenfassung	202
7.6	Die Erdatmosphäre	203
8.	Strömende Flüssigkeiten und Gase	
8.1	Grundbegriffe und Strömungstypen	207
8.2	Euler-Gleichung für ideale Flüssigkeiten	209
8.3	Kontinuitätsgleichung	210
8.4	Bernoulli-Gleichung	211
8.5	Laminare Strömungen	215
8.5.1	Innere Reibung	215
8.5.2	Laminare Strömung zwischen zwei parallelen Wänden	217
8.5.3	Laminare Strömungen durch Rohre	218
8.5.4	Kugelfall-Viskosimeter, Stokessches Gesetz	219
8.6	Navier-Stokes-Gleichung	220
8.6.1	Wirbel und Zirkulation	220
8.6.2	Helmholtzsche Wirbelsätze	223
8.6.3	Die Entstehung von Wirbeln	223
8.6.4	Turbulente Strömungen. Strömungswiderstand	225
8.7	Aerodynamik	227
8.7.1	Der dynamische Auftrieb	227
8.7.2	Zusammenhang zwischen dynamischem Auftrieb und Strömungswiderstand	228
8.7.3	Kräfte beim Fliegen	229
8.8	Ähnlichkeitsgesetze, Reynoldssche Zahl	230
9.	Vakuum-Physik	
9.1	Grundlagen und Grundbegriffe	233
9.1.1	Die verschiedenen Vakuumbereiche	233
9.1.2	Einfluß der Wandbelegung	234
9.1.3	Saugvermögen und Saugleistung von Pumpen	235
9.1.4	Strömungsleitwerte von Vakuumleitungen	235
9.1.5	Erreichbarer Enddruck	237
9.2	Vakuum-Erzeugung	238
9.2.1	Mechanische Pumpen	238
9.2.2	Diffusionspumpen	242
9.2.3	Kryo- und Sorptionspumpen	243
9.3	Messung kleiner Drücke	245
9.3.1	Flüssigkeitsdruckmeßgeräte	246
9.3.2	Membranmanometer	247
9.3.3	Wärmeleitungsmanometer	247
9.3.4	Ionisations- und Penning-Vakuummeter	248
9.3.5	Reibungsvakuummeter	249

10. Mechanische Schwingungen und Wellen

10.1	Der freie ungedämpfte Oszillator	251
10.2	Darstellung von Schwingungen	252
10.3	Überlagerung von Schwingungen	253
10.3.1	Eindimensionale Überlagerungen	253
10.3.2	Zweidimensionale Überlagerung, Lissajous-Figuren . .	256
10.4	Der freie gedämpfte Oszillator	258
10.5	Erzwungene Schwingungen	260
10.6	Energiebilanz bei der Schwingung eines Massenpunktes	263
10.7	Parametrischer Oszillator	264
10.8	Gekoppelte Oszillatoren	266
10.8.1	Gekoppelte Federpendel	266
10.8.2	Erzwungene Schwingungen zweier gekoppelter Pendel	268
10.8.3	Normalschwingungen	269
10.9	Mechanische Wellen	270
10.9.1	Verschiedene Darstellungen harmonischer ebener Wellen	270
10.9.2	Zusammenfassung	272
10.9.3	Allgemeine Darstellung beliebiger Wellen. Wellengleichung	272
10.9.4	Verschiedene Wellentypen	273
10.9.5	Ausbreitung von Wellen in verschiedenen Medien . . .	276
10.9.6	Energiedichte und Energietransport in einer Welle . . .	281
10.9.7	Dispersion, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit . . .	281
10.10	Überlagerung von Wellen	284
10.10.1	Kohärenz und Interferenz	284
10.10.2	Überlagerung zweier harmonischer Wellen	284
10.11	Beugung, Reflexion und Brechung von Wellen	286
10.11.1	Huygenssches Prinzip	286
10.11.2	Beugung an Begrenzungen	288
10.11.3	Zusammenfassung	289
10.11.4	Reflexion und Brechung von Wellen	289
10.12	Stehende Wellen	290
10.12.1	Eindimensionale stehende Wellen	290
10.12.2	Experimentelle Demonstration stehender Wellen	292
10.12.3	Zweidimensionale Eigenschwingungen von Membranen	293
10.13	Wellen bei bewegten Quellen	295
10.13.1	Doppler-Effekt	295
10.13.2	Wellenfronten bei bewegten Quellen	296
10.13.3	Stoßwellen	297
10.14	Akustik	298
10.14.1	Definitionen	298
10.14.2	Druckamplitude und Energiedichte von Schallwellen .	299

