

## Inhaltsverzeichnis.

Vorwort des Verfassers .....	V
Vorwort der Herausgeber .....	VIII
Teil I. Thermodynamik. Allgemeines.	
§ 1. Die Temperatur als Zustandsgröße .....	1
§ 2. Arbeitsleistung und Wärmezufuhr .....	4
§ 3. Das ideale Gas .....	7
A. Das BOYLE-MARIOTTESche Gesetz .....	7
B. Das GAY-LUSSACSche Gesetz .....	8
C. Das AVOGADROSche Gesetz und die universelle Gaskonstante .....	9
§ 4. Der erste Hauptsatz. Energie und Enthalpie als Zustandsgrößen .....	11
A. Die Äquivalenz von Wärme und Arbeit .....	12
B. Die Enthalpie als Zustandsgröße .....	14
C. Exkurs über das Verhältnis der spezifischen Wärmen $c_p$ und $c_v$ .....	16
§ 5. Der reversible und irreversible adiabatische Prozeß .....	17
A. Der adiabatisch-reversible Prozeß .....	18
B. Der adiabatisch irreversible Prozeß .....	20
C. Der JOULE-KELVIN-Prozeß .....	22
D. Eine Folgerung von weittragender Bedeutung .....	23
§ 6. Der zweite Hauptsatz .....	24
A. Der CARNOTSche Kreisprozeß und sein Wirkungsgrad .....	25
B. Der erste Teil des zweiten Hauptsatzes .....	27
C. Der zweite Teil des zweiten Hauptsatzes .....	32
D. Einfachste numerische Beispiele .....	35
E. Literarisches .....	37
F. Zur Rangordnung von Energie und Entropie .....	38
§ 7. Die thermodynamischen Potentiale und die Reziprozitätsbeziehungen .....	40
§ 8. Thermodynamische Gleichgewichte .....	45
A. Ungehemmtes thermodynamisches Gleichgewicht und Maximum der Entropie .....	45
B. Ein System im ungehemmten thermodynamischen Gleichgewicht ist isotherm und isobar .....	46
C. Zusätzliche Freiheitsgrade im gehemmten Gleichgewicht .....	47
D. Extremaleigenschaften der thermodynamischen Potentiale .....	47
E. Der Satz von der maximalen Arbeit .....	50
§ 9. Die VAN DER WAALSche Gleichung .....	52
A. Verlauf der Isothermen .....	53
B. Entropie und kalorische Verhalten des VAN DER WAALSchen Gases .....	55

