

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Mechanik</b>	<b>1</b>
1	Elementare Newtonsche Mechanik . . . . .	1
2	Lagrangeformalismus . . . . .	21
3	Variationsprinzipien . . . . .	37
4	Zentralpotenzial . . . . .	56
5	Starrer Körper . . . . .	73
6	Kleine Schwingungen . . . . .	90
7	Hamiltonformalismus . . . . .	105
8	Kontinuumsmechanik . . . . .	116
9	Relativistische Mechanik . . . . .	125
<b>II</b>	<b>Elektrodynamik</b>	<b>143</b>
10	Tensoranalysis . . . . .	143
11	Elektrostatik . . . . .	158
12	Magnetostatik . . . . .	207
13	Maxwellgleichungen: Grundlagen . . . . .	221
14	Maxwellgleichungen: Anwendungen . . . . .	240
15	Elektrodynamik in Materie . . . . .	273
16	Elemente der Optik . . . . .	294
<b>III</b>	<b>Quantenmechanik</b>	<b>311</b>
17	Schrödingers Wellenmechanik . . . . .	311
18	Eigenwerte und Eigenfunktionen . . . . .	334
19	Eindimensionale Probleme . . . . .	359
20	Dreidimensionale Probleme . . . . .	373
21	Abstrakte Formulierung . . . . .	408
22	Operatorenmethode . . . . .	427
23	Näherungsmethoden . . . . .	457
24	Mehrteilchensysteme . . . . .	487

<b>IV</b>	<b>Statistische Physik</b>	<b>507</b>
25	Mathematische Statistik . . . . .	507
26	Grundzüge der Statistischen Physik . . . . .	518
27	Thermodynamik . . . . .	545
28	Statistische Ensembles . . . . .	582
29	Spezielle Systeme . . . . .	602
30	Phasenübergänge . . . . .	642
31	Nichtgleichgewichts-Prozesse . . . . .	662
	<b>Register</b>	<b>669</b>

# Aufgabenverzeichnis

In der ersten Spalte ist die laufende Nummer der Aufgabe in diesem Buch angegeben. Die zweite Spalte gibt die Nummer der Aufgabe in einem der Lehrbücher [1, 2, 3, 4] an; so bezeichnet ed7.3 die Aufgabe 7.3 in der Elektrodynamik [2]. Die dritte Spalte gibt den Titel der Aufgabe an. Jeweils am Beginn eines Aufgabenblocks ist schließlich noch die Seitenzahl angegeben.

## **Mechanik**

### *Elementare Newtonsche Mechanik* 8

- 1.1 me 1.1 Beschleunigung in Kugelkoordinaten
- 1.2 me 2.1 Abstürzender Satellit
- 1.3 me 2.2 Regentropfen im Schwerfeld
- 1.4 me 2.3 Schwingungsperiode eines anharmonischen Oszillators
- 1.5 me 2.4 Einfluss der Zeitdefinition auf die Bewegungsgleichung
- 1.6 me 3.1 Erzwungene Schwingungen
- 1.7 me 3.2 Weg(un)abhängigkeit der Arbeit
- 1.8 me 3.3 Freier Fall mit Reibung
- 1.9 me 3.4 Förderband – Energiebilanz
- 1.10 me 4.1 Potenzial für Coulombkraft
- 1.11 me 6.1 Corioliskraft beim freien Fall

### *Lagrangeformalismus* 28

- 2.1 me 8.1 Massenpunkt auf Kurve im Schwerfeld
- 2.2 me 8.2 Massenpunkt auf Kugeloberfläche
- 2.3 me 8.3 Hantel auf konzentrischen Kreisen
- 2.4 me 8.4 Beschleunigte schiefe Ebene
- 2.5 me 9.1 Bewegung in kugelsymmetrischem Potenzial
- 2.6 me 9.2 Form der kinetischen Energie
- 2.7 me 9.3 Teilchen im elektromagnetischen Feld
- 2.8 me 10.1 Kleine Schwingungen des Doppelpendels
- 2.9 me 10.2 Hantel mit Reibungskraft
- 2.10 me 11.1 Totale Zeitableitung in der Lagrangefunktion

