

Auf einen Blick

Teil I

Beobachtungsinstrumente und -methoden

- 1 Beobachtungen mit bloßem Auge
- 2 Atmosphäre der Erde
- 3 Optische Teleskope
- 4 Astrophotographie
- 5 Photometrie
- 6 Spektroskopie
- 7 Hochauflösende Astronomie
- 8 Radioastronomie
- 9 Ultraviolett- und Infrarotastronomie
- 10 Röntgen- und Gammaastronomie
- 11 Gravitationswellen-astronomie

Teil II

Astronomische Grundlagen

- 12 Strahlung und Helligkeit
- 13 Entfernungen im Weltall
- 14 Himmelskoordinaten
- 15 Kalender und Zeit
- 16 Teilchenphysik
- 17 Physik des Lichtes
- 18 Magnetismus

Teil III

Unser Sonnensystem

- 19 Sonne
- 20 Erdmond
- 21 Planeten und ihre Monde
- 22 Zwerp- u. Kleinplaneten
- 23 Kometen
- 24 Meteore und Meteoriten
- 25 Planeten- und Kometenbahnen
- 26 Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung
- 27 Entstehung des Planetensystems
- 28 Exoplaneten und Astrobiologie

Teil IV**Aufbau und Entwicklung
der Sterne**

- 29 Aufbau der Sterne
- 30 Zustandsdiagramme
- 31 Entstehung der Sterne
- 32 Entwicklung der Sterne
- 33 Endstadium der Sterne
- 34 Weiße Zwerge
- 35 Neutronensterne
- 36 Pulsare
- 37 Schwarze Löcher

Teil V**Unser Milchstraßensystem**

- 38 Milchstraße
- 39 Interstellare Materie
- 40 Galaktische Nebel
- 41 Planetarische Nebel
- 42 Sternhaufen
- 43 Doppelsterne
- 44 Veränderliche Sterne
- 45 Supernovae

Teil VI**Extragalaktischer Kosmos**

- 46 Galaxien
- 47 Aktive Galaxien
- 48 Gravitationslinsen
- 49 Kosmologie

Teil I

Beobachtungsinstrumente

1	Beobachtungen mit bloßem Auge	33	4	Astrophotographie	119
Motivation	33		Aufnahmeverfahren	120	
Hilfsmittel	33		Sternfeldaufnahmen	120	
Sternkarten	34		Fokalaufnahmen	123	
			Projektionsaufnahmen	125	
			Bildgröße	126	
			Belichtungszeit	126	
			Filter	130	
			Digitaltechnik	132	
			Aufnahmesoftware	141	
			Hintergrund des Bildes	145	
			Nachbearbeitung am PC	155	
			Image Stacking (Bildüberlagerung)	156	
			Ebnen und Glätten	158	
			Kontrastverstärkung	162	
			Schärfung	164	
2	Atmosphäre der Erde	43	5	Photometrie	169
Aufbau	43		Zielsetzung	169	
Atmosphärische Fenster	46		Dynamikbereich	170	
Warum der Himmel blau ist?	46		Datenformat und Sättigung	170	
Extinktion	47		Punktspreizfunktion (PSF)	173	
Refraktion	50		Polsequenz	174	
Szintillationsrauschen	51		Spektralphotometrie	175	
Angaben zu einer Beobachtung	52		Messmethoden	176	
Taupunkt	54		Umrechnungsfunktion	181	
Solar-terrestrische Beziehungen	55		Extinktion	185	
Haloerscheinungen	57		Genauigkeit	187	
			JPEG und Sättigung	190	
			Zeitreferenz	193	
			Aufgabenbereiche	194	
			Zusammenfassung und Ausblick	196	
3	Optische Teleskope	61			
Fernrohrtypen	62				
Optische Fehler	68				
Objektive	72				
Okulare	81				
Zusatzoptiken	84				
Vergrößerung	87				
Blickfeld	89				
Lichtstärke	89				
Auflösungsvermögen	92				
Luftunruhe (Seeing)	96				
Montierungen	97				
Nachführfehler	100				
Ausrichtung e. parallakt. Montierung	101				
Scheiner-Methode	102				
Lüthen-Kahlhöfer-Methode	104				
Stative	107				
Tauschutz	109				
Selbstbau	111				
Zubehör	113				
Kauftipps	115				

