

Inhalt

Verzeichnis fundamentaler physikalischer Konstanten	XIV
1 Kombinatorik	1
1.0 Einleitung	1
1.1 Kombinatorische Zahlen	3
1.1.1 Bernoulli-Zahlen	3
1.1.2 Stirling-Zahlen	4
1.2 Kombinatorische Funktionen	7
1.2.1 Fakultät	7
1.2.2 Faktorielle Funktionen	9
1.2.3 Binomialkoeffizienten	10
1.2.4 Polynomialkoeffizienten	14
1.3 Kombinatorische Operationen	15
1.3.1 Permutationen	15
1.3.2 Variationen	17
1.3.3 Kombinationen	19
1.3.4 Spezielle kombinatorische Probleme	21
2 Wahrscheinlichkeitstheorie	25
2.0 Einleitung	25
2.1 Der Wahrscheinlichkeitsbegriff	26
2.1.1 Übersicht	26
2.1.2 Zufälliges Experiment und zufällige Ereignisse	27
2.1.3 Ereignisalgebren	28
2.1.4 Wahrscheinlichkeitsdefinitionen	29
2.1.5 Kolmogorov-Axiomatik	32
2.2 Zufällige Größen	35
2.2.1 Zufällige Größen: Grundlagen	35
2.2.2 Charakteristika zufälliger Größen	40
2.3 Bedingte Wahrscheinlichkeiten, Korrelation	45
2.3.1 Grundlagen	45
2.3.2 Stochastische Unabhängigkeit	47
2.3.3 Korrelation	48
2.4 Erzeugende Funktionen, Kumulanten	51
2.4.1 Wahrscheinlichkeitserzeugende Funktion	51

2.4.2	Faktorielle momentenerzeugende Funktion	53
2.4.3	Momentenerzeugende Funktion	53
2.4.4	Laplace-Funktion	54
2.4.5	Charakteristische Funktion	55
2.4.6	Kumulanten	58
2.5	Stochastische Prozesse	61
2.5.1	Grundlagen	61
2.5.2	Markov-Prozesse	63
2.5.3	Stochastische Punktprozesse	65
2.5.4	Poisson-Prozesse	66
2.5.5	Gauß-Prozesse, Wiener-Prozeß	68
2.5.6	Korrelationstheorie	69
2.5.7	Spektraltheorie, Wiener-Chintschin-Theorem	72
3	Quantenmechanik und Wahrscheinlichkeit	76
3.0	Einleitung	76
3.1	Grundlegung der Quantenmechanik	76
3.1.1	Zustände, Observable und Erwartungswerte	76
3.1.2	Dirac-Notation	81
3.1.3	Übergangswahrscheinlichkeiten, Störungstheorie	86
3.2	Statistische Operatoren	89
3.2.1	Grundlagen	89
3.2.2	Reine und gemischte Zustände	90
3.2.3	Definitionen und Eigenschaften der statistischen Operatoren	92
3.2.4	Definitionen und Eigenschaften der Projektionsoperatoren	94
3.2.5	Dynamik der statistischen Operatoren	98
3.3	Quantenmechanik der Vielteilchensysteme	100
3.3.1	Grundlagen	100
3.3.2	Bosonensysteme	103
3.3.3	Fermionensysteme	105
3.3.4	Zweite Quantisierung	106
4	Thermodynamik	111
4.0	Einleitung	111
4.1	Gleichgewichtsthermodynamik	114
4.1.1	Grundlagen	114

