

Inhalt

Vorwort	v
Bezeichnungen	xiv
Die Strategie des Buches	xv
Stoffauswahl für eine Einführungsvorlesung	xix
Teil I Thermodynamik in der Makrowelt	1
1 Wie beschreibt man physikalische Systeme?	2
1.1 Einleitung	2
1.2 Grundbegriffe	9
1.3 Bilanzen und Erhaltungssätze	15
1.4 Einfache Systeme	17
1.5 Extensive und intensive Größen	28
1.6 Die GIBBS'sche Fundamentalform	31
1.7 Elektrisches Gleichgewicht	38
2 Thermische Systeme	45
2.1 Energie, Entropie und Temperatur	45
2.2 Empirische und absolute Temperaturen	49
2.3 Das System „heißer Körper“	52
2.4 Der zweite Hauptsatz	56
2.5 Der dritte Hauptsatz	58
2.6 Transportphänomene und Entropieerzeugung	62
2.7 Die Messung der Temperatur	66
2.8 Die Messung der Wärmekapazität und der Entropie	67

2.9	Entropieerzeugung durch irreversiblen Temperatenausgleich	70
2.10	Wärmestrom und Wärmeleitung	74
3	Ideale Gase	82
3.1	Stoffmenge und chemisches Potenzial	82
3.2	Thermodynamische Beschreibung von Gasen	87
3.3	Die thermische Zustandsgleichung	89
3.4	Die kalorische Zustandsgleichung	92
3.5	Die MAXWELL-Verteilung	96
3.6	Erwärmung und Abkühlung – Wärmekapazitäten	100
3.7	Der Gleichverteilungssatz	103
3.8	Expansion und Kompression – Kompressibilitäten	107
4	Maschinen	118
4.1	Die Kopplung verschiedener Energie-Transportprozesse	118
4.2	Das CARNOT'sche Prinzip	121
4.3	Unvollkommene Maschinen – Irreversibilität	127
4.4	Unzerlegbare Systeme	127
4.5	Wärme und Arbeit – der CARNOT'sche Kreisprozess	132
4.6	Thermische Maschinen	136
4.7	Der STIRLING-Motor	138
4.8	Der historische Weg zur Entropie	140
5	Thermodynamische Potenziale	144
5.1	Weitere MASSIEU-GIBBS-Funktionen	144
5.1.1	Die freie Energie	145
5.1.2	Die Enthalpie	148
5.1.3	Die freie Enthalpie	149
5.1.4	Die Energie im externen Magnetfeld	150
5.1.5	Die freie Energie im externen Magnetfeld	152
5.2	MAXWELL-Relationen	152
5.3	Die Messung der absoluten Temperatur	155
5.4	Homogenität der MASSIEU-GIBBS-Funktionen	160
5.5	Entropieartige MASSIEU-GIBBS-Funktionen	165

5.6	Drei Ebenen der Systembeschreibung	167
6	Mehr über ideale Gase	174
6.1	Die Entropie eines idealen Gases	174
6.2	Freie Energie und chemisches Potenzial	180
6.3	Die Teilchenkapazität $\partial n(T, \mu)/\partial \mu$	183
6.4	Das ideale Gas in Entropiedarstellung	184
7	Zusammengesetzte Systeme und Gleichgewichte	188
7.1	Was ist eigentlich ein System?	188
7.2	System-Zerlegung und System-Zusammensetzung	192
7.3	Gleichgewicht und Stabilität	195
7.4	Mischungsentropie	205
7.5	Ideale Lösungen	209
7.6	Der osmotische Druck	210
7.7	Chemische Reaktionen	212
7.7.1	Das Massenwirkungsgesetz	212
7.7.2	Reaktionswärmen	218
7.7.3	Die Absolutwerte des chemischen Potentials	224
7.8	Der dritte Hauptsatz in der physikalischen Chemie	226
8	Transportphänomene	234
8.1	Transport durch bewegliche Teilchen	234
8.2	Mittlere freie Weglänge	237
8.3	Diffusion	239
8.4	Diffusion und Diffusionsgleichgewichte in äußeren Feldern	241
8.4.1	Thermodynamik im äußeren Kraftfeld	241
8.4.2	Die EINSTEIN-Relation	243
8.4.3	Die barometrische Höhenformel	245
8.4.4	Abschirmung elektrischer Felder	247
8.5	Impulstransport und Viskosität	250
8.6	Entropietransport und Wärmeleitfähigkeit	253
8.7	Effusion aus kleinen Öffnungen	255
8.8	Teilchendiffusion durch dünne Kapillaren	257

