

**Ekbert Hering · Rolf Martin
Martin Stohrer**

Physik für Ingenieure

12. Auflage

Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Physikalischer Erkenntnisprozess	1
1.2	Bereiche der physikalischen Erkenntnis	3
1.3	Physikalische Größen	6
1.3.1	Definition und Maßeinheit	6
1.3.2	Messgenauigkeit	7
1.3.3	Fehlerfortpflanzung	13
1.3.4	Kurvenanpassung	13
1.3.5	Ausgleichsgeradenkonstruktion	15
1.3.6	Korrelationsanalyse	16
1.3.7	Zur Übung	17
2	Mechanik	19
2.1	Einführung	19
2.2	Kinematik des Punktes	20
2.2.1	Eindimensionale Kinematik	21
2.2.2	Dreidimensionale Kinematik	26
2.2.3	Kreisbewegungen	29
2.2.4	Zur Übung	32
2.3	Grundgesetze der klassischen Mechanik	32
2.3.1	Konzept der klassischen Dynamik	32
2.3.2	Newton'sche Axiome	33
2.3.3	Masse	34
2.3.4	Kraft	34
2.3.5	Zur Übung	38
2.4	Dynamik in bewegten Bezugssystemen	38
2.4.1	Relativ zueinander geradlinig bewegte Bezugssysteme	38
2.4.2	Gleichförmig rotierende Bezugssysteme	40
2.4.3	Zur Übung	44
2.5	Impuls	44
2.5.1	Impuls eines materiellen Punktes	44
2.5.2	Impuls eines Systems materieller Punkte	45
2.5.3	Raketengleichung	47
2.5.4	Zur Übung	49
2.6	Arbeit und Energie	50

2.6.1	Arbeit	50
2.6.2	Leistung, Wirkungsgrad	52
2.6.3	Energie	54
2.6.4	Energieerhaltungssatz	54
2.6.5	Zur Übung	55
2.7	Stoßprozesse	55
2.7.1	Übersicht und Grundbegriffe	55
2.7.2	Gerader, zentraler, elastischer Stoß	56
2.7.3	Gerader, zentraler, unelastischer Stoß	58
2.7.4	Schiefe, zentrale Stöße	60
2.7.5	Zur Übung	61
2.8	Drehbewegungen	61
2.8.1	Drehmoment	61
2.8.2	Newton'sches Aktionsgesetz der Drehbewegung . .	62
2.8.3	Arbeit, Leistung und Energie bei der Drehbewegung	63
2.8.4	Drehbewegungen von Systemen materieller Punkte	64
2.8.5	Analogie Translation und Rotation	65
2.8.6	Zur Übung	66
2.9	Mechanik starrer Körper	67
2.9.1	Freiheitsgrade und Kinematik	67
2.9.2	Kräfte am starren Körper	68
2.9.3	Schwerpunkt und potenzielle Energie eines starren Körpers	71
2.9.4	Kinetische Energie eines starren Körpers	72
2.9.5	Massenträgheitsmomente starrer Körper	74
2.9.6	Kreisel	80
2.9.7	Zur Übung	85
2.10	Gravitation	85
2.10.1	Beobachtungen	85
2.10.2	Newton'sches Gravitationsgesetz	87
2.10.3	Hubarbeit und potenzielle Energie	89
2.10.4	Satellitenbahnen	91
2.10.5	Zur Übung	92
2.11	Mechanik deformierbarer fester Körper – Elastomechanik .	92
2.11.1	Elastische Verformung	93
2.11.2	Plastische Verformung	100
2.11.3	Härte fester Körper	102
2.11.4	Zur Übung	103
2.12	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase-, Hydro- und Aeromechanik	105
2.12.1	Ruhende Flüssigkeiten (Hydrostatik) und ruhende Gase (Aerostatik)	105
2.12.2	Fluide – strömende Flüssigkeiten (Hydrodynamik) und Gase (Aerodynamik)	117
	Thermodynamik	153
3.1	Grundlagen	153
3.1.1	Einführung	153
3.1.2	Thermodynamische Grundbegriffe	155

