
Physik IV

Physik der Atome, Moleküle und Kerne
Wärmestatistik

von
G. Michael Kalvius

Oldenbourg Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XI
Tabellenverzeichnis	XIX
Aus dem Vorwort zur ersten Auflage	XXI
Vorwort zur fünften Auflage	XXIII
 A Atom- und Molekülphysik	 1
1 Eigenschaften von Quantenteilchen	3
1.1 Der Dualismus Welle – Teilchen	3
1.2 Die Wellenfunktion und die Schrödingergleichung	6
1.3 Die Unschärferelation von Heisenberg	8
1.4 Bahndrehimpuls und Spin	11
1.5 Ununterscheidbarkeit	17
1.6 Fermionen und Bosonen	21
1.7 Austauschsymmetrie	22
1.8 Das Pauli-Verbot	23
 2 Quantenmechanische Beschreibung des Einelektronenatoms	 25
2.1 Einleitung (Bohrsches Modell)	25
2.2 Schrödingergleichung eines Elektrons im Coulomb-Feld	30
2.3 Die Radialfunktion R_{nl}	32
2.4 Die winkelabhängige Funktion Y_{lm}	35
2.5 Aufenthaltswahrscheinlichkeiten	35
2.6 Berücksichtigung des Elektronenspins	41
2.7 Mathematische Lösung der Schrödingergleichung	42
 3 Übergänge zwischen Energiezuständen	 53
3.1 Grundlagen	53
3.2 Spontane Emission von Photonen	54
3.3 Das Dipolmoment	55

3.4	Auswahlregeln	59
3.5	Übergangswahrscheinlichkeiten und natürliche Linienbreite . .	60
3.6	Photonenanregung	65
3.7	Stimulierte Emission	65
4	Spektroskopie des Wasserstoffs	67
4.1	Die Spin-Bahn-Kopplung	68
4.2	Feinstruktur	70
4.3	Die Lamb-Verschiebung	72
4.4	Das magnetische Moment	74
4.5	Zeeman- und Paschen-Back-Effekt	76
4.6	Kopplung zum Kern (Hyperfeinstruktur)	79
4.7	Entartung und Symmetrie	83
5	Wasserstoffähnliche Systeme	87
5.1	Rydbergatome	87
5.2	Die schweren Wasserstoffisotope	88
5.3	Ionisierte Atome	90
5.4	Myonische Atome (Kernvolumeneffekt)	90
5.5	Lochzustände	94
5.6	Exotische Atome	94
5.7	Quarkonium	101
6	Die Elektronenstruktur der Vielelektronenatome	103
6.1	Elektronenschalen	103
6.2	Übergangselemente	108
6.3	Das Periodensystem der Elemente	111
6.4	Selbstkonsistente Rechenverfahren	112
6.5	Der Gesamtdrehimpuls	118
6.6	Spektroskopische Symbole	121
6.7	Der Grundzustand des Vielelektronenatoms	124
6.8	Das atomare magnetische Moment	125
7	Spektren der Vielelektronenatome	127
7.1	Einleitung	127
7.2	Alkali-Atome	129
7.3	Helium	132
7.4	Erdalkali-Atome	134
7.5	Linienintensitäten	135
7.6	Aufspaltung im angelegten Feld	136
7.7	Isotopieverschiebung	141
7.8	Hyperfeinaufspaltung	142
7.9	Hyperfeinfelder	144

7.10	Zusammenfassung	146
8	Resonanzspektroskopie	149
8.1	Resonanzfluoreszenz	149
8.2	Mikrowellen-Resonanz und Breit-Rabi-Diagramm	151
8.3	Atomstrahl-Resonanz (Rabi-Verfahren)	154
8.4	Neutronenspin-Echo-Spektrometer	157
8.5	Kernmagnetische Resonanz (NMR)	159
9	Röntgenstrahlung	167
9.1	Die Natur der Röntgenstrahlen	167
9.2	Röntgenoptik	167
9.3	Röntgenabsorption	170
9.4	Nachweis von Röntgenstrahlung	172
9.5	Röntgenröhren	173
9.6	Synchrotronstrahlung	177
9.7	Synchrotronlichtquellen	180
9.8	Charakteristische Röntgenstrahlung	183
9.9	Die Feinstruktur der Röntgenlinien	187
9.10	Der Auger-Effekt	188
9.11	Röntgenfluoreszenz	190
9.12	Monochromatisierung von Röntgenstrahlen	192
10	Moleküle	193
10.1	Das Molekülpotential	194
10.2	Die ionische Bindung	195
10.3	Die kovalente Bindung	197
10.4	Van der Waals-Bindung	202
10.5	Das LCAO-Verfahren	203
10.6	Hybridisierung	205
11	Spektren der Moleküle	209
11.1	Die elektronischen Zustände und ihre Anregungen	209
11.2	Schwingungsanregungen	213
11.3	Rotationsanregungen	218
11.4	Kombinierte Molekülanregungen	220
11.5	Raman-Streuung	225
B	Wärmestatistik	231
12	Grundlagen	233
12.1	Einleitung	233

