

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1 Sphärische Astronomie	4
1.1 Koordinatensysteme	4
1.1.1 Horizontsystem	5
1.1.2 Äquatorsystem	6
1.1.3 Ekliptiksystem	8
1.1.4 Galaktisches System	10
1.1.5 Transformationen der Systeme	10
1.2 Die Zeit	11
1.2.1 Definitionen, Sonnenzeit und Sternzeit	11
1.2.2 Kalender	14
1.3 Sternpositionen	17
1.3.1 Refraktion	19
1.3.2 Aberration	20
1.3.3 Parallaxe	22
1.3.4 Präzession, Nutation	24
1.3.5 Sternkataloge	26
1.3.6 Anwendung genauer Messungen: Lichtablenkung im Gravitationsfeld	27
1.4 Orts- und Zeitbestimmung	27
1.4.1 Geographische Breite Φ	27
1.4.2 Zeitbestimmung	28
2 Geschichte der Astronomie	30
2.1 Astronomie der Vor- und Frühgeschichte	30
2.1.1 Ägypten, Mesopotamien	32
2.1.2 China	33
2.1.3 Mittelamerika	34
2.2 Astronomie der Griechen	34
2.3 Astronomie im Mittelalter	38

2.4	Geozentrisch $\rightarrow$ heliozentrisch	39
2.5	Die Entdeckung weiterer Planeten	45
2.6	Der Stern von Bethlehem	46
3	Himmelsmechanik	48
3.1	Planetenbahnen	48
3.1.1	Ephemeridenrechnung	50
3.1.2	Scheinbare Planetenbahnen am Himmel	52
3.1.3	Periheldrehung	54
3.2	Zweikörperproblem	54
3.2.1	Drehimpuls, Flächensatz	56
3.2.2	Bahnform	56
3.2.3	Energiesatz	57
3.2.4	Drittes Keplersgesetz	59
3.3	N-Körperproblem	59
3.4	Raumflug	61
3.5	Dreikörperproblem	65
3.5.1	Das allgemeine Dreikörperproblem	65
3.5.2	Eingeschränktes Dreikörperproblem	67
3.6	Satellit im Erdorbit	72
3.7	Mondbahn	73
3.8	Finsternisse	76
3.8.1	Mondfinsternisse	76
3.8.2	Sonnenfinsternisse	78
4	Astronomische Instrumente	81
4.1	Teleskope	81
4.1.1	Abbildungsfehler	85
4.1.2	Teleskoptypen	87
4.1.3	Teleskopmontierungen	89
4.2	Moderne optische Teleskope	92
4.2.1	Moderne erdgebundene Teleskope	92
4.2.2	Das Hubble Space Teleskop	92
4.3	Detektoren	95
4.3.1	Menschliches Auge, Photographie	95
4.3.2	CCD	96
4.3.3	Speckle-Interferometrie	97
4.4	Nicht optische Teleskope	97
4.4.1	Radioteleskope	97
4.4.2	Infrarot (IR)- und Röntgenteleskope	100
4.5	Spektroskopie	100
4.5.1	Allgemeines zur Spektroskopie	100
4.5.2	Typen von Spektrographen	103

