

---

# Inhaltsverzeichnis

## Teil I Einführung in die moderne Astrophysik

<b>1</b>	<b>Einige wichtige physikalische Grundlagen</b>	<b>3</b>
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
<b>2</b>	<b>Beobachtungsmöglichkeiten</b>	<b>91</b>
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
<b>3</b>	<b>Kosmische Strahlung</b>	<b>131</b>
3.1	Überblick	131
3.2	Beschleunigungsmechanismen	141
3.2.1	Fermi-Beschleunigung durch magnetische Spiegel	142
3.2.2	Fermi-Beschleunigung	150
<b>4</b>	<b>Sternaufbau und Sternentwicklung</b>	<b>157</b>
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

<b>5</b>	<b>Endstadien brennender Sterne</b> . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Galaxien</b> . . . . .	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
<b>7</b>	<b>Newton'sche Kosmologie</b> . . . . .	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
 <b>Teil II Einführung in die Allgemeine Relativitätstheorie</b>		
<b>8</b>	<b>Rechenregeln der ART</b> . . . . .	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
<b>9</b>	<b>ART-Effekte</b> . . . . .	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, Polarisierung und Erzeugung . . . . .	442
9.4.3	Nachweismethoden von Gravitationswellen . . . . .	450
<b>10</b>	<b>Relativistische Sterne und Sterndynamik . . . . .</b>	<b>457</b>
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
<b>Teil III Einführung in die Kosmologie</b>		
<b>11</b>	<b>Homogene Kosmologie . . . . .</b>	<b>485</b>
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
<b>12</b>	<b>Beobachtungen und Interpretationsansätze . . . . .</b>	<b>517</b>
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

---

<b>13 Inhomogene Kosmologie</b> .....	559
13.1 Bildung von Strukturen .....	560
13.2 Analyse von Fluktuationen .....	562
<b>14 Inflation</b> .....	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
<b>Literatur</b> .....	589
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	593



<http://www.springer.com/978-3-662-55466-1>

Astrophysik

Eine Einführung in Theorie und Grundlagen

Spatschek, K.-H.

2018, XIII, 603 S. 221 Abb., 53 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-55466-1