6	Spektroskopie	197	9	Ultraviolett- und Infrarot- astronomie	273
	Spektrograph 197			UV-Satelliten 273	
	Aufnahmen von Spektren 207			IR-Forschung 274	
	Fraunhoferlinien 214			IR-Satelliten und -sonden 275	
	Energiesparlampe 216			IR-Bänder 275	
	Themengebiete 217			IR für Amateure 276	
	Spektralklassifikation 218			Kühlung 277	
	Vermessung der Linien 224		10	Röntgen- und Gamma- astronomie	279
	Äquivalentbreite 229			Satelliten 279	
	Spektrumsphotometrie 234			Röntgenteleskope 280	
	Jugend forscht 238			Wolterteleskop 280	
7	Hochauflösende Astronomie	239		Gammadetektoren 281	
	Großteleskope 239			Tscherenkov-Teleskop 281	
	Aktive Optik 240			Fluoreszenzteleskop 282	
	Adaptive Optik 241			Gammaspektrometer 282	
	Prinzip der Interferometrie 241		11	Gravitationswellen- astronomie	283
	Radio-Interferometer 243			Gravitationswellendetektoren 283	
	Optisches Interferometer 244			Gravitationswellensender 285	
	Speckle-Interferometrie 245				
	Doppler-Tomographie 255				
8	Radioastronomie	257			
	Radioteleskope 257				
	Lofar 259				
	Square Kilometre Array 259				
	Beobachtungstechniken 262				
	Radioquellen 263				
	Physik der Radiostrahlung 264				
	Beteigeuze (α Orionis) 265				
	Einfaches Radioteleskop für Amateure 269				

Teil II

Astronomische Grundlagen

12	Strahlung und Helligkeit	295	15	Kalender und Zeit	339
Strahlungsintensität	295		Gregorianischer Kalender	339	
Strahlungsstrom	295		Jahreslängen	340	
Photometrische Systeme	296		Monatslängen	340	
Tycho- und Hipparcos-Katalog	300		Julianisches Datum	341	
Auge	301		Osterformel	343	
RGB-Systeme	302		Definition der Sekunde	343	
Referenzfeld M 67	306		Definition der Zeit	344	
Polesequenz	307				
Farbindex	308				
Gesamthelligkeit	308				
Helligkeit der Sonne	309				
Weber-Fechner-Gleichung	309				
Entfernungsmodul	310				
Helligkeiten der Planeten	311				
Farbenskalen	312				
13	Entfernungen im Weltall	315	16	Teilchenphysik	349
Einheiten	315		Elementarteilchen	349	
Methoden	316		Quarks	351	
Parallaxe	318		Wechselwirkung	352	
Leuchtkraftentfernung	322		Loop-Quantengravitation	356	
			Vakuumfluktuation	358	
14	Himmelskoordinaten	327	17	Physik des Lichtes	361
Horizontalsystem	327		Wellentheorie	361	
Äquatorialsystem	328		Lichtgeschwindigkeit	363	
Ekliptikalsystem	329		Lichtbrechung	364	
Galaktisches System	330		Spektrum	367	
Supergalaktisches System	330		Doppler-Effekt	373	
Umrechnung der Koordinaten	330		Zeeman-Effekt	373	
Präzession	332		Tscherenkow-Strahlung	374	
Umrechnung des Äquinoktiums	333		Poynting-Robertson-Effekt	374	
Nutation	334		Jarkowski-Effekt	374	
Tagbogen	334		YORP-Effekt	375	
Morgen- und Abendweite	334				
Bestimmung des geographischen Ortes	336				
18	Magnetismus	377			
Einleitung	377				
Einheiten	378				
Entstehung	379				
Messung	380				
Einzelobjekte	382				
Erdmagnetfeld	383				
Van-Allen-Gürtel	384				

