
Inhaltsverzeichnis

1	Photonstreuung	1
1.1	Compton-Effekt	1
1.2	Thomson-Streuung	3
1.2.1	Klassische Herleitung	3
1.2.2	Quantenmechanische Herleitung	5
1.2.3	Quantenmechanische Deutung von r_e	7
1.3	Formfaktor	8
1.3.1	Geometrische Deutung des Formfaktors	8
1.3.2	Dynamische Deutung des Formfaktors	10
1.4	Rückstoßfreie Streuung am Kristall	11
1.5	Photonstreuung am freien Elektron	12
	Weiterführende Literatur	14
2	Leptonstreuung	15
2.1	Elektron-Quark-Streuung	15
2.1.1	Mott-Streuung	16
2.1.2	Berücksichtigung des Quarkspins	19
2.2	Elektron-Nukleon-Streuung	20
2.2.1	Nukleonradius	21
2.2.2	Nukleonformfaktor	21
2.3	Neutrino-Elektron-Streuung	22
2.4	Neutrino-Quark-Streuung	24
2.4.1	Schwaches Potential	25
	Weiterführende Literatur	26
3	Quasielastische Lepton-Quark-Streuung	27
3.1	Virtuelle Weizsäcker-Williams-Photonen	28
3.2	Virtuelle Bjorken-Feynman-Partonen	31

3.2.1	Elektronstreuung an Quarks	32
3.2.2	Neutrino-Streuung an Quarks	34
3.2.3	Gluonbremsstrahlung	37
3.3	Kopplungskonstanten	40
3.3.1	Elektromagnetische Kopplungskonstante α	41
3.3.2	Starke Kopplungskonstante α_s	43
3.3.3	Schwache Kopplungskonstante α_W	44
	Weiterführende Literatur	44
4	Wasserstoffatom	45
4.1	Niveauschema	45
4.1.1	Semiklassisch	45
4.1.2	Dirac-Niveauschema	47
4.1.3	Zitterbewegung	49
4.1.4	Spin-Bahn-Aufspaltung	50
4.2	Lamb-Verschiebung	52
4.2.1	Nullpunktschwingung	52
4.3	Hyperfeinstruktur	54
4.4	Wasserstoffähnliche Atome	56
4.4.1	Myonische Atome	56
	Weiterführende Literatur	58
5	Atome mit mehreren Elektronen	59
5.1	Bindungsenergien	59
5.1.1	Heliumatom	59
5.1.2	Korrelationen	60
5.1.3	Die 2s,2p-Schale	60
5.2	Atomradien	62
5.2.1	Wasserstoff und Helium	62
5.2.2	Thomas-Fermi-Modell	63
5.2.3	Alternative Definitionen	66
5.3	Paramagnetische Atome	67
5.4	Ferro- und Antiferromagnetismus	69
	Weiterführende Literatur	71
6	Hadronen	73
6.1	Quarkonia	73
6.2	Hadronen aus leichten Quarks	76

6.2.1	Nicht-relativistisches Quarkmodell	76
6.3	Chirale Symmetriebrechung	78
6.3.1	Konstituentenquark	80
6.3.2	Pion	84
6.3.3	Verallgemeinerung auf $m_0 \geq 0$ und zwei Quarkflavours	86
6.3.4	Das Pion als kollektiver Zustand	86
	Weiterführende Literatur	90
7	Kovalente und ionische Bindung	91
7.1	Kovalente Bindung	91
7.1.1	Das Wasserstoffmolekül – ein Fall gebrochener Symmetrie	92
7.1.2	Analogie	95
7.1.3	Kovalente Bindung in der (2s,2p)-Schale	96
7.1.4	Energiequelle Sauerstoff	97
7.2	Ionische Bindung	97
	Weiterführende Literatur	98
8	Intermolekulare Kräfte	99
8.1	Van-der-Waals-Wechselwirkung	99
8.1.1	Van-der-Waals-Wechselwirkung zwischen einem Atom und einer leitenden Wand	100
8.1.2	Van-der-Waals-Wechselwirkung zwischen zwei Atomen	100
8.1.3	Van-der-Waals-Wechselwirkung und Casimir-Effekt	101
8.1.4	Wand-Wand-Wechselwirkung	103
8.2	Wasserstoffbrückenbindung	105
8.2.1	Wasser	105
8.2.2	Wassermolekül	105
8.2.3	Modell der Wasserstoffbrückenbindung	106
8.2.4	Eis	107
8.2.5	Spezifische Wärme	108
8.2.6	α -Helix und β -Faltblatt	108
8.2.7	Primärstruktur	108
8.2.8	Sekundärstruktur	109

