

Josef Honerkamp Hartmann Römer

---

# Klassische Theoretische Physik

Eine Einführung

Dritte, durchgesehene und erweiterte Auflage  
mit 139 Abbildungen und 39 Übungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg New York  
London Paris Tokyo  
Hong Kong Barcelona  
Budapest

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Die Newtonsche Mechanik</b>	<b>3</b>
2.1 Zeit und Raum in der Klassischen Mechanik	3
2.2 Die Newtonschen Gesetze	6
2.3 Einige wichtige Kraftgesetze	9
2.4 Der Energiesatz für einen Massenpunkt in einem Kraftfeld	12
2.4.1 Wegintegrale	12
2.4.2 Arbeit und Energiesatz	15
2.5 Mehrere Punktteilchen in Wechselwirkung	17
2.6 Der Impuls und die Impulsbilanz	20
2.7 Der Drehimpuls und die Drehimpulsbilanz	24
2.8 Das Zwei-Körper-Problem	26
2.9 Das Kepler-Problem	30
2.10 Die Streuung	34
2.10.1 Die Relativbewegung bei der Streuung	35
2.10.2 Schwerpunktsystem und Laborsystem	37
2.11 Der Streuquerschnitt	41
2.12 Der Virialsatz	43
2.13 Mechanische Ähnlichkeit	45
2.14 Einige allgemeine Betrachtungen zu Mehr-Körper-Problemen	46
<b>3. Die Lagrangeschen Methoden in der Klassischen Mechanik</b>	<b>49</b>
3.1 Problemstellung und Lösungsskizze am Beispiel des Pendels	49
3.2 Die Lagrangesche Methode erster Art	50
3.3 Die Lagrangesche Methode zweiter Art	54
3.4 Die Energiebilanz bei Bewegungen, die durch Zwangsbedingungen eingeschränkt sind	58
3.5 Nichtholonome Zwangsbedingungen	63
3.6 Invarianzen und Erhaltungssätze	66
3.7 Die Hamilton-Funktion	69
3.7.1 Hamiltonsche und Lagrangesche Bewegungsgleichungen	69
3.7.2 Ausblick auf weitere Entwicklungen der theoretischen Mechanik und die Theorie Dynamischer Systeme	72
3.8 Das Hamiltonsche Prinzip der stationären Wirkung	75
3.8.1 Funktionale und Funktionalableitungen	75
3.8.2 Das Hamiltonsche Prinzip	77
3.8.3 Das Hamiltonsche Prinzip für Systeme mit holonomen Zwangsbedingungen	78

<b>4. Der starre Körper</b>	81
4.1 Die Kinematik des starren Körpers	81
4.2 Der Trägheitstensor und die kinetische Energie eines starren Körpers	84
4.2.1 Definition und einfache Eigenschaften des Trägheitstensors	84
4.2.2 Berechnung von Trägheitstensoren	87
4.3 Der Drehimpuls eines starren Körpers, die Eulerschen Kreiselgleichungen	89
4.4 Die Bewegungsgleichungen für die Eulerschen Winkel	93
<b>5. Bewegungen in einem Nicht-Inertialsystem</b>	99
5.1 Scheinkräfte in Nicht-Inertialsystemen	99
5.2 Das Foucaultsche Pendel	102
<b>6. Lineare Schwingungen</b>	105
6.1 Linearisierung um Gleichgewichtspunkte	105
6.2 Einige allgemeine Bemerkungen zu linearen Differentialgleichungen	106
6.3 Homogene lineare Systeme mit einem Freiheitsgrad und konstanten Koeffizienten	108
6.4 Homogene lineare Systeme mit $n$ Freiheitsgraden und konstanten Koeffizienten	111
6.4.1 Eigenschwingungen und Eigenfrequenzen	111
6.4.2 Beispiele für die Berechnung von Eigenschwingungen	113
6.5 Die Antwort eines linearen Systems auf äußere Kräfte	117
6.5.1 Harmonische äußere Kräfte	117
6.5.2 Überlagerung von harmonischen äußeren Kräften	119
6.5.3 Periodische äußere Kräfte	119
6.5.4 Beliebige äußere Kräfte	120
<b>7. Klassische Statistische Mechanik</b>	123
7.1 Thermodynamische Systeme und Verteilungsfunktionen	123
7.2 Die Entropie	126
7.3 Temperatur, Druck und chemisches Potential	129
7.3.1 Systeme mit Austausch von Energie	129
7.3.2 Systeme mit Austausch von Volumen	132
7.3.3 Systeme mit Austausch von Energie und Teilchen	133
7.4 Die Gibbssche Fundamentalform und die Formen des Energieaustausches	134
7.5 Die kanonische Gesamtheit und die freie Energie	136
7.6 Thermodynamische Potentiale	141
7.7 Materialgrößen	143
7.8 Zustandsänderungen und ihre Realisierungen	145
7.8.1 Reversible und irreversible Realisierungen	145
7.8.2 Adiabatische und nicht-adiabatische Realisierungen	147
7.8.3 Der Joule-Thomson Prozeß	150
7.9 Umwandlung von Wärme in Arbeit, der Carnotsche Wirkungsgrad	152
7.10 Die Hauptsätze der Wärmelehre	156
7.11 Der phänomenologische Ansatz in der Thermodynamik	157
7.11.1 Thermodynamik und Statistische Mechanik	157
7.11.2 Zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik	159