3.1.3	Temperatur	156
3.1.4	Thermische Ausdehnung	158
3.1.5	Allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase	162
3.1.6	Zur Übung	164
3.2	Kinetische Gastheorie	164
3.2.1	Gasdruck	164
3.2.2	Thermische Energie und Temperatur	166
3.2.3	Geschwindigkeitsverteilung der Gasmoleküle	168
3.2.4	Zur Übung	170
3.3	Hauptsätze der Thermodynamik	170
3.3.1	Wärme	170
3.3.2	Zur Übung	172
3.3.3	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	173
3.3.4	Berechnung der Wärmekapazitäten	176
3.3.5	Spezielle Zustandsänderungen idealer Gase	179
3.3.6	Kreisprozesse	186
3.3.7	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	195
3.3.8	Thermodynamische Potentiale	203
3.3.9	Dritter Hauptsatz der Thermodynamik	204
3.4	Zustandsänderungen realer Gase	205
3.4.1	Van-der-Waals'sche Zustandsgleichung	205
3.4.2	Gasverflüssigung (Joule-Thomson-Effekt)	208
3.4.3	Phasenumwandlungen	209
3.4.4	Dämpfe und Luftfeuchtigkeit	216
3.5	Wärmeübertragung	219
3.5.1	Wärmeleitung	220
3.5.2	Konvektion	225
3.5.3	Wärmestrahlung	230
3.5.4	Wärmedurchgang	234
3.5.5	Zur Übung	236
4	Elektrizität und Magnetismus	237
4.1	Physikalische Gesetze und Definitionen	238
4.1.1	Ladung	239
4.1.2	Stromstärke	240
4.1.3	Spannung	241
4.1.4	Widerstand und Leitwert	242
4.1.5	Ohm'sches Gesetz	245
4.1.6	Kirchhoff'sche Regeln im verzweigten Stromkreis.	246
4.1.7	Schaltung von Widerständen	248
4.1.8	Messbereichserweiterung	251
4.1.9	Ausgewählte Messanordnungen	252
4.1.10	Klemmenspannung und innerer Widerstand	254
4.1.11	Schaltung von Spannungsquellen	255
4.1.12	Elektrische Leistung und elektrische Arbeit	257
4.1.13	Zur Übung	259
4.2	Ladungstransport in Flüssigkeiten und Gasen	259
4.2.1	Ladungstransport in Flüssigkeiten	259

4.2.2	Ladungstransport im Vakuum und in Gasen	274
4.2.3	Plasmaströme	281
4.2.4	Zur Übung	282
4.3	Elektrisches Feld	282
4.3.1	Allgemeiner Feldbegriff	282
4.3.2	Beschreibung des elektrischen Feldes	282
4.3.3	Elektrische Feldstärke und Kraft	283
4.3.4	Elektrische Feldstärke und elektrostatisches Potenzial	286
4.3.5	Bewegung geladener Teilchen im elektrischen Feld	290
4.3.6	Leiter im elektrischen Feld	295
4.3.7	Nichtleiter im elektrischen Feld, elektrische Polarisierung und Permittivitätszahl	303
4.3.8	Energieinhalt des elektrischen Feldes	312
4.3.9	Zur Übung	313
4.4	Magnetisches Feld	314
4.4.1	Beschreibung des magnetischen Feldes	314
4.4.2	Magnetische Feldstärke und Durchflutungsgesetz	315
4.4.3	Magnetische Flussdichte und Kraftwirkungen im Magnetfeld	320
4.4.4	Materie im Magnetfeld	330
4.4.5	Zur Übung	343
4.5	Instationäre Felder	344
4.5.1	Elektromagnetische Induktion	344
4.5.2	Periodische Felder (Wechselstromkreis)	350
4.5.3	Ein- und Ausschaltvorgänge in Stromkreisen	363
4.5.4	Messgeräte	367
4.5.5	Zusammenhang elektrischer und magnetischer Größen – Maxwell'sche Gleichungen	371
4.5.6	Zur Übung	374
5	Schwingungen und Wellen	377
5.1	Schwingungen	377
5.1.1	Physikalische Grundlagen schwingungsfähiger Systeme	377
5.1.2	Freie Schwingung	381
5.1.3	Erzwungene Schwingung	400
5.1.4	Überlagerung von Schwingungen	405
5.1.5	Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden (gekoppeltes Schwingungssystem)	414
5.1.6	Nichtlineare Schwinger	417
5.1.7	Parametrisch erregte Schwingungen	418
5.1.8	Zur Übung	418
5.2	Wellen	419
5.2.1	Physikalische Grundlagen der Wellenausbreitung	419
5.2.2	Harmonische Wellen	422
5.2.3	Zur Übung	426
5.2.4	Doppler-Effekt	427
5.2.5	Zur Übung	430

