

Theoretische Physik

Band 9

Walter Greiner

Ludwig Neise

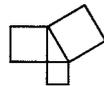
Horst Stöcker

Thermodynamik und Statistische Mechanik

Ein Lehr- und Übungsbuch

Mit zahlreichen Abbildungen, Beispielen
und Aufgaben mit ausführlichen Lösungen

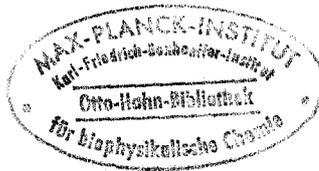
2. völlig überarbeitete und erweiterte Aufl. 1993



Verlag Harri Deutsch

Professor Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Walter Greiner ist Direktor des Instituts für Theoretische Physik der Universität Frankfurt am Main
Dr. phil. nat. Ludwig Neise ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Theoretische Physik der Universität Heidelberg
Professor Dr. phil. nat. Horst Stöcker ist Professor für Theoretische Physik an der Universität Frankfurt.

B 2/108:9



95/299
(Ers. Ex.)

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Theoretische Physik. – Thun ; Frankfurt am Main : Deutsch
Bd. 9. Greiner, Walter: Thermodynamik und statistische
Mechanik. – 2. Aufl. – 1993

Greiner, Walter:

Thermodynamik und statistische Mechanik : mit Beispielen
und Aufgaben mit ausführlichen Lösungen / Walter Greiner ;
Ludwig Neise ; Horst Stöcker. – 2. Aufl. – Thun ; Frankfurt am
Main : Deutsch, 1993

(Theoretische Physik ; Bd. 9)

ISBN 3-8171-1262-9

NE: Neise, Ludwig.; Stöcker, Horst:

ISBN 3-8171-1262-9

© 1993 Verlag Harri Deutsch · Thun und Frankfurt am Main

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung
des Buches – oder von Teilen daraus – sind vorbehalten.

Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in
irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für
Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung
elektronischer Systeme verarbeitet werden. Zuwiderhandlungen unterliegen den
Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Dirk Rischke und Dr. Christoph Hart-
des Buches, letztgenanntem ferner für
n gilt unser Dank Frau Bettina Gold-
manuskripts und Frau Astrid Steidl für

ß die Vorlesung über Thermodynamik
Freunde finden wird.

Walter Greiner
Ludwig Neise
Horst Stöcker

Inhaltsverzeichnis

I. Thermodynamik	1
1 Gleichgewicht und Zustandsgrößen	2
1.1 Einführung	2
1.2 Systeme, Phasen und Zustandsgrößen	3
1.3 Gleichgewicht und Temperatur – Der Nullte Hauptsatz	6
1.4 Kinetische Theorie des idealen Gases	12
1.5 Druck, Arbeit und chemisches Potential	16
1.6 Wärme und Wärmekapazität	20
1.7 Zustandsgleichung realer Gase	22
1.8 Spezifische Wärme	27
1.9 Zustandsänderungen – reversible und irreversible Prozesse	29
1.10 Exakte und inexacte Differentiale, Kurvenintegration	33
2 Die thermodynamischen Hauptsätze	41
2.1 Der 1. Hauptsatz	41
2.2 Der Carnotsche Kreisprozeß und die Entropie	49
2.3 Die Entropie und der 2. Hauptsatz	54
2.4 Mikroskopische Interpretation der Entropie und des 2. Hauptsatzes	56
2.5 Globales und lokales Gleichgewicht	68
2.6 Thermodynamische Maschinen	68
2.7 Der Maxwellsche Dämon	81
2.8 Euler-Gleichung und Gibbs-Duhem-Relation	84
3 Phasenumwandlungen und chemische Reaktionen	89
3.1 Die Gibbssche Phasenregel	89
3.2 Phasengleichgewicht und Maxwell-Konstruktion	96
3.3 Das Massenwirkungsgesetz	100
3.4 Anwendungen der Hauptsätze	113

