

Springer-Lehrbuch



Herbert A. Stuart Gerhard Klages

Kurzes Lehrbuch der Physik

Vierzehnte, überarbeitete Auflage
mit 373 Abbildungen und 22 Tabellen,
230 Aufgaben und ausführlichen Lösungen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

Professor Dr. *Gerhard Klages*

Institut für Physik
Johannes Gutenberg-Universität
Staudingerweg 7
D-55128 Mainz

ISBN 978-3-540-58099-7

ISBN 978-3-662-08230-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-08230-0

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Stuart, Herbert A.:

Kurzes Lehrbuch der Physik: mit 22 Tabellen / Herbert A. Stuart; Gerhard Klages. – 14., überarb. Aufl.
Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo; Hong Kong; Barcelona; Budapest: Springer, 1994
(Springer-Lehrbuch)

NE: Klages, Gerhard:

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 1994

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1994

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.

Satz: K + V Fotosatz, Beerfelden

SPIN: 10427848

56/3140 – 5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort

Als vor über 50 Jahren Herbert A. Stuart das Manuskript zum *Kurzen Lehrbuch der Physik* schrieb, da legte er besonderen Wert auf eine anschauliche, geschlossene Darstellung, damit die einzelnen Abschnitte flüssig zu lesen waren. Es sollte ein Lehrbuch zum Verstehen der Zusammenhänge und kein Paukbuch sein, wie er auch später immer wieder betonte.

Diesen Grundcharakter hat das Lehrbuch in allen Neuauflagen behalten, trotz der sehr zahlreichen Umarbeitungen, die durch die Weiterentwicklung der Wissenschaft in Stoffauswahl, Nomenklatur und Darstellungsweise unerlässlich waren. Es will dem Naturwissenschaftler im weitesten Sinne, der sich an der Hochschule im Nebenfach Physik Grundkenntnisse zu erwerben hat, klar begrenzt physikalische Methoden, Begriffsbildung und Gesetzmäßigkeiten vermitteln. Die Verbindung zu anderen Naturwissenschaften, Medizin und Technik stellen viele eingefügte Beispiele im Kleindruck her, die auch Erweiterungen und Hinweise auf neue Ergebnisse enthält.

Bei der Vorbereitung der 14. Auflage bin ich sehr gern Wünschen und Anregungen von Lesern gefolgt, die sie auf zurückgeschickten Antwortkarten aus der letzten Auflage geäußert haben. So findet man jetzt den Lösungsweg für alle Aufgaben kurz skizziert, wie es vielfach als Verbesserung vorgeschlagen worden ist. Da hierbei fast immer auf Formeln im Text zu verweisen ist, waren viele davon neu in die Numerierung aufzunehmen und im Satz entsprechend hervorzuheben. Ganz allgemein wird so das Arbeiten „mit dem Buch“ erleichtert, sei es beim Rekapitulieren einzelner Teilgebiete, sei es beim gezielten Nachschlagen und Klären spezieller Fragen. Zu diesem Zwecke ist auch das Sachverzeichnis erneut im ganzen überprüft und verbessert worden; über 150 neue Begriffe konnten hinzugefügt werden.

Bei einem derartigen Lehrbuch bleiben, neben der kürzeren Formulierung einiger Passagen und der Behebung sonstiger Unebenheiten, stoffliche Änderungen naturgemäß in engen Grenzen. Neu aufgenommen wurden die Fresnel-Beobachtung der Lichtbeugung, ihre Anwendung z. B. in der Holographie und eine Notiz über die „synthetisch“ erzeugten und identifizierten Atomkerne höchster Ordnungszahl.

