

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der mathematischen Hintergründe XXIII

Die Autoren XXV

Teil I Mechanik

1 Die Newton'schen Axiome 3

 1.1 Definitionen und Grundlagen 4

 1.2 Die Newton'schen Axiome 8

 1.3 Eindimensionale Bewegung im homogenen Schwerfeld 14

 1.4 Energiesatz in einer Dimension 20

 1.5 Bewegung in drei Dimensionen 25

 1.6 Energieerhaltung und konservative Kräfte 30

 Aufgaben 38

 Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 40

 Antworten zu den Selbstfragen 47

 Literatur 48

2 Koordinatentransformationen und beschleunigte Bezugssysteme 49

 2.1 Drehungen von kartesischen Koordinatensystemen 50

 2.2 Galilei-Transformationen 57

 2.3 Beschleunigte Bezugssysteme 61

 2.4 Kräfte in rotierenden Bezugssystemen 67

 2.5 Nichtkartesische Koordinatensysteme 73

 Aufgaben 79

 Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 80

 Literatur 85

3 Systeme von Punktmassen 87

 3.1 Allgemeine Aussagen und Erhaltungssätze 88

 3.2 Das Zweikörper-Zentralkraftproblem 93

 3.3 Das Kepler-Problem 97

 3.4 Elastische Stöße und Streuung 103

3.5	Das reduzierte Dreikörperproblem	111
3.6	Gezeitenkräfte	114
3.7	Mechanische Ähnlichkeit und der Virialsatz	117
	Aufgaben	119
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	120
	Antworten zu den Selbstfragen	125
	Literatur	126
4	Starre Körper	127
4.1	Freiheitsgrade des starren Körpers	128
4.2	Kinetische Energie und Drehimpuls	131
4.3	Tensoren	133
4.4	Trägheitstensor und Trägheitsmomente	137
4.5	Kontinuierliche Massenverteilungen	143
4.6	Bewegungsgleichungen des starren Körpers	147
4.7	Rotation des Kreisels	149
	Aufgaben	156
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	158
	Antworten zu den Selbstfragen	163
	Literatur	164
5	Lagrange-Formalismus und Variationsrechnung	165
5.1	Systeme mit Zwangsbedingungen	166
5.2	Lagrange-Gleichungen erster Art	171
5.3	Lagrange-Gleichungen zweiter Art	176
5.4	Beispiele zur Anwendung des Lagrange-Formalismus	181
5.5	Variationsrechnung	186
5.6	Symmetrien und Erhaltungssätze	194
	Aufgaben	200
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	201
	Antworten zu den Selbstfragen	208
	Literatur	209
6	Schwingungen	211
6.1	Freie Schwingungen	212
6.2	Gedämpfte Schwingungen	219
6.3	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	222
6.4	Kleine Schwingungen gekoppelter Systeme	225
6.5	Anwendungen gekoppelter Oszillatoren	231
	Aufgaben	235
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	236

7	Hamilton-Formalismus	243
7.1	Hamilton-Funktion und kanonische Gleichungen	244
7.2	Kanonische Transformationen	249
7.3	Grundlagen der Hamilton-Jacobi-Theorie	254
	So geht's weiter	259
	Aufgaben	262
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	263
	Literatur	269
8	Kontinuumsmechanik	271
8.1	Lineare Kette und Übergang zum Kontinuum	272
8.2	Schwingende Saite	277
8.3	Fourier-Reihen	281
8.4	Lagrange-Formalismus für Felder	287
8.5	Grundlagen der Elastizitätstheorie	290
8.6	Ideale Fluidodynamik	296
8.7	Viskosität und Navier-Stokes-Gleichung	303
	So geht's weiter	307
	Aufgaben	311
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	313
	Antworten zu den Selbstfragen	317
	Literatur	318
9	Spezielle Relativitätstheorie	319
9.1	Anfang und Ende der Äther-Vorstellung	321
9.2	Lorentz-Transformationen	325
9.3	Minkowski-Raum	330
9.4	Viererformalismus	337
	So geht's weiter	344
	Aufgaben	346
	Lösungen zu den Aufgaben	348
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	349
	Literatur	353
10	Relativistische Mechanik	355
10.1	Punktteilchen, Ruhemasse und Viererimpuls	356
10.2	Relativistische Bewegungsgleichungen	357
10.3	Relativistische Teilchenstöße	360
	Aufgaben	370
	Lösungen zu den Aufgaben	373
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	374
	Literatur	378

