Anschauliche Physik

Bogdan Povh • Elisabeth Soergel

Anschauliche Physik

für Naturwissenschaftler

2. überarbeitete und ergänzte Auflage

Springer Spektrum

Bogdan Povh
Max-Planck-Institut für Kernphysik
Heidelberg, Deutschland

Elisabeth Soergel
Universität Bonn, Physikalisches Institut
Bonn, Deutschland

ISBN 978-3-642-54495-8
ISBN 978-3-642-54496-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-54496-5

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Springer Spektrum
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, 2014
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Spektrum ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.
www.springer-spektrum.de

Vorwort zur 2. Auflage

It is good to have an end to journey toward,
but it is the journey that matters in the end.
Ursula K. Le Guin

Das vorliegende Buch ist eine Erweiterung und Überarbeitung der ersten, aber umfassenden Einführung in die Physik und richtet sich an Naturwissenschaftler mit Nebenfach Physik, sowie Lehrer an Gymnasien und Fachschulen. Behandelt werden die klassischen Gebiete der Physik wie Mechanik, Wärmelehre und Elektrodynamik, bis hin einerseits zu den Vorgängen im atomaren und nuklearen Bereich und andererseits zum physikalischen Modell des Universums.

Physik hilft uns, die vor uns ablaufenden Vorgänge in der materiellen Welt qualitativ und quantitativ zu verstehen. Dafür wird die Sprache der Mathematik eingesetzt, die dem Nichtfachmann selten zur Verfügung steht. Folgerichtig wird in diesem Buch der formal mathematische Apparat stark zurückgenommen. Er beschränkt sich auf diejenigen Formeln, die man in der Alltagspraxis wirklich braucht, um etwas konkret auszurechnen bzw. die eminent wichtigen physikalischen Größenordnungen richtig abzuschätzen.

Als erstes möchten wir uns bei Wolf Beiglböck bedanken für den Vorschlag, dieses Lehrbuch basierend auf Abbildungen zu gestalten und dadurch eine anschauliche Darstellung zu erreichen. Auch der Titel des Buches stammt von ihm.

Der Abschnitt *Elektrizität in der Biologie* wurde in Zusammenarbeit mit Heinz Horner (Heidelberg) verfasst, *Bindungscocktails* entstand mit der Hilfe von Samo Fišinger (Ljubljana) und *Energietransport* mit Dušan Povh (Nürnberg).

Für die sprachliche Durchsicht des Textes bedanken wir uns bei Claudia Ries. Dem Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg danken wir für die infrastrukturelle Unterstützung. Schließlich sei den Lesern der ersten Auflage, die diverse Fehler gefunden und uns mitgeteilt haben, gedankt.

Heidelberg, im April 2013 *Bogdan Povh und Elisabeth Soergel*

Inhaltsverzeichnis

1 Hors d'Oeuvre 1
1.1 Wissenschaftliche Revolution 1
1.2 Physik im 20. Jahrhundert 3
1.3 Struktur der Materie 4
1.4 Die fundamentalen Wechselwirkungen 6
1.5 Einheiten 8
1.6 Messfehler 9

2 Kinematik 13
2.1 Weg, Geschwindigkeit und Beschleunigung 13
2.2 Addition zweier Geschwindigkeiten 16
2.3 Kreisbewegung 19

3 Dynamik 21
3.1 Masse, Impuls und Impulserhaltung 22
3.2 Kraft 26
3.2.1 Proton im elektrischen Feld 27
3.2.2 Schwere Masse 27
3.3 Drehimpuls und Drehimpulserhaltung 29
3.3.1 Schwerpunkt 32
3.4 Drehmoment 34
3.4.1 Bewegungsgleichung der Rotation 36
3.5 Energie und Arbeit 36
3.6 Mechanik und Sport 38
3.6.1 Stabhochsprung 38
3.6.2 Peitscheneffekt im Sport 40

4 Stoß, Oszillator und Kreisel 43
4.1 Elastischer und inelastischer Stoß 43
4.1.1 Elastischer Frontalstoß 43
4.1.2 Billard-Karambolage 45
4.1.3 Inelastischer Stoß 46
4.2 Federpendel, Harmonischer Oszillator 47
4.2.1 Potential des Harmonischen Oszillators 49
4.3 Quantenmechanischer Harmonischer Oszillator 51
4.4 Klassischer Kreisel 53
4.5 Quantenmechanischer Kreisel 55

