
Inhaltsverzeichnis

1	Eine kurze Geschichte der Erforschung der Sterne.	1
2	Was kann man an Sternen beobachten?	55
2.1	Entfernung	58
2.2	Sternhelligkeiten.	59
2.2.1	Intensitäten und Strahlungsströme	62
2.2.2	Einfluss der Erdatmosphäre auf die scheinbare Helligkeit	71
2.2.3	Interstellare Extinktion und Verfärbung	77
2.2.4	Fotometrie und Schwarzkörperstrahlung	79
2.3	Sterndurchmesser	86
2.3.1	Durchmesserbestimmung mittels optischer Interferometrie	87
2.3.2	Intensitätsinterferometrie nach R. Hanbury-Brown und R. Q. Twiss.	95
2.3.3	Speckle-Interferometrie	98
2.3.4	Sternbedeckungen durch den Mond	105
2.3.5	Microlensing-Ereignisse.	107
2.3.6	Direkte Abbildung von Sternoberflächen	107
2.3.7	Lichtkurven bedeckungsveränderlicher Sterne.	110
2.3.8	Transitmethode	113
2.3.9	Baade-Wesselink-Verfahren	114
2.3.10	Fotometrische Sterndurchmesser	116
2.3.11	Die größten bekannten Sterne.	117
2.4	Sternmassen	120
2.4.1	Doppelsternbeobachtungen.	121
2.4.2	Astroseismologie	127
2.4.3	Ableitung von Massen durch Anpassung von Sternmodellen an Beobachtungsparameter.	132
2.4.4	Massebestimmung von binären Radiopulsaren, Röntgenpulsaren und Schwarzen Löchern	134
2.4.5	Die massereichsten Sterne der Milchstraße	136

2.5	Sternspektren	140
2.5.1	Klassifikation der Sternspektren	143
2.5.2	Leuchtkraftklassen	149
2.5.3	Populationszugehörigkeit	154
2.5.4	Spektralklassen	157
2.6	Korrelationen	192
2.6.1	Farben-Helligkeits-Diagramme	192
2.6.2	Masse-Leuchtkraft-Beziehung	199
2.6.3	Masse-Radius-Beziehung	201
2.6.4	Hertzprung-Russell-Diagramm	202
2.7	Analyse des Schwingungsverhalten von Sonne und Sternen	219
2.7.1	Dopplergramme	220
2.7.2	Solare Oszillationen	222
2.7.3	Modelle	224
2.7.4	Direkte und inverse Methode	228
3	Sternspektren und Sternatmosphären	231
3.1	Physikalische Grundlagen der Spektroskopie	233
3.1.1	Strahlungsprozesse im Bohr-Sommerfeldschen Atommodell	234
3.1.2	Das Wasserstoffatom und sein Spektrum	243
3.1.3	Spektren der Alkalimetalle	253
3.1.4	Elektronenkonfiguration von Ionen	256
3.1.5	Atome mit mehreren Elektronen	257
3.1.6	Das Heliumspektrum und die Spektren heliumartiger Ionen	269
3.1.7	Spektren der Wasserstoffionen	273
3.1.8	Molekülspektren	275
3.1.9	Identifikation von Spektrallinien in Sternspektren	294
3.1.10	Linienprofile und Linienbreiten	297
3.1.11	Linienaufspaltung durch den Zeeman-Effekt	318
3.2	Strahlungstransport in Spektrallinien	324
3.2.1	Lokales thermodynamisches Gleichgewicht (LTE) und Kirchhoff'scher Satz	329
3.2.2	Formale Lösung der Strahlungstransportgleichung	335
3.2.3	Eddington-Barbier-Beziehung	337
3.2.4	Strahlungsprozesse und Absorptionskoeffizienten	340
3.2.5	Emissionskoeffizienten und spektrale Kontinuumstrahlung	354
3.2.6	Boltzmann-Verteilung	355
3.2.7	Saha-Gleichung	357
3.3	Quantitative Spektralanalyse	368
3.3.1	Wachstumskurven	369
3.3.2	Synthetische Spektren	377