Teil II Elektrodynamik

11	Die Maxwell-Gleichungen	381
11.1	Aufstellung der fundamentalen Maxwell-Gleichungen	383
11.2	Die Lichtgeschwindigkeit in den Maxwell-Gleichungen	397
11.3	Maßsysteme	397
11.4	Energie- und Impulsbilanz	400
11.5	Elektrodynamische Potenziale	404
	Aufgaben	408
	Lösungen zu den Aufgaben	411
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	412
	Literatur	417
12	Elektrostatik	419
12.1	Das elektrostatische Potenzial	420
12.2	Green'sche Funktionen und Randwertprobleme	422
12.3	Randbedingungen auf Leiteroberflächen	425
12.4	Bildladungsmethode	426
12.5	Elektrische Kapazität	431
12.6	Elektrostatische Energie	434
	Aufgaben	437
	Lösungen zu den Aufgaben	439
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	440
	Literatur	443
13	Vollständige Funktionensysteme: Fourier-Transformation und Multipolentwicklung	445
13.1	Das Fourier-Integral	446
13.2	Integrale in der komplexen Ebene	450
13.3	Vollständige Funktionensysteme	458
13.4	Multipolentwicklung in kartesischen Koordinaten	462
13.5	Die Kugelflächenfunktionen	466
13.6	Multipolentwicklung in Kugelkoordinaten	469
	Aufgaben	474
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	476
	Literatur	484

14	Elektrische Felder in Materie	485
14.1	Makroskopische Elektrostatik	486
14.2	Anschlussbedingungen an Grenzflächen	490
14.3	Potenzialgleichung in Dielektrika	492
14.4	Elektrostatische Energie in linearen Medien	495
	Aufgaben	499
	Lösungen zu den Aufgaben	502
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	503
	Literatur	509
15	Magnetismus und elektrische Ströme	511
15.1	Magnetostatik im Vakuum	512
15.2	Makroskopische Magnetostatik	515
15.3	Lösungsmethoden der Magnetostatik	522
15.4	Magnetostatische Energie	526
15.5	Bewegung von geladenen Teilchen in Magnetfeldern	530
15.6	Elektromotorische Kräfte	533
15.7	Makroskopische Elektrodynamik	538
	Aufgaben	543
	Lösungen zu den Aufgaben	545
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	546
	Literatur	551
16	Ausbreitung elektromagnetischer Wellen	553
16.1	Ausbreitung im Vakuum	554
16.2	Ausbreitung in homogenen, linearen Medien	560
16.3	Ausbreitung in Hohlleitern	567
	So geht's weiter	571
	Aufgaben	575
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	577
	Literatur	584
17	Optik	585
17.1	Wellenoptik kontra geometrische Optik	586
17.2	Brechung und Reflexion an Grenzflächen	586
17.3	Die Eikonalgleichung	592
17.4	Beugung	596
	Aufgaben	605
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	606
	Literatur	612

18	Relativistische Formulierung der Elektrodynamik	613
18.1	Repetitorium: Spezielle Relativitätstheorie	614
18.2	Manifest Lorentz-kovariante Maxwell-Gleichungen	617
18.3	Lorentz-Transformation von Feldstärken	620
18.4	Elektromagnetische Viererkräfte	625
18.5	Relativistische Effekte in der Wellenausbreitung	627
18.6	Relativistische Elektrodynamik in Materie	629
	Aufgaben	636
	Lösungen zu den Aufgaben	638
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	639
	Literatur	643
19	Abstrahlung elektromagnetischer Wellen	645
19.1	Retardierte Potenziale	646
19.2	Bewegte Punktladung: Liénard-Wiechert-Potenziale	649
19.3	Der Hertz'sche Dipol	656
19.4	Multipolstrahlung	658
19.5	Abstrahlung durch relativistisch bewegte Teilchen	661
	Aufgaben	668
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	670
	Literatur	679
20	Lagrange- und Hamilton-Formalismus in der Elektrodynamik	681
20.1	Bewegtes Punktteilchen – auch relativistisch	682
20.2	Das elektromagnetische Feld	686
20.3	Das kovariante Noether-Theorem für Felder	690
	So geht's weiter	693
	Aufgaben	695
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	695
	Literatur	699
 Teil III Quantenmechanik		
21	Die Entstehung der Quantenphysik	703
21.1	Probleme der klassischen Physik	704
21.2	Hohlraumstrahlung	706
21.3	Lichtquanten und Materiewellen	708
21.4	Quantisierungsregeln von Bohr und Sommerfeld	716
21.5	Emission, Absorption und Einstein-Koeffizienten	719
21.6	Der Spin	720

