

Vorwort .....	8
---------------	---



<b>Orientierung am Himmel .....</b>	<b>9</b>
1 Überblick über typische astronomische Objekte .....	10
2 Überblick über astronomische Größenordnungen .....	13
2.1 Entfernungen .....	13
2.2 Zeiten .....	14
2.3 Massen .....	14
3 Tägliche Rotation der Erde .....	15
4 Jährliche Bewegung der Erde .....	17
4.1 Erdbahn .....	17
4.2 Jahreszeiten .....	19
4.3 Koordinatensysteme .....	19
4.3.1 Horizontsystem .....	19
4.3.2 Äquatorialsystem .....	20
4.3.3 Zusammenhang zwischen Horizont- und Äquatorialsystem .....	21
4.4 Präzession .....	22
4.5 Jahreszeitliche Veränderungen am Himmel .....	23
5 Bewegung und Größe der Planeten .....	25
5.1 Aspekte .....	25
5.2 Schleifenbahnen .....	26
5.3 Siderische und synodische Umlaufdauer .....	27
5.4 Planetenphasen .....	29
5.5 Planetendurchmesser .....	29



<b>Sonnensystem .....</b>	<b>31</b>
6 Überblick .....	32
7 Planeten .....	33
7.1 Merkur .....	33
7.2 Venus .....	34
7.3 Erde .....	36
7.4 Mars .....	41
7.5 Jupiter .....	44
7.6 Saturn .....	47
7.7 Uranus .....	49
7.8 Neptun .....	49
8 Zwergplaneten und Plutoiden .....	51
8.1 Pluto .....	51
8.2 Weitere Zwergplaneten .....	51
9 Kleinkörper .....	52
9.1 Asteroiden .....	52
9.2 Kuipergürtel .....	52
9.3 Oort'sche Wolke .....	53
9.4 Kometen .....	53
9.5 Meteoroiden, Meteore und Meteorite .....	55

10	Bestimmung von Massen und Bahnparametern .....	57
10.1	Ellipsengeometrie .....	57
10.2	Keplergesetze .....	57
10.3	Gravitation .....	59
10.3.1	Bestimmung der Erdmasse .....	60
10.3.2	Bestimmung von Planetenmassen .....	61
10.4	Allgemeine Form des 3. Keplergesetzes .....	62
11	Computersimulation von Keplerbahnen .....	64
12	Bewegungen im Gravitationsfeld .....	66
12.1	Potenzielle Energie .....	66
12.2	Kreis- und Ellipsenbahnen .....	66
12.3	Hohmannbahn .....	68
13	Entfernungen im Sonnensystem .....	70
	<b>Sonne .....</b>	<b>71</b>
14	Vermessung der Sonne .....	72
15	Spektralanalyse .....	73
15.1	Wellennatur des Lichts .....	73
15.2	Elektromagnetisches Spektrum .....	73
15.3	Kontinuierliches Spektrum und Linienspektren .....	75
15.4	Emissions- und Absorptionsspektren .....	76
15.5	Deutung der Emissions- und Absorptionsspektren .....	77
15.6	Sonnenspektrum .....	79
16	Energieabstrahlung der Sonne .....	81
16.1	Solarkonstante .....	81
16.2	Leuchtkraft der Sonne .....	82
16.3	Strahlungsgesetze .....	83
16.4	Oberflächentemperatur der Sonne .....	87
17	Energieerzeugung im Inneren der Sonne .....	88
17.1	Die Sonne, ein riesiger Ofen? .....	88
17.2	Gravitationsenergie .....	88
17.3	Kernenergie .....	88
17.3.1	Massendefekt und Kernbindungsenergie .....	89
17.3.2	Massebilanz für die Sonne .....	90
17.3.3	Bedingungen für die Kernfusion .....	91
17.3.4	Zentraltemperatur der Sonne .....	91
17.3.5	Maxwellverteilung .....	92
17.3.6	Tunneleffekt .....	92
17.3.7	Fusionsprozesse .....	93
18	Aufbau der Sonne .....	95
18.1	Die ruhige Sonne .....	95
18.2	Beobachtung der Sonne .....	97
18.3	Die aktive Sonne .....	98
18.3.1	Sonnenflecken .....	98
18.3.2	Protuberanzen und Eruptionen .....	100
19	Terrestrische Wirkungen der Sonne .....	101