3.4	Photosphärenmodelle	379
3.4.1	Grundlegende Physik einer Sternphotosphäre	380
3.4.2	Modellatmosphären und Bestimmung der fundamentalen Sternparameter	387
3.4.3	Einfacher algorithmischer Ablauf der Modellierung einer Sternatmosphäre	389
3.4.4	Die hydrodynamische Expansion von Stern-Koronen am Beispiel der Sonne	395
4	Innerer Aufbau der Sterne	401
4.1	Sterne im hydrostatischen Gleichgewicht und Virialtheorem	404
4.1.1	Abweichungen von der sphärischen Symmetrie	409
4.1.2	Sternwinde – Verletzung des hydrostatischen Gleichgewichts in Sternatmosphären	412
4.2	Energiehaushalt und Leuchtkraft	414
4.3	Energietransport	416
4.3.1	Strahlungstransport	416
4.3.2	Wärmeleitung	419
4.3.3	Konvektiver Wärmetransport	420
4.3.4	Konvektionszeitskala und radiative Zeitskala	425
4.4	Zustandsgleichungen	426
4.4.1	Ideales Gas und Photonengas	428
4.4.2	Entartete Materie	432
4.4.3	Innere Energie	437
4.5	Statische Sternmodelle	439
4.5.1	Numerische Lösung von Sternstrukturmodellen	442
4.5.2	Polytrope Lösungen	446
4.5.3	Homologe Sternmodelle	468
5	Nukleare Energieerzeugungsprozesse und Elementesynthese	475
5.1	Bindungsenergie und Massendefekt	476
5.2	Nukleare Reaktionsraten	478
5.2.1	Energieabhängigkeit nuklearer Reaktionsraten	482
5.2.2	Resonanzen in den nuklearen Reaktionsraten	491
5.3	Wichtige nukleare Brennphasen im Laufe der Sternentwicklung	494
5.3.1	Deuterium- und Lithiumbrennen	495
5.3.2	Wasserstoffbrennen	496
5.3.3	Heliumbrennen – der Triple-Alpha-Prozess	521
5.3.4	Fortgeschrittene thermonukleare Brennphasen	535
5.3.5	s-, r- und p-Nukleosynthese	555
6	Evolution der Sterne	565
6.1	Evolutionäre Sternmodelle	567
6.1.1	Visualisierung von Entwicklungsprozessen	569
6.1.2	Stellare Zeitskalen	571

6.2	Sternentstehung	574
6.2.1	Interstellares Medium (ISM) und Molekülwolken	576
6.2.2	Gravitationskollaps einer Molekülwolke und Sternbildung	583
6.3	Hauptreihen- und Nach-Hauptreihenentwicklung	603
6.3.1	Evolution Roter Zwergsterne	608
6.3.2	Evolution massearmer Sterne	613
6.3.3	Evolution von Sternen im mittleren Massenbereich	626
6.3.4	Evolution von Sternen im oberen Massenbereich	651
6.4	Sternhaufen und Sternentwicklung	661
6.4.1	Kugelsternhaufen	661
6.4.2	Offene oder Galaktische Sternhaufen	663
6.4.3	Sternassoziationen	665
6.4.4	Hertzsprung-Russell-Diagramme und Sternentwicklung	666
7	Endstadien der Sternentwicklung	673
7.1	Weißer Zwerge	677
7.1.1	Spektrum	680
7.1.2	Physische Eigenschaften	682
7.1.3	Atmosphäre	686
7.1.4	Innere Struktur	687
7.1.5	Abkühlung	690
7.2	Neutronensterne	699
7.2.1	Radiopulsare	704
7.2.2	Röntgenpulsare	718
7.2.3	Physische Eigenschaften	736
7.2.4	Protoneutronensterne	747
7.2.5	Innerer Aufbau	750
7.3	Quarkmaterie und (mehr oder weniger seltsame) Quarksterne	775
7.3.1	Quark-Gluon-Plasma	776
7.3.2	Seltsame Materie	778
7.4	Stellare Schwarze Löcher	787
7.4.1	Einteilung Schwarzer Löcher nach Entstehung und Masse	795
7.4.2	Röntgendoppelsterne mit Black Hole-Komponente	796
	Anhang	805
	Literatur	807
	Stichwortverzeichnis	819