Aufgaben	723
Lösungen zu den Aufgaben	725
Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	726
Literatur	728
22 Wellenmechanik	729
22.1 Unbestimmtheit für materielle Teilchen	730
22.2 Materiewellen für kräftefreie Teilchen	732
22.3 Wellenmechanik mit Kräften	740
22.4 Erhaltung der Wahrscheinlichkeit	746
So geht's weiter	749
Aufgaben	751
Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	753
Literatur	759
23 Formalismus der Quantenmechanik	761
23.1 Hilbert-Räume	762
23.2 Lineare Operatoren	769
23.3 Spektralzerlegung von selbstadjungierten Operatoren	778
23.4 Inverse und unitäre Operatoren	782
Aufgaben	785
Lösungen zu den Aufgaben	788
Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	789
Literatur	794
24 Observablen, Zustände und Unbestimmtheit	795
24.1 Die Kopenhagener Interpretation	796
24.2 Unbestimmtheitsrelationen	803
24.3 Ist die Quantenmechanik vollständig?	804
24.4 Gemischte Zustände	810
Aufgaben	815
Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	817
Literatur	822
25 Zeitentwicklung und Bilder	823
25.1 Systeme mit wenigen Zuständen	824
25.2 Dyson-Reihe für den Zeitentwicklungsoperator	830
25.3 Die Bilder der Quantenmechanik	832
25.4 Zeitentwicklung von Gemischen	836
25.5 Pfadintegrale	836
Aufgaben	841
Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	842
Literatur	847

- 26 Eindimensionale Quantensysteme 849
 - 26.1 Potenzialprobleme und Potenzialstufe 850
 - 26.2 Potenzialwall, Potenzialtopf und Tunneleffekt 857
 - 26.3 Der harmonische Oszillator 863
 - 26.4 Kohärente Zustände 867
 - 26.5 Numerische Lösung der Schrödinger-Gleichung 872
 - So geht's weiter 875
 - Aufgaben 878
 - Lösungen zu den Aufgaben 881
 - Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 882
 - Literatur 887
- 27 Symmetrien und Erhaltungssätze 889
 - 27.1 Symmetrien und Erhaltungsgrößen 890
 - 27.2 Raumspiegelungen 891
 - 27.3 Translationen im Raum 894
 - 27.4 Bandstruktur für gitterperiodische Potenziale 895
 - 27.5 Drehungen und Drehimpuls 900
 - 27.6 Eigenvektoren und Eigenwerte des Drehimpulses 903
 - 27.7 Addition von Drehimpulsen 908
 - So geht's weiter 911
 - Aufgaben 912
 - Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 913
 - Literatur 918
- 28 Zentralkräfte – das Wasserstoffatom 919
 - 28.1 Relativbewegung im Zweiteilchensystem 920
 - 28.2 Kugelförmiger Potenzialtopf 925
 - 28.3 Gebundene Zustände des Wasserstoffatoms 927
 - 28.4 Algebraische Lösung des Wasserstoffatoms 934
 - Aufgaben 937
 - Lösungen zu den Aufgaben 939
 - Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 940
 - Literatur 946
- 29 Elektromagnetische Felder und der Spin 947
 - 29.1 Beobachtbarkeit der Potenziale 948
 - 29.2 Geladenes Teilchen im homogenen Magnetfeld 951
 - 29.3 Der Spin des Elektrons 955
 - Aufgaben 963
 - Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben 964
 - Literatur 970

