

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Astronomische und physikalische Grundlagen</b>	<b>11</b>
1.1	Einleitende Bemerkungen . . . . .	11
1.1.1	Geschichtliches und Aktuelles . . . . .	11
1.1.2	Zeit- und Ortsskalen . . . . .	15
1.1.3	Elementarteilchenphysik und der frühe Kosmos . . . . .	19
1.1.4	Gravitation . . . . .	21
1.1.5	Relativistische Effekte . . . . .	23
1.1.6	Klassische Beschreibung versus Quantenmechanik . . . . .	24
1.1.7	Ideale versus nicht-ideale Beschreibung . . . . .	25
1.1.8	Beispiel . . . . .	27
1.1.9	Gyrationsfrequenzen, Stoßfrequenzen, usw. . . . .	27
1.1.10	Ausblick . . . . .	28
1.2	Bestimmung astronomischer Größen . . . . .	29
1.2.1	Astronomische Einheiten . . . . .	29
1.2.2	Methoden der Abstandsbestimmung . . . . .	32
1.2.3	Abschätzung der Pulsdauer . . . . .	38
1.2.4	Überblick über verschiedene Kalibrierungen . . . . .	42
1.2.5	Massenbestimmung . . . . .	43
1.2.6	Geschwindigkeitsbestimmung . . . . .	45
1.3	Spektrale Verteilungen, Temperaturen, Teleskope . . . . .	50
1.3.1	Spektralbereiche der elektromagnetischen Strahlung . . . . .	50
1.3.2	Spektrale Verteilung von Photonen . . . . .	51
1.3.3	Abstrahlung von der Oberfläche eines Sterns . . . . .	54
1.3.4	Helligkeitssysteme und Farben . . . . .	57
1.3.5	Hertzsprung-Russell Diagramm . . . . .	58
1.3.6	Optische Teleskope . . . . .	59
1.3.7	Infrarot-Astronomie . . . . .	61
1.3.8	Radioteleskope . . . . .	62
1.3.9	Neutrinoastronomie . . . . .	62
1.3.10	Kosmische Strahlung . . . . .	64
1.3.11	Gravitationsstrahlung . . . . .	64
1.3.12	Fundamentale Fragen der Astrophysik . . . . .	65
<b>2</b>	<b>Ein erster Überblick</b>	<b>66</b>
2.1	Sterngleichgewichte . . . . .	66
2.1.1	Kollaps einer Massenschale . . . . .	71
2.1.2	Virialtheorem . . . . .	73

2.1.3	Klassische Adiabatenindices . . . . .	73
2.1.4	Gültigkeit der klassischen Rechnung . . . . .	76
2.2	Strukturbildung . . . . .	78
2.2.1	Eine etwas bessere Argumentation . . . . .	80
2.2.2	Jeans Instabilität . . . . .	82
2.2.3	Entwicklung der Proto-Sterne . . . . .	86
2.3	Sternbrennen . . . . .	90
2.3.1	Sonnenparameter . . . . .	90
2.3.2	Thermonukleare Fusion . . . . .	93
2.3.3	Fusion in der Sonne . . . . .	95
2.3.4	Qualitatives zur weiteren Sternentwicklung . . . . .	97
<b>3</b>	<b>Weitere physikalische Grundlagen</b> . . . . .	<b>99</b>
3.1	Strahlungstransport . . . . .	99
3.1.1	Strahlungstransportgleichung . . . . .	99
3.1.2	Stoßterm der Strahlungstransportgleichung . . . . .	104
3.1.3	Diskussion der stationären Lösungen . . . . .	108
3.1.4	Wirkungsquerschnitte und Diffusionszeiten . . . . .	110
3.2	Wärme- und Energietransport . . . . .	116
3.2.1	Transporttheorie und Transportgleichungen . . . . .	116
3.2.2	Ein einfaches Wärmetransportmodell . . . . .	120
3.2.3	Wärmetransport durch Photonen . . . . .	121
3.2.4	Konvektiver Transport in einem inkompressiblen Modell . . . . .	123
3.2.5	Konvektiver Transport in einem adiabatischen Modell . . . . .	128
3.3	Stellare Energiequellen . . . . .	132
3.3.1	Deuterium-Tritium Fusion . . . . .	133
3.3.2	Reaktionsparameter und Fusionsleistungsdichte . . . . .	136
3.3.3	Zündbedingung . . . . .	140
3.3.4	Fusionsprozesse in Sternen . . . . .	142
3.4	Zustandsgleichungen idealer Gase . . . . .	145
3.4.1	Thermodynamik des idealen klassischen Gases . . . . .	146
3.4.2	Ideale Quantengase . . . . .	150
3.4.3	Physikalische Konsequenzen für Weiße Zwerge . . . . .	156
3.4.4	Adiabatenindices . . . . .	159
3.5	Chandrasekhar Masse . . . . .	163
3.5.1	Erste Begegnung mit der Chandrasekhar Masse . . . . .	163
3.5.2	Chandrasekhar Grenze für polytrope Zustandsgleichungen . . . . .	166
3.5.3	Landaus Abschätzung für die Chandrasekhar Masse . . . . .	170
3.6	Zustandsgleichungen dichter Materie . . . . .	172