4.6	Emissions- und Absorptionslinien	103
5	Physik der Körper des Sonnensystems	107
5.1	Übersicht	107
5.2	Eigenschaften der Planeten	110
5.2.1	Rotationsdauer	110
5.2.2	Massenverteilung	111
5.2.3	Albedo	112
5.2.4	Spektrum	113
5.2.5	Globaler Energiehaushalt	113
5.2.6	Hydrostatisches Gleichgewicht	113
5.2.7	Stabilität eines Satelliten, Roche-Grenze	114
5.2.8	Planetenatmosphären	115
5.3	Die Erde	117
5.3.1	Aufbau der Erde	117
5.3.2	Geologische und biologische Entwicklung	120
5.3.3	Erdmagnetfeld	120
5.3.4	Erdatmosphäre	123
5.4	Der Mond	129
5.4.1	Allgemeines	129
5.4.2	Entstehung des Mondes	131
5.5	Merkur	132
5.6	Venus	134
5.6.1	Oberfläche der Venus	134
5.6.2	Atmosphäre der Venus	136
5.7	Mars	139
5.7.1	Marsoberfläche	139
5.7.2	Marsatmosphäre	142
5.7.3	Marsmonde	144
5.8	Jupiter	144
5.8.1	Jupiteratmosphäre	146
5.8.2	Magnetosphäre des Jupiter	148
5.8.3	Jupitermonde	149
5.9	Saturn	152
5.9.1	Saturnringe	153
5.9.2	Saturnmonde	154
5.10	Uranus und Neptun	155
5.10.1	Ringe und Satelliten von Uranus und Neptun	157
5.11	Pluto	158
5.12	Asteroiden	159
5.13	NEOs	165
5.14	Kometen	166
5.14.1	Kuipergürtel und Oort'sche Wolke	169

5.15	Meteore	171
5.16	Interplanetare Materie	173
5.17	Entstehung des Sonnensystems	173
5.17.1	Allgemeines	173
5.17.2	Theorien der Entstehung	175
5.17.3	Protoplanetarer Nebel	178
6	Die Sonne	179
6.1	Allgemeines	179
6.2	Grunddaten	179
6.2.1	Entfernung	180
6.2.2	Sonnenmasse	181
6.2.3	Radius	181
6.2.4	Leuchtkraft	181
6.2.5	Scheinbare Helligkeit	182
6.2.6	Effektive Temperatur	184
6.3	Der Aufbau der Sonne, die ruhige Sonne	185
6.3.1	Photosphäre	186
6.3.2	Chromosphäre	189
6.3.3	Korona	189
6.4	Die Aktive Sonne	191
6.4.1	Flecken	191
6.4.2	Fackeln	194
6.4.3	Protuberanzen	194
6.4.4	Flares	195
6.4.5	Die Radiostrahlung	197
6.5	Solar-Terrestrische Beziehungen	199
6.5.1	Allgemeines	199
6.5.2	Die solare Irradianz	201
6.6	Helioseismologie	206
6.7	Magnetohydrodynamik der Sonne	211
7	Zustandsgrößen der Sterne	220
7.1	Entfernung	220
7.2	Sternradien	221
7.2.1	Masse	227
7.2.2	Sterntemperaturen	230
7.2.3	Rotation	231
7.2.4	Magnetfelder	233
7.2.5	Klassifikation der Sterne	233

8 Sternatmosphären	242
8.1 Strahlungstransport	242
8.1.1 Lösungen der Transportgleichung	246
8.2 Absorptionskoeffizienten	249
8.3 Theorie der Absorptionslinien	252
8.4 Linienprofile	255
8.5 Analyse von Sternspektren	258
9 Sternaufbau	263
9.1 Physikalische Grundgesetze des Sternaufbaus	263
9.1.1 Hydrostatisches Gleichgewicht	263
9.1.2 Bewegungsgleichung bei sphärischer Symmetrie	265
9.1.3 Hydrostatisches Gleichgewicht nach der Allgemeinen Relativitätstheorie	267
9.1.4 Zustandsgleichung	268
9.2 Energietransport	271
9.2.1 Konvektion	272
9.2.2 Strahlungstransport	272
9.2.3 Opazität	275
9.3 Energiequellen	277
9.3.1 Energieerzeugung durch Kontraktion	277
9.3.2 Thermonukleare Energieerzeugung	278
9.3.3 Neutrinos	284
9.4 Spezielle Sternmodelle	286
9.4.1 Polytrope Modelle	286
9.4.2 Homologe Gleichungen	288
10 Sternentwicklung	290
10.1 Sternentstehung	290
10.1.1 Protosterne	290
10.1.2 Kollaps eines sonnenähnlichen Sterns	293
10.1.3 Entwicklung eines Sterns mit 1 Sonnenmasse	294
10.2 Weiße Zwerge	296
10.2.1 Allgemeine Relativitätstheorie und Weiße Zwerge	297
10.2.2 Magnetfelder	298
10.2.3 Braune Zwerge	298
10.3 Neutronensterne	299
10.4 Supernovae	305
10.4.1 Kernsynthese während einer SN	307
10.4.2 Beobachtete Supernovae	307
10.5 Schwarze Löcher	309
10.5.1 Allgemeines	309
10.5.2 Kandidaten für Schwarze Löcher	310

