

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	v
Inhaltsverzeichnis	vii
1 Einführung	1
1.1 Zur Notwendigkeit einer <i>Statistischen</i> Physik	3
1.2 Historische Höhepunkte	3
1.3 Übungsaufgaben	8
2 Thermodynamik	15
2.1 Thermodynamische Systeme: einige Beispiele	15
2.1.1 Gase	15
2.1.2 Elastizität	17
2.1.3 Magnetische Materialien	19
2.1.4 Dielektrika	20
2.1.5 Weitere Beispiele	20
2.2 Einige Definitionen	20
2.3 Der nullte Hauptsatz	22
2.4 Der erste Hauptsatz	23
2.5 Die Carnot-Maschine	24
2.6 Der zweite Hauptsatz	28
2.7 Der zweite Hauptsatz und Carnot-Prozesse	30
2.8 Carnot-Prozesse und Entropie	32
2.9 Die Extensivität der Entropie	34
2.10 Thermodynamik der Photonen- und Phononengase	35
2.11 Thermodynamische Potentiale	37
2.11.1 Die innere Energie $U(S, \mathbf{X}, \mathbf{N})$	37
2.11.2 Die Enthalpie $H(S, \mathbf{Y}, \mathbf{N})$	38
2.11.3 Die (Helmholtz'sche) freie Energie $F(T, \mathbf{X}, \mathbf{N})$	39
2.11.4 Die freie Enthalpie $G(T, \mathbf{Y}, \mathbf{N})$	40
2.11.5 Das großkanonische Potential $\Omega(T, \mathbf{X}, \boldsymbol{\mu})$	41
2.11.6 Weitere thermodynamische Potentiale?	42
2.11.7 Thermodynamische Potentiale für Photonen und Phononen	43
2.12 Antwortfunktionen	44
2.12.1 Die Wärmekapazität	44

2.12.2	Mechanische Antwortfunktionen	45
2.12.3	Chemische Antwortfunktionen	46
2.12.4	Beziehungen zwischen den Antwortfunktionen	46
2.13	Fluktuationen um den Gleichgewichtszustand	49
2.13.1	Konsequenzen der Stationarität der Entropie	51
2.13.2	Die Stabilität des Gleichgewichts *	51
2.13.3	Konsequenzen aus der Berechnung der Entropiefluktuation	55
2.14	Anwendung: Die Maxwell-Konstruktion	57
2.15	Die Clapeyron-Gleichung	60
2.15.1	Die Clapeyron-Clausius-Gleichung	62
2.16	Die Gibbs'sche Phasenregel	63
2.16.1	Der Tripelpunkt als Beispiel für die Phasenregel	64
2.17	Der dritte Hauptsatz	65
2.17.1	Beispiel: Das Photonengas	67
2.18	Thermodynamik von Phasenübergängen	68
2.18.1	Was ist ein Phasenübergang?	69
2.18.2	Beispiele von Phasenübergängen	73
2.18.3	Landau-Theorie von Phasenübergängen 2. Ordnung	76
2.18.4	Einfaches Modell für Phasenübergänge 1. Ordnung	82
2.19	Übungsaufgaben	86
3	Grundlagen der Statistischen Physik	97
3.1	Quantentheorie für Vielteilchensysteme	97
3.2	Die Dichtematrix	101
3.3	Die Entropie	106
3.4	Zentrales Postulat der Statistischen Physik	109
3.5	Die Pauli-Gleichung	111
3.5.1	Hamilton-Operator und Wechselwirkungsbild	112
3.5.2	Zeitabhängigkeit der Wahrscheinlichkeiten	114
3.5.3	Bemerkungen zur Pauli-Gleichung	117
3.5.4	Die Mastergleichung *	118
3.6	Adiabatensatz und Virialtheorem *	119
3.6.1	Adiabatensatz *	120
3.6.2	Konsequenzen des Adiabatensatzes *	121
3.6.3	Kombination mit dem Virialtheorem *	122
3.6.4	Zustandsgleichung für ein klassisches Gas *	123
3.7	Übungsaufgaben	125
4	Die statistischen Gesamtheiten	127
4.1	Die mikrokanonische Gesamtheit	127
4.1.1	Beispiel: Der paramagnetische Kristall	131
4.2	Die kanonische Gesamtheit	135
4.2.1	Beispiel: Das Photonengas	139
4.2.2	Beispiel: Der klassische Grenzfall für Gase	143
4.3	Das „Druck“-Ensemble	152
4.3.1	Beispiel: Der klassische Grenzfall für Gase	155
4.3.2	Beispiel: Einfaches Modell für eine Flüssigkeit *	157
4.4	Die großkanonische Gesamtheit	160