### *Variationsprinzipien* 42

- 3.1 me 12.1 Brachistochrone
- 3.2 me 12.2 Seifenhaut
- 3.3 me 13.1 Besetzungszahlen aus maximaler Entropie
- 3.4 me 13.2 Isoperimetrisches Problem
- 3.5 me 13.3 Geodätische Linien auf Kreiszyylinder
- 3.6 me 14.1 Minimale Wirkung für Teilchen im Schwerfeld

- 3.7 me14.2 Äquivalenz von Lagrangefunktionen
- 3.8 me15.1 Symmetrie des Potentials  $U = \alpha/r^2$
- 3.9 me15.2 Teilchen im homogenen elektrischen Feld
- 3.10 me15.3 Translationsinvarianz im Vielteilchensystem
- 3.11 me15.4 Erhaltungsgrößen des sphärischen Oszillators

*Zentralpotenzial*

62

- 4.1 me16.1 Zur Wahl der verallgemeinerten Koordinaten
- 4.2 me16.2 Einsetzen von Erhaltungsgrößen in die Lagrangefunktion
- 4.3 me16.3 Bahnkurven im sphärischen Oszillatorpotenzial
- 4.4 me17.1 Lenzscher Vektor
- 4.5 me17.2 Keplerbahnen in kartesischen Koordinaten
- 4.6 me17.3 Erdsatellit auf Kreisbahn
- 4.7 me17.4 Periheldrehung
- 4.8 me18.1 Rutherfordstreuung
- 4.9 me18.2 Streuquerschnitt für  $U(r) = \alpha/r^2$
- 4.10 me18.3 Streuung harter Kugeln

*Starrer Körper*

79

- 5.1 me20.1 Steinerscher Satz
- 5.2 me20.2 Trägheitstensor des homogenen Würfels
- 5.3 me20.3 Trägheitstensor des homogenen Quaders
- 5.4 me20.4 Trägheitstensor des homogenen Ellipsoids
- 5.5 me20.5 Abplattung der Erde
- 5.6 me21.1 Kontraktion eines Tensors
- 5.7 me22.1 Symmetrischer Kreisel mit konstantem Drehmoment
- 5.8 me22.2 Drehmoment senkrecht zum Drehimpuls
- 5.9 me23.1 Zylinder mit Unwucht
- 5.10 me23.2 Schaukelbewegung einer Halbkugel

*Kleine Schwingungen*

93

- 6.1 me24.1 Kraftstoß auf Oszillator
- 6.2 me25.1 Transformation zu Normalkoordinaten
- 6.3 me26.1 Standardverfahren für Doppelpendel
- 6.4 me26.2 Normalkoordinaten für Molekülschwingung
- 6.5 me26.3 Lineare Kette mit festen Randbedingungen
- 6.6 me26.4 Eindimensionales Kristallmodell I
- 6.7 me26.5 Eindimensionales Kristallmodell II

*Hamiltonformalismus*

109

- 7.1 me27.1 Hamiltonfunktion für Massenpunkt auf Kreiskegel
- 7.2 me27.2 Hamiltonfunktion für Teilchen im elektromagnetischen Feld
- 7.3 me27.3 Massenpunkt auf rotierender Stange
- 7.4 me27.4 Ebenes Pendel im Phasenraum
- 7.5 me27.5 Liouvillescher Satz
- 7.6 me28.1 Beispiel für kanonische Transformation
- 7.7 me28.2 Erzeugende für kanonische Transformation