8.2.9	α -Helix	109
8.2.10	β -Faltblatt	110
8.2.11	Tertiärstruktur und höhere Ebenen	110
	Weiterführende Literatur	112
9	Streuung kalter Neutronen	113
9.1	Dispersionsrelationen für Kristalle	114
9.1.1	Natriumkristall	116
9.1.2	Kaliumbromidkristall	117
9.2	Lokalisierte Schwingungsmode	117
9.3	Dispersionsrelationen amorpher Substanzen	121
9.4	Spezifische Wärme	122
9.4.1	Kristalline Substanzen	122
9.4.2	Amorphe Substanzen	124
	Weiterführende Literatur	125
10	Kernkraft und Deuteron	127
10.1	Kernkraft	127
10.1.1	Abstoßung bei kleinen Abständen	128
10.1.2	Anziehung	129
10.2	Deuteron	130
10.3	^3H , ^3He , ^4He	132
	Weiterführende Literatur	133
11	Quantengase	135
11.1	Fermi-Gas	137
11.1.1	Fermi-Energie, Fermi-Impuls, Fermi-Temperatur	137
11.1.2	Übergang zum entarteten Fermi-Gas	138
11.2	Bose-Gas	139
11.2.1	Bose-Einstein-Kondensation	139
	Weiterführende Literatur	142
12	Quantenflüssigkeiten	143
12.1	Normalfluides ^3He	143
12.2	Suprafluides ^4He	145
12.3	Suprafluides ^3He	149
	Weiterführende Literatur	150

13 Metalle	151
13.1 Metallische Bindung	151
13.1.1 Der metallische Wasserstoff	151
13.1.2 Normale Metalle	154
13.2 Elektrische Leitfähigkeit	156
13.3 Cooper-Paare	156
13.4 Wärmeleitfähigkeit	160
Weiterführende Literatur	163
14 Kerne – Tröpfchen einer Fermi-Flüssigkeit	165
14.1 Globale Eigenschaften – Fermi-Gas-Modell	166
14.2 Individuelle Eigenschaften – Schalenmodell	167
14.3 Kollektive Anregungen	169
14.3.1 Vibrationszustände	169
14.3.2 Modell	170
14.3.3 Deformation und Rotationszustände	174
14.3.4 Deformation vs. Cooper-Paare	175
Weiterführende Literatur	177
15 Sterne, Planeten, Asteroiden	179
15.1 Sonne und sonnenähnliche Sterne	179
15.1.1 Zustandsgleichung	180
15.1.2 Virialsatz	181
15.1.3 Größe und Temperatur	182
15.1.4 Protonenenergie	182
15.1.5 Elektronenenergie	183
15.1.6 Weiße Zwerge	183
15.1.7 Braune Zwerge	185
15.1.8 Reaktionsrate	185
15.2 Massivere Sterne als die Sonne	185
15.2.1 Neutronensterne	186
15.2.2 Schwarze Löcher	187
15.2.3 Elementhäufigkeit	187
15.3 Planeten und Asteroiden	188
Weiterführende Literatur	191

16 Elementarteilchen	193
16.1 Teilchenfamilien	193
16.2 Schwache Quarkzerfälle	200
16.3 Z^0 und Photon	203
16.4 Higgs ex Machina	205
16.5 Protonzerfall	210
16.6 Teilchen ohne Eigenschaften	213
Weiterführende Literatur	215
Sachverzeichnis	217
Naturkonstanten	225