4.4.1	Beispiel: Der klassische Grenzfall für Gase	163
4.4.2	Beispiel: Bose-Einstein-Kondensation	165
4.4.3	Zustandsgleichung eines klassischen realen Gases *	169
4.4.4	Paarkorrelationen des klassischen realen Gases *	176
4.5	Übungsaufgaben	180
5	Spinsysteme	191
5.1	Wechselwirkende magnetische Momente	191
5.1.1	Spezialfälle: Heisenberg- und Ising-Modell	192
5.2	Das „Druck“-Ensemble für Spinsysteme	193
5.3	Ising-Modell: Lösung in einer Dimension	193
5.3.1	Berechnung der Magnetisierung	194
5.3.2	Berechnung der isothermen Suszeptibilität	195
5.3.3	Berechnung der Wärmekapazität	196
5.4	Hochtemperaturlimes in beliebiger Dimension	197
5.5	Tieftemperaturlimes in beliebiger Dimension	198
5.5.1	Niederenergetische Anregungen in einer Dimension	198
5.5.2	Niederenergetische Anregungen in höherer Dimension	199
5.6	Molekularfeldnäherung zum Ising-Modell	199
5.6.1	Selbstkonsistenzgleichung für die Magnetisierung	200
5.6.2	Die thermische Antwortfunktion	203
5.6.3	Die mechanische Antwortfunktion	205
5.7	Phasenübergang im zweidimensionalen Ising-Modell *	207
5.7.1	Allgemeine Form der Zustandssumme *	207
5.7.2	Hochtemperaturentwicklung für die Zustandssumme *	208
5.7.3	Tieftemperaturentwicklung für die Zustandssumme *	209
5.7.4	Dualität der Hoch- und Tieftemperaturbereiche *	210
5.8	Der klassische Limes für Spinsysteme	212
5.8.1	... entspricht nicht dem Hochtemperaturlimes	213
5.8.2	... sondern dem Limes hoher Spinquantenzahlen	214
5.9	Beispiel: Die klassische Heisenberg-Kette	215
5.9.1	Berechnung thermodynamischer Größen	216
5.9.2	Berechnung der Spin-Spin-Korrelationsfunktion	216
5.10	Beispiel: Die planare Heisenberg-Kette *	221
5.10.1	Berechnung thermodynamischer Größen *	222
5.10.2	Berechnung der Spin-Spin-Korrelationsfunktion *	223
5.11	Übungsaufgaben	225
6	Quantengase	231
6.1	Allgemeine Eigenschaften	231
6.2	Die Funktionen $g_\alpha(z, \zeta)$	235
6.3	Entwicklung um den klassischen Limes	238
6.4	Kondensation im Bose-Gas?	240
6.5	Fermi-Gas bei tiefen Temperaturen	241
6.6	Das Fermi-Gas im Magnetfeld	245
6.7	Das zweidimensionale Elektronengas	247
6.8	Das relativistische Elektronengas	250
6.9	Weißer Zwerge *	255

6.10	Zweiatomige Moleküle *	257
6.10.1	Anwendung auf das HD-Molekül *	261
6.10.2	Anwendung auf das H ₂ - und das D ₂ -Molekül *	263
6.10.3	Die Wärmekapazität $C_{V,N}$ *	264
6.11	Übungsaufgaben	269
7	Kinetische Theorie	273
7.1	Die Mastergleichung	274
7.1.1	Herleitung der Mastergleichung für Markow-Prozesse	275
7.1.2	Beispiel: Ein Atom wechselwirkt mit Photonen	278
7.1.3	Beispiel: Die Irrfahrt	280
7.1.4	Beispiel: Zerfall radioaktiver Atome	282
7.1.5	Stationäre Lösungen der Mastergleichung?	284
7.2	Stabilität in der Mastergleichung	287
7.2.1	Beispiel: Der quantenmechanische harmonische Oszillator im Strahlungsfeld	291
7.3	Stabilität in der Boltzmann-Gleichung	295
7.3.1	Die räumlich homogene Boltzmann-Gleichung	296
7.3.2	H -Theorem und Ehrenfest-Modell	302
7.3.3	Die räumlich inhomogene Boltzmann-Gleichung	304
7.4	Die Euler-Gleichungen einer idealen Flüssigkeit	311
7.4.1	Beispiel: Stationärer axialsymmetrischer Wirbel	317
7.4.2	Erhaltungsgrößen in den Euler-Gleichungen	319
7.4.3	Linearisierung um die Gleichgewichtslösung	320
7.5	Die Navier-Stokes-Gleichungen der viskosen Hydrodynamik	322
7.5.1	Berechnung der Korrektur zur Verteilungsfunktion *	324
7.5.2	Die Dynamik der langsamen Variablen *	326
7.5.3	Der Wärmefluss *	329
7.5.4	Der Drucktensor *	330
7.5.5	Die hydrodynamischen Gleichungen	333
7.5.6	Beispiel: Axialsymmetrischer Wirbel	337
7.5.7	Berechnung von Transportkoeffizienten *	340
7.5.8	Linearisierung um die Gleichgewichtslösung	343
7.6	Übungsaufgaben	344
8	Lösungen zu den Übungsaufgaben	351
8.1	Einführung	351
8.2	Thermodynamik	362
8.3	Grundlagen der Statistischen Physik	387
8.4	Die statistischen Gesamtheiten	390
8.5	Spinsysteme	414
8.6	Quantengase	426
8.7	Kinetische Theorie	435

A Die Arbeit im ersten Hauptsatz	451
A.1 Rotierende Systeme	451
A.2 Elektro- bzw. magnetostatische Systeme	452
A.2.1 Elektrostatische Systeme	454
A.2.2 Magnetostatische Systeme	454
A.2.3 Caveat lector	455
B Das isolierte „Druck“-Ensemble	457
B.1 Beispiel: Das klassische ideale Gas	459
B.2 Beispiel: Heisenberg-Modell im paramagnetischen Limes	460
C Die Methode der charakteristischen Kurven	463
C.1 Die lineare partielle Differentialgleichung der ersten Ordnung	463
C.2 Der Spezialfall einkomponentiger Funktionen	464
Liste der Symbole	467
Literaturverzeichnis	471
Stichwortverzeichnis	475

Statistische Physik

Von der Thermodynamik zur Quantenstatistik in fünf
Postulaten

van Dongen, P.

2017, XI, 484 S. 94 Abb., 48 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-55499-9