<i>Kontinuumsmechanik</i>		121
8.1	me30.1	Saitenschwingung für gegebene Anfangsbedingungen
8.2	me30.2	Lösungsmethode nach d'Alembert
8.3	me32.1	Verallgemeinerung der Bernoulli-Gleichung
8.4	me32.2	Lagrangedichte für inkompressible Flüssigkeit
<i>Relativistische Mechanik</i>		131
9.1	me34.1	Inverse Lorentztransformation
9.2	me34.2	Matrixschreibweise für Wegelement
9.3	me35.1	Lebensdauer von Myonen
9.4	me35.2	Momentaufnahme einer vorbeifliegenden Kugel
9.5	me35.3	Zeitverschiebung für Satelliten
9.6	me37.1	Levi-Civita-Tensor im Minkowskiraum
9.7	me38.1	Konstanz von $u^\alpha u_\alpha$
9.8	me39.1	Kinetische Energie im Schwerpunkt- und Laborsystem
9.9	me39.2	Relativistische Bewegung im elektrischen Feld
9.10	me39.3	Uhrzeit in beschleunigtem System
9.11	me40.1	Erhaltungsgrößen der relativistischen Lagrangefunktion
9.12	me40.2	Relativistische Lagrangefunktion für Teilchen im Feld
9.13	me40.3	Relativistische Hamiltonfunktion für Teilchen im Feld
<b>Elektrodynamik</b>		
<i>Tensoranalysis</i>		148
10.1	ed1.1	Verifikation des Stokesschen Satzes
10.2	ed1.2	Verifikation des Gaußschen Satzes
10.3	ed1.3	Elliptische Zylinderkoordinaten
10.4	ed1.4	Rotation für orthogonale Koordinaten
10.5	ed1.5	Divergenz für orthogonale Koordinaten
10.6	ed2.1	Rechnen mit Gradient, Divergenz und Rotation
10.7	ed2.2	Tensor zweiter Stufe
10.8	ed2.3	Levi-Civita-Tensor
10.9	ed2.4	Produktregel für den Nabla-Operator
10.10	ed2.5	Rotation des Gradienten
10.11	ed2.6	Kontraktion zweier Levi-Civita-Tensoren
10.12	ed3.1	$\delta$ -Funktion als Funktionenfolge
10.13	ed3.2	Integraldarstellung der $\delta$ -Funktion
10.14	ed3.3	Darstellung der $\delta$ -Funktion als Summe
10.15	ed3.4	$\delta$ -Funktion einer Funktion
10.16	ed4.1	Lorentztensor zweiter Stufe
<i>Elektrostatik</i>		169
11.1	ed5.1	Ladungsdichte für Kugelschale und Kreisscheibe
11.2	ed6.1	Gaußsches Gesetz: Punktladung in einer Kugel
11.3	ed6.2	Homogen geladene Kugel
11.4	ed6.3	Homogen geladener Kreiszyylinder

11.5	ed6.4	Elektrostatistisches Potenzial des Wasserstoffatoms
11.6	ed6.5	NaCl-Kristall
11.7	ed6.6	Parallele geladene Drähte
11.8	ed6.7	Homogen geladener dünner Stab
11.9	ed7.1	Poissongleichung auf ein- und zweidimensionalem Gitter
11.10	ed7.2	Poissongleichung auf dem Gitter: Hohler Metallwürfel
11.11	ed7.3	Durch Metallplatten begrenztes Volumen I
11.12	ed7.4	Durch Metallplatten begrenztes Volumen II
11.13	ed7.5	Variationsprinzip für die Feldenergie
11.14	ed8.1	Punktladung vor geerdeten Metallplatten
11.15	ed8.2	Punktladung vor Metallkugel
11.16	ed8.3	Kugelkondensator
11.17	ed8.4	Plattenkondensator auf dem Gitter
11.18	ed8.5	Komplexes Potenzial
11.19	ed8.6	Potenzialströmung um eine bewegte Kugel
11.20	ed8.7	Wärmeleitungsgleichung
11.21	ed9.1	Vollständigkeitsrelation für Sinusfunktionen
11.22	ed9.2	Legendrepolynome aus der Rekursionsformel
11.23	ed9.3	Legendresche Differenzialgleichung
11.24	ed9.4	Normierung der Legendrepolynome
11.25	ed9.5	Laplacegleichung in kartesischen und Zylinderkoordinaten
11.26	ed10.1	Homogen geladener Kreisring
11.27	ed10.2	Zwei parallele Kreisringe
11.28	ed10.3	Homogen geladene Kreisscheibe
11.29	ed10.4	Homogen geladenes Rotationsellipsoid
11.30	ed11.1	Zugeordnete Legendrepolynome
11.31	ed11.2	Entwicklung des Skalarprodukts nach Kugelfunktionen
11.32	ed11.3	Kugelschale mit vorgegebenem Potenzial
11.33	ed12.1	Multipole des homogen geladenen Stabs
11.34	ed12.2	Singularität des Punktdipolfelds
11.35	ed12.3	Kartesische und sphärische Quadrupolkomponenten
11.36	ed12.4	Quadrupoltensor von Rotationsellipsoid und Kreiszyylinder

