

---

Frederick Reif

# **STATISTISCHE PHYSIK**

3., verbesserte Auflage

Mit 158 Bildern



Friedr. Vieweg & Sohn · Braunschweig

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Eigenschaften makroskopischer Systeme</b>	<b>1</b>	<b>3. Statistische Beschreibung von Teilchensystemen</b>	<b>64</b>
1.1. Schwankungserscheinungen	2	3.1. Definition des Zustands eines Systems	64
1.2. Irreversibilität und Annäherung an das Gleichgewicht	8	3.2. Das statistische Kollektiv	68
1.2.1. Selten auftretende große Schwankungen	9	3.3. Statistische Postulate	70
1.2.2. Eigens herbeigeführte Anfangszustände	9	3.4. Wahrscheinlichkeitsberechnungen	74
1.2.3. Irreversibilität	12	3.5. Die Anzahl der in einem makroskopischen System realisierbaren Zustände	75
1.3. Weitere Erläuterungen	13	3.6. Nebenbedingungen, Gleichgewicht, Irreversibilität	78
1.3.1. Das ideale System mit N Spins	13	3.7. Wechselwirkung zwischen Systemen	82
1.3.2. Energieverteilung in idealen Gasen	19	3.7.1. Thermische Wechselwirkung	82
1.3.3. Ein Pendel schwingt in einem Gas	20	3.7.2. Wärmeisolierung und adiabatische Prozesse	83
1.4. Eigenschaften des Gleichgewichts	21	3.7.3. Adiabatische Wechselwirkung	83
1.4.1. Der Gleichgewichtszustand als der einfachste Zustand	21	3.7.4. Allgemeine Wechselwirkungsprozesse	84
1.4.2. Beobachtbarkeit von Schwankungen	21	3.7.5. Infinitesimale allgemeine Wechselwirkungsprozesse	85
1.4.3. Dichteschwankungen in einem Gas	22	3.8. Zusammenfassung der Definitionen	86
1.4.4. Schwingungen eines Torsionspendels	22	3.9. Wichtige Beziehungen	87
1.4.5. Brownsche Bewegung eines Teilchens	22	3.10. Übungen	87
1.4.6. Spannungsschwankungen entlang eines Widerstands	23		
1.5. Wärme und Temperatur	24	<b>4. Thermische Wechselwirkung</b>	<b>90</b>
1.6. Charakteristische Größenordnungen	27	4.1. Verteilung der Energie zwischen makroskopischen Systemen	90
1.6.1. Der Druck eines idealen Gases	27	4.1.1. Wie scharf ist das Maximum von $P(W)$ ausgeprägt?	92
1.6.2. Numerische Abschätzungen	28	4.1.2. Einige gebräuchliche Definitionen	93
1.6.3. Mittlere freie Weglänge	29	4.2. Die Annäherung an das thermische Gleichgewicht	93
1.7. Wichtige Probleme aus der makroskopischen Physik	30	4.3. Temperatur	94
1.7.1. Grundbegriffe	30	4.4. Transport geringer Wärmemengen	98
1.7.2. Eigenschaften von Systemen im Gleichgewicht	31	4.5. Ein System in Kontakt mit einem Wärmereservoir	99
1.7.3. Systeme, die nicht im Gleichgewicht sind	33	4.6. Paramagnetismus	101
1.7.4. Schlußbemerkung	33	4.7. Die mittlere Energie eines idealen Gases	104
1.8. Zusammenfassung der Definitionen	33	4.8. Der mittlere Druck eines idealen Gases	107
1.9. Übungen	34	4.9. Zusammenfassung der Definitionen	109
		4.10. Wichtige Beziehungen	110
		4.11. Übungen	110
<b>2. Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie</b>	<b>37</b>	<b>5. Mikroskopische Theorien und makroskopische Messungen</b>	<b>118</b>
2.1. Das statistische Kollektiv	37	5.1. Bestimmung der absoluten Temperatur	118
2.2. Einfache Beziehungen zwischen Wahrscheinlichkeiten	43	5.2. Hohe und niedrige absolute Temperaturen	121
2.3. Die Binomialverteilung	44	5.3. Arbeit, innere Energie und Wärme	123
2.3.1. Diskussion	47	5.3.1. Arbeit	124
2.3.2. Die Allgemeingültigkeit der Binomialverteilung	48	5.3.2. Innere Energie	125
2.4. Mittelwerte	50	5.3.3. Wärme	126
2.5. Die Berechnung von Mittelwerten für ein Spin-System	53	5.4. Spezifische Wärme	128
2.5.1. Ein System von Teilchen mit dem Spin $\frac{1}{2}$	54	5.5. Entropie	130
2.5.2. Die Molekülverteilung im idealen Gas	56	5.6. Intensive und extensive Parameter	131
2.6. Stetige Wahrscheinlichkeitsverteilungen	57	5.7. Zusammenfassung der Definitionen	132
2.7. Zusammenfassung der Definitionen	59	5.8. Wichtige Beziehungen	132
2.8. Wichtige Beziehungen	60	5.9. Übungen	132
2.9. Übungen	60		