7.11.3	Zum zweiten und dritten Hauptsatz der Thermodynamik . . . .	160
7.11.4	Thermische und kalorische Zustandsgleichung . . . . .	162
7.12	Gleichgewichts- und Stabilitätsbedingungen . . . . .	164
7.12.1	Gleichgewicht und Stabilität bei Austauschprozessen . . . . .	164
7.12.2	Gleichgewicht, Stabilität und thermodynamische Potentiale . . . . .	166
<b>8.</b>	<b>Anwendungen der Thermodynamik . . . . .</b>	<b>169</b>
8.1	Phasenübergänge und Phasendiagramme . . . . .	170
8.2	Die Umwandlungswärme bei Phasenumwandlungen . . . . .	172
8.3	Lösungen . . . . .	176
8.4	Das Henrysche Gesetz, die Osmose . . . . .	178
8.4.1	Das Henrysche Gesetz . . . . .	178
8.4.2	Die Osmose . . . . .	179
8.5	Phasenübergänge in Lösungen . . . . .	181
8.5.1	Mischbarkeit nur in einer Phase . . . . .	181
8.5.2	Mischbarkeit in zwei Phasen . . . . .	184
<b>9.</b>	<b>Elemente der Strömungslehre . . . . .</b>	<b>185</b>
9.1	Einige einführende Bemerkungen zur Strömungslehre . . . . .	185
9.2	Die allgemeine Bilanzgleichung . . . . .	187
9.3	Die speziellen Bilanzgleichungen . . . . .	190
9.4	Entropieproduktion, verallgemeinerte Kräfte und Flüsse . . . . .	194
9.5	Die Differentialgleichungen der Strömungslehre und ihre Spezialfälle . . . . .	197
9.6	Einige elementare Anwendungen der Navier-Stokes Gleichungen . . . . .	200
<b>10.</b>	<b>Die wichtigsten linearen partiellen Differentialgleichungen der Physik . . . . .</b>	<b>205</b>
10.1	Allgemeines . . . . .	205
10.1.1	Typen linearer partieller Differentialgleichungen, Formulierung von Rand- und Anfangswertproblemen . . . . .	205
10.1.2	Anfangswertprobleme im $\mathbb{R}^D$ . . . . .	207
10.1.3	Inhomogene Gleichungen und Greensche Funktionen . . . . .	209
10.2	Lösungen der Wellengleichung . . . . .	210
10.3	Randwertprobleme . . . . .	212
10.3.1	Vorbetrachtungen . . . . .	212
10.3.2	Beispiele für Randwertprobleme . . . . .	213
10.3.3	Allgemeine Behandlung von Randwertproblemen . . . . .	215
10.4	Die Helmholtz-Gleichung in Kugelkoordinaten, Kugelfunktionen und Bessel-Funktionen . . . . .	217
10.4.1	Der Separationsansatz . . . . .	217
10.4.2	Die Gleichungen für die Winkelvariablen, Kugelfunktionen . . . . .	218
10.4.3	Die Gleichung für die Radialvariable, Bessel-Funktionen . . . . .	221
10.4.4	Lösungen der Helmholtz-Gleichung . . . . .	222
10.4.5	Ergänzende Betrachtungen . . . . .	223
<b>11.</b>	<b>Elektrostatik . . . . .</b>	<b>225</b>
11.1	Die Grundgleichungen der Elektrostatik und erste Folgerungen . . . . .	225
11.1.1	Coulombsches Gesetz und elektrisches Feld . . . . .	225
11.1.2	Elektrostatisches Potential und Poisson-Gleichung . . . . .	226