*Magnetostatik*

210

12.1	ed13.1	Geschwindigkeit der Metallelektronen
12.2	ed14.1	Stromdurchflossener Hohlzylinder
12.3	ed14.2	Stromdurchflossener Draht
12.4	ed14.3	Zylinderspule
12.5	ed15.1	Lokalisierte Stromverteilung
12.6	ed15.2	Zylindersymmetrische Stromverteilung
12.7	ed15.3	Stromdurchflossene Leiterschleife
12.8	ed15.4	Helmholtz-Spulen
12.9	ed15.5	Rotierende, homogen geladene Kugel
12.10	ed15.6	Oberflächenströme der homogen magnetisierten Kugel
12.11	ed15.7	Kleiner Permanentmagnet

*Maxwellgleichungen: Grundlagen*

227

- 13.1 ed 16.1 Induktion in bewegter rechteckiger Leiterschleife
- 13.2 ed 16.2 Induktion in bewegter kreisförmiger Leiterschleife
- 13.3 ed 16.3 Induktion im rotierenden Kreisring
- 13.4 ed 16.4 Magnetfeld im sich entladenden Plattenkondensator
- 13.5 ed 16.5 Felddrehimpuls der rotierenden geladenen Kugel
- 13.6 ed 17.1 Fouriertransformation der Wellengleichung
- 13.7 ed 17.2 Lösung der eindimensionalen Wellengleichung
- 13.8 ed 18.1 Relativistische Bewegungsgleichungen
- 13.9 ed 18.2 Teilchen im konstanten elektrischen Feld
- 13.10 ed 18.3 Teilchen im konstanten magnetischen Feld
- 13.11 ed 18.4 Homogene Maxwellgleichungen
- 13.12 ed 18.5 Ladung als Lorentzskalar
- 13.13 ed 19.1 Eichtransformation
- 13.14 ed 19.2 Erhaltung des Viererimpulses

*Maxwellgleichungen: Anwendungen*

251

- 14.1 ed 20.1 Ebene elektromagnetische Welle
- 14.2 ed 20.2 Eindimensionales Wellenpaket
- 14.3 ed 20.3 Zirkular polarisiertes Wellenpaket
- 14.4 ed 22.1 Invarianten des elektromagnetischen Felds
- 14.5 ed 22.2 Felder einer vorbeifliegenden Ladung
- 14.6 ed 22.3 Energiestrom einer gleichförmig bewegten Ladung
- 14.7 ed 22.4 Ladung ist unabhängig von der Geschwindigkeit
- 14.8 ed 22.5 Elektromagnetische Massen der bewegten geladenen Kugel
- 14.9 ed 22.6 Zur Aberration
- 14.10 ed 23.1 Retardierte Potentiale der gleichförmig bewegten Ladung
- 14.11 ed 24.1 Periodische Ladungsdichte
- 14.12 ed 24.2 Geladenes Teilchen auf Kreisbahn
- 14.13 ed 24.3 Mehrere geladene Teilchen auf Kreisbahn
- 14.14 ed 24.4 Magnetische Dipol- und elektrische Quadrupolstrahlung
- 14.15 ed 24.5 Antenne mit angelegter Wechselspannung
- 14.16 ed 24.6 Antennengitter
- 14.17 ed 24.7 Bewegungsgleichung mit Strahlungskraft
- 14.18 ed 25.1 Klassisches Wasserstoffatom
- 14.19 ed 25.2 Strukturfunktion für kubisches Gitter
- 14.20 ed 26.1 Magnetfeld im Kondensator
- 14.21 ed 26.2 Schwingkreis

*Elektrodynamik in Materie*

285

- 15.1 ed 30.1 Punktladung und Dielektrikum
- 15.2 ed 30.2 Potenzial aus externer Ladungsdichte und Polarisation
- 15.3 ed 30.3 Homogen polarisierte Kugel
- 15.4 ed 31.1 Dipoleinstellung im thermischen Gleichgewicht
- 15.5 ed 31.2 Leitfähigkeit in SI-Einheiten
- 15.6 ed 32.1 Vektorpotenzial aus externer Stromdichte und Magnetisierung
- 15.7 ed 32.2 Homogen magnetisierte Kugel

- 15.8 ed32.3 Magnetisierung durch äußeres Feld  
 15.9 ed32.4 Hochpermeable Kugelschale im äußeren Feld