§ 10. Zur Verflüssigung der Gase nach VAN DER WAALS .....	57
A. Der integrale und differentielle JOULE-KELVIN-Prozeß .....	57
B. Die Inversionskurve und ihre technische Verwertung .....	58
C. Die Begrenzung des Gebietes der koexistierenden Phasen flüssig-gasförmig in der $p, v$ -Ebene .....	60
§ 11. Die KELVIN-Skala .....	65
§ 12. Das NERNSTsche Wärmethorem .....	68
Teil II. Anwendung der Thermodynamik auf spezielle Systeme.	
§ 13. Gasgemische, GIBBSsches Paradoxon. Gesetz von GULDBERG und WAAGE .....	73
A. Reversible Entmischung von Gasen .....	75
B. Die Entropie-Zunahme bei der Diffusion und das GIBBSsche Paradoxon .....	76
C. Das Massenwirkungsgesetz von GULDBERG und WAAGE .....	77
§ 14. Die chemischen Potentiale und die chemischen Konstanten .....	82
A. Die chemischen Potentiale $\mu_i$ .....	83
B. Zusammenhang der $\mu_i$ mit den $g_i$ bei idealen Mischungen .....	86
C. Die chemische Konstante der idealen Gase .....	86
§ 15. Verdünnte Lösungen .....	87
A. Allgemeines und Historisches .....	87
B. Die VAN T'HOFFsche Zustandsgleichung der verdünnten Lösungen .....	89
§ 16. Die verschiedenen Aggregatzustände des Wassers. Zur Theorie der Dampfmaschine .....	92
A. Die Dampfspannungs-Kurve und die CLAPYRONSche Gleichung .....	92
B. Das Phasengleichgewicht zwischen Eis und Wasser .....	96
C. Die spezifische Wärme des gesättigten Wasserdampfes .....	97
§ 17. Allgemeines zur Theorie des Phasengleichgewichtes .....	100
A. Der Tripelpunkt des Wassers .....	100
B. Die GIBBSsche Phasenregel .....	103
C. Die RAOULTSchen Gesetze bei verdünnten Lösungen .....	105
D. Das HENRYSche Absorptionsgesetz (1803) .....	108
§ 18. Die Spannung der galvanischen Elemente .....	109
A. Elektrochemische Potentiale .....	110
B. Das DANIELL-Element (1836) .....	111
C. Zusammenfassung der Einzelreaktionen zu einer vereinfachten Bruttoreaktion .....	112
D. Die GIBBS-HELMHOLTZsche Fundamentalgleichung .....	114
E. Numerisches .....	115
F. Zur Integration der Fundamentalgleichung .....	116
§ 19. Ferro- und Paramagnetismus .....	117
A. Magnetisierungsarbeit und magnetische Zustandsgleichung .....	117
B. Die LANGEVINSche Funktion des Paramagnetismus .....	119
C. Die WEISSsche Theorie des Ferromagnetismus .....	121
D. Die spezifischen Wärmen $c_H$ und $c_M$ .....	125
E. Der magneto-kalorische Effekt .....	129
§ 20. Hohlraumstrahlung .....	130
A. Der KIRCHHOFFSche Satz .....	131
B. Das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz .....	133
C. Das WIENSche Gesetz .....	135
D. Das PLANCKSche Strahlungsgesetz .....	139

§ 21. Irreversible Prozesse. Thermodynamik des gestörten Gleichgewichts .....	147
A. Wärmeleitung und lokale Entropieerzeugung .....	147
B. Wärmeleitung im anisotropen Körper und ONSAGERSche Reziprozitätsbeziehungen .....	150
C. Die thermoelektrischen Effekte .....	151
D. Innere Umwandlungen .....	158
E. Allgemeine Gesetzmäßigkeiten .....	160
F. Gültigkeitsbereich der thermodynamischen Theorie der irreversiblen Prozesse .....	162

## Teil III. Die elementare kinetische Gastheorie.

§ 22. Die Zustandsgleichung des idealen Gases .....	163
§ 23. Die MAXWELLSche Geschwindigkeitsverteilung .....	168
A. Die MAXWELL-Verteilung beim einatomigen Gas. Beweis von 1860 .....	168
B. Numerisches und Experimentelles .....	171
C. Allgemeines zur Energieverteilung. Der BOLTZMANN-Faktor .....	173
§ 24. Die BROWNSche Bewegung .....	174
§ 25. Die Statistik paramagnetischer Stoffe .....	180
A. Die klassische LANGEVIN-Funktion .....	181
B. Die quantentheoretisch modifizierte LANGEVINSche Funktion .....	183
§ 26. Die statistische Bedeutung der VAN DER WAALSSchen Konstanten .....	185
A. Das Eigenvolumen der Moleküle und die Konstante $b$ .....	185
B. Die VAN DER WAALSSchen Kohäsionskräfte und die Konstante $a$ .....	187
§ 27. Problem der freien Weglänge .....	189
A. Berechnung der freien Weglänge in einem Spezialfall .....	190
B. Viskosität .....	191
C. Wärmeleitung .....	195
D. Allgemeine Bemerkungen zu den Problemen der freien Weglänge .....	197