5.2.6	Interferenz	430
5.2.7	Zur Übung	439
6	Optik	441
6.1	Einführung	441
6.2	Geometrische Optik	442
6.2.1	Lichtstrahlen	442
6.2.2	Reflexion des Lichtes	443
6.2.3	Brechung des Lichtes	449
6.2.4	Abbildung durch Linsen	459
6.2.5	Blenden im Strahlengang	471
6.2.6	Zur Übung	471
6.2.7	Abbildungsfehler	472
6.2.8	Optische Instrumente	472
6.3	Radio- und Fotometrie	481
6.3.1	Einführung	481
6.3.2	Strahlungsphysikalische Größen	482
6.3.3	Zur Übung	488
6.3.4	Lichttechnische Größen	489
6.3.5	Zur Übung	491
6.3.6	Farbmetrik	491
6.3.7	Zur Übung	495
6.4	Wellenoptik	495
6.4.1	Interferenz und Beugung	495
6.4.2	Polarisation des Lichtes	521
6.5	Quantenoptik	530
6.5.1	Lichtquanten	530
6.5.2	Dualismus Teilchen-Welle	534
6.5.3	Wärmestrahlung	535
6.5.4	Laser	537
6.5.5	Materiewellen	541
6.6	Abbildung mikroskopischer Objekte	544
6.6.1	Beugungsbegrenzte Abbildung	544
6.6.2	Überwindung der Beugungsbegrenzung	546
7	Akustik	553
7.1	Einführung	553
7.2	Schallwellen	554
7.2.1	Schallausbreitung	554
7.2.2	Schallwandler	559
7.2.3	Schallwellen an Grenzflächen	563
7.2.4	zur Übung	568
7.3	Schallempfindung	569
7.3.1	Physiologische Akustik	569
7.3.2	Musikalische Akustik	572
7.3.3	Zur Übung	575
7.4	Technische Akustik	576
7.4.1	Raumakustik	576
7.4.2	Luftschalldämmung	578
7.4.3	Körperschalldämmung	579

