

Anmerkungen zur Theoretischen Physik	1
1 Vorbemerkungen zur Mechanik	6
2 Newtons Grundgesetze der Mechanik	8
2.1 Grundannahmen und Vorbetrachtungen	8
2.1.1 Absoluter Raum	8
2.1.2 Absolute Zeit	9
2.1.3 Wichtige Idealisierungen der klassischen Mechanik	9
2.1.4 Kinematische Vorbetrachtungen	10
2.1.5 Galilei-Transformation	14
2.1.6 Bahncharakterisierung durch Differentialgleichungen	16
2.2 Newtonsche Bewegungsgesetze	18
2.2.1 Newtons vier Grundgesetze	19
2.2.2 Diskussion der Grundgesetze	21
2.3 Newtons Grundgesetze der Gravitation	30
2.3.1 Schwerkraft und schwere Masse	30
2.3.2 Schwerfeld und Newtonsches Gravitationsgesetz	31
2.3.3 Newtonsche Feldgleichung für das Schwerfeld	33
2.3.4 Gravitationsfeld einer homogenen Kugel	34
2.4 Äquivalenz von träger und schwerer Masse	36
2.5 Schlussbemerkung und Ausblick	38
Aufgaben	39
3 Folgerungen aus den Grundgesetzen	44
3.1 Einzelner Massenpunkt	44
3.1.1 Arbeit	44
3.1.2 Kinetische Energie und Energiesatz	45
3.1.3 Potenzial und Energieerhaltung in konservativen Kraftfeldern	45
3.1.4 Eigenschaften konservativer Kraftfelder	47
3.1.5 Drehimpuls, Drehmoment und Drehimpulssatz	48
3.2 Systeme freier Massenpunkte	49
3.2.1 Definition von Bewegungsgrößen	50
3.2.2 Impulssatz und Impulserhaltung	52
3.2.3 Drehimpulssatz und Drehimpulserhaltung	53
3.2.4 Energiesatz und Energieerhaltung	55
3.2.5 Konfigurationsraum	57
3.2.6 Integrationsproblem für N Punktmassen	58

3.3	Newtonsche Mechanik in rotierenden Bezugssystemen	60
3.3.1	Mathematische Beschreibung rotierender Systeme	61
3.3.2	Transformation der Bewegungsgleichungen	62
Aufgaben	65
4	Anwendungen der Newtonschen Mechanik	72
4.1	Einzelner Massenpunkt	72
4.1.1	Eindimensionale Bewegung ohne Reibung	72
4.1.2	Linear gedämpfter harmonischer Oszillator	77
4.1.3	Erzwungene Schwingungen des gedämpften harmonischen Oszillators	79
4.1.4	Phasenebene der eindimensionalen Bewegung	81
4.1.5	Bewegung eines Massenpunkts im Zentralfeld	85
Exkurs 4.1:	Potenziale mit ausschließlich geschlossenen Bahnen	90
4.1.6	Kepler-Problem	93
4.1.7	Rutherfordsche Streuformel	99
Exkurs 4.2:	Inverses Streuproblem	105
4.2	Systeme mehrerer Massenpunkte	107
4.2.1	Zwei-Körper-Problem	107
4.2.2	Restringiertes Drei-Körper-Problem	113
4.2.3	Spezielle Lösungen des Drei-Körper-Problems	114
4.2.4	Lösung des Drei-Körper-Problems durch Reihenentwicklung	117
Aufgaben	118
5	Lagrangesche Mechanik	130
5.1	Zwangsbedingungen	130
5.1.1	Klassifizierung der Zwangsbedingungen	133
5.2	Dynamik von Massenpunkten unter Zwangsbedingungen	136
5.2.1	Einzelner Massenpunkt	136
5.2.2	System mehrerer Massenpunkte	141
5.3	Virtuelle Verrückungen	143
5.4	D'Alembertsches Prinzip	144
5.4.1	Lagrange-Gleichungen erster Art für Systeme von Massenpunkten	145
5.4.2	Arbeitsleistung der Zwangskräfte	148
Exkurs 5.1:	Ableitung des d'Alembertschen Prinzips	149
5.5	Prinzip der virtuellen Arbeit	152
5.6	Generalisierte Koordinaten	154
5.6.1	Ein Massenpunkt unter holonomen Zwangsbedingungen	155
5.6.2	System von Massenpunkten unter holonomen Zwangsbedin- gungen	156
5.7	D'Alembertsches Prinzip in generalisierten Koordinaten	160
5.8	Bewegungsgleichungen in generalisierten Koordinaten	163
5.8.1	Holonome Zwangsbedingungen und Lagrange-Gleichungen zweiter Art	163
5.8.2	Nachträgliche Berechnung der Zwangskräfte	168
5.8.3	Lagrange-Gleichungen gemischten Typs	169

