

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort *V*

MECHANICUS *VIII*

## A Die Newtonsche Mechanik *1*

- 1 Einteilchensysteme *2***
  - 1.1 Die Newtonschen Axiome *2*
  - 1.2 Konservative Kräfte und Potentiale *5*
  - 1.3 Energieerhaltungssatz *10*
  - 1.4 Beschleunigte Bezugssysteme *10*
  - 1.5 Corioliskräfte der Erdrotation\* *16*
  - 1.6 Zusammenfassung *19*
  - 1.7 Aufgaben *21*
  
- 2 Mehrteilchensysteme *23***
  - 2.1 Impulssatz und Schwerpunktsatz *23*
  - 2.2 Drehimpulssatz *28*
  - 2.3 Die zehn Erhaltungsgrößen *33*
  - 2.4 Zusammenfassung *41*
  - 2.5 Aufgaben *43*

## B Die Lagrangesche Mechanik *47*

- 3 Zwangsbedingungen *48***
  - 3.1 Generalisierte Koordinaten *48*
  - 3.2 Klassifizierung von Zwangsbedingungen *48*
  - 3.3 Newtonsche Bewegungsgleichungen *52*
  - 3.4 Zusammenfassung *56*
  - 3.5 Aufgaben *57*

<b>4</b>	<b>Das d'Alembert-Prinzip</b>	<b>58</b>
4.1	Virtuelle Verrückungen	58
4.2	Das d'Alembert-Prinzip	59
4.3	Richtung der Zwangskräfte*	64
4.4	Das Gleichgewichtsprinzip	66
4.5	Wichtigkeit des d'Alembert-Prinzips	66
4.6	Zusammenfassung	66
4.7	Aufgaben	67
<b>5</b>	<b>Die Lagrangegleichungen 2. Art</b>	<b>69</b>
5.1	Aufstellung der Lagrangegleichungen 2. Art	69
5.2	Forminvarianz der Lagrangegleichungen	73
5.3	Beschleunigte Bezugssysteme*	75
5.4	Wichtigkeit der Lagrangegleichungen 2. Art	76
5.5	Zusammenfassung	77
5.6	Aufgaben	78
<b>6</b>	<b>Lagrangeformalismus mit Reibung</b>	<b>83</b>
6.1	Reibungstypen*	83
6.2	Dissipationsfunktion	84
6.3	Zusammenfassung	87
6.4	Aufgaben	88
<b>7</b>	<b>Symmetrien und Erhaltungsgrößen</b>	<b>90</b>
7.1	Kanonische Impulse	90
7.2	Zyklische Koordinaten und Erhaltungsgrößen	90
7.3	Das Noether-Theorem	93
7.4	Energieerhaltungssatz	98
7.5	Zusammenfassung	100
7.6	Aufgaben	101
<b>8</b>	<b>Stabilität und Bifurkationen</b>	<b>103</b>
8.1	Bedingungen für nichtchaotisches Verhalten	103
8.2	Untersuchung von Differentialgleichungen	106
8.3	Stabilität: Erste Methode von Ljapunow	108
8.4	Stabilität: Direkte Methode von Ljapunow	114
8.5	Bifurkationen	118
8.6	Zusammenfassung	123
8.7	Aufgaben	125
<b>9</b>	<b>Die Lagrangegleichungen 1. Art</b>	<b>127</b>
9.1	Vom d'Alembert-Prinzip zu Lagrange I	127
9.2	Wichtigkeit der Lagrangegleichungen 1. Art	136
9.3	Zusammenfassung	136
9.4	Aufgaben	137

- 10 Das Hamiltonsche Prinzip 143**
- 10.1 Variationsrechnung 143
- 10.2 Hamiltonsches Prinzip 148
- 10.3 Wichtigkeit des Hamiltonschen Prinzips 150
- 10.4 Zusammenfassung 151
- 10.5 Aufgaben 152
  
- C Anwendungen der Mechanik 155**
  
- 11 Zentralkraftbewegungen 156**
- 11.1 Zweikörperproblem 156
- 11.2 Zentralkräfte 157
- 11.3 Wiederholung 158
- 11.4 Bewegung im konservativen Zentralkraftfeld 159
- 11.5 Effektives Potential 164
- 11.6 Streuung im Zentralkraftfeld\* 167
- 11.7 Streuung im Laborsystem\* 174
- 11.8 Zusammenfassung 178
- 11.9 Aufgaben 180
  
- 12 Der starre Körper 185**
- 12.1 Bewegungen starrer Körper 185
- 12.2 Kinetische Energie und Trägheitstensor 186
- 12.3 Drehimpuls 191
- 12.4 Schwerpunktsatz und Drehimpulssatz 195
- 12.5 Die Eulerschen Winkel 204
- 12.6 Lagrangegleichungen des starren Körpers 212
- 12.7 Analogie Translation – Rotation \* 217
- 12.8 Zusammenfassung 219
- 12.9 Aufgaben 221
  
- 13 Lineare Schwingungen 231**
- 13.1 Harmonischer Oszillator 231
- 13.2 Gekoppelte Schwingungen 240
- 13.3 Übergang zum schwingenden Kontinuum 252
- 13.4 Zusammenfassung 263
- 13.5 Aufgaben 265
  
- 14 Nichtlineare Schwingungen 269**
- 14.1 Lineare und nichtlineare Kräfte 269
- 14.2 Störungsrechnung 270
- 14.3 Verfahren der harmonischen Balance 275
- 14.4 Erzwungene nichtlineare Schwingungen 278
- 14.5 Selbst- und parametererregte Schwingungen 281

