

Inhaltsverzeichnis

Teil I Einführung in die moderne Astrophysik

1	Einige wichtige physikalische Grundlagen	3
1.1	Überblick	3
1.2	Größenordnungen und Modellbereiche	15
1.2.1	Orts- und Zeitskalen	15
1.2.2	Kräfte und Energieskalen	21
1.2.3	Gravitation	25
1.2.4	Modellzonen	29
1.3	Astrophysikalische Strukturen	34
1.3.1	Das Universum insgesamt	34
1.3.2	Virialtheorem	43
1.3.3	Abschätzungen für die Größe von Strukturen	45
1.4	Strahlung und Helligkeit	54
1.4.1	Spektrale Verteilung von Photonen im Gleichgewicht	55
1.4.2	Helligkeit und Größenklassen	63
1.4.3	Hertzsprung-Russell-Diagramm	70
1.5	Strahlungs- und Energietransport	72
1.5.1	Strahlungstransportgleichung	72
1.5.2	Diffusionsmodelle für den Transport	81
1.5.3	Konvektiver Transport	86
2	Beobachtungsmöglichkeiten	91
2.1	Klassische Verfahren zur Bestimmung astrophysikalischer Größen	91
2.1.1	Methoden der Abstandsbestimmung	92
2.1.2	Stark vereinfachte Modelle für Cepheiden	103
2.1.3	Massenbestimmung	110
2.1.4	Radiusbestimmung	111

2.1.5	Oberflächentemperatur	112
2.1.6	Geschwindigkeitsbestimmung	112
2.2	Beobachtungsinstrumente	117
3	Kosmische Strahlung	131
3.1	Überblick	131
3.2	Beschleunigungsmechanismen	141
3.2.1	Fermi-Beschleunigung durch magnetische Spiegel	142
3.2.2	Fermi-Beschleunigung	150
4	Sternaufbau und Sternentwicklung	157
4.1	Grundgleichungen für brennende Sterne	158
4.1.1	Sternaufbaugleichungen	160
4.1.2	Zustandsgleichungen	163
4.1.3	Sternaufbaugleichungen und Virialtheorem	169
4.2	Stellare Energiequellen	170
4.2.1	Grundsätzliches	171
4.2.2	Fusionsprozesse in Sternen	183
4.3	Unsere Sonne	187
4.3.1	Sonnenparameter	187
4.3.2	Energietransport, Energiebilanz und Stabilität der Sonne	191
4.3.3	Sonnenatmosphäre	194
4.3.4	Helioseismologie	200
4.3.5	Prototyp eines Standardsonnenmodells	201
4.3.6	Solare Neutrinos	204
4.3.7	Ausblick auf die weitere Sonnenentwicklung	205
4.4	Zustandsgleichungen und Chandrasekhar-Masse	207
4.4.1	Thermodynamik des idealen klassischen Gases	208
4.4.2	Ideale Quantengase	212
4.4.3	Physikalische Bedingungen für Weiße Zwerge	220
4.4.4	Polytrope Zustandsgleichungen und Adiabatenindices	223
4.4.5	Chandrasekhar-Masse	226
4.4.6	Zustandsgleichungen dichter Coulomb-Systeme	235
4.4.7	Neutronen kommen ins Spiel	245
4.5	Strukturbildung	249
4.5.1	Qualitative Aussagen	250
4.5.2	Jeans-Instabilität	253
4.6	Sternentwicklung: Anfänge	261
4.6.1	Entwicklung der Protosterne	261
4.6.2	Skalierungen im Hertzsprung-Russell-Diagramm	267
4.6.3	Approximative Lösung der Sternaufbaugleichungen	271
4.6.4	Massengrenzen	282

5	Endstadien brennender Sterne	289
5.1	Sterbende Sterne	290
5.1.1	Weißer Zwerge	290
5.1.2	Neutronensterne	303
5.1.3	Quellen hochintensiver Strahlung	315
5.2	Schwarze Löcher	323
6	Galaxien	331
6.1	Die Milchstraße	331
6.2	Allgemeine Eigenschaften von Galaxien	337
6.2.1	Galaxienbeobachtung	337
6.2.2	Olbers'sches Paradoxon	344
6.2.3	Materiehaushalt	349
6.3	Galaxienwechselwirkung und Modellierung	353
7	Newton'sche Kosmologie	359
7.1	Expandierendes Universum	359
7.1.1	Newton'sches Modell für das Universum	360
7.1.2	Newton'sche Form der Friedmann-Gleichung und ihre Lösungen	362
7.2	Kosmische Mikrowellenhintergrundstrahlung in einem ersten Überblick	368
7.3	Newton'sche Kosmologie mit drei Komponenten	371