*Elemente der Optik*

300

- 16.1 ed36.1 Streuung am Strichgitter  
 16.2 ed37.1 Komplexer Brechungsindex  
 16.3 ed37.2 Totalreflexion  
 16.4 ed37.3 Fresnelsche Formeln für polarisiertes Licht  
 16.5 ed37.4 Alternative Form der Fresnelschen Formeln  
 16.6 ed37.5 Regenbogen  
 16.7 ed37.6 Alternative Herleitung des Brechungsgesetzes  
 16.8 ed38.1 Brechungsgesetz aus dem Fermatschen Prinzip  
 16.9 ed38.2 Ortsabhängiger Brechungsindex

**Quantenmechanik***Schrödingers Wellenmechanik*

319

- 17.1 qm 1.1 Interferenz  
 17.2 qm 1.2 Comptoneffekt  
 17.3 qm 3.1 Eichinvarianz  
 17.4 qm 4.1 Kontinuitätsgleichung für komplexes Potenzial  
 17.5 qm 4.2 Kontinuitätsgleichung für 2-Elektronensystem  
 17.6 qm 5.1 Ortsoperator in der Impulsdarstellung  
 17.7 qm 5.2 Schrödingergleichung in der Impulsdarstellung  
 17.8 qm 5.3 Harmonischer Oszillator in der Impulsdarstellung  
 17.9 qm 5.4 Impulserwartungswert für reelle Wellenfunktion  
 17.10 qm 5.5 Wignertransformierte  
 17.11 qm 6.1 Kommutator hermitescher Operatoren  
 17.12 qm 6.2 Ersetzungsregel für nichtvertauschende Größen  
 17.13 qm 6.3 Zeitumkehrinvarianz  
 17.14 qm 7.1 Unschärferelation für Wassertropfen  
 17.15 qm 7.2 Poor man's oscillator  
 17.16 qm 7.3 Gleichheitszeichen in der Unschärferelation

*Eigenwerte und Eigenfunktionen*

344

- 18.1 qm 10.1 Eigenwertgleichung für Ortsoperator  
 18.2 qm 10.2 Dreidimensionaler Paritätsoperator  
 18.3 qm 11.1 Phasenraumvolumen des Oszillators  
 18.4 qm 12.1 Lennard-Jones-Potenzial  
 18.5 qm 12.2 Konstruktion von Oszillatorwellenfunktionen  
 18.6 qm 12.3 Explizite Darstellung der Hermitepolynome  
 18.7 qm 12.4 Oszillator mit Wand  
 18.8 qm 12.5 Oszillator im elektrischen Feld  
 18.9 qm 12.6 Erzeugende Funktion für Hermitepolynome  
 18.10 qm 13.1 Dreidimensionaler Kasten  
 18.11 qm 13.2 Entartung im dreidimensionalen Oszillator  
 18.12 qm 14.1 Vollständigkeit der Oszillatorfunktionen



- 18.13 qm 15.1 Zeitabhängige Lösung im Potenzialtopf
- 18.14 qm 15.2 Gaußpaket im Oszillator
- 18.15 qm 15.3 Ehrenfest-Gleichungen
- 18.16 qm 16.1 Floquet-Theorem

*Eindimensionale Probleme*

363

- 19.1 qm 19.1 Reflexion und Transmission für Deltapotenzial
- 19.2 qm 19.2 Molekülmodell
- 19.3 qm 19.3 Energieband im periodischen Potenzial
- 19.4 qm 19.4 Vollständigkeit der Deltapotenzial-Lösungen
- 19.5 qm 20.1 Reflexion und Transmission für Potenzialtopf
- 19.6 qm 21.1 Transmission durch Potenzialbarriere

*Dreidimensionale Probleme*

383

- 20.1 qm 23.1 Kommutatorrelationen für den Drehimpuls
- 20.2 qm 23.2 Drehimpulsoperatoren in Kugelkoordinaten
- 20.3 qm 25.1 Zu den Besselfunktionen
- 20.4 qm 25.2 Deuteron
- 20.5 qm 26.1 Streuwelle für repulsiven Kasten
- 20.6 qm 26.2 Woods-Saxon-Potenzial
- 20.7 qm 27.1 Streulänge für das Kastenpotenzial
- 20.8 qm 27.2 Niederenergieentwicklung für die Streuphase
- 20.9 qm 27.3 Streuung an der harten Kugel
- 20.10 qm 27.4 Streuung am Potenzialwall
- 20.11 qm 27.5 Nukleon-Nukleon-Streuung im Singulett-Zustand
- 20.12 qm 28.1 Rekursionsformel für Laguerre-Polynome
- 20.13 qm 28.2 Zweidimensionaler harmonischer Oszillator
- 20.14 qm 28.3 Landauniveaus
- 20.15 qm 28.4 Anisotroper harmonischer Oszillator
- 20.16 qm 29.1 Virialsatz für Wasserstoffproblem
- 20.17 qm 29.2 Wasserstoffradialfunktionen zu maximalem Drehimpuls
- 20.18 qm 29.3 Zeeman-Effekt
- 20.19 qm 29.4 Klein-Gordon-Gleichung

