

Statistische Physik

Torsten Fließbach

Statistische Physik

Lehrbuch zur Theoretischen Physik IV

6. Auflage

Springer Spektrum Heidelberg

Autor:

Prof. Dr. Torsten Fließbach

Universität Siegen

57068 Siegen

fliessbach@physik.uni-siegen.de

Vorwort

Das vorliegende Buch ist Teil einer Vorlesungsausarbeitung [1, 2, 3, 4] des Zyklus Theoretische Physik I bis IV. Es gibt den Stoff meiner Vorlesung Theoretische Physik IV über die *Statistische Physik* wieder. Diese Vorlesung für Physikstudenten wird häufig im 6. Semester (Bachelor- oder Diplomstudiengang) angeboten, gelegentlich aber auch erst im Masterstudium.

Die Darstellung bewegt sich auf dem durchschnittlichen Niveau einer Kursvorlesung in Theoretischer Physik. Der Zugang ist eher intuitiv anstelle von deduktiv; formale Ableitungen und Beweise werden ohne besondere mathematische Akribie durchgeführt.

In enger Anlehnung an den Text, teilweise aber auch zu dessen Fortführung und Ergänzung werden über 100 Übungsaufgaben gestellt. Diese Aufgaben erfüllen ihren Zweck nur dann, wenn sie vom Studenten möglichst eigenständig bearbeitet werden. Diese Arbeit sollte unbedingt vor der Lektüre der Musterlösungen liegen, die im *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik* [5] angeboten werden. Neben den Lösungen enthält das Arbeitsbuch ein kompaktes Repetitorium des Stoffs der Lehrbücher [1, 2, 3, 4].

Der Umfang des vorliegenden Buchs geht etwas über den Stoff hinaus, der während eines Semesters in einem Physikstudium üblicherweise an deutschen Universitäten behandelt wird. Der Stoff ist in Kapitel gegliedert, die im Durchschnitt etwa einer Vorlesungsdoppelstunde entsprechen. Natürlich bauen verschiedene Kapitel aufeinander auf. Es wurde aber versucht, die einzelnen Kapitel so zu gestalten, dass sie jeweils möglichst abgeschlossen sind. Damit wird einerseits eine Auswahl von Kapiteln für einen bestimmten Kurs (etwa in einem Bachelor-Studiengang) erleichtert, in dem der Stoff stärker begrenzt werden soll. Zum anderen kann der Student leichter die Kapitel nachlesen, die für ihn von Interesse sind.

Es gibt viele gute Darstellungen der statistischen Physik, die sich für ein vertiefendes Studium eignen. Ich gebe hier nur einige wenige Bücher an, die ich selbst bevorzugt zu Rate gezogen habe und die gelegentlich im Text zitiert werden. Als Standardwerk sei auf die *Statistische Physik und Theorie der Wärme* von Reif [6] hingewiesen, die meine Einführung der Grundlagen wesentlich beeinflusst hat. Daneben sind mir die Bücher von Brenig [7], Becker [8] und Landau-Lifschitz [9] besonders gut vertraut.

Gegenüber der fünften Auflage dieses Buchs wurden in der vorliegenden sechsten Auflage zahlreiche kleinere Korrekturen vorgenommen. Bei João da Providência Jr. (Übersetzer der portugiesischen Ausgabe) und einigen Lesern früherer

Auflagen bedanke ich mich für wertvolle Hinweise. Fehlermeldungen, Bemerkungen und sonstige Hinweise sind jederzeit willkommen, etwa über den Kontaktlink auf meiner Homepage www2.uni-siegen.de/~flieba/. Auf dieser Homepage finden sich auch eventuelle Korrekturlisten.

August 2018

Torsten Fließbach

Literaturangaben

- [1] T. Fließbach, *Mechanik*, 7. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2015
- [2] T. Fließbach, *Elektrodynamik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2012
- [3] T. Fließbach, *Quantenmechanik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018
- [4] T. Fließbach, *Statistische Physik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018 (dieses Buch)
- [5] T. Fließbach und H. Walliser, *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik – Repetitorium und Übungsbuch*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2012
- [6] F. Reif, *Statistische Physik und Theorie der Wärme*, 2. Auflage, de Gruyter-Verlag, Berlin 1985
- [7] W. Brenig, *Statistische Theorie der Wärme*, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin 2002
- [8] R. Becker, *Theorie der Wärme*, Springer Verlag, Berlin 1966
- [9] L. D. Landau, E. M. Lifschitz, *Lehrbuch der theoretischen Physik*, Band V, *Statistische Physik*, 8. Auflage, Akademie-Verlag, Berlin 1987

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
I Mathematische Statistik	3
1 Wahrscheinlichkeit	3
2 Gesetz der großen Zahl	10
3 Normalverteilung	17
4 Zentraler Grenzwertsatz	24
II Grundzüge der statistischen Physik	31
5 Grundlegendes Postulat	31
6 Zustandssumme des idealen Gases	42
7 1. Hauptsatz	49
8 Quasistatischer Prozess	55
9 Entropie und Temperatur	66
10 Verallgemeinerte Kräfte	76
11 2. und 3. Hauptsatz	83
12 Reversibilität	92
13 Statistische Physik und Thermodynamik	103
14 Messung makroskopischer Größen	109
III Thermodynamik	119
15 Zustandsgrößen	119
16 Ideales Gas	127
17 Thermodynamische Potenziale	135
18 Zustandsänderungen	144
19 Wärmekraftmaschinen	154
20 Chemisches Potenzial	165
21 Austausch von Teilchen	171
IV Statistische Ensembles	185
22 Zustandssummen	185
23 Zugeordnete Potenziale	194

24	Klassische Systeme	201
25	Einatomiges ideales Gas	213
V	Spezielle Systeme	219
26	Ideales Spinsystem	219
27	Zweiatomiges ideales Gas	225
28	Verdünntes klassisches Gas	239
29	Ideales Quantengas	247
30	Verdünntes Quantengas	259
31	Ideales Bosegas	264
32	Ideales Fermigas	276
33	Phononengas	287
34	Photonengas	297
VI	Phasenübergänge	309
35	Klassifizierung	309
36	Ferromagnetismus	319
37	Van der Waals-Gas	330
38	Flüssiges Helium	340
39	Landau-Theorie	354
40	Kritische Exponenten	365
VII	Nichtgleichgewichts-Prozesse	373
41	Einstellung des Gleichgewichts	373
42	Boltzmann-Gleichung	378
43	Kinetisches Gasmodell	385
	Register	401