Frederick Reif

STATISTISCHE PHYSIK

Mit 158 Bildern

V

Friedr. Vieweg + Sohn · Braunschweig

Inhaltsverzeichnis

1.	**Eigenschaften makroskopischer Systeme**	**1**
1.1.	Schwankungserscheinungen	2
1.2.	Irreversibilität und Annäherung an das Gleichgewicht	8
1.2.1.	Selten auftretende große Schwankungen	9
1.2.2.	Eigens herbeigeführte Anfangszustände	9
1.2.3.	Irreversibilität	12
1.3.	Weitere Erläuterungen	13
1.3.1.	*Das ideale System mit N Spins*	13
1.3.2.	Energieverteilung in idealen Gasen	19
1.3.3.	Ein Pendel schwingt in einem Gas	20
1.4.	Eigenschaften des Gleichgewichts	21
1.4.1.	Der Gleichgewichtszustand als der einfachste Zustand	21
1.4.2.	Beobachtbarkeit von Schwankungen	21
1.4.3.	Dichteschwankungen in einem Gas	22
1.4.4.	Schwingungen eines Torsionspendels	22
1.4.5.	*Brownsche Bewegung eines Teilchens*	22
1.4.6.	Spannungsschwankungen entlang eines Widerstands	23
1.5.	Wärme und Temperatur	24
1.6.	Charakteristische Größenordnungen	27
1.6.1.	Der Druck eines idealen Gases	27
1.6.2.	Numerische Abschätzungen	28
1.6.3.	Mittlere freie Weglänge	29
1.7.	Wichtige Probleme aus der makroskopischen Physik	30
1.7.1.	*Grundbegriffe*	30
1.7.2.	Eigenschaften von Systemen im Gleichgewicht	31
1.7.3.	Systeme, die nicht im Gleichgewicht sind	33
1.7.4.	Schlußbemerkung	33
1.8.	Zusammenfassung der Definitionen	33
1.9.	Hinweise auf ergänzende Literatur	34
1.10.	Übungen	34

2.	**Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie**	**37**
2.1.	Das statistische Kollektiv	37
2.2.	Einfache Beziehungen zwischen Wahrscheinlichkeiten	43
2.3.	Die Binomialverteilung	44
2.3.1.	Diskussion	47
2.3.2.	Die Allgemeingültigkeit der Binomialverteilung	48
2.4.	Mittelwerte	50
2.5.	Die Berechnung von Mittelwerten für ein Spin-System	53
2.5.1.	Ein System von Teilchen mit dem Spin $\frac{1}{2}$	54
2.5.2.	Die Molekülverteilung im idealen Gas	56
2.6.	Stetige Wahrscheinlichkeitsverteilungen	57
2.7.	Zusammenfassung der Definitionen	59
2.8.	Wichtige Beziehungen	60
2.9.	Hinweise auf ergänzende Literatur	60
2.10.	Übungen	60

3.	**Statistische Beschreibung von Teilchensystemen**	**64**
3.1.	Definition des Zustands eines Systems	64
3.2.	Das statistische Kollektiv	68
3.3.	Statistische Postulate	70
3.4.	Wahrscheinlichkeitsberechnungen	74
3.5.	Die Anzahl der in einem makroskopischen System realisierbaren Zustände	75
3.6.	Nebenbedingungen, Gleichgewicht, Irreversibilität	78
3.7.	*Wechselwirkung zwischen Systemen*	82
3.7.1.	Thermische Wechselwirkung	82
3.7.2.	Wärmeisolierung und adiabatische Prozesse	83
3.7.3.	Adiabatische Wechselwirkung	83
3.7.4.	Allgemeine Wechselwirkungsprozesse	84
3.7.5.	Infinitesimale allgemeine Wechselwirkungsprozesse	85
3.8.	Zusammenfassung der Definitionen	86
3.9.	Wichtige Beziehungen	87
3.10.	Hinweise auf ergänzende Literatur	87
3.11.	Übungen	87

4.	**Thermische Wechselwirkung**	**90**
4.1.	Verteilung der Energie zwischen makroskopischen Systemen	90
4.1.1.	Wie scharf ist das Maximum von P(W) ausgeprägt?	92
4.1.2.	Einige gebräuchliche Definitionen	93
4.2.	Die Annäherung an das thermische Gleichgewicht	93
4.3.	Temperatur	94
4.4.	Transport geringer Wärmemengen	98
4.5.	Ein System in Kontakt mit einem Wärmereservoir	99
4.6.	Paramagnetismus	101
4.7.	Die mittlere Energie eines idealen Gases	104
4.8.	Der mittlere Druck eines idealen Gases	107
4.9.	Zusammenfassung der Definitionen	109
4.10.	Wichtige Beziehungen	110
4.11.	Hinweise auf ergänzende Literatur	110
4.12.	Übungen	110

