Wolfgang Scobel Gunnar Lindström
Rudolf Langkau

Physik kompakt 1

Mechanik, Fluiddynamik und Wärmelehre

Zweite Auflage
Mit 248 Abbildungen



Springer

Professor Dr. Wolfgang Scobel
Professor Dr. Dr. h.c. Gunnar Lindström
Professor Dr. Rudolf Langkau
Universität Hamburg
Institut für Experimentalphysik
Luruper Chaussee 149
22761 Hamburg, Deutschland
e-mail: wolfgang.scobel@desy.de
gunnar.lindstroem@desy.de

Die erste Auflage erschien in zwei Teilbänden in dem 6teiligen Werk *Physik kompakt* in der Reihe: Vieweg Studium – Grundkurs Physik, herausgegeben von Hanns Ruder, bei Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme:
Physik kompakt. –
Berlin ; Heidelberg ; New York ; Barcelona ; Hongkong ; London ; Mailand ; Paris ; Tokio : Springer
(Springer-Lehrbuch)
Bd. 1. Mechanik, Fluiddynamik und Wärmelehre / Wolfgang Scobel ... – 2. Aufl. – 2002
ISBN 3-540-43141-1

ISBN 3-540-43141-1 2. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ein Unternehmen der BertelsmannSpringer Science+Business Media GmbH

http://www.springer.de

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Datenkonvertierung von Fa. LE-TeX, Leipzig
Einbandgestaltung: *design & production* GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

SPIN: 10860363 56/3141/ba - 5 4 3 2 1 0

Inhaltsverzeichnis

Teil I Mechanik

1 Einleitung ... 3
- 1.1 Die Arbeitsmethode der Physik ... 3
- 1.2 Physikalische Größen, Maßsystem ... 3
- 1.3 Vektorielle Größen ... 8
- 1.4 Darstellung physikalischer Zusammenhänge ... 11

2 Kinematik des Massenpunktes ... 15
- 2.1 Massenpunkt und Bahnkurve ... 15
- 2.2 Geradlinige Bewegung; Geschwindigkeit und Beschleunigung ... 15
- 2.3 Allgemeine krummlinige Bewegung ... 19
- 2.4 Kreisbewegung ... 22
- 2.5 GALILEI-Transformation ... 25

3 Dynamik des Massenpunktes ... 29
- 3.1 Die NEWTONschen Axiome ... 29
- 3.2 Kraft und Masse ... 32
- 3.3 Anwendung der NEWTONschen Bewegungsgleichung ... 36
- 3.4 Trägheitskräfte in beschleunigten Bezugssystemen ... 39

4 Erhaltungsgrößen der Mechanik ... 51
- 4.1 Kraft und Linearimpuls. Allgemeine Formulierung der NEWTONschen Bewegungsgleichung ... 51
- 4.2 Drehmoment und Drehimpuls ... 54
- 4.3 Arbeit und Leistung ... 60
- 4.4 Kinetische und potentielle Energie ... 64
- 4.5 Energieerhaltung ... 70

5 Massenpunktsysteme ... 77
- 5.1 Die NEWTONsche Bewegungsgleichung ... 77
- 5.2 Erhaltungssätze ... 82
- 5.3 Wechselwirkungen mit kurzer Reichweite; Stoßgesetze ... 88

6 Starrer Körper ... 93
6.1 Starrer Körper als System von Massenpunkten ... 93
6.2 Statik des starren Körpers ... 97
6.3 Dynamik des starren Körpers; Rotation um feste Achse ... 102
6.3.1 Berechnung von Trägheitsmomenten ... 106
6.3.2 Beispiele für Drehbewegungen um eine feste Achse ... 109
6.3.3 Arbeit, Leistung und kinetische Energie bei Drehbewegungen um eine feste Achse ... 112
6.3.4 Drehimpulserhaltung bei raumfester Achse ... 113
6.4 Rotation um freie Achsen; Kreisel ... 114

