

# Inhaltsverzeichnis

## Beschreiben von Bewegungen 7

- Beobachten von Bewegungen 8
  - Geradlinige Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit 10
    - › Überholen? ... Im Zweifel nie! 12
    - › Wie genau dürfen, wie genau müssen Messergebnisse sein? 13
    - › Untersuchung nicht gleichförmiger Bewegungen 14
  - Geradlinige Bewegungen mit veränderlicher Geschwindigkeit 15
    - › Ableiten 16
    - › Auswerten von Beschleunigungsvorgängen 18
    - › Was man aus Diagrammen ablesen kann – Bremsvorgänge 19
    - › Untersuchung von Fallbewegungen 20
  - Fallbewegungen 21
    - › Videoanalyse 23
  - Bewegungen in zwei Dimensionen 24
    - › Regeln für den Umgang mit Vektoren 25
  - Wurfbewegungen 26
    - › Der schiefe Wurf – Messverfahren 28
  - Die Kreisbewegung 29
  - Beschleunigung bei der Kreisbewegung 30
    - › Mathematische Herleitung der Zentripetalbeschleunigung 30
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 31*

## Ursache von Bewegungen 37

- Kräfte 38
    - › Untersuchung der Wechselwirkung von Körpern 40
  - Kraft und Gegenkraft 41
  - Trägheit 42
    - › Kräfte beschleunigen Körper 43
  - Kraft, Masse, Beschleunigung 44
    - › Physikalische Formeln verstehen 45
    - › Die Newton'schen Axiome 46
    - › Eine Knautschzone hilft Leben retten 47
    - › Untersuchung von Kreisbewegungen 48
  - Kräfte bei der Kreisbewegung 49
  - Kreisbewegungen im Verkehr 50
    - › Scheinkräfte 51
  - Rotation von Körpern 52
  - Das Trägheitsmoment 53
    - › Die computergestützte Modellbildung 54
    - › Modellbildung an einem Beispiel mit nicht konstanter Kraft 56
    - › Simulation einer Fallbewegung 57
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 58*

## Erhaltungssätze 61

- › Die Energie der Bewegung 62
  - › Die Spannenergie 63
  - Mechanische Energie 64
    - › Energieerhaltungsprinzip an der schiefen Ebene 65
  - Energieübertragung 68
    - › Energieerhaltung beim Lösen von Problemen 71
  - Die Leistung 72
    - › Der Weg zum Energieerhaltungssatz 73
    - › Physik und Straßenverkehr: zwei Sichtweisen 74
    - › Arbeit mit Modellen 75
    - › Untersuchung von Stoßvorgängen 76
  - Impuls 77
    - › Der Weg zum Impulserhaltungssatz 79
  - Impuls und Kraft 80
    - › Raketenflug 81
  - Drehimpuls und Drehimpulserhaltung 82
    - › Rotation um freie Achsen 83
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 84*

## Gravitationsfeld 87

- Bewegungen am Himmel 88
  - Das Gravitationsgesetz 90
    - › Bestimmung der Gravitationskonstanten nach Cavendish 91
    - › Das Entstehen der Gezeiten 93
    - › Die numerische Rechenmethode durch Schrittverfahren 94
    - › Punktweise Berechnung von Planetenbahnen 95
  - Das Gravitationsfeld 96
    - Felder 98
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 100*

## Schwingungen 103

- › Untersuchung eines Federpendels 104
  - Merkmale von Schwingungen 105
    - › Modellbildung zum linearen Kraftgesetz 106
    - › Die Bedeutung der Ableitung zeitlich veränderlicher Größen 107
    - › Die Ableitung in der Physik 108
    - › Vergleich numerischer Verfahren am Beispiel des Federpendels 109
    - › Das Fadenpendel 110
  - Das Fadenpendel 111
    - › Untersuchung nicht harmonischer Schwingungen 112
    - › Darstellung einer Schwingung im Zeigermodell 113
  - Überlagerung von Schwingungen 114
    - › Prinzip der digitalen Tonwiedergabe 116
    - › Schwingungen in der Musik 117
  - Erzwungene Schwingungen 118
    - › Rückkopplung 119
  - Eingeschränkte Vorhersagbarkeit 120
    - › Der Lorenzattraktor 123
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 124*

## Elektrisches Feld 127

- Die elektrische Ladung 128
  - › Ladungsmessung 129
- Elektrische Felder 130
  - › Die elektrische Feldstärke 131
  - › Elektrische Filter für die Rauchgasreinigung 133
  - › Drucken und Lackieren – mit Hilfe elektrischer Ladung 134
- Energie und Spannung im elektrischen Feld 135
  - › Die elektrische Spannung in Biologie und Medizin 137
- Der Kondensator, ein Ladungsspeicher 138
  - › Eigenschaften des Kondensators 140
- Der Kondensator im Stromkreis 141
  - › Der Kondensator in der Modellbildung 142
  - › Blitze und Gewitter 143
- Ladungsträger im elektrischen Feld 144
  - › Ablenkung in einer Elektronenstrahlröhre 145
  - › Der Millikanversuch 146
- Nachweis der Elementarladung 147
  - › Der piezoelektrische Effekt 149
- Diode und Transistor 150
  - › Feldeffekttransistoren 152
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 153*