7.4.4	Strömungsgeräusche	582
7.4.5	Ultraschall	584
7.4.6	Schalleinsatz	584
7.4.7	Zur Übung	586
8	Atom- und Kernphysik	589
8.1	Bohr'sches Atommodell	590
8.1.1	Optisches Spektrum des Wasserstoffatoms	590
8.1.2	Bohr'sche Postulate	593
8.1.3	Quantenbedingungen nach Bohr/Sommerfeld	593
8.2	Quantentheorie	595
8.2.1	Hamilton-Operator	597
8.2.2	Schrödinger-Gleichung	599
8.2.3	Unschärferelation	603
8.2.4	Quantenmechanik des Wasserstoffatoms	606
8.2.5	Quanten-Hall-Effekt	609
8.2.6	Tunneleffekt	614
8.3	Bahn-und Spinmagnetismus	617
8.3.1	Zeeman-und Stark-Effekt	619
8.3.2	Elektronen-und Kernspinresonanz	619
8.4	Systematik des Atombaus	621
8.4.1	Periodensystem der Elemente	621
8.4.2	Aufbau der Elektronenhülle	622
8.5	Röntgenstrahlung	623
8.5.1	Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung . .	623
8.5.2	Absorption von Röntgenstrahlung, Computertomografie	624
8.6	Molekülspektren	627
8.6.1	Potenzialkurve	627
8.6.2	Rotations-Schwingungs-Spektrum	628
8.6.3	Raman-Effekt	631
8.7	Aufbau der Atomkerne	632
8.7.1	Größe und Ladungsverteilung	632
8.7.2	Kernmodelle	635
8.8	Kernumwandlung	642
8.8.1	Radioaktiver Zerfall	642
8.8.2	Kernreaktionen	653
8.8.3	Kernspaltung und Kernreaktoren	658
8.8.4	Kernfusion	663
8.9	Elementarteilchen	670
8.9.1	Einteilung	671
8.9.2	Erhaltungssätze	675
8.9.3	Fundamentale Wechselwirkungen	676
8.10	Strahlenschutz	678
8.10.1	Wechselwirkung der Strahlung mit Materie	679
8.10.2	Dosisgrößen	687
8.10.3	Biologische Wirkung der Strahlung	689
8.10.4	Dosismessung	692

8.10.5	Strahlenschutzmaßnahmen	696
8.10.6	Zur Übung	700
9	Festkörperphysik	703
9.1	Struktur fester Körper	703
9.1.1	Kristallbindungsarten	703
9.1.2	Kristalline Strukturen	706
9.1.3	Gitterfehler	709
9.1.4	Amorphe Werkstoffe	712
9.1.5	Makromolekulare Festkörper	713
9.1.6	Ausgewählte Werkstoffe	717
9.1.7	Flüssigkristalle	722
9.2	Elektronen in Festkörpern	725
9.2.1	Energiebänder-Modell	725
9.2.2	Metalle	728
9.2.3	Halbleiter	734
9.2.4	Supraleitung	745
9.2.5	Zur Übung	749
9.3	Thermodynamik fester Körper	750
9.3.1	Gitterschwingungen	750
9.3.2	Effekte im Zusammenhang mit Wärmefluss und elektrischem Strom	757
9.3.3	Piezoelektrizität	759
9.3.4	Zur Übung	761
9.4	Optoelektronische Halbleiter-Bauelemente	762
9.4.1	Strahlungsquellen	762
9.4.2	Empfänger	766
10	Spezielle Relativitätstheorie	775
10.1	Relativität des Bezugssystems	775
10.2	Lorentz-Transformation	777
10.3	Relativistische Effekte	780
10.3.1	Längenkontraktion	780
10.3.2	Zeitdilatation	780
10.3.3	Relativistische Addition der Geschwindigkeiten	782
10.4	Relativistische Dynamik	783
10.5	Spezielle Relativitätstheorie in der Elektrodynamik	786
10.5.1	Elektrodynamische Kraft	786
10.5.2	Doppler-Effekt des Lichtes	787
10.5.3	Zur Übung	788
11	Anhang	789
11.1	Lösungen der Übungsaufgaben	789
11.1.1	Einführung	789
11.1.2	Mechanik	792
11.1.3	Thermodynamik	813
11.1.4	Elektrizität und Magnetismus	824
11.1.5	Schwingungen und Wellen	831
11.1.6	Optik	840

11.1.7	Akustik	864
11.1.8	Atom- und Kernphysik	869
11.1.9	Festkörperphysik	870
11.1.10	Spezielle Relativitätstheorie	875
11.2	Nobelpreisträger der Physik	878
SachWortverzeichnis		887