7 Relativistische Mechanik ... 123
7.1 Relativitätsprinzip ... 123
7.2 LORENTZ-Transformation ... 124
7.3 Relativistische Dynamik ... 127
7.4 Ergänzung: Graphiken zur speziellen Relativitätstheorie ... 131
7.4.1 Voraussetzungen ... 131
7.4.2 Koordinaten-Transformation im nichtrelativistischen Fall (GALILEI-Transformation) ... 132
7.4.3 Koordinaten-Transformation im relativistischen Fall (LORENTZ-Transformation) ... 132
7.4.4 Masse und Impuls im relativistischen Fall ... 136
7.4.5 Kinetische Energie im relativistischen Fall ... 137
7.4.6 DE-BROGLIE-Wellenlänge im relativistischen Fall ... 140

8 Anhang: Differentialgleichungen zu Grunderscheinungen der Physik ... 147
8.1 Einleitung ... 147
8.2 Bewegungsgleichungen ... 148
8.2.1 Das 2. NEWTONsche Axiom ... 148
8.2.2 Die Kraft ist konstant ... 150
8.2.3 Die Kraft ist konstant und bremsend ... 152
8.2.4 Die Kraft ist konstant; die Masse wächst linear mit der Zeit ... 154
8.2.5 Die Kraft ist konstant; der Massenverlust ist proportional zur Geschwindigkeit ... 156
8.2.6 Die Kraft ist proportional zum Ort ... 158
8.2.7 Die Kraft ist proportional zum Ort, aber rücktreibend 162
8.2.8 Die Kraft ist harmonisch ... 167
8.2.9 Die Kraft ist proportional zur Geschwindigkeit und bremsend ... 170
8.2.10 Die Kraft ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit und bremsend ... 179
8.2.11 Die Kraft ist die Summe aus elastischer Bindungskraft und geschwindigkeitsproportionaler Bremskraft ... 186

8.2.12 Die Kraft ist die Summe aus elastischer Bindungskraft, Bremskraft und einer äusseren zeitabhängigen Kraft 192
8.2.13 Die Kraft ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes vom Koordinatenursprung 212
8.2.14 Gekoppelte Bewegungsgleichungen (Gekoppelte Schwingungen) 216

Teil II Fluiddynamik und Wärmelehre

1 Mechanische Schwingungen 225
1.1 Allgemeines 225
1.2 Harmonische Schwingungen 225
1.3 Gedämpfte harmonische Schwingungen 229
1.4 Mathematische Ergänzung: Allgemeine Behandlung der Differentialgleichung für gedämpfte Schwingungen 231
1.5 Erzwungene harmonische Schwingungen; Resonanz 233
1.6 Überlagerung harmonischer Schwingungen 237
1.7 Mathematische Ergänzung: FOURIER-Analyse 241
1.8 Gekoppelte harmonische Schwingungen 246
1.9 Molekülschwingungen als Beispiel anharmonischer Schwingungen 249

2 Harmonische Wellen in stabförmigen elastischen Medien .. 253
2.1 Grundlagen 253
2.2 Stehende harmonische Wellen 255
2.3 Eigenschwingungen stabförmiger Medien 257
2.4 Energietransport durch harmonische Wellen 259

3 Mechanik fester Körper 261
3.1 Verformung und mechanische Spannung 261
3.2 Grundtypen der elastischen Verformung 262
3.3 Abgeleitete elastische Verformungen 265
3.4 Überschreitung des Elastizitätsbereichs 268

4 Mechanik ruhender Flüssigkeiten und Gase 269
4.1 Druck in Flüssigkeiten und Gasen 269
4.2 Kompressibilität 270
4.3 Schweredruck 272
4.4 Ergänzung: Druck und Dichte in der Erdatmosphäre 278
4.5 Auftrieb und messtechnische Anwendungen 281
4.6 Oberflächen von Flüssigkeiten 285
4.7 Harmonische Druckwellen in Flüssigkeiten und Gasen 292
4.8 Ergänzung: Lösung der Wellengleichung 296