10.14.3 Erzeugung von Schallwellen	300
10.14.4 Schalldetektoren	300
10.15 Physik der Musikinstrumente	301
10.15.1 Einteilung der Musikinstrumente	301
10.15.2 Akkorde, Tonleitern und Stimmungen	302
10.15.3 Physik der Geige	303
10.15.4 Physik beim Klavierspiel	305

11. Wärmelehre

11.1 Temperatur und Wärmemenge	309
11.1.1 Temperaturmessung, Thermometer und Temperaturskala	310
11.1.2 Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper	312
11.1.3 Thermische Ausdehnung von Gasen, Gasthermometer	315
11.1.4 Absolute Temperaturskala	316
11.1.5 Wärmemenge und spezifische Wärme	316
11.1.6 Molvolumen und Avogadro-Konstante	318
11.1.7 Innere Energie und spezifische Molwärme idealer Gase	318
11.1.8 Molekulare Deutung der spezifischen Wärme	319
11.1.9 Spezifische Wärme eines Gases bei konstantem Druck	320
11.1.10 Spezifische Wärme fester Körper	321
11.1.11 Schmelzwärme und Verdampfungswärme	322
11.2 Wärmetransport	323
11.2.1 Konvektion	323
11.2.2 Wärmeleitung	325
11.2.3 Das Wärmerohr (heatpipe)	329
11.2.4 Wärmestrahlung	330
11.2.5 Methoden der Wärmeisolierung	330
11.3 Die Hauptsätze der Thermodynamik	332
11.3.1 Zustandsgrößen	332
11.3.2 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	334
11.3.3 Spezielle Prozesse als Beispiele für den ersten Hauptsatz	334
11.3.4 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	336
11.3.5 Der Carnotsche Kreisprozeß	336
11.3.6 Äquivalente Formulierungen des zweiten Hauptsatzes	339
11.3.7 Die Entropie	340
11.3.8 Reversible und irreversible Prozesse	343
11.3.9 Thermodynamische Potentiale	344
11.3.10 Der dritte Hauptsatz (Nernstsches Theorem)	346
11.3.11 Thermodynamische Maschinen	348
11.4 Thermodynamik realer Gase und Flüssigkeiten	350
11.4.1 Van der Waalssche Zustandsgleichung	350
11.4.2 Stoffe in verschiedenen Aggregatzuständen	352
11.4.3 Lösungen und Mischzustände	359

12. Nichtlineare Dynamik und Chaos

12.1	Stabilität dynamischer Systeme	365
12.2	Logistisches Wachstumsgesetz und Feigenbaum-Diagramm . . .	368
12.3	Bevölkerungsexplosion	370
12.4	Selbstähnlichkeit	372
12.5	Fraktale	373
12.6	Mandelbrot-Mengen	374
12.7	Folgerungen für unser Weltverständnis	377

Anhang

1.	Vektorrechnung	381
1.1	Definition des Vektors	381
1.2	Darstellung von Vektoren	381
1.2.1	Kartesische Koordinaten	381
1.2.2	Sphärische oder Polarkoordinaten	382
1.2.3	Zylindrische Koordinaten	382
1.3	Polare und axiale Vektoren	382
1.4	Addition von Vektoren	383
1.5	Multiplikation von Vektoren	383
1.5.1	Multiplikation eines Vektors mit einem Skalar	383
1.5.2	Das Skalarprodukt	383
1.5.3	Das Vektorprodukt	384
1.5.4	Mehrfache Produkte	384
1.6	Differentiation von Vektoren	385
1.6.1	Vektorfelder	385
1.6.2	Differentiation eines Vektors nach einer skalaren Größe	385
1.6.3	Der Gradient einer skalaren Größe	386
1.6.4	Die Divergenz eines Vektorfeldes	386
1.6.5	Die Rotation eines Vektorfeldes	387
1.6.6	Mehrfach-Differentiationen	387
2.	Koordinatensysteme	387
2.1	Kartesische Koordinaten	388
2.2	Zylinderkoordinaten	388
2.3	Sphärische Koordinaten (Kugelkoordinaten)	389
3.	Komplexe Zahlen	390
3.1	Rechenregeln für komplexe Zahlen	391
3.2	Polardarstellung	391

Lösungen der Übungsaufgaben	393
--	------------

Farbtafeln	421
-----------------------------	------------

Literaturverzeichnis	429
---------------------------------------	------------

Sachwortverzeichnis	435
--------------------------------------	------------