3.6.1	Einfache Abschätzungen der Coulomb-Korrekturen . . . . .	174
3.6.2	Neutronen kommen ins Spiel . . . . .	181
<b>4</b>	<b>Modelle für brennende Sterne und kompakte Objekte</b>	<b>186</b>
4.1	Brennende Sterne . . . . .	186
4.1.1	Grundgleichungen . . . . .	186
4.1.2	Vereinfachter Lösungsansatz . . . . .	188
4.1.3	Auswertung für unsere Sonne . . . . .	191
4.1.4	Massengrenzen . . . . .	193
4.1.5	Die Sonnenmasse $M_{\odot}$ in Naturkonstanten . . . . .	196
4.2	Weißer Zwerge . . . . .	199
4.2.1	Entdeckungsgeschichte und Größenordnungen . . . . .	199
4.2.2	Obere Massengrenze und qualitative Abhängigkeiten . . . . .	201
4.2.3	Abkühlung Weißer Zwerge . . . . .	204
4.2.4	ART-Effekte . . . . .	208
4.3	Neutronensterne, Pulsare und Quasare . . . . .	210
4.3.1	Entdeckungsgeschichte . . . . .	210
4.3.2	Quasare . . . . .	211
4.3.3	Pulsare . . . . .	214
4.3.4	Supernova . . . . .	215
4.3.5	Allgemeine Charakterisierung von Neutronensternen . . . . .	216
4.3.6	ART-Effekte . . . . .	219
4.3.7	Pulsare als rotierende Neutronensterne . . . . .	219
<b>5</b>	<b>Weitere physikalische Grundlagen</b>	<b>222</b>
5.1	Stabilitätstheorie . . . . .	222
5.1.1	Hydrodynamische Grundgleichungen . . . . .	222
5.1.2	Normalmoden Analyse . . . . .	224
5.1.3	Energieprinzip . . . . .	226
5.1.4	Variationsprinzipien für Anwachsraten . . . . .	230
5.1.5	Auswertung des Sturm-Liouville Problems (5.1.33) . . . . .	237
5.1.6	Plausibilitätsüberlegungen . . . . .	238
5.2	Entstehung von Magnetfeldern . . . . .	240
5.2.1	Hamiltonsche Magnetfeld-Struktur . . . . .	241
5.2.2	Stochastische Magnetfelder . . . . .	245
5.2.3	Entstehung von Magnetfeldern . . . . .	248
5.3	Nichtlinearer Transport . . . . .	251
5.3.1	Linearer Transport senkrecht zu Magnetfeldern . . . . .	251
5.3.2	Theorien in der Nähe des Einsatzes einer Instabilität . . . . .	254

5.3.3	Theorien basierend auf Mischungslängen . . . . .	256
5.3.4	Ergänzende Bemerkungen zu Transportbeiträgen . . . . .	259
5.3.5	Transport in stochastischen Magnetfeldern . . . . .	260
5.3.6	Gültigkeit der quasilinearen Näherung . . . . .	265
5.3.7	Stochastische Effekte und Zweierstöße . . . . .	267
5.4	Relativistische Verallgemeinerungen . . . . .	271
5.4.1	Bemerkungen zur Allgemeinen Relativitätstheorie . . . . .	271
5.4.2	Einsteinsche Feldgleichungen . . . . .	272
5.4.3	Beispiele zum Eingewöhnen . . . . .	274
5.4.4	Schwarzschildmetrik . . . . .	277
<b>6</b>	<b>Kollabierende Objekte</b>	<b>281</b>
6.1	Relativistische Gleichgewichte – und mehr . . . . .	281
6.1.1	Relativistische Gleichgewichte . . . . .	281
6.1.2	Gravitationskollaps . . . . .	284
6.2	Schwarze Löcher und andere Singularitäten . . . . .	289
<b>7</b>	<b>Benutzte und weiterführende Literatur</b>	<b>294</b>