5 Mechanik strömender Flüssigkeiten und Gase 301
5.1 Einleitung 301
5.2 Stationäre Strömung idealer Fluide 301
5.3 Druckmessung in Strömungen 304
5.4 Anwendungen der Bernoullischen Gleichung 305
5.5 Stationäre Strömung realer Fluide 310
5.6 Turbulente Strömung realer Fluide 316

6 Wärmelehre 321
6.1 Vorbemerkungen und Begriffserläuterungen 321
6.1.1 Stoffmenge und Teilchenzahl 322
6.2 Temperatur und Thermometer 323
6.2.1 Nicht-absolute Temperaturskala (nach Celsius) 324
6.2.2 Absolute (thermodynamische) Temperaturskala 324
6.2.3 Thermische Ausdehnung fester und flüssiger Körper 325
6.2.4 Thermische Ausdehnung von Gasen 326
6.2.5 Das Gasthermometer 328
6.3 Zustandsgleichung idealer Gase 328
6.4 Grundzüge der kinetischen Gastheorie 329
6.4.1 Druck des Modellgases 329
6.4.2 Temperatur und kinetische Energie 331
6.4.3 Innere Energie idealer Gase 332
6.5 Wärme, eine Form der Energieübertragung 333
6.5.1 Wärmemenge und Wärmekapazität 335
6.5.2 Kalorimetrie 335
6.6 Barometrische Höhenformel und Boltzmann-Verteilung 339
6.6.1 Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung 341
6.7 Der I. Hauptsatz der Wärmelehre 342
6.7.1 Zustandsänderungen am idealen Gas 343
6.7.2 Reversible und irreversible Zustandsänderungen 348
6.7.3 Spezielle Kreisprozesse 349
6.7.4 Wärmepumpe und Kältemaschine 353
6.8 Der II. Hauptsatz der Wärmelehre 354
6.8.1 Die thermodynamische Temperaturskala 355
6.8.2 Die Entropie 356
6.8.3 Entropieänderungen am idealen Gas 357
6.8.4 Entropieänderung bei irreversiblen Prozessen 359
6.9 Aggregatzustände und Phasen 360
6.9.1 Koexistenz von Flüssigkeit und Dampf 361
6.9.2 Koexistenz von Festkörpern und Flüssigkeit oder Gas 364
6.9.3 Zustandsgleichung realer Gase 365
6.9.4 Gasverflüssigung: Joule-Thomson-Effekt 368
6.10 Transportphänomene 369
6.10.1 Molekulardiffusion (= Massentransport) 370

6.10.2 Wärmeleitung (= Energietransport) 373
6.10.3 Viskosität (= Impulstransport) 375
6.11 Gaskinetische Betrachtung der Transportphänomene 377
6.11.1 Wirkungsquerschnitt, mittlere freie Weglänge 377
6.11.2 Gaskinetische Herleitung der Transportkoeffizienten D, λ, η 379
6.11.3 BROWNsche Bewegung 382

7 Anhang: Differentialgleichungen zu Grunderscheinungen der Physik 385
7.1 Die Wellengleichung 385
7.1.1 Aufstellung der Wellengleichung für den Fall von Schallwellen 385
7.1.2 Lösungen der Wellengleichung 387
7.1.3 Harmonische Wellen 393
7.1.4 Berücksichtigung von Reibungskräften und anderen Einflüssen 395
7.2 Die Transportgleichung 400
7.2.1 Physikalische Grunderscheinungen 400
7.2.2 Lösungen der Transportgleichung 405
7.2.3 Eine "Transportgleichung" ohne Transportlösung 430

Sachwortverzeichnis 433

http://www.springer.com/978-3-540-43141-1

Physik kompakt 1
Mechanik, Fluiddynamik und Wärmelehre
Scobel, W.; Lindström, G.; Langkau, R.
2002, XIII, 442 S., Softcover
ISBN: 978-3-540-43141-1