5 Gravitation 57
5.1 Sonne–Erde–Mond 60
5.1.1 Erde auf einer Kreisbahn 61
5.1.2 Ortsgebundener Satellit 62
5.1.3 Mondanziehung 63
5.1.4 Gezeiten 64
5.1.5 Erde als Kreisel 66
5.2 Sonnensystem 68
5.3 Milchstraße 70
5.3.1 Schwarzes Loch in der Mitte der Milchstraße 71
5.4 Determinismus und Deterministisches Chaos 74
5.4.1 Entstehung des Sonnensystems 75
5.5 Das Licht hat auch eine Masse: $E = mc^2$ 76
5.5.1 Schwarzschildradius und Ereignishorizont 81

6 Flüssigkeit und Gas 83
6.1 Druck als Folge der Erdanziehung 83
6.1.1 Wasserdruck 83
6.1.2 Barometrische Höhenformel 85
6.1.3 Archimedisches Prinzip 87
6.2 Strömung nach Bernoulli und Venturi 88
6.2.1 Blutkreislauf 90
6.2.2 Physik des Fliegens 92
6.2.3 Wind-Druck-Abhängigkeit 94
6.3 Kohäsion und Adhäsion 95

7 Kinetische Theorie der Wärme 99
7.1 Ideales Gas 99
7.2 Reales Gas 103
7.3 Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung 104
7.4 Spezifische Molwärme von Gasen 106

7.4.1 Spezifische Molwärme bei konstantem Volumen c_V . . 106
7.4.2 Spezifische Molwärme bei konstantem Druck c_p 108
7.5 Spezifische Molwärmen kristalliner Substanzen 109
7.6 Spezifische Molwärme von Flüssigkeiten 110
7.7 Phasenübergänge 111
7.8 Wärmemaschinen 113
7.8.1 Wärmepumpe 116
7.9 Diffusion und Osmose 117
7.10 Wärmetransport 121
7.10.1 Wärmeleitung 122
7.10.2 Konvektion 123
7.10.3 Strahlung 123

8 Entropie 125
8.1 Abgeschlossene Systeme 125
8.1.1 Zeitrichtung 131
8.2 Offene Systeme 132
8.2.1 Selbstorganisation 134

9 Mechanische Wellen 137
9.1 Eindimensionale, longitudinale und transversale Wellen 138
9.1.1 Phasengeschwindigkeit 139
9.2 Energie und Impuls der Welle 141
9.3 Reflexion, Transmission und Absorption 142
9.4 Stehende Wellen 143
9.5 Wasserwellen 145
9.6 Interferenz und Beugung der Wasserwellen 146
9.7 Schall 148
9.7.1 Schallwellen im Gas 148
9.7.2 Dopplereffekt 149
9.7.3 Schockwellen 151
9.7.4 Ultraschall 151
9.7.5 Infraschall 153

10 Elektromagnetische Wechselwirkung 157
10.1 Elementarladung 157
10.2 Das magnetische Feld und das magnetische Moment des Elektrons 161
10.3 Elektrische Spannung und elektrischer Strom 163
10.3.1 Elektrischer Strom in Metallen 164
10.3.2 Strom in Lösungen 165
10.3.3 Batterie 167

10.3.4 Widerstand 168
10.3.5 Kondensator 169
10.4 Elektrizität in der Biologie 172
10.4.1 Elektrische Eigenschaften der Zellmembran 174
10.5 Magnetfeld und magnetische Induktion 178
10.5.1 Spule 181
10.5.2 Transformator 182
10.5.3 Elektromagnetischer Schwingkreis 184
10.5.4 Stromgenerator 185
10.5.5 Elektromotor 186
10.6 Maxwellgleichungen 187
10.7 Energietransport 189