## Teil IV. Allgemeine Statistik: Die Abzählmethode.

§ 28. LIOUVILLEScher Satz, $\Gamma$ -Raum und $\mu$ -Raum .....	198
A. Der hochdimensionale $\Gamma$ -Raum .....	199
B. Der LIOUVILLESche Satz .....	200
C. Die Gleich-Wahrscheinlichkeit beim idealen Gase .....	201
§ 29. Das BOLTZMANNsche Prinzip .....	204
A. Die Permutabilität als Maß der Zustands-Wahrscheinlichkeit .....	205
B. Das Maximum der Wahrscheinlichkeit als Maß der Entropie .....	207
C. Zusammenfassung von Elementarzellen .....	209
§ 30. Vergleich mit der Thermodynamik .....	211
A. Isochore Zustandsänderung .....	211
B. Allgemeine Zustandsänderung des kräftefreien Gases .....	211
C. Das Gas im Kraftfelde, der BOLTZMANN-Faktor .....	213
D. Die MAXWELL-BOLTZMANNsche Geschwindigkeitsverteilung .....	214
E. Das Gasgemisch .....	215
§ 31. Spezifische Wärme und Energie starrer Moleküle .....	217
A. Das einatomige Gas .....	217
B. Das Gas aus zweiatomigen Molekülen .....	219
C. Das mehratomige Gas und die KELVINSchen Wolken .....	222

§ 32. Die spezifische Wärme schwingungsfähiger Moleküle und fester Körper	223
A. Das zweiatomige Molekül	223
B. Mehratomige Gase	224
C. Der Festkörper und das DULONG-PETITSche Gesetz	225
§ 33. Die Quantelung der Schwingungsenergie	225
A. Der lineare Oszillator	226
B. Der feste Körper	229
C. Verallgemeinerung auf beliebige Quantenzustände	229
§ 34. Die Quantelung der Rotationsenergie	230
§ 35. Ergänzung zur Theorie der Strahlung und des festen Körpers	234
A. Methode der Eigenschwingungen	234
B. Die DEBYEsche Theorie der spezifischen Wärme des Festkörpers	235
§ 36. Zustandssumme im $T$ -Raum	236
A. Die GIBBSsche Bedingung	237
B. Anschluß an die Betrachtungsweise von BOLTZMANN	239
C. Übergang zur quantenmechanischen Statistik	241
D. Analyse der Hypothese von GIBBS	243
§ 37. Grundsätzliches zur Quantenstatistik	244
A. Quantenstatistik gleichartiger Teilchen	244
B. Die Methode von DARWIN-FOWLER	246
C. BOSE-EINSTEIN- und FERMI-DIRAC-Statistik	247
D. Die Methode der Sattelpunkte	249
§ 38. Gasentartung	253
A. BOSE-EINSTEIN- und FERMI-DIRAC-Verteilung	253
B. Grad der Gasentartung	256
C. Hochentartetes BOSE-EINSTEIN-Gas	258
§ 39. Elektronengas in Metallen	261
A. Vorbemerkung über die DRUDESche Vorstellung	261
B. Vollständig entartetes FERMI-DIRAC-Gas	262
C. Fast vollständige Entartung	265
D. Spezielle Probleme	267
§ 40. Mittlere Schwankungsquadrate	270
Teil V. Grundzüge einer exakten kinetischen Theorie der Gase.	
§ 41. Die MAXWELL-BOLTZMANNsche Stoßgleichung	276
A. Zustandsbeschreibung in der kinetischen Gastheorie	276
B. Die zeitliche Änderung von $f$	278
C. Die Gesetze des elastischen Stoßes	279
D. BOLTZMANNsches Stoßintegral	281
E. Die BOLTZMANNsche Hypothese der molekularen Unordnung	283
§ 42. H-Theorem und MAXWELLverteilung	284
A. Das H-Theorem	284
B. Die MAXWELLverteilung	287
C. Gleichgewichtsverteilungen	290
§ 43. Grundgleichungen der Hydrodynamik	291
A. Reihenentwicklung für die Verteilungsfunktion	291
B. Transportgleichung von MAXWELL	293
C. Erhaltung der Masse	295