8.9	Thermoelektrizität	260
8.10	Kritik des Drift-Diffusionsmodells	266
8.11	Die Matrix der Transportkoeffizienten	268
8.12	Entropieproduktion durch Ströme	270
9	Reale Systeme	276
9.1	Phasen und Phasenübergänge	276
9.2	Verdampfen und Kondensieren	278
9.3	Phasengleichgewichte	281
9.3.1	Die Gleichung von Clausius und Clapeyron	281
9.3.2	Verdunsten und Sieden	285
9.3.3	Siedepunkterhöhung und Gefrierpunktserniedrigung	285
9.3.4	Der Tripelpunkt	286
9.3.5	Experimente zur chemischen Konstante	287
9.3.6	Der Dampfdruck über realen Mischungen	288
9.4	Instabilitäten in realen Mischungen	291
9.5	Das reale Gas	296
9.5.1	Die VAN DER WAALS'sche Zustandsgleichung	296
9.5.2	Die JOULE-THOMSON Expansion	298
9.6	Der Phasenübergang im VAN DER WAALS-Modell	304
9.6.1	Freie Energie und das chemische Potenzial	304
9.6.2	Der kritische Punkt	309
Teil II Statistische Thermodynamik		317
10	Thermodynamik von Spin-1/2-Systemen	318
10.1	Quantenzustände und chemische Spezies	318
10.2	Zufallsgrößen	323
10.3	Zustände und Zufallsgrößen des Spin-1/2-Systems	329
10.4	Chemisches Gleichgewicht im Spin-1/2-System	330
10.5	Der ideale Spin- 1/2-Paramagnet	334
10.6	Thermische Schwankungen	342
10.7	Ferromagnetismus in der Molekularfeld-Näherung	346
11	Einfache Quantensysteme	358

11.1	Die BOLTZMANN-Verteilung	358
11.2	Das allgemeine Zwei-Niveau-System - Gläser	364
11.3	Polymere	369
11.4	Der harmonische Oszillator	372
11.5	Rotationsanregungen von Molekülen	377
11.6	Innere Freiheitsgrade von Atomen	385
11.7	Zerlegung idealer Gase in Teilsysteme	389
11.8	Zusammengesetzte Quantensysteme	391
11.9	Die Translationsfreiheitsgrade eines idealen Gases	394
11.10	Das „klassische“ ideale Gas	397
11.11	Der dritte Hauptsatz in der Quantenphysik	402
11.12	Kanonische oder Mikrokanonische Verteilung?	405
12	Ideale Gase bei tiefen Temperaturen	411
12.1	Fermionen und Bosonen	411
12.2	Die GIBBS'sche Verteilung	417
12.3	Elementare BOSE- und FERMI-Systeme	422
12.4	Transport durch elementare FERMI- oder BOSE-Systeme	430
12.5	Der „klassische“ Grenzfall	433
12.6	Vergleich von BOSE- und FERMI-Gasen	435
12.7	Ensembles in der statistischen Physik	439
13	BOSE-Systeme	445
13.1	Photonen – thermische Strahlung	445
13.1.1	Zustandsdichte	445
13.1.2	Thermische Eigenschaften des Photonengases	446
13.1.3	Energietransfer durch thermische Strahlung	450
13.2	Phononen im DEBYE-Modell	454
13.2.1	DEBYE-Näherung der Zustandsdichte	456
13.2.2	Thermische Eigenschaften des Phononensystems	458
13.2.3	Thermische Ausdehnung von Festkörpern - Phononendruck	463
13.2.4	Wärmeleitfähigkeit durch Phononen	469
13.3	Massive BOSE-Gase	471
13.3.1	Die BOSE-EINSTEIN Kondensation	471

