

## **Vorwort** *XI*

- 1 Die grundlegenden Prinzipien 1**
  - 1.1 Die Mechanik von Massenpunkten 1
  - 1.2 Die Mechanik eines Systems von Massenpunkten 5
  - 1.3 Randbedingungen 12
  - 1.4 Das Prinzip von d'Alembert und die Lagrange-Gleichungen 17
  - 1.5 Geschwindigkeitsabhängige Potentiale und die Dissipationsfunktion 22
  - 1.6 Einfache Anwendungen der Lagrange-Gleichungen 25
  
- 2 Variationsprinzipien und die Lagrange-Gleichungen 37**
  - 2.1 Das Hamilton-Prinzip 37
  - 2.2 Methoden der Variationsrechnung 39
  - 2.3 Herleitung der Lagrange-Gleichungen aus dem Hamiltonschen Prinzip 47
  - 2.4 Die Erweiterung des Hamiltonschen Prinzips auf Systeme mit Randbedingungen 48
  - 2.5 Vorteile der Formulierung über ein Variationsprinzip 54
  - 2.6 Erhaltungssätze und Symmetrieeigenschaften 58
  - 2.7 Die Energiefunktion und die Erhaltung der Energie 65
  
- 3 Zentralkräfte 75**
  - 3.1 Die Zurückführung auf das äquivalente Einkörperproblem 75
  - 3.2 Die Bewegungsgleichungen und erste Integrale 77
  - 3.3 Das äquivalente eindimensionale Problem und die Klassifikation von Bahnen 81
  - 3.4 Das Virialtheorem 88
  - 3.5 Die Differentialgleichung für die Bahn und integrierbare Potenzpotentiale 91
  - 3.6 Bedingungen für geschlossene Bahnen (Theorem von Bertrand) 94
  - 3.7 Das Keplerproblem: Ein  $1/r^2$ -Kraftgesetz 98

3.8	Die zeitliche Bewegung im Keplerproblem	104
3.9	Der Laplace–Runge–Lenz-Vektor	109
3.10	Streuung in einem Zentralkraftfeld	112
3.11	Transformation des Streuproblems auf Laborkoordinaten	121
3.12	Das Dreikörperproblem	127
<b>4</b>	<b>Kinematik starrer Körper</b>	<b>143</b>
4.1	Die unabhängigen Koordinaten eines starren Körpers	143
4.2	Orthogonale Transformationen	148
4.3	Die formalen Eigenschaften der Transformationsmatrix	153
4.4	Die Eulerschen Winkel	159
4.5	Cayley–Klein-Parameter und verwandte Größen	164
4.6	Das Eulersche Theorem über die Bewegung eines starren Körpers	165
4.7	Endliche Drehungen	172
4.8	Infinitesimale Drehungen	173
4.9	Die zeitliche Änderung eines Vektors	182
4.10	Der Coriolis-Effekt	185
<b>5</b>	<b>Die Bewegungsgleichungen starrer Körper</b>	<b>197</b>
5.1	Drehimpuls und kinetische Energie der Bewegung um einen Punkt	197
5.2	Tensoren	202
5.3	Der Trägheitstensor und das Trägheitsmoment	204
5.4	Die Eigenwerte des Trägheitstensors und die Hauptachsentransformation	208
5.5	Die Bewegung starrer Körper und die Eulerschen Bewegungsgleichungen	212
5.6	Die Bewegung starrer Körper in Abwesenheit von Drehmomenten	214
5.7	Der schwere symmetrische Kreisel mit einem festgehaltenen Punkt	223
5.8	Die Präzession der Äquinoktien und der Bahnen von Satelliten	238
5.9	Die Präzession geladener Körper in einem Magnetfeld	245
<b>6</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>257</b>
6.1	Die Formulierung des Problems	257
6.2	Die Eigenwertgleichung und die Hauptachsentransformation	260
6.3	Die Frequenzen der freien Schwingung und Normalkoordinaten	269
6.4	Freie Schwingungen eines linearen dreiatomigen Moleküls	273
6.5	Erzwungene Schwingungen und die Wirkung dissipativer Kräfte	279
6.6	Das gedämpfte angeregte Pendel und Josephson-Kontakte	285