## Magnetisches Feld 157

- Das magnetische Feld 158
  - › Untersuchung der magnetischen Feldstärke 160
- Elektronen im Magnetfeld 161
  - › Der Hall-Effekt 163
- Elektrizitätsleitung in festen Stoffen 164
- Magnetische Felder spezieller Leiteranordnungen 167
  - › Supraleitung 169
  - › Bestimmung der Masse eines Elektrons 170
- Elektronen haben eine Masse 171
  - › Geladene Teilchen in Feldern (1) 172
  - › Geladene Teilchen in Feldern (2) 173
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 174*

## Induktion 177

- › Elektrodynamik 178
- › Erzeugung einer Induktionsspannung an einer Leiterschaukel 179
- › Einsatz von Messwerterfassungssystemen I 180
- Elektrische Spannung durch Magnetfelder 181
  - › Einsatz von Messwerterfassungssystemen II 182
  - › Induktionsspannung und Differenzialrechnung 183
  - › Der Thomson'sche Ringversuch 184
- Die Lenz'sche Regel 185
- Wirbelströme 187
- Selbstinduktion 188
  - › Leiterschleifen im Magnetfeld 190
- Wechselspannung und Wechselstrom 191
- Elektrische Energie, Leistung und Wirkungsgrad 192
  - › Mathematische Beschreibung der Wechselspannung 193
  - › Kondensator oder Spule im Wechselstromkreis 194
- Wechselstromkreis mit Kondensator oder Spule 195
  - › Mathematische Betrachtung von Kondensator bzw. Spule im Wechselstromkreis 196
  - › Reale Spulen 197
  - › Frequenzen sieben und sperren 198
  - › Der Wechselstromkreis mit Widerstand und Spule in der Modellbildung 199
  - › Drehstrom 200
  - › Messungen am Transformator 201
- Der Transformator 202
- Der elektrische Schwingkreis 204
  - › Herleitung und Lösung der Thomson'schen Schwingungsgleichung 205
  - › Analogie zwischen mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen 206
  - › Rückkopplung 207
  - › Der chaotische Schwingkreis 207
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 208*

## Wellen 213

- Mechanische Wellen 214
  - › Schallwellen 215
- Harmonische Wellen 216
  - › Mathematische Beschreibung von Wellen 218
  - › Erdbeben 220
- Der Dopplereffekt 221
- Überlagerung von Wellen 222
  - › Interferenz 224
  - › Erzeugung stehender Wellen an einem Gummiband 225
  - › Erzeugung stehender Wellen im Resonanzrohr 225
- Stehende Wellen 226
  - › Ausbreitung von Wasserwellen 228
- Das Huygens'sche Prinzip 230
  - › Versuche mit Ultraschall 232
- Ultraschall 233
- Elektromagnetische Wellen 234
  - › Der Mikrowellenherd 237
  - › Untersuchung der Strahlung eines elektrischen Schwingkreises 238
- Die Entstehung elektromagnetischer Wellen 239
  - › Wellen im Alltag 241
  - › Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen 242
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 245*

## Wellenmodell des Lichtes 249

- › Untersuchung von Licht am Zweifachspalt 250
- Interferenzen am Zweifachspalt 251
- Modelle des Lichtes 253
  - › Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault 255
- Die Geschwindigkeit des Lichtes 256
  - › Untersuchung von Licht am optischen Gitter 257
- Interferenz von Licht am optischen Strichgitter 258
- Interferometer 260
  - › Interferometer selbst gebaut 261
- Beugung von Licht 262
- Streuung 264
  - › Holografie 265
- Farberscheinungen dünner Schichten 266
  - › Untersuchung der Welleneigenschaften des Lichtes 268
- Polarisation des Lichtes 269
- Röntgenstrahlung 270
- Das Spektrum elektromagnetischer Strahlung 272
- Licht und Beleuchtung 274
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 275*

## Quantenobjekte 279

- › Wechselwirkung von Elektronen mit einer Graphitpulverschicht 280
- Interferenz mit Elektronen 281
  - › Elektronenbeugung in der Forschung 283
  - › Der Fotoeffekt I: Der Hallwachs-Versuch 284
  - › Der Fotoeffekt II: Versuche mit der Vakuum-Fotозelle 285
- Licht löst Elektronen aus 286
  - › Geschichte des Fotoeffekts 288
  - › Photonen erzeugen Beugungsbilder 289
- Zwei-Wege-Experimente 290
- Quantenobjekte 292
  - › Untersuchung von Röntgenstrahlung 294
- Röntgenstrahlung 295
- Messungen an Quantenobjekten 297
  - › Auswirkungen der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation 299
- Photonen im Interferometer 300
- Verschränkung 302
- Deutungen 303
- Der Tunneleffekt 304
  - › Lösung einer Schrödinger-Gleichung 305
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 306*