13.3.2 Experimente zur BOSE-EINSTEIN-Kondensation	476
13.4 Quasiteilchen in suprafluidem ^4He	479
13.4.1 Die Suprafluidität von ^4He	480
13.4.2 Dispersionsrelation und Wärmekapazität	482
13.4.3 Der Fontänen-Effekt	485
13.4.4 Die Trägheit des Quasiteilchen-Systems	487
14 FERMISYSTEME	497
14.1 Das ideale FERMI-Gas – Elektronen in Metallen	497
14.1.1 Dispersionsrelationen – die Bandstruktur	497
14.1.2 Zustandsgleichungen	499
14.1.3 Der Grundzustand: FERMI-Entartung	499
14.1.4 Abschirmung im entarteten FERMI-Gas	503
14.1.5 Kontaktspannungen	505
14.2 Thermische Eigenschaften des FERMI-Gases	507
14.2.1 SOMMERFELD-Entwicklung	507
14.2.2 Thermische Zustandsgleichung	509
14.2.3 Kalorische Zustandsgleichung	511
14.2.4 Thermische Ausdehnung	515
14.2.5 PAULI-Suszeptibilität	516
14.3 FERMI-Flüssigkeiten	518
14.3.1 LANDAUS FERMI-Flüssigkeit	518
14.3.2 Flüssiges ^3He	521
14.3.3 Verfestigung von ^3He – POMERANCHUK-Kühlung	524
14.3.4 Lösungen von ^3He in ^4He	526
14.3.5 Der ^3He - ^4He -Mischkryostat	530
14.4 Transport in FERMI-Systemen	532
14.4.1 Ströme im Nichtgleichgewicht	532
14.4.2 Ladungstransport – elektrische Leitfähigkeit	538
14.4.3 Ladungstransport – Thermokraft	540
14.4.4 Entropietransport – PELTIER-Koeffizient und Wärmeleitfähigkeit	546
14.5 Halbleiter	548
14.5.1 Quasiteilchen in intrinsischen Halbleitern	548
14.5.2 Dotierung und Leitfähigkeit	552
14.5.3 Thermoelektrizität in Halbleitern	556
14.5.4 Halbleiter-Grenzflächen	558
14.6 Quasiteilchen in supraleitenden Metallen	567
14.6.1 Supraleitende Phänomene	568
14.6.2 Thermodynamische Eigenschaften	571

14.6.3 BCS-Theorie und BOGOLIUBOV-Quasiteilchen	574
15 Quasiteilchen in reduzierten Dimensionen	588
15.1 Zweidimensionale Elektronensysteme	588
15.1.1 Halbleiter-Heterostrukturen	588
15.1.2 Elektronische Struktur von Quantentrögen	590
15.2 Tunnelkontakte und Punktkontakte	591
15.2.1 Tunnelkontakte	592
15.2.2 Punktkontakte	595
15.3 Quasi-eindimensionale Leiter	596
15.3.1 Elektrischer Transport durch Quanten-Punktkontakte	599
15.3.2 Entropietransport durch Quanten-Punktkontakte	605
15.3.3 Phononen in reduzierten Dimensionen	607
15.3.4 Diffusive Quantendrähte	611
A Differenzialrechnung im \mathbb{R}^n	620
B Wahrscheinlichkeiten und Wahrscheinlichkeitsdichten	622
C Nützliche Integrale	627
D LEGENDRE-Transformation	629
E Das Zwei-Körper-System aus thermodynamischer Sicht	634
F Magnetische Felder in Materie	639
G Charakteristische Funktionen in der Statistik	643
H Die BOLTZMANN-Gleichung	647
Literaturverzeichnis	650
Stichwortverzeichnis	653