5.9	Generalisierte Koordinaten für starre Körper	170
5.9.1	Einzelner starrer Körper	171
5.9.2	Starre Körper unter äußeren Zwangsbedingungen	172
5.10	Reibungskräfte	174
5.10.1	Berührungskräfte	174
5.10.2	Reibungskräfte im Rahmen der Lagrangeschen Mechanik	177
5.11	Integrationsproblem Lagrangescher Systeme	179
5.12	Erhaltungssätze der Lagrangeschen Mechanik	179
5.12.1	Erhaltungssätze bei zyklischen Variablen	179
5.12.2	Verallgemeinerter Energiesatz	180
5.12.3	Zusammenhang mit den Erhaltungssätzen der Newton-Mechanik	181
5.13	Symmetrien und Erhaltungssätze	184
5.13.1	Homogenität und Isotropie in Raum und Zeit	184
5.13.2	Noether-Theorem	186
5.14	Zeitisotropie und mechanische Reversibilität	188
5.15	Mechanische Ähnlichkeit	189
5.16	Virialsatz	191
	Aufgaben	193
6	Starre Körper	206
6.1	Kinematik des freien starren Körpers	206
6.2	Trägheitstensor, Trägheitsmoment und Trägheitsellipsoid	208
6.2.1	Kinetische Energie	208
6.2.2	Trägheitstensor	209
6.2.3	Drehimpuls	210
6.2.4	Hauptachsentransformation	210
6.2.5	Trägheitsmomente	211
6.2.6	Trägheitsellipsoid	212
6.2.7	Rotation um den Schwerpunkt	213
6.2.8	Kreisel	214
6.3	Statik des starren Körpers	215
6.3.1	Gleichgewichtsbedingungen	215
6.3.2	Äquivalenz von Kräften	216
6.3.3	Zwangskräfte	218
6.4	Koordinatenfreie Form der Bewegungsgleichungen	218
6.5	Eulersche Kreiselgleichungen und Winkel	220
6.5.1	Berechnung des Rotationszustands	220
6.5.2	Eulersche Winkel	221
6.6	Lagrangesche Bewegungsgleichungen zweiter Art	223
6.6.1	Freier starrer Körper	223
6.6.2	In einem Punkt festgehaltener starrer Körper	225
6.7	Integration der Bewegungsgleichungen in speziellen Fällen	226
6.7.1	Kräftefreier Kreisel	226
6.7.2	Kreisel unter Einwirkung äußerer Kräfte	234
	Aufgaben	241

7	Hamiltonsche Theorie	248
7.1	Hamiltonsche Bewegungsgleichungen	248
7.2	Zyklische Variablen und Erhaltungssätze	253
7.3	Variationsprinzipien	255
7.3.1	Euler-Gleichungen der Variationsrechnung	256
7.3.2	Hamiltonsches Prinzip	258
7.3.3	Variationsprinzip der Hamiltonschen Gleichungen	259
7.3.4	Variationsprinzip von Maupertuis	260
7.4	Kanonische Transformationen	262
7.4.1	Punkttransformationen	262
7.4.2	Erzeugende Gleichung kanonischer Transformationen	263
7.4.3	Spezielle erzeugende Funktionen und kanonische Transfor- mationen	265
7.5	Poisson-Klammern	268
7.6	Pseudo-kanonische Transformationen	271
	Exkurs 7.1: Symplektische Formulierung der Mechanik	273
	Aufgaben	277
8	Theorie von Hamilton und Jacobi	284
8.1	Hamilton-Jacobi-Gleichung und Satz von Jacobi	284
8.2	Reduzierte Hamilton-Jacobi-Gleichung	286
8.3	Erweiterung und Reduktion des Phasenraums	288
8.3.1	Erweiterung des Phasenraums	288
8.3.2	Reduktion des Phasenraums	289
8.4	Separation der Variablen	290
8.5	Wirkungs- und Winkelvariablen	295
8.5.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad	295
8.5.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden	299
8.6	Satz von Liouville für integrable Systeme	304
8.7	Phasenraumtrajektorien integrierbarer Systeme	309
8.8	Adiabatische Invarianten	311
	Aufgaben	316
9	Nicht-integrable Hamiltonsche Systeme und deterministisches Chaos	323
9.1	Klassische Störungsrechnung	324
9.2	Störung quasi-periodischer Trajektorien: KAM-Theorem	328
9.3	Poincaré-Abbildung	332
9.4	Störung periodischer Trajektorien	334
9.4.1	Fixpunktsatz von Poincaré und Birkhoff	334
9.4.2	Stabilität überlebender Fixpunkte	336
9.4.3	Hyperbolische Fixpunkte und homokline Punkte	339
9.5	Melnikov-Funktion und Existenz homokliner Punkte	346
9.6	Bäcker-Transformation, Bernoulli-Verschiebung und Chaos	352
9.7	Hufeisen-Abbildung	358
9.8	Hufeisenartige Abbildung im homoklinen Gewirr	362
9.9	Liapunov-Exponenten	363

9.10	Chaos und Nicht-Integrabilität	369
9.11	Zunehmendes Chaos am Beispiel der Schaukel	369
9.12	Numerische Berechnungen chaotischer Orbits	374
	Aufgaben	378
	Sachregister	381
	Symbolverzeichnis	389