## Atomphysik 311

- Atome 312
  - › Theorie der Rutherford-Streuung 314
  - › Der Franck-Hertz-Versuch 315
- Anregung und Ionisation von Atomen 316
  - › Untersuchung des Lichtes verschiedener Spektralröhren 317
  - › Untersuchung des Sonnenlichtes 317
- Spektraluntersuchungen 318
  - › Flammenuntersuchungen 318
  - › Spektralanalyse in der Astronomie 320
  - › Spektraluntersuchung von Wasserstoff 321
- Untersuchung von Wasserstoff 322
  - › Leistungen und Grenzen des Bohr'schen Atommodells 323
- Das Modell des Potenzialtopfs 324
- Schrödingergleichung und Wasserstoffatom 326
  - › Schrödingergleichung und Modellbildung 327
  - › Atome mit mehreren Elektronen 328
  - › Ordnung im Periodensystem 329
  - › Aufnahme von Röntgenspektren 330
- Charakteristisches Röntgenspektrum 331
- Farbstoffe 333
- Laser 334
  - › Laser in Umwelt und Technik 335
- Vom Atom zur Materie 336
- Halbleiter und Leiter 338
- p-n-Übergang und Leuchtdioden 340
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 341*

## Kernphysik 347

- Atomkerne 348
- Radioaktive Strahlung 349
- Nachweis der Radioaktivität mit dem Geiger-Müller-Zählrohr 350
  - › Das Geiger-Müller-Zählrohr 350
  - › Zählstatistik 351
  - › Detektoren 352
  - › Nachweis der verschiedenen Strahlungsarten 353
- Eigenschaften radioaktiver Strahlung 354
  - › Absorption von  $\gamma$ -Strahlung 356
- Wechselwirkung der  $\gamma$ -Strahlung mit Materie 357
  - › Theorie führt zu Gesetzen 357
- Die Entstehung radioaktiver Strahlung 358
  - › Die Energie der  $\gamma$ -Strahlung 360
  - › Die Entdeckung des Neutrons 360
- Radioaktiver Zerfall 361
  - › Altersbestimmung mit radioaktiven Stoffen 363
- Dosimetrische Größen 364
- Strahlenbelastung des Menschen 365
  - › Moderne Physik – Moderne Medizin 367
- Energie aus dem Atomkern 368
  - › Leichtwasser-Kernreaktoren 370
  - › Nutzen und Risiken der Kernenergietechnik 371
  - › Wissenschaft und Gesellschaft 372
- Elementarteilchen 373
- Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 377*

## **Astrophysik 381**

Weltmodelle 382

› Astronomische Beobachtungen 385

Kosmologie 386

› Am Rande des Universums 391

Kernfusion in Sternen – Die Sonne 392

*Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 395*

## **Thermodynamik 397**

› Die Gasgesetze 398

Das thermische Verhalten von Gasen 399

Druck und Temperatur im Teilchenmodell 401

› Berechnung des Gasdrucks im Teilchenmodell 402

Innere Energie 403

Entropie 406

› Berechnung der Arbeit bei isothermer Expansion 408

Entropie anschaulich 409

Kühlschrank und Wärmepumpe 411

Die Umsetzung von Energie durch Motoren 412

Erster und zweiter Hauptsatz der Thermodynamik 414

› Wirkungsgrad des idealen Heißluftmotors 415

Energieversorgung 416

Strahlungsgesetze 418

› Linearisierung – ein Verfahren zum Aufdecken  
funktionaler Zusammenhänge 419

Nutzung der Sonnenenergie 422

› Thermische Nutzung der Sonnenenergie 423

› Elektrische Energie aus der Sonne 423

› Das Abkühlen von Kaffee 424

*Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 425*

## **Strömungsphysik 429**

Strömungen 430

› Herleitung der Bernoulli-Gleichung 431

Strömungswiderstände 432

› Luftwiderstand und Auswirkungen im Alltag 433

Fliegen 434

› Der dynamische Auftrieb 434

*Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 436*

## **Relativitätstheorie 437**

› Das Michelson-Morley-Experiment 438

Die Einstein'schen Postulate 439

› Thermoskannenversuch zum Myonenzerfall 441

Ort, Zeit, Ereignis 442

› Minkowski-Diagramme 443

› Gedankenexperiment Lichtuhr 444

› Uhren auf Weltreise 444

Messen und Wahrnehmen 445

› Bilder bewegter Körper 446

› Geschwindigkeitsaddition 448

› Vergangenheit und Zukunft 448

› Zyklotron-Experimente 449

Relativistische Masse, Energie und Impuls 450

› Relativistische Erhaltungsgrößen 451

› Transformationen 452

Allgemeine Relativitätstheorie 453

› Orientierung und Positionsbestimmung mit  
Satellitennavigation 454

*Rückblick, Beispiele, Heimversuche, Aufgaben 455*

## **Übungsaufgaben zur Klausurvorbereitung 457**

### **Anhang**

Umgang mit Messfehlern 468

Einführung in die Videoanalyse und Modellbildung 470

Tabellen 480

Stichwort- und Personenverzeichnis 489

Bildquellen 496