Mainz, Mai 1994

Gerhard Klages

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Abgrenzung und Aufgaben der Physik	1
1.2 Die Methodik der Physik	1
1.3 Bedeutung des Messens in der Physik	2
1.4 Fehlerangaben, Fehlerrechnung	3
Aufgaben	4
2. Allgemeine Mechanik	5
2.1 Messen und Maßeinheiten	5
2.1.1 Basisgrößen	5
2.1.2 Längen- und Winkelmessung	5
2.1.3 Basiseinheit von Zeit und Masse	7
Aufgaben	7
2.2 Bewegungslehre (Kinematik)	7
2.2.1 Geschwindigkeit	8
2.2.2 Beschleunigung	9
Aufgaben	11
2.3 Bewegung unter dem Einfluß von Kräften (Dynamik)	11
2.3.1 Träge Masse und Kraft	12
2.3.2 Schwere Masse und Gewicht	12
2.3.3 Wechselwirkungssatz, Impuls	13
2.3.4 Trägheitskräfte	15
2.3.5 Arbeit und Leistung	16
2.3.6 Mechanische Energie	17
Aufgaben	18
2.4 Einige besondere Bewegungsformen	19
2.4.1 Wurfbewegung	19
2.4.2 Gleichförmige Bewegung auf der Kreisbahn	19
2.4.3 Stoßvorgänge	21
Aufgaben	22
2.5 Kräfte am starren Körper (Statik)	23
2.5.1 Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften	23
2.5.2 Hebel, Drehmoment	23
2.5.3 Parallele Kräfte, Kräftepaar	24
2.5.4 Schwerpunkt	25
2.5.5 Gleichgewichtslagen	25
2.5.6 Die Waage	26
Aufgaben	26
2.6 Drehbewegung eines starren Körpers	27
2.6.1 Winkelbeschleunigung, Trägheitsmoment	27
2.6.2 Dynamisches Grundgesetz der Drehbewegung	28
2.6.3 Satz von der Erhaltung des Drehimpulses	29
2.6.4 Freie Drehachsen	29

2.6.5 Der Kreisel	30
Aufgaben	31
2.7 Allgemeine Gravitation	31
2.7.1 Gravitationsgesetz	31
2.7.2 Planetenbewegung	32
Aufgabe	33
3. Die mechanischen Eigenschaften der Stoffe und ihre molekulare Struktur	35
3.1 Der molekulare Aufbau der Stoffe und die molekularen Kräfte ..	35
3.1.1 Vorbemerkung	35
3.1.2 Allgemeines über Moleküle, Stoffmengen	35
3.1.3 Größe, Form und Kerngerüst der Moleküle	36
3.1.4 Einiges über die zwischenmolekularen Kräfte	38
3.1.5 Volumenbezogene Materiemengen	38
Aufgaben	40
3.2 Festkörper	40
3.2.1 Molekularer Bau, Kristallgitter	40
3.2.2 Elastische und plastische Körper	41
3.2.3 Hookesches Gesetz	41
3.2.4 Überelastische Beanspruchung	43
Aufgaben	44
3.3 Ruhende Flüssigkeiten (Hydrostatik)	44
3.3.1 Allgemeines, Ordnungszustand der Moleküle in Flüssigkeiten	44
3.3.2 Einstellung der Flüssigkeitsoberfläche	45
3.3.3 Der Druck in Flüssigkeiten	45
3.3.4 Auftrieb, Schwimmen	47
3.3.5 Oberflächenspannung	49
3.3.6 Benetzung, Kapillarität	50
Aufgaben	51
3.4 Ruhende Gase	52
3.4.1 Dichte, Druck und Volumen	52
3.4.2 Die Lufthülle der Erde und der Luftdruck	53
Aufgaben	54
3.5 Bewegungen in Flüssigkeiten und Gasen (Hydro- und Aerodynamik)	55
3.5.1 Stromfäden, laminare Strömung	55
3.5.2 Zähne Flüssigkeit, innere Reibung	56
3.5.3 Strömung von zähen Flüssigkeiten durch Rohre, Kugelfall ..	57
3.5.4 Geschwindigkeit und Druck in idealen Flüssigkeiten	59
3.5.5 Reale Flüssigkeiten, turbulente Strömung	61
Aufgaben	62
4. Schwingungs- und Wellenlehre, Akustik	63
4.1 Mechanische Schwingungen	63
4.1.1 Freie harmonische Schwingung, Pendel	63
4.1.2 Überlagerung von Schwingungen	65
4.1.3 Erzwungene Schwingungen, Resonanz	67
Aufgaben	68
4.2 Mechanische Wellen	68