5.	**Mikroskopische Theorien und makroskopische Messungen**	**118**
5.1.	Bestimmung der absoluten Temperatur	118
5.2.	Hohe und niedrige absolute Temperaturen	121
5.3.	Arbeit, innere Energie und Wärme	123
5.3.1.	Arbeit	124
5.3.2.	Innere Energie	125
5.3.3.	Wärme	126
5.4.	Spezifische Wärme	128
5.5.	Entropie	130
5.6.	Intensive und extensive Parameter	131
5.7.	Zusammenfassung der Definitionen	132
5.8.	Wichtige Beziehungen	132
5.9.	Hinweise auf ergänzende Literatur	132
5.10.	Übungen	132

6. Die kanonische Verteilung in der klassischen Näherung 138
6.1. Die klassische Näherung 138
6.1.1. Gültigkeit der klassischen Näherung 138
6.1.2. Die klassische Beschreibung 138
6.1.3. Die klassische statistische Mechanik 140
6.2. Die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung 142
6.3. Diskussion der Maxwellverteilung 144
6.3.1. Verteilung einer Geschwindigkeitskomponente 144
6.3.2. Die Verteilung von Molekulargeschwindigkeitsbeträgen 145
6.3.3. Gültigkeit der klassischen Darstellung eines Gases 146
6.4. Effusion und Molekularstrahlen 148
6.5. Der Gleichverteilungssatz 151
6.6. Anwendung des Gleichverteilungssatzes 153
6.6.1. Spezifische Wärme eines einatomigen idealen Gases 153
6.6.2. Kinetische Energie eines Moleküls in einem beliebigen Gas 153
6.6.3. Die Brownsche Bewegung 153
6.6.4. Der harmonische Oszillator 154
6.7. Die spezifische Wärme von Festkörpern 154
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. Hinweise auf ergänzende Literatur 157
6.11. Übungen 157

7. Allgemeine thermodynamische Wechselwirkung 162
7.1. Abhängigkeit der Zustandszahl von den äußeren Parametern 162
7.2. Allgemeine Beziehungen für den Gleichgewichtszustand 165
7.2.1. Gleichgewichtsbedingungen 165
7.2.2. Infinitesimale quasistatische Prozesse 166
7.3. Anwendung auf ein ideales Gas 167
7.3.1. Entropie eines idealen Gases 168
7.3.2. Adiabatische Kompression und Expansion 169
7.4. Grundlegende Aussagen der statistischen Thermodynamik 170
7.5. Gleichgewichtsbedingungen 172
7.5.1. Das isolierte System 172
7.5.2. Systeme in Kontakt mit einem Wärmereservoir 174
7.6. Phasengleichgewicht 176
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
7.7.1. Maschinen 181
7.7.2. Biochemische Systeme 183
7.8. Zusammenfassung der Definitionen 184
7.9. Wichtige Beziehungen 184
7.10. Hinweise auf ergänzende Literatur 185
7.11. Übungen 185

8. Die kinetische Theorie von Transportprozessen 190
8.1. Mittlere freie Weglänge 190
8.2. Viskosität und die Übertragung von Impuls 192
8.2.1. Definition des Viskositätskoeffizienten 193
8.2.2. Berechnung des Viskositätskoeffizienten für ein verdünntes Gas 194
8.2.3. Diskussion 195
8.3. Wärmeleitfähigkeit und die Übertragung von Energie 197
8.3.1. Definition des Koeffizienten der Wärmeleitfähigkeit 197
8.3.2. Berechnung der Wärmeleitfähigkeit eines verdünnten Gases 197
8.3.3. Diskussion 198
8.4. Selbstdiffusion und der Transport von Masse (d.h. Molekülen) 199
8.4.1. Definition des Selbstdiffusionskoeffizienten 199
8.4.2. Die Diffusionsgleichung 200
8.4.3. Berechnung des Selbstdiffusionskoeffizienten für ein verdünntes Gas 200
8.4.4. Diffusion als eine Zufallsbewegung 201
8.5. Elektrische Leitfähigkeit und der Transport von Ladung 202
8.6. Wichtige Beziehungen 203
8.7. Hinweise auf ergänzende Literatur 203
8.8. Übungen 203

Anhang 207
A.1. Die Gaußverteilung 207
A.2. Die Poissonverteilung 209
A.3. Die Größe von Energieschwankungen 210
A.4. Molekülstöße und Gasdruck 212

Mathematischer Anhang 214
M.1. Die Summenschreibweise 214
M.2. Die Summe einer geometrischen Reihe 214
M.3. Ableitung von ln n! für großes n 214
M.4. Wert von ln n! für großes n 214
M.5. Die Ungleichung $\ln x \leqslant x - 1$ 215
M.6. Die Berechnung des Integrals $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx$ 215
M.7. Berechnung eines Integrals der Form $\int_{0}^{\infty} e^{-\alpha x^2} x^n dx$ 216

Ergänzende Übungen 218

Sachwortverzeichnis 220