
Sterne und Weltraum

Herausgeber Wilhelm Raith

Autoren

Hans Joachim Blome, Johannes Feitzinger,
Josef Hoell, Wolfgang Priester, Helmut Scheffler,
Fridtjof Speer

Physikalische Bibliothek
Fachbereich 5
Technische Hochschule Darmstadt
Hochschulstraße 4
D-64289 Darmstadt

pb 1140



Walter de Gruyter
Berlin · New York 1997

Inhalt

1 Extraterrestrische Observatorien	1
<i>Fridtjof A. Speer</i>	
1.1 Einleitung	1
1.2 Das Hubble-Teleskop	6
1.2.1 Der Primärspiegel	11
1.2.2 Das Stabilisierungssystem	13
1.2.3 Die Instrumente	14
1.2.4 Der optische Fehler	18
1.2.5 Space Telescope Science Institute	22
1.3 Das Compton-Observatorium	23
1.4 Observatorien im Röntgenbereich	29
1.4.1 Das Einstein-Observatorium	29
1.4.2 Das große Röntgen-Observatorium AXAF	41
1.5 Observatorien im infraroten Spektralbereich	45
1.5.1 Infrared Astronomical Satellite	45
1.5.2 Space Infrared Telescope Facility	47
1.6 Observatorien der Zukunft	50
1.7 Fundamentale Fragen der Astrophysik	52
2 Sterne und interstellare Materie	59
<i>Helmut Scheffler</i>	
2.1 Einleitung	59
2.2 Die Sternform der Materie	65
2.2.1 Die Sonne, der nächste Stern	65
2.2.1.1 Radius, Masse, Rotation	65
2.2.1.2 Die Strahlung der Sonne	66
2.2.1.3 Leuchtkraft und effektive Temperatur	69
2.2.1.4 Fraunhofer-Linien und qualitative Analyse	70
2.2.2 Phänomene der Sonnenatmosphäre	71
2.2.2.1 Feinstruktur der Photosphäre	71
2.2.2.2 Chromosphäre und Korona, Sonnenwind	72
2.2.2.3 Solare Radiofrequenzstrahlung	76
2.2.2.4 Sonnenaktivität und Magnetfelder	78
2.2.3 Zustandsgrößen der Sterne	81
2.2.3.1 Spektren und Spektralklassifikation	81
2.2.3.2 Strahlungsstrom, Radius und effektive Temperatur	83
2.2.3.3 Sternhelligkeiten und Leuchtkräfte	86

2.2.3.4	Das Hertzsprung-Russell-Diagramm	88
2.2.3.5	Sternmassen, Masse-Leuchtkraft-Beziehung, Rotation	92
2.2.4	Physik der Sternatmosphären	94
2.2.4.1	Quantitative Analyse von Sternspektren	95
2.2.4.2	Modelle von Sternatmosphären	99
2.2.4.3	Halbempirisches Modell der Sonnenatmosphäre	101
2.2.4.4	Konvektionszone und Heizung der Sonnenkorona	102
2.2.5	Innerer Aufbau und Entwicklung der Sterne	103
2.2.5.1	Der Gleichgewichtszustand eines Sternes	104
2.2.5.2	Energiequellen und Energiegleichgewicht	107
2.2.5.3	Sternmodelle und Sternentwicklung	111
2.2.5.4	Späte Entwicklungsphasen und Endstadien	115
2.2.6	Veränderliche Sterne und andere Sondertypen	116
2.2.6.1	Pulsierende Veränderliche	118
2.2.6.2	Kataklysmische Veränderliche	120
2.2.6.3	Supernovae und ihre Überreste	123
2.2.6.4	Of-Sterne, Wolf-Rayet-Sterne und Planetarische Nebel	126
2.2.6.5	Sterne in frühen Entwicklungsphasen	128
2.3	Interstellare Materie	130
2.3.1	Interstellarer Staub	130
2.3.1.1	Interstellare Extinktion	130
2.3.1.2	Streulicht und Wärmestrahlung von den Staubteilchen	135
2.3.1.3	Interstellare Polarisation und galaktisches Magnetfeld	136
2.3.2	Diffuse Wolken interstellaren Gases	138
2.3.2.1	Interstellare Absorptionslinien in Sternspektren	138
2.3.2.2	Die 21 cm-Linie des atomaren Wasserstoffs	141
2.3.2.3	Modell des allgemein verbreiteten Mediums	144
2.3.2.4	Kontinuierliche Radiofrequenzstrahlung und hochenergetische Teilchen	146
2.3.3	HII-Regionen	148
2.3.3.1	Diffuse Emissionsnebel	148
2.3.3.2	Interpretation der optischen Beobachtungen	150
2.3.3.3	Radioemission von HII-Regionen	153
2.3.4	Molekülwolken und Sternentstehung	157
2.3.4.1	Interstellare Moleküle	157
2.3.4.2	Zustand der Molekülwolken	159
2.3.4.3	Sternentstehung	160
2.4	Ausblick	164
3	Galaxien	173
	<i>Johannes V. Feitzinger</i>	
3.1	Galaxien und Astrophysik	173
3.1.1	Grundparameter der Galaxien	174
3.1.2	Galaxienkataloge und Auswahl effekte	176
3.2	Klassifikation der Galaxien	178
3.2.1	Normale Galaxien	179
3.2.2	Zwerggalaxien	185
3.2.3	Wechselwirkende Galaxien	186
3.2.3.1	Dynamische Reibung und verschmelzende Galaxien	188
3.2.4	Sondertypen	190