*Abstrakte Formulierung*

413

- 21.1 qm 31.1 Impuls- und Ortsoperator in der Impulsdarstellung
- 21.2 qm 31.2 Produkt zweier Operatoren
- 21.3 qm 32.1 Unitärer Operator
- 21.4 qm 32.2 Oszillator in kartesischen und sphärischen Koordinaten
- 21.5 qm 33.1 Ammoniakmolekül im elektrischen Feld
- 21.6 qm 33.2 Butadienmolekül
- 21.7 qm 33.3 Benzolmolekül
- 21.8 qm 33.4 Neutrale Kaonen

*Operatorenmethode*

434

- 22.1 qm 34.1 Norm des Oszillatorzustands  $\hat{a}|n\rangle$
- 22.2 qm 34.2 Matrixdarstellungen für harmonischen Oszillator
- 22.3 qm 34.3 Kommutator in Matrixdarstellung

- 22.4 qm34.4 Matricelemente von  $\hat{x}$ ,  $\hat{x}^2$  und  $\hat{x}^3$
- 22.5 qm34.5 Summenregel
- 22.6 qm34.6 Impulsdarstellung der Oszillatorzustände
- 22.7 qm34.7 Grundzustand des dreidimensionalen Oszillators
- 22.8 qm34.8 Kohärenter Zustand
- 22.9 qm35.1 Zum Heisenbergbild
- 22.10 qm35.2 Wellenpaket im eindimensionalen Oszillator
- 22.11 qm36.1 Ortsdarstellung für Drehimpuls  $l/2$
- 22.12 qm36.2 Matrixdarstellung für Drehimpuls  $l = 0$  und  $l = 2$
- 22.13 qm36.3 Kommutatorrelation in Matrixdarstellung
- 22.14 qm37.1 Eigenwertgleichung für Spin
- 22.15 qm37.2 Spinpräzession im Magnetfeld
- 22.16 qm37.3 Zu den Pauli-Matrizen
- 22.17 qm37.4 Polarisierung eines Teilchenstrahls
- 22.18 qm38.1 Multiplizität der Drehimpulszustände
- 22.19 qm38.2 Kopplung von Bahndrehimpuls und Spin
- 22.20 qm38.3 Kopplung zweier Spin-1 Teilchen
- 22.21 qm38.4 Zwei ungekoppelte harmonische Oszillatoren
- 22.22 qm38.5 Hamiltonoperator für zwei Spins  $1/2$

*Näherungsmethoden*

465

- 23.1 qm39.1 Oszillator mit quadratischer Störung
- 23.2 qm39.2 Oszillator mit kubischer Störung
- 23.3 qm39.3 Oszillator mit quartischer Störung
- 23.4 qm39.4 Endliche Ausdehnung des Atomkerns
- 23.5 qm41.1 Wasserstoffatom im äußeren Magnetfeld
- 23.6 qm41.2 Spin-Bahn-Kopplung im Atomkern
- 23.7 qm41.3 Pionisches Atom
- 23.8 qm42.1 Zeitabhängige Störung im Zweizustandssystem
- 23.9 qm43.1 Dipolauswahlregeln
- 23.10 qm43.2 Intensitätsverhältnis beim Übergang  $2p \rightarrow 1s$
- 23.11 qm43.3 Photoeffekt
- 23.12 qm44.1 Variationsrechnung für Wasserstoffatom
- 23.13 qm44.2 Variationsrechnung für sphärischen Oszillator
- 23.14 qm44.3 Variationsrechnung für Stark-Effekt
- 23.15 qm45.1 Ladungsformfaktor in Bornscher Näherung