4.2.1 Fortschreitende Wellen	68
4.2.2 Interferenz von Wellen	70
4.2.3 Stehende Wellen, Eigenschwingungen von Seilen und Luftsäulen	71
4.2.4 Interferenz und Beugung von Oberflächenwellen	73
4.2.5 Kugelwellen im Raum	76
Aufgaben	76
4.3 Akustik	76
4.3.1 Schallstärke, Schalldruck	77
4.3.2 Gehörempfindungen	78
4.3.3 Ausbreitung von Schallwellen	79
4.3.4 Ultraschall	82
Aufgaben	82
5. Wärmelehre	83
5.1 Thermometrie, Wärmeausdehnung, ideales Gas	83
5.1.1 Temperaturskala	83
5.1.2 Praktische Temperaturmessung	84
5.1.3 Wärmeausdehnung	85
5.1.4 Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases	86
Aufgaben	87
5.2 Wärme und Arbeit	88
5.2.1 Wärmemenge, erster Hauptsatz der Wärmelehre	88
5.2.2 Wärmekapazität, Kalorimetrie	89
5.2.3 Spezifische Wärmekapazitäten und Energieinhalt von Gasen	91
5.2.4 Isotherme und adiabatische Kompression von Gasen	91
5.2.5 Carnotscher Kreisprozeß	92
5.2.6 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre, Entropie	94
Aufgaben	95
5.3 Wärme als ungeordnete Molekularbewegung	95
5.3.1 Ideale Gase, Druckformel, Boltzmann-Beziehung	95
5.3.2 Kinetische Wärmetheorie	96
5.3.3 Brownsche Bewegung	98
5.3.4 Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	99
5.3.5 Diffusion	100
5.3.6 Osmotischer Druck	101
Aufgaben	102
5.4 Änderungen des Aggregatzustandes	102
5.4.1 Schmelzen, Schmelzpunkt, Schmelzwärme	102
5.4.2 Flüssige Mischungen und Lösungen	104
5.4.3 Verdampfung, Sättigungsdruck, Sieden	105
5.4.4 Sublimation, Tripelpunkt	107
5.4.5 Feuchtigkeit der Luft, Absorption von Luft in Wasser	108
5.4.6 Isotherme Verflüssigung von realen Gasen	108
5.4.7 Tiefe Temperaturen	110
Aufgaben	111
5.5 Wärmeübertragung	112
5.5.1 Wärmeleitung	112
5.5.2 Konvektion	113