3.3	Der Aufbau der Galaxien	192
3.3.1	Galaxiendurchmesser und Elliptizität	192
3.3.2	Farben und Leuchtkräfte	195
3.3.3	Interstellare Materie	201
3.3.4	Massen	205
3.3.5	Sternpopulationen	208
3.3.6	Die physikalische Bedeutung der Galaxienklassifikation	211
3.4	Dynamik von Galaxien	217
3.4.1	Einfache Potentiale und Kraftgesetze	218
3.4.2	Sternbahnen	222
3.4.3	Elliptische Systeme	226
3.4.3.1	Balkenstrukturen	229
3.4.4	Scheibengalaxien	231
3.4.5	Dunkle Materie	242
3.5	Strukturbildung in Galaxien	245
3.5.1	Energiegleichgewichte	246
3.5.2	Spiralstruktur	250
3.5.2.1	Dichtewellentheorie	252
3.5.2.2	Stochastische Sternentstehung und Spiralstruktur	256
3.5.3	Stern- und Gasdynamik in Balkensystemen	261
3.5.4	Chemische Entwicklung in Galaxien	264
3.5.5	Magnetfelder in Galaxien	267
3.6	Entfernungsbestimmung von Galaxien	271
3.6.1	Die weite und die kurze kosmische Entfernungsskala	274
3.6.2	Die Hubble-Konstante	276
3.7	Aktive Galaxien und Quasare	279
3.7.1	Typenbeschreibungen und verallgemeinerte Klassifikation	280
3.7.2	Jets	283
3.7.3	Ursachen der Aktivität: Die zentrale Maschine	285
3.7.4	Gravitationslinsen	289
3.8	Galaxien als Bausteine des Kosmos	291
3.8.1	Morphologische Eigenschaften der Galaxienhaufen	292
3.8.2	Dichteprofil, Größe, Masse	294
3.8.3	Kühlströme	297
3.8.4	Superhaufen und Leerräume	299
3.8.5	Die Stetigkeit der kosmischen Expansion	301
4 Kosmologie		311
<i>Hans Joachim Blome, Josef Hoell, Wolfgang Priester</i>		
4.1	Einleitung	311
4.2	Beobachtungsergebnisse	313
4.2.1	Die Hubble-Beziehung	313
4.2.2	Die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung	317
4.2.3	Die Dichte der leuchtenden Materie	320
4.2.4	Die heutige mittlere baryonische Dichte	323
4.2.5	Das Alter der Galaxis	328
4.2.6	Die großräumige Struktur des Universums	330

4.3	Kosmologische Modelle	331
4.3.1	Grundbegriffe der relativistischen Kosmologie	331
4.3.2	Grundannahmen kosmologischer Modelle	336
4.3.3	Die Grundgleichungen	338
4.3.4	Der Strahlungskosmos	341
4.3.5	Der Materiekosmos	344
4.3.5.1	Das Standardmodell ($\Lambda = 0$)	344
4.3.5.2	Friedmann-Lemaître-Modelle	351
4.3.5.3	Entfernungen im Kosmos	355
4.3.6	Beobachtungsrelationen	361
4.3.6.1	Die $m(z)$ -Relation	361
4.3.6.2	Die $\alpha(z)$ -Relation	362
4.3.6.3	Zählungen	363
4.3.7	Klassifizierung der kosmologischen Modelle	364
4.3.8	Entwicklungsweg der kosmologischen Modelle	370
4.3.9	Quasar-Spektren als Test für kosmologische Modelle	373
4.3.10	Das Alter der Quasare	380
4.4	Grenzen und Probleme der Kosmologie	382
4.4.1	Anfangssingularität des kosmologischen Modells	382
4.4.2	Kausalität und Horizonte im expandierenden Kosmos	385
4.4.3	Isotropie und Mikrowellen-Hintergrundstrahlung	385
4.4.4	Homogenität und Entstehung der Galaxien	386
4.4.5	Zur euklidischen Metrik des Weltraums	387
4.4.6	Das Materie-Antimaterie-Problem	388
4.4.7	Die kosmologische Konstante und das Quantenvakuum	388
4.5	Elementarteilchen und ihre Wechselwirkung im Kosmos	392
4.6	Modell der kosmischen Entwicklung	394
4.6.1	Quantenkosmos zur Planck-Zeit	394
4.6.2	Inflationäre Expansion	396
4.6.3	Der Zerfall des X-Bosons und das Problem der Antimaterie	399
4.6.4	Hadronenära	400
4.6.5	Leptonenära	400
4.6.6	Elementsynthese im frühen Kosmos	402
4.6.7	Rekombination des Plasmauniversums	404
4.6.8	Galaxienentstehung	405
4.6.9	Anthropisches Prinzip	408
4.7	Alternative Lösungen zur Urknallsingularität	410
4.7.1	Das Problem der kosmischen Singularität	410
4.7.2	Big Bounce. Die de-Sitter-Lösung als Modell für den frühen Kosmos	411
4.7.3	Quantenkosmologie	420
	Bildanhang	429
	Zahlenwerte und Tabellen	437
	Register	443