Teil III

Unser Sonnensystem

19	Sonne	389	
Überblick	389		
Innerer Aufbau	390		
Rotation und Magnetfeld	392		
Atmosphäre der Sonne	393		
Beobachtung der Sonne	395		
Photographie	406		
Sonnenfinsternisse	408		
20	Erdmond	411	
Überblick	411		
Libration	412		
Sternbedeckung	413		
Durchmesser eines Kraters	414		
Zeichnen von Mondkratern	416		
Höhe eines Mondberges	419		
Mondfinsternisse	422		
Lunar Transient Phenomena	424		
21	Planeten und ihre Monde	425	
Definition eines Planeten	425		
Übersicht	426		
Albedo	428		
Temperatur	428		
Definition Oberfläche bei Gasplaneten	429		
Innerer Aufbau	429		
Beobachtung	430		
Planetographische Koordinaten	431		
Merkur	435		
Venus	438		
Erde	445		
Mars	446		
Jupiter	450		
Saturn	458		
Uranus	466		
Neptun	469		
22	Zwerg- und Kleinplaneten	471	
Entdeckung	471		
Entstehung	472		
Übersicht	472		
Ceres	472		
Vesta	473		
Kommensurabilitäten	473		
Erdnahe Objekte	474		
Chiron	475		
Sylvia	476		
Kuiper-Gürtel	476		
Haumea	476		
Quaoar	477		
Sedna	477		
Eris	477		
Pluto	477		
Kandidaten für Zwergplaneten	479		
Beobachtung	479		
23	Kometen	483	
Aufbau	484		
Kern und Staubkoma	484		
Koma	485		
Schweif	486		
Chemische Zusammensetzung	486		
Bahnen	487		
Namensgebung	488		
Einzelobjekte	489		
Beobachtung	495		
24	Meteore und Meteorite	503	
Begriffe	503		
Übersicht	504		
Meteorströme	504		
Historische Einschläge	506		
Beobachtung	507		

25	Planeten- und Kometenbahnen	509	
	Keplerproblem 509		
	Keplersche Gesetze 513		
	Lagrangepunkte 514		
	Hill-Sphäre 514		
	Bahnelemente und Koordinatensysteme 515		
	Bahnelemente der Planeten 517		
26	Ephemeridenrechnung und Bahnbestimmung	519	
	Wahre Anomalie 519		
	Ephemeridenrechnung 524		
	Bahnbestimmung 529		
27	Entstehung des Planetensystems		541
	Historische Weltbilder 541		
	Entstehung der Planeten 542		
	Einzelphänomene 547		
	Braune Zwerge 550		
28	Exoplaneten und Astrobiologie		551
	Exoplaneten 551		
	Astrobiologie 557		