5.5.3 Wärmestrahlung	113
Aufgaben	114
6. Elektrizitätslehre	115
6.1 Elektrische Gleichströme	115
6.1.1 Elektrische Spannung und Stromstärke	115
6.1.2 Ohmsches Gesetz	117
6.1.3 Stromverzweigung	118
6.1.4 Schaltungen und Meßmethoden	119
Aufgaben	121
6.2 Das elektrische Feld	121
6.2.1 Elektrometer	121
6.2.2 Ladung und Spannung, Influenz	122
6.2.3 Elektrische Feldstärke	124
6.2.4 Elektrische Verschiebung	126
6.2.5 Kapazität eines Kondensators	127
6.2.6 Kugelkondensator, Coulombsches Gesetz	129
6.2.7 Elektrische Ladungen in der Materie	130
6.2.8 Materie im elektrischen Felde, dielektrische Eigenschaften der Moleküle	131
Aufgaben	133
6.3 Elektrische Leitungsvorgänge in Flüssigkeiten und Festkörpern ...	134
6.3.1 Elektrische Energie und Stromwärme	134
6.3.2 Elektrolytische Dissoziation, Ionenleitung	135
6.3.3 Faradaysche Gesetze der Elektrolyse	136
6.3.4 Ionenwanderung und Ohmsches Gesetz	137
6.3.5 Elektronenleitung der Metalle	138
6.3.6 Halbleiter	139
6.3.7 Transistor	140
Aufgaben	141
6.4 Herstellung elektrischer Spannungen durch Ladungstrennung ...	142
6.4.1 Prinzipielles	142
6.4.2 Lösungsdruck, Galvanische Elemente	142
6.4.3 Elektrolytische Polarisierung, Akkumulator	144
6.4.4 Diffusions- und Membranspannungen	145
6.4.5 Kontaktspannungen	146
6.4.6 Elektrokinetische Vorgänge	147
6.4.7 Thermospannungen	147
Aufgaben	148
6.5 Elektrizitätsleitung in Gasen und im Vakuum	149
6.5.1 Unselbständige Leitung	149
6.5.2 Elektronenaustritt aus Metallen	150
6.5.3 Triode	150
6.5.4 Elektronenstrahlen, Braunsche Röhre, Oszillograph	152
6.5.5 Glimmentladung	154
6.5.6 Elektrizitätsleitung bei höheren Drücken	156
Aufgaben	157
6.6 Das magnetische Feld	157
6.6.1 Magnetische Grundeigenschaften	157
6.6.2 Magnetfeld eines Stromes	159
6.6.3 Kraftwirkungen auf Ströme im Magnetfeld	161

6.6.4	Anwendung der magnetischen Kraft bei Meßinstrumenten	163
6.6.5	Grundtatsachen der elektromagnetischen Induktion	164
6.6.6	Das Induktionsgesetz	165
6.6.7	Induktionsströme, Wirbelströme	167
6.6.8	Gegenseitige Induktion und Selbstinduktion	168
6.6.9	Magnetische Eigenschaften der Stoffe	169
	Aufgaben	172
6.7	Wechselspannungen und Wechselströme	172
6.7.1	Wechselstromkreis mit ohmschem Widerstand	172
6.7.2	Induktiver und kapazitiver Widerstand	174
6.7.3	Transformator	176
6.7.4	Starkstrommaschinen	177
6.7.5	Elektroakustische Geräte	179
	Aufgaben	180
6.8	Hochfrequente Schwingungen und Wellen	181
6.8.1	Elektrischer Schwingkreis	181
6.8.2	Erzeugung von hochfrequenten Schwingungen	182
6.8.3	Wellen auf Leitungen	183
6.8.4	Elektromagnetische Wellen im freien Raum	184
6.8.5	Elektrischer Strahlungsdipol	186
6.8.6	Anwendung elektromagnetischer Schwingungen und Wellen	187
	Aufgaben	188
7.	Optik und allgemeine Strahlungslehre	191
7.1	Die Natur des Lichtes und die Grundgesetze der Lichtausbreitung	191
7.1.1	Die Natur des Lichtes	191
7.1.2	Grundlagen der geometrischen Optik	191
7.1.3	Lichtgeschwindigkeit	193
7.1.4	Reflexion des Lichtes	194
7.1.5	Brechung des Lichtes	195
7.1.6	Totalreflexion	196
7.1.7	Dispersion	197
7.1.8	Farben	198
	Aufgaben	199
7.2	Optische Abbildungen	199
7.2.1	Sphärische Spiegel	199
7.2.2	Abbildung durch dünne Linsen	201
7.2.3	Brechkraft von Linsen und Linsensystemen	204
7.2.4	Dicke Linsen	205
7.2.5	Abbildung durch eine einzige Kugelfläche	206
7.2.6	Abbildungsfehler	207
	Aufgaben	208
7.3	Optische Instrumente	209
7.3.1	Vorbemerkung über den Einfluß der Beugung und über die Bündelbegrenzung durch Blenden	209
7.3.2	Photoapparat	210
7.3.3	Projektor	211
7.3.4	Das Auge als optisches System	211
7.3.5	Die Lupe	213
7.3.6	Das Mikroskop	214