- 14.6 Zusammenfassung 282
- 14.7 Aufgaben 283
  
- 15 Greensche Funktionen und Deltafunktion 288**
- 15.1 Einführung der Greenschen Funktionen 288
- 15.2 Greensche Funktionen und Fouriertransformationen 292
- 15.3 Die Deltafunktion 301
- 15.4 Andere Darstellungen der Deltafunktion 305
- 15.5 Zusammenfassung 306
- 15.6 Aufgaben 308

**D Die Hamiltonsche Mechanik 310**

- 16 Die Hamiltonschen Gleichungen 312**
- 16.1 Legendre-Transformation 312
- 16.2 Die Hamiltonschen Gleichungen 313
- 16.3 Hamiltonfunktion und Energie 316
- 16.4 Hamiltonsche Gleichungen und Hamiltonsches Prinzip 319
- 16.5 Wichtigkeit der Hamiltonschen Gleichungen 320
- 16.6 Zusammenfassung 321
- 16.7 Aufgaben 321
  
- 17 Die Poisson-Klammern 323**
- 17.1 Definition und Eigenschaften 323
- 17.2 Wichtigkeit der Poisson-Klammern 324
- 17.3 Zusammenfassung 325
- 17.4 Aufgaben 326
  
- 18 Kanonische Transformationen 327**
- 18.1 Punkttransformationen 327
- 18.2 Kanonische Transformationen im weiteren Sinn 329
- 18.3 Kanonische Transformationen 332
- 18.4 Wiederholung\* 333
- 18.5 Erzeugende kanonischer Transformationen 334
- 18.6 Wichtigkeit der kanonischen Transformationen 341
- 18.7 Zusammenfassung 342
- 18.8 Aufgaben 343
  
- 19 Kanonische Invarianten 346**
- 19.1 Kanonische Invarianz der Poisson-Klammern 346
- 19.2 Kanonische Invarianz des Phasenvolumens 347
- 19.3 Zusammenfassung 348
- 19.4 Aufgaben 349

- 20 Der Satz von Liouville 350**
- 20.1 Phasenbahnen 350
- 20.2 Grundlagen der Statistischen Mechanik 350
- 20.3 Beweis des Satzes von Liouville 352
- 20.4 Konsequenzen des Satzes von Liouville 354
- 20.5 Zusammenfassung 356
- 20.6 Aufgaben 357
  
- 21 Hamilton-Jacobi-Theorie 359**
- 21.1 Hamilton-Jacobi-Gleichung 359
- 21.2 Berechnung einer Prinzipalfunktion 362
- 21.3 Integrierbarkeit 367
- 21.4 Wichtigkeit der Hamilton-Jacobi-Theorie 370
- 21.5 Zusammenfassung 370
- 21.6 Aufgaben 372
  
- 22 Übergang zur Quantenmechanik 373**
- 22.1 Analogie Mechanik – geometrische Optik 374
- 22.2 Zeitunabhängige Schrödinger-Gleichung 377
- 22.3 Zusammenfassung 380

## **E Die Relativistische Mechanik 381**

- 23 Raum und Zeit 382**
- 23.1 Das Galileische Relativitätsprinzip 382
- 23.2 Die Einsteinschen Postulate 382
- 23.3 Relativität der Zeit 385
- 23.4 Die Lorentz-Transformationen 389
- 23.5 Zeitdilatation und Längenkontraktion 395
- 23.6 Zusammenfassung 405
- 23.7 Aufgaben 406
  
- 24 Relativistische Kinematik 409**
- 24.1 Maximale Geschwindigkeit 409
- 24.2 Vierdimensionale Entfernungen 410
- 24.3 Doppler-Effekt 415
- 24.4 Addition von Geschwindigkeiten 420
- 24.5 Beschleunigungen\* 427
- 24.6 Zusammenfassung 429
- 24.7 Aufgaben 430
  
- 25 Relativistische Dynamik 434**
- 25.1 Vierervektoren 434
- 25.2 Relativistischer Impuls 436

25.3	Masse und Energie	442
25.4	Photonen	447
25.5	Grenzen der Raumfahrt*	451
25.6	Zusammenfassung	458
25.7	Aufgaben	460

**Lösungen** 463

Lösungen 1: Einteilchensysteme	463
Lösungen 2: Mehrteilchensysteme	467
Lösungen 3: Zwangsbedingungen	472
Lösungen 4: Das d'Alembert-Prinzip	474
Lösungen 5: Die Lagrangegleichungen 2. Art	478
Lösungen 6: Lagrangeformalismus mit Reibung	493
Lösungen 7: Symmetrien und Erhaltungsgrößen	496
Lösungen 8: Stabilität und Bifurkationen	500
Lösungen 9: Die Lagrangegleichungen 1. Art	507
Lösungen 10: Das Hamiltonsche Prinzip	531
Lösungen 11: Zentralkraftbewegungen	543
Lösungen 12: Der starre Körper	557
Lösungen 13: Lineare Schwingungen	600
Lösungen 14: Nichtlineare Schwingungen	620
Lösungen 15: Greensche Funktionen und Deltafunktion	631
Lösungen 16: Die Hamiltonschen Gleichungen	642
Lösungen 17: Die Poisson-Klammern	646
Lösungen 18: Kanonische Transformationen	649
Lösungen 19: Kanonische Invarianten	657
Lösungen 20: Der Satz von Liouville	659
Lösungen 21: Hamilton-Jacobi-Theorie	661
Lösungen 23: Raum und Zeit	667
Lösungen 24: Relativistische Kinematik	674
Lösungen 25: Relativistische Dynamik	680

**Index** 685