4.1.2	Zustandsgrößen	116
4.1.3	Temperatur und Entropie	120
4.1.4	Stoffmenge (Molzahl) und chemisches Potential	124
4.1.5	Hauptsätze	125
4.1.6	Thermodynamische Potentiale, thermodynamische Transformationstheorie	128
4.1.7	Thermodynamik der Phasen	132
4.1.8	Phasenumwandlungen	134
4.1.9	Landau-Theorie der Phasenumwandlungen	136
4.2	Thermodynamik irreversibler Prozesse	138
4.2.1	Onsager-Formalismus	138
4.2.2	Erweiterungen des Onsager-Formalismus	141
4.2.3	Relaxationsprozesse	143
4.2.4	Wärmeleitung im Kontinuum	144
4.2.5	Offene Systeme und stationäre Zustände	147
4.2.6	Dissipative Strukturen	148
5	Statistische Physik der Gleichgewichtssysteme	151
5.0	Einleitung	151
5.1	Grundlagen	154
5.1.1	Klassische Statistik: Phasenraumstatistik	154
5.1.2	Quantenstatistik: Hilbert-Raum-Statistik	159
5.1.3	Der Entropiebegriff der Gleichgewichtsstatistik, Boltzmann-Prinzip	161
5.2	Statistische Gesamtheiten	166
5.2.1	Mikrokanonische Gesamtheit	166
5.2.2	Kanonische Gesamtheit	167
5.2.3	Kanonische Zustandssumme und thermodynamische Funktionen	174
5.2.4	Großkanonische Gesamtheit	176
5.2.5	Großkanonische Zustandssumme und thermodynamische Funktionen	179
5.2.6	Weitere statistische Gesamtheiten	181
5.3	Boltzmann-Statistik	183
5.3.1	Grundlagen	183
5.3.2	Quantenoszillatoren	185
5.3.3	Klassische Oszillatoren	188

5.3.4	Rotatoren	189
5.3.5	Klassisches ideales Gas, Maxwell-Verteilung	194
5.3.6	Ideale Moleküllgase	198
5.3.7	Gleichverteilungssatz der Energie	199
5.3.8	Virialsätze, Virialgleichung für reale Gase	201
5.3.9	Negative thermodynamische Temperaturen	203
5.3.10	Barometrische Höhenformel	206
5.3.11	Leerstellenkonzentration im Realkristall	207
5.3.12	Dipolssysteme, idealer Paramagnet	209
5.3.13	Isotopenstatistik	212
5.4	Quantenstatistiken idealer Gase	213
5.4.1	Nichtunterscheidbarkeit von Teilchen in der statistischen Physik	213
5.4.2	Bose-Einstein-Statistik und Fermi-Dirac-Statistik	213
5.4.3	Herleitung der Statistiken mittels Kombinatorik	216
5.4.4	Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Besetzungszahlen	219
5.4.5	Größe und Anzahl der Phasenraumzellen	221
5.4.6	Ideales Fermi-Gas, quantenstatistische Entartungskriterien	223
5.4.7	Photonensystem als ideales Bose-Gas, Plancksches Strahlungsgesetz	228
5.4.8	Thermische Zustandsgleichungen idealer Quantengase, Bose-Einstein-Kondensation	230
5.5	Quasiteilchenstatistik	233
5.5.1	Übersicht	233
5.5.2	Phononen in Festkörpern: Debye-Theorie	236
5.5.3	Plasmonen	240
5.6	Statistik von Spinsystemen und kooperativen Modellsystemen	242
5.6.1	Übersicht	242
5.6.2	Ising-Modell, Ising-Kette im Magnetfeld	244
5.6.3	Legierungsstatistik: Überstrukturen und Entmischung	247
5.7	Statistik der Phasenumwandlungen	251
5.7.1	Kritische Exponenten	251
5.7.2	Renormierungsgruppentheorie	253
5.7.3	Renormierungstechnik für die Ising-Kette	255
6	Statistische Physik der Systeme im Nichtgleichgewicht	258
6.0	Einleitung	258