7.3.7	Das Fernrohr	218
7.3.8	Spektrometer	219
	Aufgaben	220
7.4	Wellenoptik	220
7.4.1	Interferenzversuche mit kohärentem Licht	220
7.4.2	Farben dünner Blättchen, Newtonsche Ringe	221
7.4.3	Beugung am Gitter	222
7.4.4	Beugung an kleinen Öffnungen und Hindernissen	225
7.4.5	Linear polarisiertes Licht	228
7.4.6	Polarisation durch Reflexion und Streuung	230
7.4.7	Doppelbrechung	231
7.4.8	Drehung der Polarisationssebene, optische Aktivität	233
7.4.9	Elliptisch polarisiertes Licht	234
	Aufgaben	235
7.5	Elektromagnetisches Spektrum	235
7.5.1	Übersicht über das gesamte Spektrum	235
7.5.2	Infrarotes Licht (IR)	236
7.5.3	Gesetze der Temperaturstrahlung	237
7.5.4	Strahlungsleistung, Photometrie	239
7.5.5	Fluoreszenz und Phosphoreszenz	241
7.5.6	Ultraviolettes Licht (UV)	242
7.5.7	Röntgenstrahlung	242
7.5.8	Röntgeninterferenzen an Kristallen	245
	Aufgaben	247
7.6	Korpuskulareigenschaften des Lichtes	248
7.6.1	Der lichtelektrische Effekt, Photoeffekt	248
7.6.2	Das Photon	249
7.6.3	Ionisation durch Röntgenstrahlen, Strahlungsdosis	250
7.6.4	Laser	252
7.6.5	Dualismus von Korpuskel und Welle	253
	Aufgaben	254
8.	Grundzüge der Atom- und Molekülphysik	255
8.1	Die Spektren und die Elektronenhülle der Atome	255
8.1.1	Emissions- und Absorptionsspektren	255
8.1.2	Linienpektren der Atome	256
8.1.3	Atombau und periodisches System der Elemente	258
8.1.4	Röntgenspektren	259
8.1.5	Das Atom in wellenmechanischer Darstellung	261
	Aufgaben	262
8.2	Molekülspektren	262
8.2.1	Rotationsspektren	263
8.2.2	Molekülschwingungen	265
8.2.3	Rotationsschwingungsspektren	268
8.2.4	Elektronenübergänge, Bandenspektren	269
8.2.5	Raman-Streuung	270
	Aufgaben	272
8.3	Der Atomkern und seine Umwandlungen	272
8.3.1	Aufbau der Atomkerne	272
8.3.2	Natürliche Radioaktivität, Nebelkammer, Zählrohr	273
8.3.3	Der radioaktive Zerfall	276

Inhaltsverzeichnis	XIII
8.3.4 Masse-Energie-Äquivalenz, Massendefekt der Kerne	279
8.3.5 Kernreaktionen und künstliche Radioaktivität	280
8.3.6 Kernspaltung, Transurane	283
8.3.7 Kernreaktor, Neutronen	284
8.3.8 Teilchenbeschleuniger	286
8.3.9 Elementarteilchen	288
Aufgaben	291
Anhang	293
Wichtige Konstanten der Physik	293
Basisgrößen und -einheiten des Internationalen Einheitensystems (SI: <i>Système international d'unités</i>)	294
Ergänzende SI-Einheiten	294
Abgeleitete SI-Einheiten, für die besondere Bezeichnungen eingeführt worden sind	294
Periodisches System der Elemente	295
Lösungen der Aufgaben	296
Sachverzeichnis	305