*Mehrteilchensysteme*

493

- 24.1 qm47.1 Schalenmodell des Atomkerns
- 24.2 qm48.1 Drehimpuls des  $(1s)^2 2p$ -Zustands
- 24.3 qm48.2 Hundesche Regel
- 24.4 qm48.3 Heliumatom
- 24.5 qm48.4 Abschirmung im Heliumatom
- 24.6 qm49.1 Intensitäten im Raman-Spektrum
- 24.7 qm49.2  $H_2^+$ -Molekül
- 24.8 qm49.3 Morsepotenzial

**Statistische Physik**

*Mathematische Statistik*

509

- 25.1 st 1.1 Unentdeckte Druckfehler
- 25.2 st 1.2 Gemeinsamer Geburtstag
- 25.3 st 2.1 Drei Richtige im Lotto
- 25.4 st 3.1 Näherungsausdruck für Fakultät
- 25.5 st 3.2 Abschätzung einer Korrelation
- 25.6 st 3.3 Poissonverteilung
- 25.7 st 3.4 Random walk und Diffusionsgleichung
- 25.8 st 4.1 Überlagerung zweier Gaußverteilungen
- 25.9 st 4.2 Summe von zwei Zufallsvariablen

*Grundzüge der Statistischen Physik*

530

- 26.1 st 5.1 Phasenraum des Oszillators
- 26.2 st 6.1 Exponentialfunktion mit sehr großem Exponenten
- 26.3 st 6.2 Zustandssumme für Gasgemisch
- 26.4 st 6.3 Volumen der  $n$ -dimensionalen Kugel
- 26.5 st 6.4 Ideales Spinsystem
- 26.6 st 8.1 Ideales Gas in einer Kugel
- 26.7 st 8.2 Heizen im Winter
- 26.8 st 9.1 Entropieänderung bei Durchmischung
- 26.9 st 10.1 Druckbeiträge in einem Gasgemisch
- 26.10 st 11.1 Entropieänderung bei Wärmeaustausch I
- 26.11 st 11.2 Entropieänderung bei Wärmeaustausch II
- 26.12 st 11.3 Entropie eines Gummibands
- 26.13 st 12.1 Kurvendiskussion für  $f(x) = x - 1 - \ln x$
- 26.14 st 12.2 Entropieänderung bei Wärmeaustausch III
- 26.15 st 13.1 Magnetisierung im idealen Spinsystem
- 26.16 st 13.2 Entropie und Temperatur im Zweiniveausystem

*Thermodynamik*

555

- 27.1 st 15.1 Wegintegral und vollständiges Differenzial
- 27.2 st 16.1 Kompressibilität und Schallgeschwindigkeit
- 27.3 st 16.2 Spezielle Volumen-Druck-Relation
- 27.4 st 16.3 Entropie des idealen Gases
- 27.5 st 16.4 Durchmischung eines Gases
- 27.6 st 17.1 Zustandsgleichung für volumenunabhängige Energie
- 27.7 st 17.2 Spezielle Zustandsgleichung
- 27.8 st 17.3 Energiedichte des Photonengases
- 27.9 st 17.4 Thermodynamische Relationen aus freier Enthalpie
- 27.10 st 17.5 Thermodynamische Relationen aus Enthalpie
- 27.11 st 17.6 Extremalbedingung für Enthalpie
- 27.12 st 17.7 Dichteprofil der Erdatmosphäre
- 27.13 st 17.8 Entropie, Wärmekapazität und Zustandsgleichung
- 27.14 st 17.9 Differenz  $C_P - C_V$  für Festkörper
- 27.15 st 17.10 Differenz  $C_P - C_V$  für van der Waals-Gas

27.16	st18.1	Isotherme quasistatische Expansion
27.17	st18.2	Adiabatische Expansion des van der Waals-Gases
27.18	st18.3	Expansionskoeffizient des van der Waals-Gases
27.19	st18.4	Inversionskurve im Joule-Thomson-Prozess
27.20	st19.1	Effektivität eines Kühlschranks
27.21	st19.2	Carnotprozess mit idealem Gas
27.22	st19.3	Spezieller Kreisprozess
27.23	st19.4	Kreisprozess mit idealem Gas
27.24	st20.1	Maxwellrelationen für großkanonisches Potenzial
27.25	st20.2	Differenzial für Energie pro Teilchen
27.26	st20.3	Chemisches Potenzial für ideales Gas
27.27	st20.4	Ableitung der Duhem-Gibbs-Relation
27.28	st21.1	Gefrierpunktniedrigung beim Schlittschuhlaufen?
27.29	st21.2	Dampfdruckkurve aus Clausius-Clapeyron-Gleichung
27.30	st21.3	Expansionskoeffizient entlang der Dampfdruckkurve
27.31	st21.4	Koexistenzkurve für zwei gasförmige Phasen
27.32	st21.5	Sieden einer Salzlösung
27.33	st21.6	Gelöster Stoff in beiden Phasen