6.1	Irreversibilitatsproblem und Entropiebegriff	260
6.1.1	Reversibilität	260
6.1.2	Irreversibilität und Entropie	263
6.1.3	Zeitpfeil und Entropieproduktion	266
6.1.4	Praktische Irreversibilität infolge Informationsverzicht	269
6.2	Langevin-Theorie und Fokker-Planck-Theorie	270
6.2.1	Langevin-Gleichung	270
6.2.2	Integration der Langevin-Gleichung: Langevin-Methode und Einstein-Relation	272
6.2.3	Integration der Langevin-Gleichung: Einstein-Hopf-Methode	274
6.2.4	Allgemeine Langevin-Theorie und Anwendungen	275
6.2.5	Fokker-Planck-Gleichung	278
6.2.6	Allgemeine Fokker-Planck-Theorie und Anwendungen	280
6.3	Master-Gleichungen und Schrittprozesse	284
6.3.1	Paulische Master-Gleichung	284
6.3.2	Anwendungen der Master-Gleichung	287
6.3.3	Nicht-Markovsche Master-Gleichung	288
6.4	Zufallswanderung und Diffusion	288
6.4.1	Grundlagen	288
6.4.2	Eindimensionale Zufallswanderung: Methode der erzeugenden Funktionen	290
6.4.3	Grenzübergang zur Kontinuumstheorie: Normale Diffusion	292
6.4.4	Zufallswanderung in stetiger Zeit: Propagatorformalismus und dynamische Halbgruppen	293
6.4.5	Zufallswanderung in stetiger Zeit: Master-Gleichung	297
6.4.6	Beispiel: Poisson-Prozeß	299
6.4.7	Diffusionstheorie	300
6.4.8	Erweiterungen und Anwendungen	301
6.5	Rauschen	302
6.5.1	Einführung	302
6.5.2	Widerstandsrauschen: Nyquist-Rauschen	302
6.5.3	Halbleiterrauschen, Transistorrauschen	305
6.5.4	Schrottrauschen	306
6.5.5	$1/f$ -Rauschen	309
6.5.6	Wees und farbiges Rauschen	311
6.6	Kinetische Gastheorie und kinetische Plasmatheorie	312

6.6.1	Elementare Gaskinetik	312
6.6.2	Boltzmann-Gleichung	317
6.6.3	Stoßinvarianten, Bilanzgleichungen, H -Theorem	321
6.6.4	Relaxationszeitznäherung und kinetische Modellgleichungen	324
6.6.5	Lösungsmethoden der Boltzmann-Gleichung	326
6.6.6	Elementare Plasmakinetik	328
6.6.7	Vlasov-Gleichung	331
6.6.8	Landau-Gleichung	334
6.6.9	Kinetische Hierarchie (BBGKY-Hierarchie)	335
6.6.10	Quantenstatistische kinetische Theorie	337
6.7	Response-Theorie, Fluktuations-Dissipations-Theoreme	339
6.7.1	Grundlagen der linearen Response-Theorie	339
6.7.2	Response-Funktion, Relaxationsfunktion, Green-Funktion	342
6.7.3	Kubo-Transformierte, Mori-Produkt, dynamische Suszeptibilität	344
6.7.4	Quantenstatistische Korrelationstheorie	347
6.7.5	Fluktuations-Dissipations-Theoreme	350
6.7.6	Erweiterungen der Response-Theorie	351
6.8	Thermodynamische Green-Funktionen	352
6.8.1	Klassische Green-Funktionen	352
6.8.2	Green-Operatoren und Green-Funktionen der Quantenmechanik, Zustandsdichte	354
6.8.3	Thermodynamische Green-Funktionen: Grundlagen	357
6.8.4	Spektraltheorem und Dispersionsrelationen	358
6.8.5	Ergänzungen der Theorie, weitere Green-Funktionen	360
6.9	Projektionsoperatormethoden	361
6.9.0	Grundlagen	361
6.9.1	Löwdin-Formalismus und Feshbach-Formalismus	362
6.9.2	Zwanzig-Formalismus	364
6.9.3	Mori-Formalismus	367
6.9.4	Prigogine-Formalismus: Subdynamik	370
6.9.5	Robertson-Formalismus	372
6.10	Weitere wichtige Methoden	372
6.10.1	Funktionalintegralmethoden	372
6.10.2	Variationsprinzipien	376
7	Statistische Physik und Informationstheorie	379