<b>7</b>	<b>Klassische Mechanik der speziellen Relativitätstheorie</b>	<b>299</b>
7.1	Die grundlegenden Postulate der speziellen Relativitätstheorie	301
7.2	Die Lorentz-Transformationen	304
7.3	Addition von Geschwindigkeiten und Thomas-Präzession	306
7.4	Vektoren und der metrische Tensor	310
7.5	1-Formen und Tensoren	314
7.6	Kräfte in der speziellen Relativitätstheorie; Elektromagnetismus	322
7.7	Relativistische Kinematik von Stößen und Vielteilchensysteme	326
7.8	Der relativistische Drehimpuls	335
7.9	Die Lagrange-Formulierung der relativistischen Mechanik	338
7.10	Kovariante Lagrange-Formulierungen	344
7.11	Einführung in die allgemeine Relativitätstheorie	350
<b>8</b>	<b>Die Hamiltonschen Bewegungsgleichungen</b>	<b>363</b>
8.1	Legendre-Transformationen und die Hamiltonschen Bewegungsgleichungen	363
8.2	Zyklische Koordinaten und Erhaltungssätze	373
8.3	Das Routh-Verfahren	377
8.4	Die Hamiltonsche Formulierung der relativistischen Mechanik	379
8.5	Ableitung der Hamiltonschen Gleichungen aus einem Variationsprinzip	384
8.6	Das Prinzip der kleinsten Wirkung	387
<b>9</b>	<b>Kanonische Transformationen</b>	<b>401</b>
9.1	Die Gleichungen der kanonischen Transformation	401
9.2	Beispiele kanonischer Transformationen	408
9.3	Der harmonische Oszillator	411
9.4	Die symplektische Formulierung kanonischer Transformationen	415
9.5	Poisson-Klammern und kanonische Invarianten	422
9.6	Bewegungsgleichungen, infinitesimale kanonische Transformationen und Erhaltungssätze	431
9.7	Die Poissonschen Klammerbeziehungen für den Drehimpuls	443
9.8	Die Symmetriegruppen mechanischer Systeme	447
9.9	Das Theorem von Liouville	454
<b>10</b>	<b>Hamilton–Jacobi-Theorie und Wirkungs- und Winkelvariablen</b>	<b>467</b>
10.1	Die Hamilton–Jacobi-Gleichung für die Hamiltonsche Wirkungsfunktion	467
10.2	Der harmonische Oszillator als Beispiel für die Hamilton–Jacobi-Methode	472
10.3	Die Hamilton–Jacobi-Gleichung für die charakteristische Hamilton-Funktion	477

- 10.4 Separation der Variablen in der Hamilton–Jacobi-Gleichung 481
- 10.5 Ignorable Variablen und das Kepler-Problem 483
- 10.6 Wirkungs- und Winkelvariablen in Systemen mit einem Freiheitsgrad 489
- 10.7 Wirkungs- und Winkelvariablen in vollständig separierbaren Systemen 495
- 10.8 Das Kepler-Problem in Wirkungs- und Winkelvariablen 505
  
- 11 Klassisches Chaos 523**
- 11.1 Periodische Bewegungen 524
- 11.2 Störungen und das Kolmogorov–Arnold–Moser-Theorem 528
- 11.3 Attraktoren 530
- 11.4 Chaotische Trajektorien und Liapunov-Exponenten 531
- 11.5 Poincaré-Abbildungen 536
- 11.6 Das Hénon–Heiles-System 538
- 11.7 Bifurkationen, der gedämpfte angeregte Oszillator und parametrische Resonanz 548
- 11.8 Die logistische Gleichung 552
- 11.9 Fraktale und Dimensionalität 559
  
- 12 Kanonische Störungstheorie 571**
- 12.1 Einführung 571
- 12.2 Zeitabhängige Störungstheorie 572
- 12.3 Anwendungen der zeitabhängigen Störungstheorie 578
- 12.3.1 Die Periode eines ebenen Pendels mit endlicher Amplitude 578
- 12.3.2 Die Störung eines gebundenen Kepler-Problems durch eine Zentralkraft 581
- 12.3.3 Die Präzession der Äquinoktien und der Bahnen von Satelliten 584
- 12.4 Zeitunabhängige Störungstheorie 587
- 12.5 Adiabatische Invarianten 595
  
- 13 Die Hamiltonsche und Lagrangesche Formulierung für kontinuierliche Systeme und Felder 605**
- 13.1 Der Übergang von einem diskreten zu einem kontinuierlichen System 605
- 13.2 Der Lagrange-Formalismus für kontinuierliche Systeme 608
- 13.3 Der Spannungs–Energie-Tensor und Erhaltungssätze 614
- 13.4 Die Hamiltonsche Formulierung 620
- 13.5 Relativistische Feldtheorie 625
- 13.6 Beispiele für relativistische Feldtheorien 631
- 13.6.1 Ein komplexes Skalarfeld 631
- 13.6.2 Die Sinus-Gordon-Gleichung und das assoziierte Feld 634
- 13.6.3 Das elektromagnetische Feld 636
- 13.7 Das Noether-Theorem 638

<b>A</b>	<b>Euler-Winkel und Cayley–Klein-Parameter in verschiedenen Konventionen</b>	<b>651</b>
A.1	Die $y$ -Konvention	651
A.2	Die $xyz$ -Konvention	653
<b>B</b>	<b>Gruppen und Algebren</b>	<b>657</b>
B.1	Eigenschaften von Gruppen	657
B.2	Darstellung von Gruppen	660
B.3	Lie-Gruppen und Lie-Algebren	664
B.4	Clifford-Algebren	666
B.5	Die gruppentheoretische Klassifikation von Elementarteilchen	667
	<b>Index</b>	<b>677</b>