D. Erhaltung des Impulses	296
E. Erhaltung der Energie	297
F. Entropiesatz	300
§ 44. Zur Integration der Stoßgleichung	302
A. Integration mittels Momentengleichungen	302
B. Umformung der Momentengleichungen	303
C. Berechnung der Stoßmomente	305
D. Die Koeffizienten der inneren Reibung und Wärmeleitung	306
§ 45. Leitfähigkeit und WIEDEMANN-FRANZsches Gesetz	311
A. Stoß- und Transportgleichung für Metallelektronen	311
B. Näherungsweise Lösung der Stoßgleichung	313
C. Leitungs- und Energiestromdichte	316
D. Das OHMSche Gesetz	317
E. Wärmeleitfähigkeit und absolute Thermokraft	319
F. Das WIEDEMANN-FRANZsche Gesetz	320

## Übungsaufgaben zu Teil I.

I. 1. Zusammenhang zwischen Ausdehnungskoeffizient, Spannungskoeffizient und Kompressibilität	322
I. 2. Zur Heizungsfrage	322
I. 3. Absolute Temperatur und ideales Gasthermometer	322
I. 4. Verwendung des zweiten Hauptsatzes zur Ableitung einer algebraischen Ungleichung	322
I. 5. Einfache reversible Prozesse am idealen Gas	322
I. 6. CARNOT-Prozeß mit Wasser zwischen $2^{\circ}\text{C}$ und $6^{\circ}\text{C}$	322
I. 7. Isotherme und adiabatische Kompressibilität	323
I. 8. Änderung der inneren Energie bei isothermer Kompression von Wasser	323
I. 9. Adiabatisches Gleichgewicht der Atmosphäre	323
I. 10. Ausströmung von Gasen	323
I. 11. Isothermes Gleichgewicht der Atmosphäre	324
I. 12. Thermodynamische Systeme mit der Zustandgleichung $pv = a u(T, v)$	324

## Übungsaufgaben zu Teil II.

II. 1. Produkt aus Druck und Volumen als thermodynamisches Potential	325
II. 2. Der Temperaturkoeffizient der Verdampfungswärme längs der Dampfspannungskurve	325
II. 3. Erwärmung von Wasser + Wasserdampf bei konstantem Volumen	325
II. 4. Realisierung der thermodynamischen Temperaturskala	326
II. 5. Dampfdruckkurve und Verdampfungswärme von Quecksilber	326
II. 6. Thermodynamische Herleitung des BOLTZMANN-Faktors	326
II. 7. Zum Prinzip des detaillierten Gleichgewichts	326

## Übungsaufgaben zu Teil III.

III. 1. Eindimensionales Gas, bestehend aus einem Molekül	327
III. 2. Wahrscheinlichste und mittlere Geschwindigkeit	327
III. 3. Seltenheit extremer Geschwindigkeiten	327
III. 4. Mathematische Hoffnung beim Würfelspiel	327
III. 5. Einfluß der Wandkräfte auf den Druck	327
III. 6. Massen- und Energietransport durch enge Öffnungen	328
III. 7. Hochvakuummanometer	328

## Übungsaufgaben zu Teil IV.

IV. 1. Überlagerung gleichgroßer Fehler .....	328
IV. 2. Überlagerung von Fehlern variabler Größe .....	329
IV. 3. Spezielle Permutabilitäten .....	329
IV. 4. Brownsche Bewegung eines Galvanometerspiegels .....	329
IV. 5. Vergleich von Kohäsionsenergie und thermischer Energie .....	330
IV. 6. Zur Rotationswärme .....	330
IV. 7. BOSE-EINSTEIN-Verteilung .....	331
IV. 8. Dichteschwankungen .....	331
IV. 9. Dichteschwankungen am kritischen Punkt .....	331

## Übungsaufgabe zu Teil V.

V. 1. Zum Äquipartitionstheorem .....	331
---------------------------------------	-----

Anleitung zur Lösung der Übungsaufgaben .....	332
---	-----

Namen- und Sachregister .....	369
-------------------------------	-----