

Physik I

Integrierter Kurs
für
Physiker, Mathematiker
und Informatiker

Prof. Dr. Reinhold Kleiner

PHYSIKALISCHES INSTITUT: EXPERIMENTALPHYSIK II

Prof. Dr. Herbert Müther

INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK

Wintersemester 2002/2003, verbessert 2004, und 2008

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 1.1 | Raum, Zeit und Koordinatensysteme | 1 |
| 1.2 | Messung von Längen und Zeiten | 5 |
| 1.2.1 | Messgenauigkeit und Messfehler | 5 |
| 1.2.2 | Messung mittlerer und kleiner Abstände | 10 |
| 1.2.3 | Messung großer Abstände | 12 |
| 1.2.4 | Zeitmessung und Messung schneller Vorgänge | 14 |
| 2 | Dynamik eines Massenpunktes | 23 |
| 2.1 | Vektoren und Koordinatensysteme | 23 |
| 2.1.1 | Zylinderkoordinaten | 29 |
| 2.2 | 1. und 2. Newton'sches Axiom; schwere und träge Masse | 33 |
| 2.3 | Arbeit und Energie | 38 |
| 2.3.1 | Berechnung von Wegintegralen | 39 |
| 2.3.2 | Gradient eines Skalarfeldes | 40 |
| 2.3.3 | Konservative Kraftfelder | 44 |
| 2.4 | Fall, Wurf und Federkräfte | 47 |
| 2.4.1 | Fall und Wurf | 47 |
| 2.4.2 | Vektoreigenschaften von Kräften | 52 |
| 2.4.3 | Federkräfte; Hooksches Gesetz | 54 |
| 2.5 | Federpendel, mathematisches Pendel und Uhren | 57 |
| 2.5.1 | Das Federpendel | 57 |
| 2.6 | Allgemeine Lösung der Bewegungsgleichung | 60 |
| 2.6.1 | Mathematisches Pendel, Uhren und andere schwingende Systeme | 63 |
| 2.6.2 | Mathematisches Pendel | 66 |
| 2.7 | Reibungskräfte | 69 |
| 2.8 | Kleine Schwingungen | 70 |
| 2.9 | Gedämpfter Harmonischer Oszillator | 72 |
| 2.9.1 | Einige Rechenregeln für komplexe Zahlen | 73 |
| 2.9.2 | Bearbeitung der komplexen Lösung | 75 |
| 2.9.3 | Schwache Dämpfung | 77 |
| 2.9.4 | Starke Dämpfung | 78 |
| 2.10 | Angetriebener Harmonische Oszillator | 80 |
| 2.11 | Numerische Lösung der Bewegungsgl. | 84 |
| 2.12 | Zentrale Kraftfelder | 89 |
| 2.13 | Newton, Kepler und die Planeten | 95 |
| 2.13.1 | Das Newton'sche Gravitationsgesetz | 95 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.13.2 | Die Kepler'schen Gesetze | 101 |
| 2.13.3 | Theorie: Keplersche Gesetze | 102 |
| 2.13.4 | Trajektorien im Gravitationsfeld | 107 |
| 3 | Vielteilchensysteme | 111 |
| 3.1 | Dynamik zweier oder mehrerer Massenpunkte | 111 |
| 3.1.1 | Das dritte Newton'sche Axiom | 111 |
| 3.1.2 | Gesamtimpuls, Schwerpunkts- und Relativbewegung | 113 |
| 3.2 | Volumenintegrale | 121 |
| 3.3 | Stöße zwischen zwei Körpern | 131 |
| 3.3.1 | Allgemeine Anmerkungen | 131 |
| 3.3.2 | Eindimensionale Stöße | 135 |
| 3.3.3 | Nicht-zentrale Stöße | 144 |
| 3.4 | Der Virialsatz | 150 |
| 4 | Rotationen | 153 |
| 4.1 | Drehung eines Koordinatensystems | 153 |
| 4.2 | Zeitableitung im rotierenden Koordinatensystem | 161 |
| 4.3 | Bewegungsgleichungen im rot. Koordinatensystem | 165 |
| 4.4 | Versuche zu Scheinkräften | 169 |
| 4.4.1 | Scheinkräfte im rotierenden Bezugssystem | 169 |