Teil II Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie

8	Rechenregeln der ART	379
8.1	Mathematische Terminologie der SRT	379
8.1.1	Lorentz-Transformation und Bewegungsgleichungen	380
8.1.2	Beschleunigte Bezugssysteme	387
8.2	Äquivalenzprinzip und Einstein'sche Feldgleichungen	390
8.2.1	Äquivalenzprinzip und Prinzip der allgemeinen Kovarianz	390
8.2.2	Die Einstein'schen Feldgleichungen „fallen vom Himmel“	395
8.3	Newton'scher Grenzfall	400
8.3.1	Diskussion der Bewegungsgleichung	401
8.3.2	Bestimmungsgleichung für das Potenzial	403
8.4	Struktur der Einstein'schen Feldgleichungen	405
8.4.1	Mathematischer Hintergrund	407
8.4.2	Der Quellterm in den Einstein'schen Feldgleichungen	411
8.4.3	Kovarianz der Bewegungsgleichung	412
9	ART-Effekte	417
9.1	Äußere Schwarzschild-Metrik	417
9.1.1	Metrische Koeffizienten	417
9.1.2	Bewegungsgleichung eines Teilchens im Schwarzschild-Feld	420
9.2	Periheldrehung des Merkur	426

9.3	Ablenkung, Frequenzverschiebung und Laufzeitverzögerung von Licht im Schwerefeld	430
9.3.1	Lichtablenkung im Schwerefeld	430
9.3.2	Frequenzverschiebung im Gravitationsfeld	435
9.3.3	Laufzeitverzögerung	437
9.4	Gravitationswellen	439
9.4.1	Wellengleichung im materiefreien Raum	440
9.4.2	Eichung, Polarisation und Erzeugung	442
9.4.3	Nachweismethoden von Gravitationswellen	450
10	Relativistische Sterne und Sterndynamik	457
10.1	Innere Schwarzschild-Metrik und relativistische Sternleichgewichte . . .	457
10.1.1	Innere Schwarzschild-Metrik	458
10.1.2	Relativistische Gleichgewichte	461
10.2	Gravitationskollaps	464
10.2.1	Zeitabhängige Metriken	464
10.2.2	Einstein'sche Feldgleichungen mit zeitabhängiger Metrik	468
10.2.3	Charakteristische zeitabhängige Lösungen	470
10.3	Rotierende Schwarze Löcher und Ausblick	476
10.3.1	Einfache Modelle Schwarzer Löcher	476
10.3.2	Kerr-Metrik	478
10.3.3	Eigenschaften Schwarzer Löcher	479
Teil III Einführung in die Kosmologie		
11	Homogene Kosmologie	485
11.1	Ausgangslage für kosmologische Ansätze	485
11.2	Robertson-Walker-Metrik und Friedmann-Lemaître-Gleichung	489
11.2.1	Robertson-Walker-Metrik für homogene und isotrope Räume . . .	489
11.2.2	Friedmann-Lemaître-Gleichung	493
11.2.3	Kosmografie	502
11.3	Weltmodelle mit Dunkler Materie und Dunkler Energie	505
11.3.1	Kosmologische Konstante: Irrtum oder Weitsicht?	505
11.3.2	Lösungen der Friedmann-Lemaître-Gleichungen unter Einbeziehung Dunkler Materie und Dunkler Energie	508
12	Beobachtungen und Interpretationsansätze	517
12.1	Primordiale Nukleosynthese	517
12.2	Vermessung von Galaxien (Galaxy Survey)	532
12.3	Vermessungen von Supernovae (Supernovae Surveys)	536
12.4	Folgerungen aus der kosmischen Hintergrundstrahlung	550
12.4.1	Entkopplungsmodell	556
12.4.2	Horizontproblem der CMB	558

13 Inhomogene Kosmologie	559
13.1 Bildung von Strukturen	560
13.2 Analyse von Fluktuationen	562
14 Inflation	573
14.1 Theoretische Ansätze	573
14.1.1 Phänomenologie der Inflation	575
14.1.2 Inflatonfeld	581
14.1.3 Auflösung wichtiger kosmologischer Probleme	584
14.1.4 Flachheitsproblem	585
14.1.5 Monopolproblem	586
14.2 Experimentelle Hinweise?	586
Literatur	589
Stichwortverzeichnis	593