7.0	Einleitung	379
7.1	Shannonsche Informationstheorie und statistische Physik	380
7.1.1	Grundlagen des Informationsbegriffs	380
7.1.2	Prinzip der maximalen Entropie	383
7.1.3	Weitere Informationsmaße	385
7.2	Informationstheoretische Methoden der Statistik irreversibler Prozesse	387
7.2.1	Nichtgleichgewichts-Gesamtheiten	387
7.2.2	Subarew-Formalismus	388
7.2.3	Robertson-Formalismus	388
7.2.4	Physikalische Dämonologie	389
8	Phasenraummethoden der Quantenstatistik	391
8.0	Einleitung	391
8.1	Grundlagen des Wigner-Formalismus	392
8.1.1	Wigner-Funktion und Wigner-Äquivalente von Operatoren	392
8.1.2	Weyl-Transformation	394
8.1.3	Bewegungsgleichungen	395
8.1.4	Zustandssummen und Wigner-Kirkwood-Reihe	395
8.1.5	Vorteile und Nachteile des Wigner-Formalismus	397
8.2	Kohärente Zustände	398
8.2.1	Glauber-Zustände	398
8.2.2	P-Darstellung und Q-Darstellung	399
8.2.3	Beziehungen zwischen Glauber-Zuständen und Wigner-Funktion	401
8.2.4	Gequetschte Zustände	402
8.2.5	Weitere Phasenraum-Darstellungen	403
9	Fraktaltheorie und Perkolationstheorie	405
9.0	Einleitung	405
9.1	Die Fraktalkonzeption	406
9.1.1	Was ist ein Fraktal?	406
9.1.2	Der Dimensionsbegriff	409
9.1.3	Multifraktale: Dimensionen und Entropien	414
9.2	Dynamik und Transportstatistik fraktaler Systeme	417
9.2.1	Schwingungsdynamik, Fraktonen	417
9.2.2	Anomale Diffusion	418

9.2.3	Dynamische Dimensionen	421
9.3	Perkolation	423
9.3.1	Grundlagen	423
9.3.2	Grundgrößen	426
9.3.3	Skalenrelationen	429
10	Theorie dynamischer Systeme, Chaostheorie, Ergodentheorie	432
10.0	Einleitung	432
10.1	Dynamische Systeme	433
10.1.1	Grundlagen der Systemtheorie	433
10.1.2	Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme	436
10.1.3	Theorie stochastischer dynamischer Systeme	440
10.1.4	Statistische Mechanik zellularer Automaten	441
10.2	Deterministisches Chaos	442
10.2.1	Was heißt deterministisches Chaos?	442
10.2.2	Feigenbaum-Szenarium	444
10.2.3	Diskrete dynamische Systeme, logistische Abbildung	447
10.3	Ergodentheorie	449
10.3.1	Grundlagen der Ergodentheorie	449
10.3.2	Dynamische Entropien	451
10.3.3	Hierarchie der dynamischen Systeme	453
11	Statistische Thermodynamik chemischer Systeme	456
11.0	Einleitung	456
11.1	Chemische Thermodynamik	457
11.1.1	Grundlagen	457
11.1.2	Massenwirkungsgesetze	460
11.2	Statistische Thermodynamik chemischer Gleichgewichtssysteme	461
11.2.1	Chemische Potentiale idealer Molekulgase	461
11.2.2	Massenwirkungsgesetz und Zustandssummen	463
11.3	Statistische Thermodynamik chemischer Reaktionen	464
11.3.1	Theorie des aktivierten Komplexes	464
11.3.2	Weitere statistische Theorien der chemischen Kinetik	465
12	Statistische Theorie biologischer Systeme	467
12.0	Einleitung	467

12.1	Biopolymere	467
12.1.1	Statistische Thermodynamik von Biopolymeren	467
12.1.2	Struktur- und Phasenumwandlungen von Biopolymeren	469
12.2	Neuronennetzwerke	471
12.2.1	Struktur und Funktion von Neuronennetzwerken	471
12.2.2	Spinglasmodelle für Neuronennetzwerke	472
13	Synergetik, weitere Anwendungen der statistischen Physik	475
13.0	Einleitung	475
13.1	Synergetik	475
13.1.1	Grundbegriffe der Synergetik	475
13.1.2	Evolutionsgleichungen	477
13.1.3	Nichtgleichgewichts-Phasenumwandlungen	479
13.2	Weitere Anwendungen	480
13.2.1	Populationsdynamik, Migrationsdynamik	480
13.2.2	Stochastische Theorien des Verhaltens	481
	Literatur	482
	Verzeichnis wichtiger Symbole	490
	Register	495