*Statistische Ensembles*

587

28.1	st22.1	Energieschwankung im kanonischen Ensemble
28.2	st22.2	Teilchenzahlschwankung im großkanonischen Ensemble
28.3	st23.1	Entropie für verschiedene Makrozustände
28.4	st23.2	Maximum der Entropie unter Nebenbedingungen
28.5	st24.1	Wärmekapazität im Zweiniveausystem
28.6	st24.2	Wärmekapazität für $N$ Teilchen im Oszillator
28.7	st24.3	Geschwindigkeitsverteilung für $v_x$
28.8	st24.4	Verschiedene Mittelwerte für Maxwellverteilung
28.9	st24.5	Verteilung der Relativgeschwindigkeiten
28.10	st24.6	Isotopentrennung
28.11	st24.7	Konvektives Gleichgewicht
28.12	st24.8	Energieschwankung im idealen Gas
28.13	st25.1	Gibbs-Paradoxon

*Spezielle Systeme*

614

29.1	st26.1	Adiabatische Entmagnetisierung
29.2	st26.2	Spezifische Wärme und Suszeptibilität im Spinsystem
29.3	st26.3	Allgemeines ideales Spinsystem
29.4	st27.1	Vibrationsanteil für hohe und tiefe Temperaturen
29.5	st27.2	Anharmonische Korrekturen im Vibrationsanteil
29.6	st27.3	Rotationsanteil für die Moleküle $H_2$ , $D_2$ und $HD$
29.7	st27.4	Massenwirkungsgesetz
29.8	st28.1	Van der Waals-Gleichung auf Molzahl bezogen
29.9	st28.2	Virialkoeffizienten aus Potenzial
29.10	st28.3	Virialkoeffizienten für Lennard-Jones-Potenzial
29.11	st29.1	Quantenzahlen im unendlichen Potenzialkasten
29.12	st29.2	Zustandssummen für drei Teilchen

29.13	st29.3	Schwankung der Besetzungszahlen im Quantengas
29.14	st31.1	Spezifische Wärme des Bosegases für hohe Temperaturen
29.15	st31.2	Bosegas im Oszillator
29.16	st31.3	Bosegas in zwei Dimensionen
29.17	st32.1	Geschwindigkeits-Mittelwerte im Fermigas
29.18	st32.2	Relativistisches ideales Fermigas
29.19	st32.3	Strom aus Glühkathode
29.20	st32.4	Paulischer Paramagnetismus
29.21	st32.5	Temperaturabhängige Korrektur zum Paramagnetismus
29.22	st33.1	Schwingungsmoden der linearen Kette
29.23	st33.2	Spezifische Wärme des Phononengases für tiefe Temperaturen
29.24	st33.3	Mittlere Phononenzahl im Debye-Modell
29.25	st33.4	Einstein-Modell
29.26	st34.1	Mittlere Photonenzahl im Strahlungshohlraum
29.27	st34.2	Temperaturunterschied Europa–Äquator
29.28	st34.3	Bereich des sichtbaren Lichts in der Planckverteilung
29.29	st34.4	Oberflächentemperatur der Sonne

651

*Phasenübergänge*

30.1	st35.1	Singularität durch unendliche Summe
30.2	st36.2	Freie Energie im Weisschen Modell
30.3	st36.3	Spezifische Wärme im Weisschen Modell
30.4	st37.1	Dimensionslose van der Waals-Gleichung
30.5	st37.2	Van der Waals-Gleichung für Stickstoff
30.6	st37.3	Energie und Entropie des van der Waals-Gases
30.7	st37.4	Dieterici-Gas
30.8	st40.1	Kritische Exponenten des van der Waals-Gases
30.9	st40.2	Landau-Energie für das van der Waals-Gas

666

*Nichtgleichgewichts-Prozesse*

31.1	st42.1	Kontinuitätsgleichung für Teilchendichte
31.2	st43.1	Lösung der Diffusionsgleichung
31.3	st43.2	Temperaturschwankung im Erdboden