<b>6. Die kanonische Verteilung in der klassischen Näherung</b>	<b>138</b>	<b>8. Die kinetische Theorie von Transportprozessen</b>	<b>190</b>
6.1. Die klassische Näherung	138	8.1. Mittlere freie Weglänge	190
6.1.1. Gültigkeit der klassischen Näherung	138	8.2. Viskosität und die Übertragung von Impuls	192
6.1.2. Die klassische Beschreibung	138	8.2.1. Definition des Viskositätskoeffizienten	193
6.1.3. Die klassische statistische Mechanik	140	8.2.2. Berechnung des Viskositätskoeffizienten für ein verdünntes Gas	194
6.2. Die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	142	8.2.3. Diskussion	195
6.3. Diskussion der Maxwellverteilung	144	8.3. Wärmeleitfähigkeit und die Übertragung von Energie	197
6.3.1. Verteilung einer Geschwindigkeitskomponente	144	8.3.1. Definition des Koeffizienten der Wärmeleitfähigkeit	197
6.3.2. Die Verteilung von Molekulargeschwindigkeitsbeträgen	145	8.3.2. Berechnung der Wärmeleitfähigkeit eines verdünnten Gases	197
6.3.3. Gültigkeit der klassischen Darstellung eines Gases	146	8.3.3. Diskussion	198
6.4. Effusion und Molekularstrahlen	148	8.4. Selbstdiffusion und der Transport von Masse (d.h. Molekülen)	199
6.5. Der Gleichverteilungssatz	151	8.4.1. Definition des Selbstdiffusionskoeffizienten	199
6.6. Anwendung des Gleichverteilungssatzes	153	8.4.2. Die Diffusionsgleichung	200
6.6.1. Spezifische Wärme eines einatomigen idealen Gases	153	8.4.3. Berechnung des Selbstdiffusionskoeffizienten für ein verdünntes Gas	200
6.6.2. Kinetische Energie eines Moleküls in einem beliebigen Gas	153	8.4.4. Diffusion als eine Zufallsbewegung	201
6.6.3. Die Brownsche Bewegung	153	8.5. Elektrische Leitfähigkeit und der Transport von Ladung	202
6.6.4. Der harmonische Oszillator	154	8.6. Wichtige Beziehungen	203
6.7. Die spezifische Wärme von Festkörpern	154	8.7. Übungen	203
6.7.1. Gültigkeit der klassischen Näherung	155		
6.7.2. Abschätzung von Zahlenwerten	155		
6.8. Zusammenfassung der Definitionen	157		
6.9. Wichtige Beziehungen	157		
6.10. Übungen	157		
<b>7. Allgemeine thermodynamische Wechselwirkung</b>	<b>162</b>	<b>Anhang</b>	<b>207</b>
7.1. Abhängigkeit der Zustandszahl von den äußeren Parametern	162	A.1. Die Gaußverteilung	207
7.2. Allgemeine Beziehungen für den Gleichgewichtszustand	165	A.2. Die Poissonverteilung	209
7.2.1. Gleichgewichtsbedingungen	165	A.3. Die Größe von Energieschwankungen	210
7.2.2. Infinitesimale quasistatische Prozesse	166	A.4. Molekülstöße und Gasdruck	212
7.3. Anwendung auf ein ideales Gas	167	<b>Mathematischer Anhang</b>	<b>214</b>
7.3.1. Entropie eines idealen Gases	168	M.1. Die Summenschreibweise	214
7.3.2. Adiabatische Kompression und Expansion	169	M.2. Die Summe einer geometrischen Reihe	214
7.4. Grundlegende Aussagen der statistischen Thermodynamik	170	M.3. Ableitung von $\ln n!$ für großes $n$	214
7.5. Gleichgewichtsbedingungen	172	M.4. Wert von $\ln n!$ für großes $n$	214
7.5.1. Das isolierte System	172	M.5. Die Ungleichung $\ln x \leq x - 1$	215
7.5.2. Systeme in Kontakt mit einem Wärmereservoir	174	M.6. Die Berechnung des Integrals $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx$	215
7.6. Phasengleichgewicht	176	M.7. Berechnung eines Integrals der Form $\int_0^{\infty} e^{-\alpha x^2} x^n dx$	216
7.6.1. Phasenübergänge eines einfachen Stoffes	178		
7.6.2. Näherungsbestimmung des Dampfdrucks	179		
7.7. Übergänge von zufälligen in nichtzufällige oder geordnete Zustände	180	<b>Ergänzende Übungen</b>	<b>218</b>
7.7.1. Maschinen	181		
7.7.2. Biochemische Systeme	183	<b>Ergänzende Literatur</b>	<b>220</b>
7.8. Zusammenfassung der Definitionen	184		
7.9. Wichtige Beziehungen	184	<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>222</b>
7.10. Übungen	185		