4	Thermodynamische Potentiale	119
4.1	Prinzip der maximalen Entropie – Prinzip der minimalen Energie . . .	119
4.2	Entropie und Energie als thermodynamische Potentiale	121
4.3	Die Legendre-Transformation	123
4.4	Die freie Energie	127
4.5	Die Enthalpie	133
4.6	Die freie Enthalpie	140
4.7	Das großkanonische Potential	149
4.8	Die Transformation aller Variablen	150
4.9	Die Maxwell-Relationen	151
4.10	Jacobi-Transformationen	161
4.11	Thermodynamische Stabilität	164
4.12	Standard-Potentiale und Nernstscher Wärmesatz	167
 II. Statistische Mechanik		181
5	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik	182
6	Zahl der Mikrozustände Ω und Entropie S	194
6.1	Grundlagen	194
6.2	Der Phasenraum	195
6.3	Statistische Definition der Entropie	199
6.4	Gibbssches Paradoxon	205
6.5	Quantenmechanische Abzählung von Ω	208
7	Ensembletheorie und mikrokanonisches Ensemble	219
7.1	Die Phasenraumdichte, Ergodenhypothese	219
7.2	Liouvilles Theorem	223
7.3	Das mikrokanonische Ensemble	225
7.4	Die Entropie als Ensemblemittel	228
7.5	Die Unsicherheitsfunktion	229
8	Das kanonische Ensemble	242
8.1	Allgemeine Begründung des Gibbsschen Korrekturfaktors	248
8.2	Systeme nichtwechselwirkender Teilchen	256
8.3	Berechnung von Observablen als Ensemblemittel	264
8.4	Der Zusammenhang von mikrokanonischem und kanonischem Ensemble	291

Prinzip der minimalen Energie . . .	119	8.5 Fluktuationen	297
Chemische Potentiale	121	8.6 Virialsatz und Äquipartitionstheorem	301
.	123	8.7 Kanonisches Ensemble als Mittelwert aller möglichen Verteilungen	307
.	127	9 Anwendungen der Boltzmann-Statistik	316
.	133	9.1 Quantensysteme in der Boltzmann-Statistik	316
.	140	9.2 Paramagnetismus	324
.	149	9.3 Negative Temperaturen in Zwei-Niveau-Systemen	334
.	150	9.4 Gase mit inneren Freiheitsgraden	336
.	151	9.5 Angeregte Zustände in Molekülen, Atomen und Atomkernen	346
.	161	10 Globales und lokales Gleichgewicht	355
.	164	10.1 Druck und Dichteverteilung in Materie	356
Erster Wärmesatz	167	11 Das großkanonische Ensemble	371
	181	11.1 Fluktuationen im großkanonischen Ensemble	381
Entwickselungsrechnung und Statistik	182	III. Reale Gase, Quantengase und Phasenübergänge	391
Entropie S	194	12 Relativistische Thermodynamik	392
.	194	12.1 Relativistisches ideales Gas im kanonischen Ensemble	392
.	195	12.2 Nichtrelativistische Erweiterung der Ensembletheorie	398
.	199	12.3 Relativistisches ideales Gas im verallgemeinerten Ensemble	408
.	205	13 Bosonen und Fermionen	422
Omega Ω	208	13.1 Der Symmetriecharakter von Vielteilchenwellenfunktionen	422
Kanonisches Ensemble	219	13.2 Großkanonische Beschreibung idealer Quantensysteme	430
Erstannahypothese	219	14 Ideale Quantengase	443
.	223	14.1 Das ideale Bose-Gas	443
.	225	14.2 Ultrarelativistisches Bose-Gas	454
.	228	14.3 Ideales Fermi-Gas	470
.	229	15 Reale Gase	477
	242	15.1 Mayers Clusterentwicklung	480
Virialer Korrekturfaktors	248	15.2 Virialentwicklung	492
Teilchen	256	16 Mittlere freie Weglänge, Stoßzeit und Wirkungsquerschnitt	494
Ensemblemittel	264		
Kanonischem und kanonischem Ensemble	291		

17 Klassifizierung von Phasenübergängen	502
17.1 Theorem der übereinstimmenden Zustände	510
17.2 Kritische Indizes	512
17.3 Beispiele für Phasenübergänge	513
18 Die Modelle von Ising und Heisenberg	528
A Geschichtliche Entwicklung der Thermodynamik	553
B Physikalische Maßeinheiten in der Thermodynamik	560
C Literatur zum Themenkreis	565
Sachwortverzeichnis	568