Teil IV

Aufbau und Entwicklung der Sterne

29	Aufbau der Sterne	565	32	Entwicklung der Sterne	625
Relationen	565		Hydrostatische Zeitskala	625	
Masse	567		Kelvin-Helmholtz-Zeitskala	625	
Radius	571		Nukleare Zeitskala	626	
Dichte	574		Schönberg-Chandrasekhar-Grenze	628	
Temperatur	574		Kritische Masse	629	
Konvektionszone	578		Brenndauer bei massereichen Sternen	629	
Populationen	580		Abzweigen von der Hauptreihe	630	
Energieprozesse	582		Thermische Stabilität	631	
Sternaufbaurechnungen	588		Übergang zum Heliumbrennen	632	
			Schalenbrennen um einen entarteten		
			Kern	633	
30	Zustandsdiagramme	601	Zweischalenbrennen	634	
Hertzsprung-Russel-Diagramm	601		Wiederbelebung Weißer Zwerge	635	
Hayashi-Linie	603		Pulsation der Sterne	635	
Farben-Helligkeits-Diagramm	604		Polarstern	638	
Zwei-Farben-Diagramm	608		Beteigeuze	639	
31	Entstehung der Sterne	611	33	Endstadium der Sterne	641
Kritische Masse	611		Abhängigkeit von der Urmasse	641	
Gasfinger	615		Massenverlust	643	
Mikroturbulenz	615		Akkretionsscheibe	644	
Magnetfelder	615				
Bildung von Sternhaufen	615				
Sternentstehungseffizienz	616				
Molekülwolken	616				
Drehimpulsproblem	617				
Entstehung eines Sterns mit einer Sonnenmasse	618				
Lada-Klassen	619				
IRDC	620				
MN Lupi	621				
Epsilon Aurigae	622				
			34	Weiße Zwerge	645
			Zustandsgrößen	645	
			Stabilität	648	
			Helium-Flash der zweiten Generation	650	
			Spektralklassifikation	651	
			Planetary Nebel	652	
			ZZ-Ceti-Sterne	652	

35	Neutronensterne	655	
Entstehung	655		
Abschätzung des Magnetfeldes	656		
Abschätzung der Dichte	657		
Magnetare	658		
Quarksterne	663		
RRATs	663		
36	Pulsare	665	
Physik der Pulsare	665		
Einzelobjekte	670		
Entfernungsbestimmung	675		
Synchrotronstrahlung	675		
37	Schwarze Löcher	677	
Schwarzschildradius	677		
Temperatur	678		
Hawking-Effekt	678		
Verschmelzung von Neutronensternen	680		
Kerrsche Löcher	680		
Holosterne und Gravasterne	681		
Einzelobjekte	682		

Teil V

Unser Milchstraßensystem

38	Milchstraße	687	
Aufbau	687		
Struktur	688		
Sternströme und Schnellläufer	690		
Ausstoß von Wasserstoffwolken	690		
Gasblasen	690		
Galaktischer Kern	691		
Begleiter	692		
Kollisionskurs	693		
39	Interstellare Materie	695	
Allgemeines	695		
Lokale Blase	696		
Wasserstoffmoleküle H ₂	696		
Organische Moleküle	697		
Interstellare Extinktion	697		
Farbexzess	698		
Q-Methode	699		
Balmerdekkrement	700		
40	Galaktische Nebel	703	
Allgemeines	703		
Radius von HII-Regionen	704		
Übersicht	704		
Beobachtung	706		
Einzelobjekte	707		
Herbig-Haro-Objekte	720		
41	Planetarische Nebel	723	
Allgemeines	723		
Übersicht	724		
Einzelobjekte	726		
42	Sternhaufen	735	
Offene Sternhaufen	735		
Kugelsternhaufen	739		
Entwicklung eines Sternhaufens	743		
Altersbestimmung	744		
43	Doppelsterne	753	
Visuelle Doppelsterne	753		
Astrometrische Doppelsterne	753		
Spektroskopische Doppelsterne	754		
Photometrische Doppelsterne	754		
Kataklymatische Systeme	756		
Statistik	757		
Radiusbestimmung	758		
Massenbestimmung	759		
Massenaustausch bei Doppelsternen	759		
Beobachtungsobjekte	763		
Bestimmung von Abstand und Positions-			
winkel	767		