10.5.3	Quantentheorie Schwarzer Löcher	311
10.5.4	Akkretion	312
10.6	Vergleich der Sternentwicklung	312
10.7	Veränderliche Sterne	313
10.7.1	Allgemeines	313
10.7.2	Pulsationsveränderliche	314
10.7.3	Halbregelmäßig Veränderliche	316
10.7.4	Eruptive Veränderliche	318
10.7.5	Pekuliare Sterne	321
10.7.6	Planetarische Nebel	321
11	Interstellare Materie	322
11.1	Interstellarer Staub	323
11.1.1	Extinktion	323
11.1.2	Streuung	324
11.1.3	Polarisation	325
11.2	Interstellares Gas	326
11.2.1	Neutraler Wasserstoff	326
11.3	Emissionsnebel, H-II-Regionen	329
11.4	Besondere Emissionsnebel	332
11.5	Kosmische Strahlung	334
12	Die Galaxis	336
12.1	Entfernungsbestimmungsmethoden	337
12.2	Der Aufbau unserer Milchstraße	340
12.2.1	Galaktische Koordinaten	340
12.2.2	Verteilung der Sterne	340
12.3	Sternpopulationen und Dichtewellen	345
12.4	Rotation der Galaxis	347
12.5	Differentielle galaktische Rotation	349
12.6	Entwicklung der Galaxis	354
13	Extragalaktische Systeme	359
13.1	Klassifikation	359
13.1.1	Elliptische Galaxien, E	359
13.1.2	Spiralgalaxien	361
13.1.3	Irreguläre Galaxien, Irr	362
13.1.4	Verteilung auf Typen	363
13.2	Photometrische Eigenschaften	363
13.3	Aktive Galaxien	365
13.3.1	Aktive Galaxienkerne	365
13.3.2	Radiogalaxien	368
13.3.3	Quasare	370

13.3.4	Galaxien mit hoher Rotverschiebung	376
13.3.5	Blazare	376
14	Kosmologie	378
14.1	Entfernungsbestimmungen	378
14.1.1	Die Galaxienflucht	379
14.1.2	Methoden der Entfernungsbestimmung	379
14.2	Spezielle Relativitätstheorie	380
14.3	Allgemeine Relativitätstheorie	383
14.3.1	Newton'sche Theorie	383
14.4	Galaxienhaufen	388
14.4.1	Superhaufen	390
14.4.2	Urknall, Big Bang	390
14.4.3	Die Hintergrundstrahlung	392
14.5	Die 4 Naturkräfte	396
14.5.1	Primordiales Helium	398
14.5.2	Teilchenerzeugung	398
14.5.3	Das frühe Universum	400
14.5.4	Inflationäres Universum	400
14.5.5	Stringtheorie	401
14.6	Ungelöste Fragen der Kosmologie	406
14.7	MAP-Mission	410
15	Anhang	412
15.1	Literatur	412
15.1.1	Allgemein	412
15.1.2	Literatur zu speziellen Themen	413
15.1.3	Zeitschriften	413
15.1.4	Wichtige Internetadressen	414
15.1.5	Software (professionelle)	414
15.2	Testfragen	415
15.3	Abbildungsnachweis	418
15.4	Tabellen	418
	Tabellenverzeichnis	422
	Index	425