11.1.3 Beispiele und wichtige Eigenschaften elektrostatischer Felder	228
11.2 Randwertprobleme in der Elektrostatik, Greensche Funktionen ..	230
11.2.1 Dirichletsche und Neumannsche Greensche Funktionen ....	230
11.2.2 Ergänzende Bemerkungen zu Randwertproblemen der Elektrostatik .....	232
11.3 Berechnung Greenscher Funktionen, die Methode der Bildladungen	233
11.4 Berechnung Greenscher Funktionen, Entwicklung nach Kugelflächenfunktionen .....	237
11.5 Lokalisierte Ladungsverteilungen, die Multipol-Entwicklung ....	239
11.6 Die elektrostatische potentielle Energie .....	241
<b>12. Bewegte Ladungen, Magnetostatik .....</b>	<b>243</b>
12.1 Das Biot-Savartsche Gesetz, die Grundgleichungen der Magnetostatik .....	243
12.1.1 Elektrische Stromdichte und Magnetfeld .....	243
12.1.2 Vektorpotential und Ampèresches Gesetz .....	245
12.1.3 Das SI-System der Maßeinheiten in der Elektrodynamik ....	246
12.2 Lokalisierte Stromverteilungen .....	247
12.2.1 Das magnetische Dipolmoment .....	247
12.2.2 Kraft, Potential und Drehmoment im magnetostatischen Feld .....	249
<b>13. Zeitabhängige elektromagnetische Felder .....</b>	<b>253</b>
13.1 Die Maxwell-Gleichungen .....	253
13.2 Potentiale und Eichtransformationen .....	255
13.3 Elektromagnetische Wellen im Vakuum, die Polarisation transversaler Wellen .....	256
13.4 Elektromagnetische Wellen, der Einfluß der Quellen .....	258
13.5 Die Energie des elektromagnetischen Feldes .....	261
13.5.1 Energiebilanz und Poynting-Vektor .....	261
13.5.2 Energiefluß des Strahlungsfeldes .....	262
13.5.3 Energie des elektrischen Feldes .....	264
13.5.4 Energie des magnetischen Feldes .....	265
13.5.5 Selbstenergie und Wechselwirkungsenergie .....	266
13.6 Der Impuls des elektromagnetischen Feldes .....	267
<b>14. Elemente der Elektrodynamik kontinuierlicher Medien .....</b>	<b>269</b>
14.1 Die makroskopischen Maxwell-Gleichungen .....	269
14.1.1 Mikroskopische und makroskopische Felder .....	269
14.1.2 Gemittelte Ladungsdichte und elektrische Verschiebung ....	270
14.1.3 Gemittelte Stromdichte und magnetische Feldstärke .....	271
14.2 Elektrostatische Felder in kontinuierlichen Medien .....	274
14.3 Magnetostatische Felder in kontinuierlichen Medien .....	276
14.4 Ebene Wellen in Materie, Wellenpakete .....	277
14.4.1 Die Frequenzabhängigkeit der Suszeptibilität .....	278
14.4.2 Wellenpakete, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit .....	280
14.5 Reflexion und Brechung an ebenen Grenzflächen .....	283
14.5.1 Grenzbedingungen, Reflexions- und Brechungsgesetz .....	283
14.5.2 Die Fresnelschen Formeln .....	284

14.5.3 Spezielle Effekte bei Reflexion und Brechung .....	285
a) Der Brewstersche Winkel .....	285
b) Totale Reflexion .....	286
c) Krümmung des Lichtweges in einem inhomogenen Medium .....	286
<b>Anhang</b> .....	289
A. Die $\Gamma$ -Funktion .....	289
B. Kegelschnitte .....	290
C. Tensoren .....	291
D. Fourier-Reihen und Fourier-Integrale .....	293
D.1 Fourier-Reihen .....	293
D.2 Fourier-Integrale und Fourier-Transformationen .....	297
E. Distributionen und Greensche Funktionen .....	299
E.1 Distributionen .....	299
E.2 Greensche Funktionen .....	301
F. Vektoranalysis und krummlinige Koordinaten .....	303
F.1 Vektorfelder und skalare Felder .....	303
F.2 Linien-, Flächen- und Volumenintegrale .....	303
F.3 Satz von Stokes .....	305
F.4 Satz von Gauß .....	306
F.5 Einige Anwendungen der Integralsätze .....	307
F.6 Krummlinige Koordinaten .....	307
<b>Übungsaufgaben</b> .....	311
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	323
<b>Namen- und Sachverzeichnis</b> .....	327