11 Elektromagnetische Wellen 191
11.1 Lichtgeschwindigkeit 191
11.2 Relativitätstheorie 195
11.2.1 Es gibt keinen absoluten Raum 195
11.2.2 Es gibt keine absolute Zeit 197
11.2.3 Längenkontraktion 197
11.2.4 Äquivalenz von Masse und Energie 199
11.3 Experimentelle Bestätigung von Dilatation und Kontraktion . . 200
11.4 Strahlungsquellen 202
11.5 Atomspektren 204
11.6 Laser 207
11.7 Röntgenstrahlung 209
11.7.1 Bremsstrahlung 209
11.7.2 Charakteristische Röntgenstrahlung 211
11.7.3 Röntgenspektroskopie 212
11.8 Wärmestrahlung 215

12 Optik 219
12.1 Reflexion und Brechung 219
12.1.1 Regenbogen 221
12.1.2 Sonnenuntergang 222
12.1.3 Totalreflexion 224
12.2 Geometrische Optik 225
12.2.1 Linse 226
12.2.2 Auge 227
12.2.3 Lupe und Mikroskop 228
12.2.4 Spiegelteleskop 229
12.3 Das Sehen 232

13 Quantenmechanik – Die wesentlichen Begriffe 233
13.1 Photon 233
13.1.1 Photoeffekt 233
13.1.2 Comptonstreuung 235
13.1.3 Ist das Photon ein Teilchen oder eine Welle? 236
13.2 Elektron 237
13.2.1 Das Elektron ist ein Teilchen 237
13.2.2 Das Elektron ist eine Welle 238
13.2.3 Elektronenmikroskop 240
13.3 Heisenbergsche Unschärferelation 242
13.4 Das virtuelle Photon 244
13.5 Wellenfunktion 246
13.5.1 Unendliches Kastenpotential 247
13.5.2 Harmonisches Potential 249
13.5.3 Endliches Kastenpotential 249
13.5.4 Tunneln durch eine Potentialbarriere 250
13.6 Strahlungsübergänge 254
13.7 Elektronen sind Fermionen, Photonen sind Bosonen 254

14 Atome 257
14.1 Wasserstoffatom 258
14.2 Die vier Quantenzahlen des Wasserstoffatoms 260
14.3 Periodensystem der Elemente 263

15 Moleküle 267
15.1 Starke chemische Bindung 267
15.1.1 Kovalente Bindung 267
15.1.2 Metallische Bindung 268
15.1.3 Ionische Bindung 269
15.1.4 Geometrie der Moleküle 270
15.1.5 Mikrowelle 272
15.2 Wasserstoffbrückenbindung 273
15.3 Van-der-Waals-Bindung 275
15.4 Bindungscocktails 276
15.4.1 Graphit 276
15.4.2 Faltung 277

16 Kondensierte Materie 279
16.1 Kovalente Kristalle 279
16.2 Ionische Kristalle 283
16.2.1 Piezoelektrizität 284
16.3 Eis 286

16.4 Van-der-Waals-Kristalle 286
16.5 Metalle 287

17 Quarks, Nukleonen und Kerne 291
17.1 Starke Wechselwirkung 294
17.2 Schwache Wechselwirkung 296
17.2.1 β^--Zerfall 296
17.2.2 Quarkspektroskopie 297
17.3 Kernbindungsenergie 297
17.3.1 Stabile Isotope 301
17.4 Fusionsreaktor Sonne 301
17.5 Elementsynthese 305
17.6 Spaltung 307
17.7 Radioaktivität 309
17.7.1 Geothermale Energiequellen 309
17.7.2 Das Alter des Sonnensystems 310
17.7.3 Umweltradioaktivität 312

18 Expandierendes Universum 315
18.1 Kosmische Rotverschiebung und Expansion 315
18.2 Das Big-Bang/Urknall-Modell 318

Mathematisches Werkzeug 323
A.1 Differentialrechnung 323
A.1.1 Ableitung von s nach t 323
A.1.2 Ableitung von $e^{-\lambda t}$ 325
A.1.3 Ableitung von $\sin(\omega t)$ und $\cos(\omega t)$ 326
A.2 Integral, unbestimmtes und bestimmtes 328
A.3 Vektorrechnung 330
A.4 Komplexe Zahlen 332

Weiterführende Literatur 335

Sachverzeichnis 337

http://www.springer.com/978-3-642-54495-8

Anschauliche Physik
für Naturwissenschaftler
Povh, B.; Soergel, E.
2014, XII, 341 S. 218 Abb. in Farbe., Softcover
ISBN: 978-3-642-54495-8