

Herbert Goldstein, Charles P. Poole, Jr., und John L. Safko

Klassische Mechanik

Dritte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage



**WILEY-
VCH**

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

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
4	Kinematik starrer Körper	143
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
5	Die Bewegungsgleichungen starrer Körper	197
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
6	Schwingungen	257
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

7	Klassische Mechanik der speziellen Relativitätstheorie	299
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
8	Die Hamiltonschen Bewegungsgleichungen	363
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
9	Kanonische Transformationen	401
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
10	Hamilton–Jacobi-Theorie und Wirkungs- und Winkelvariablen	467
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

A	Euler-Winkel und Cayley–Klein-Parameter in verschiedenen Konventionen	651
A.1	Die y -Konvention	651
A.2	Die xyz -Konvention	653
B	Gruppen und Algebren	657
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
	Index	677