| 4.4.2 | Scheinkräfte im linear beschleunigten Bezugssystem | 181 |
| 5 | Starre Körper | 183 |
| 5.1 | Definition und Freiheitsgrade | 183 |
| 5.2 | Drehimpuls, Drehmoment und Trägheitstensor | 186 |
| 5.2.1 | Hauptträgheitsachsen und Momente | 187 |
| 5.2.2 | Drehmomente | 190 |
| 5.2.3 | Trägheitsmomente | 191 |
| 5.3 | Drehimpuls und Drehmoment im Experiment | 195 |
| 5.3.1 | Drehimpulserhaltung | 195 |
| 5.3.2 | Hebelgesetze und Gleichgewicht | 196 |
| 5.4 | Kinetische Energie eines Starren Körpers | 201 |
| 5.5 | Rotationen um freie Achsen; Kreisel | 207 |
| 6 | Thermodynamik und Wärmelehre | 213 |
| 6.1 | Definition und Freiheitsgrade | 213 |
| 6.2 | Temperatur und Boltzmann Verteilung | 220 |
| 6.3 | Thermische Bewegung, Temperatur und Wärme | 227 |
| 6.3.1 | Anmerkungen zur Geschwindigkeitsverteilung von Gasmolekülen | 227 |
| 6.3.2 | Messung von Temperaturen; Temperaturskalen | 228 |
| 6.3.3 | Vorgänge bei verschiedenen Temperaturen | 235 |
| 6.3.4 | Wärmekapazität und spezifische Wärme | 239 |
| 6.4 | Ideales Gas | 242 |
| 6.4.1 | Zustandsgleichung des idealen Gases | 242 |
| 6.4.2 | Barometrische Höhenformel | 243 |
| 6.5 | Gasgesetze, Druck und Vakuum | 247 |
| 6.5.1 | Gasgesetze und Gasthermometer | 247 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.5.2 | Vakuum | 248 |
| 6.5.3 | Vakuumpumpen | 250 |
| 6.5.4 | Druckmessung | 252 |
| 6.5.5 | Physik bei sehr hohen Drücken | 254 |
| 6.5.6 | Zur barometrischen Höhenformel: | 255 |
| 6.6 | Energieerhaltung: Erster Hauptsatz | 256 |
| 6.7 | Die Entropie und der Zweite Hauptsatz | 260 |
| 6.7.1 | Definition der Entropie | 260 |
| 6.7.2 | Wärmekraftmaschinen | 262 |
| 6.8 | Zustandsänd., Kreisprozesse, Kraft-Wärme-Maschinen | 269 |
| 6.9 | Freie Energie und Freie Enthalpie | 273 |
| 6.10 | Zustandsgleichung eines realen Gases | 278 |
| 6.11 | Phasen und Phasenübergänge | 285 |
| 6.11.1 | Phasenübergang flüssig-gasförmig: | 286 |
| 6.12 | Lösungen | 297 |
| 6.12.1 | Osmotischer Druck; Pfefferzelle | 297 |
| 6.12.2 | Dampfdrucksenkung | 298 |
| 6.12.3 | Gefrierpunktserniedrigung und Siedepunktserhöhung | 299 |
| 6.12.4 | Diffusion und Wärmeleitung | 301 |
| 7 | Schwingungen und Wellen | 307 |
| 7.1 | Überlagerung von Schwingungen, Fourier Zerlegung | 307 |
| 7.1.1 | Fourier Reihen | 309 |
| 7.1.2 | Fouriertransformation | 314 |
| 7.2 | Gekoppelte Schwingungen | 315 |
| 7.3 | Wellengleichung | 321 |
| 7.4 | Schwingungen und Wellen | 329 |
| 7.4.1 | Schwebung und Fourieranalyse im Experiment | 329 |
| 7.4.2 | Wellen in Natur und Technik | 330 |
| 7.4.3 | Einige allgemeine Eigenschaften von Wellen | 334 |
| 7.5 | Gekoppelte Schwingungen im Kristallgitter | 341 |
| 7.5.1 | Die einatomige lineare Kette | 341 |
| 7.5.2 | Die zweiatomige lineare Kette | 344 |
| 7.5.3 | Gekoppelte Schwingungen in drei Dimensionen | 345 |
| 7.5.4 | Nichtlineare Effekte | 346 |