44	Veränderliche Sterne	769	Bestimmung von Minimums- und Maximumszeitpunkten 809
Klassifikation	769		Fehler bei der Minimums- und Maximumsbestimmung 816
Pulsationsveränderliche	771		Systemparameter 816
Eruptionsveränderliche	778		(O–C)-Diagramm 817
Rotationsveränderliche	779		Spezielle Objekte 824
Röntgenveränderliche	780		Gemeinschaftslichtkurve 826
Kataklysmische Veränderliche	780		
Novae	783		
Methoden der Photometrie	786		
Lichtelektrische Photometrie	786		
Photographische Photometrie	786		
Visuelle Schätzung	788		
Helligkeitsschätzung mit einer künstlichen Vergleichsquellen	790		
Interpolationsmethode nach Pickering	791		
Stufenschätzmethoden nach Argelander	793		
Heliozentrische Zeit	800		
Auswahl der Vergleichssterne	801		
Lichtkurve	803		
45	Supernovae	835	
Überblick	835		
Ursache	836		
Supernova Typ Ia	837		
Supernova Typ II	838		
Lichtkurven	839		
Lichtecho	841		
Einzelobjekte	842		
Supernovaüberreste	850		

Teil VI

Extragalaktischer Kosmos

46 Galaxien

- Klassifikation 860
- Bildung der Galaxien 866
- Entstehung der Spiralarme 868
- Rotation 869
- Dunkle Materie 871
- Wechselwirkende Galaxien 874
- Starburst-Galaxien 878
- Galaxienhaufen 880
- Superhaufen 881
- Massen 882
- Voids 882
- Einstein-Straus-Vakuolen 882
- Statistik 883
- Projekt »Galaxy Zoo« 883
- Beobachtungsobjekte 884

859

47 Aktive Galaxien

- Aktive Galaktische Kerne 895
- Leuchtkraft 896
- Eddington-Grenze 896
- Entwicklung von Quasaren und AGN 898
- Schwarzes Doppel-Loch 899
- Quasare 899
- Radiogalaxien 900
- BL-Lacertae-Objekte 901
- Blasare 902
- Seyfert-Galaxien 902
- N-Galaxien 903
- M 87 903

893

48 Gravitationslinsen

- Physik der Linsen 907
- Lichtzeitdifferenzen 909
- Cosmic String 910
- Abell 1835 IR 1916 911
- Mikrolinseneffekt 911

907

49 Kosmologie

- Hubble-Gesetz 913
- Expansion 916
- Raumkrümmung 916
- Kritische Dichte 917
- Alter der Welt 918
- Zeitlicher Verlauf der Expansion 919
- Entfernungsmaß 920
- Evolution des Universums 924
- Temperatur 926
- Planckblase 926
- Planckära (Urschaum) 928
- Symmetriebrechung 1. Art
(X-Ära, GUT-Ära) 928
- Cosmic Strings 929
- Inflation 931
- Symmetriebrechung 2. Art
(Quark-Ära, Gluonen-Ära) 933
- Symmetriebrechung 3. Art 933
- Hadronen-Ära 934
- Leptonen-Ära 935
- Photonen-Ära 935
- Materie-Ära 936
- Quasare 936
- Kosmologische Modelle 936
- Hierarchie im Weltraum 944

913

Teil VII

Anhang

A	Zeittafeln	949	J	Kreuzworträtsel	985
B	Raumsonden	955	K	Lösungen der Aufgaben	989
C	Energieressourcen der Erde	961	L	Literatur und Quellen-nachweis	999
	Energieprozesse 961			Bildernachweis 999	
	Reichweite der Vorkommen 962			Quellennachweis 1004	
D	Ausgleichsrechnung	965		Literatur 1010	
	Mittelwert 965			Sternkataloge 1013	
	Lineare Regression 967			Fachzeitschriften 1013	
	Quadratische Regression 969			Jahrbücher 1014	
	Gaußfit 970			PC-Software 1015	
E	Kataloge	973	M	Kontaktadressen	1019
F	Glossar	975		Astronomische Vereinigungen 1019	
G	Parameter für DCRAW	979		Spezielle Kontakte für Beobachter 1021	
H	Symbole	981		Spezielle Bezugsquellen für den	
I	Konstanten	983		Selbstbau 1022	
				Internet 1023	
N	Personenregister		P	Corrigenda	1069
O	Sachregister				1037