30	Störungstheorie und Virialsatz	971
30.1	Zeitunabhängige Störungen	972
30.2	Allgemeine Aussagen über Erwartungswerte	981
30.3	Zeitabhängige Störungen	985
	Aufgaben	992
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	994
31	Mehrteilchensysteme und weitere Näherungsmethoden	1005
31.1	Mehrteilchensysteme	1006
31.2	Das Variationsverfahren	1014
31.3	Die semiklassische Näherung	1016
	So geht's weiter	1026
	Aufgaben	1029
	Lösungen zu den Aufgaben	1032
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	1033
	Literatur	1043
32	Streutheorie	1045
32.1	Potenzialstreuung	1046
32.2	Partialwellenanalyse	1052
32.3	Resonanzen	1060
32.4	Elastische Streuung identischer Teilchen	1061
	So geht's weiter	1066
	Aufgaben	1069
	Lösungen zu den Aufgaben	1071
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	1072
	Literatur	1077

Teil IV Thermodynamik und statistische Physik

33	Phänomenologische Begründung der Thermodynamik	1081
33.1	Entwicklung der Thermodynamik	1082
33.2	Was ist Thermodynamik?	1088
33.3	Temperatur, Zustandsgrößen und Zustandsänderungen	1091
33.4	Arbeit und Wärme	1098
33.5	Die idealen Gasgesetze	1100
33.6	Der erste Hauptsatz	1102
33.7	Der zweite Hauptsatz (1. Teil)	1108
33.8	Der zweite Hauptsatz (2. Teil)	1118
	Aufgaben	1123
	Lösungen zu den Aufgaben	1126
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	1127
	Literatur	1133

34	Statistische Begründung der Thermodynamik	.1135
34.1	Das Grundpostulat der statistischen Physik	.1136
34.2	Statistische Definition der absoluten Temperatur	.1153
34.3	Statistische Definition der Entropie	.1157
34.4	Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung	.1161
	Aufgaben	.1171
	Lösungen zu den Aufgaben	.1174
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	.1175
	Literatur	.1181
35	Einfache thermodynamische Anwendungen	.1183
35.1	Thermodynamische Funktionen	.1184
35.2	Extremaleigenschaften, Gleichgewicht und Stabilität	.1193
35.3	Das ideale Gas	.1196
35.4	Das Van-der-Waals-Gas	.1201
35.5	Der Joule-Thomson-Effekt	.1204
35.6	Allgemeine Kreisprozesse und der Carnot'sche Wirkungsgrad	.1207
35.7	Chemisches Potenzial und Phasenübergänge	.1210
	Aufgaben	.1215
	Lösungen zu den Aufgaben	.1217
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	.1218
	Literatur	.1222
36	Ensembles und Zustandssummen	.1223
36.1	Ensembles	.1224
36.2	Die kanonische Zustandssumme	.1227
36.3	Großkanonische Zustandssumme und großkanonisches Potenzial	.1235
36.4	Ideales Gas im Schwerfeld	.1238
36.5	Chemische Reaktionen idealer Gasgemische	.1240
36.6	Einfache Modelle für magnetische Systeme	.1245
	So geht's weiter	.1249
	Aufgaben	.1252
	Lösungen zu den Aufgaben	.1254
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	.1255
	Literatur	.1259

37	Quantenstatistik	.1261
37.1	Grundlagen der Quantenstatistik	.1262
37.2	Besetzungszahldarstellung	.1264
37.3	Ideale Quantengase	.1266
37.4	Ideale Fermi-Gase	.1269
37.5	Ideale Bose-Gase	.1271
37.6	Relativistische ideale Quantengase	.1277
37.7	Wärmekapazität fester Körper	.1282
	So geht's weiter	.1287
	Aufgaben	.1289
	Lösungen zu den Aufgaben	.1291
	Ausführliche Lösungen zu den Aufgaben	.1292
	Literatur	.1297
	Abbildungsnachweis	.1299
	Sachverzeichnis	.1301