<b>Sterne .....</b>	<b>103</b>
20 Jährliche trigonometrische Parallaxe .....	104
21 Bewegung von Sternen .....	106
21.1 Eigenbewegung .....	106
21.2 Radialbewegung und Dopplereffekt .....	107
21.2.1 Einführung .....	107
21.2.2 Granulation der Sonnenoberfläche .....	109
21.2.3 Doppelsterne .....	109
21.2.4 Sonnenrotation .....	109
22 Extrasolare Planeten .....	111
22.1 Radialgeschwindigkeitsmethode .....	111
22.2 Transitmethode .....	112
22.3 Fremde Welten .....	113
22.4 Erste Photos von Exoplaneten .....	113
23 Leben auf fremden Planeten <sup>1</sup> .....	115
23.1 Entstehung des Lebens auf der Erde .....	115
23.2 Entstehung höherer Lebensformen .....	115
23.3 Kontakt mit ETI .....	116
24 Sternhelligkeiten .....	117
24.1 Scheinbare Helligkeit .....	117
24.2 Absolute Helligkeit .....	119
25 Spektralklassen .....	121
26 Hertzsprung-Russell-Diagramm .....	123
26.1 Einführung .....	123
26.2 Spektroskopische Entfernungsbestimmung .....	124
26.3 Bestimmung von Sternradien .....	125
27 Sternmassen .....	126
27.1 Doppelsterne .....	126
27.2 Massebestimmung für Doppelsterne .....	127
27.3 Masse-Leuchtkraft-Beziehung .....	129
27.4 Massebestimmung bei Einzelsternen .....	130
28 Sternentwicklung .....	131
28.1 Sternentstehung .....	131
28.2 Vom Infrarot- zum Hauptreihenstern .....	133
28.3 Hauptreihenstadium .....	134
28.4 Alter von Sternhaufen .....	134
28.5 Rote Riesen .....	136
28.6 Pulsationsveränderliche .....	137
28.7 Endzustände von Sternen .....	137
28.7.1 Weiße Zwerge .....	137
28.7.2 Neutronensterne (Pulsare) .....	138
28.7.3 Stellare Schwarze Löcher (Kollapsare) .....	140
29 Masseverlust von Sternen .....	142
29.1 Planetarische Nebel .....	142
29.2 Novae .....	143

29.3	Supernovae .....	143
29.3.1	Supernovae vom Typ II .....	143
29.3.2	Supernovae vom Typ Ia .....	145
29.3.3	Beobachtung von Supernovae .....	146
30	Überblick .....	147
30.1	Sternhaufen 007 – ein Sternhaufen aus dem Computer <sup>1</sup> .....	147
30.2	Entwicklung von Sternen .....	148
30.3	Entwicklung der Sonne <sup>1</sup> .....	149



<b>Großstrukturen im Weltall .....</b>	<b>151</b>
31 Unser Milchstraßensystem .....	152
31.1 Milchstraße .....	152
31.2 Blick auf andere Galaxien .....	152
31.3 Spiralstruktur .....	153
31.4 Kugelsternhaufen .....	153
31.5 Entstehung der Galaxis .....	154
31.6 Ort der Sonne in der Galaxis .....	154
31.7 Ein supermassereiches Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxis .....	155
31.8 Aufbau des Milchstraßensystems .....	157
31.9 Rotation und Masse unseres Milchstraßensystems .....	157
32 Galaxien .....	158
32.1 Entfernungsmessung mit Cepheidensternen .....	158
32.2 Entfernungsmessung mit Supernovae .....	160
33 Galaxienflucht .....	161
34 Galaxienhaufen .....	164
35 Quasare .....	165
36 Entfernungen .....	166
37 Kosmologie .....	168
37.1 Expansion des Universums .....	169
37.2 Urknall .....	170
37.3 Alter des Universums .....	172
37.4 Größe des Universums .....	173
37.5 Entfernungen im expandierenden Universum <sup>1</sup> .....	173
37.6 Newton'sches Weltmodell <sup>1</sup> .....	174
37.7 Relativistische Weltmodelle <sup>1</sup> .....	175
37.8 Voids, Filamente, Surveys und Simulationen .....	176
37.9 Dunkle Materie und Dunkle Energie <sup>2</sup> .....	178



<b>Aufgaben aus einem größeren Zusammenhang .....</b>	<b>181</b>
1 Aufgaben zu den Kapiteln „Orientierung am Himmel“ und „Sonnensystem“ .....	181
1.1 Halley .....	181

1.2	Jupiter .....	182
1.3	Venus .....	182
1.4	Saturn .....	183
1.5	Kollisionen im Sonnensystem .....	184
2	Aufgaben zum Kapitel „Sonne“ .....	185
2.1	Leuchtkraft der Sonne (1) .....	185
2.2	Leuchtkraft der Sonne (2) .....	185
2.3	Sonnenwind .....	186
2.4	Sonnenenergie .....	186
2.5	Spektrum der Sonne .....	187
3	Aufgaben zum Kapitel „Sterne“ .....	189
3.1	Exoplanet des Sterns HD 209458 .....	189
3.2	Regulus .....	191
3.3	$\epsilon$ Tauri .....	192
3.4	Supernova SN 1987A .....	193
3.5	Plejaden .....	194
3.6	Barnards Pfeilstern .....	195
3.7	Das Firmament .....	197
3.8	Sirius als Doppelstern .....	198
3.9	Beobachtungen im Virgohaufen .....	198
4	Aufgaben zum Kapitel „Großstrukturen im Weltall“ .....	200
4.1	Entfernungsmessungen und Weltalter .....	200
4.2	Andromedagalaxie .....	200
4.3	Kugelsternhaufen .....	201
4.4	Galaxien im Sternbild Andromeda .....	201



<b>Anhang</b> .....	<b>203</b>	
1	Zeitmessung .....	203
2	Drehbare Sternkarte .....	205
3	Teleskope .....	206
3.1	Refraktor .....	206
3.2	Reflektor .....	206
3.3	Auflösungsvermögen .....	207
3.4	Fernrohrmontierungen .....	208
4	Beobachtung von Objekten .....	209
5	Stichwortverzeichnis .....	211
6	Abbildungsverzeichnis .....	215

<sup>1</sup> Dieses Kapitel geht über den im Lehrplan des bayerischen Gymnasiums verlangten Stoff hinaus.

<sup>2</sup> Die Behandlung dieses Kapitels ist fakultativ.