12.2	Thermodynamische Grundlagen	234
12.3	Das statistische Modell	236
12.4	Mittelwerte und Wahrscheinlichkeiten	237
13	Phasenraum und Verteilungen	245
13.1	Mikro- und Makrozustände	245
13.2	Der Phasenraum	246
13.3	Verteilungen	247
13.4	Gleichgewichtsverteilung und Boltzmannfaktor	251
14	Entropie und thermisches Gleichgewicht	255
14.1	Statistische Begründung der Entropie	255
14.2	Der Zeitpfeil	260
14.3	Spin-Entropie und adiabatische Entmagnetisierung	263
14.4	Die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	266
14.5	Thermischer Ausgleich (Thermalisierung)	274
15	Quantenstatistik	279
15.1	Grundlagen	279
15.2	Verteilungsfunktionen	280
15.3	Zustandsdichte	282
15.4	Beispiele für Anwendung der Verteilungsfunktionen	284
C	Grundzüge der Physik der Kerne und Teilchen	295
16	Grundlagen	297
16.1	Nukleonen	297
16.2	Isotope, Radioaktivität, Kernreaktionen	298
16.3	Kernradien, Kernladungsverteilung	300
16.4	Spin und Parität	302
16.5	Kernkräfte	303
17	Kernbau und Kernmodelle	305
17.1	Das Tröpfchenmodell	305
17.2	Das Fermi-Gas-Modell	309
17.3	Das Schalenmodell	311
17.4	Kollektives Modell	316
17.5	Ausblick	322
18	Kernzerfälle und Kernstrahlung	327
18.1	Überblick	327
18.2	Das Zerfallsgesetz	328

18.3	Der Alpha-Zerfall	331
18.4	Der Beta-Zerfall	334
18.5	Die Paritätsverletzung	337
18.6	Gamma-Übergänge	340
18.7	Innere Konversion	342
18.8	Kernresonanzfluoreszenz (Mössbauer-Effekt)	343
18.9	Kernspaltung	348
18.10	Kernspaltungsreaktoren	352
18.11	Kernfusionsreaktoren	355
19	Wechselwirkung von Strahlung mit Materie	361
19.1	Durchgang geladener Teilchen durch Materie	361
19.2	Wechselwirkung von Gammastrahlen mit Materie	363
19.3	Der Photoeffekt	365
19.4	Der Comptoneffekt	365
19.5	Die Paarbildung	366
19.6	Wechselwirkung von Neutronen	367
19.7	Strahlenschutz	367
20	Kernstrahlungsdetektoren	371
20.1	Gas-Proportionalzähler	373
20.2	Geiger-Müller-Zählrohr	374
20.3	Halbleiterdetektoren	375
20.4	Szintillationszähler	376
20.5	Čerenkovzähler	379
20.6	Andere Nachweisverfahren	380
20.7	Spurdetektoren	381
21	Teilchenbeschleuniger	385
21.1	Einleitung und Grundlagen	385
21.2	Ionenquellen	388
21.3	Potentialbeschleuniger	388
21.4	Linear-Beschleuniger (LINAC)	391
21.5	Zyklotron	393
21.6	Starke Fokussierung	395
21.7	Sektorzyklotron	396
21.8	Synchrotron	398
21.9	Speicherringe	400
21.10	Strahlkühlung	400
22	Elementarteilchen, Wechselwirkung und Erhaltungssätze	403
22.1	Einleitung	403
22.2	Materieteilchen	405

22.3	Wechselwirkungsteilchen	407
22.4	Erhaltungssätze	414
22.5	Ausklang	416

Vertiefende Literatur	417
------------------------------	------------

	Anhang	419
A	Alphabetische Liste der chemischen Elemente	419
B	Grundzustände und Elektronenkonfigurationen	422
C	K- und L-Bindungsenergien der Elemente.	425
D	SI-Einheiten	428
E	Vorsätze	429
F	Wichtige physikalische Konstanten	430
G	Energieäquivalente	432

Sachverzeichnis	433
------------------------	------------