

# Einführung in die Astronomie

von Dr. Jürgen Wirth

## *Themengliederung*

---

### Teil 2: Werden und Vergehen der Sterne

#### 2.1 *Ein Labor genannt Weltall*

#### 2.2 *Fast Nichts - Interstellare Materie*

- 2.2.1 Einleitung / Geschichte
- 2.2.2 Natur des interstellaren Mediums
  - 2.2.2.1 Strahlung
  - 2.2.2.2 Materie
    - 2.2.2.2.1 Gas
    - 2.2.2.2.2 Staub
- 2.2.3 Erscheinungsformen
  - 2.2.3.1 Zwischenwolkengas
  - 2.2.3.2 "normale" interstellare Wolken
  - 2.2.3.3 Dunkelwoken
  - 2.2.3.4 Reflexionsnebel
  - 2.2.3.5 Emissionsnebel
  - 2.2.3.6 Molekülwolken
  - 2.2.3.7 Moleküle im Weltall
- 2.2.4 Verteilung der interstellaren Materie
  - 2.2.4.1 Gesamtdichteanteil in der Milchstraße
  - 2.2.4.2 Verteilung
- 2.2.5 Herkunft
  - 2.2.5.1 Urmaterie
  - 2.2.5.2 Auswurf aus entwickelten Sternen
  - 2.2.5.3 Auswurf aus kompakten Galaxienkernen
- 2.2.6 Bedeutung
  - 2.2.6.1 Sternentstehung
  - 2.2.6.2 Spiralstruktur
  - 2.2.6.3 Sternentwicklung

#### 2.3 *Kleine Ursache, große Wirkung - kleine Einführung in die Atomphysik*

- 2.3.1 Aufbau der Atome
- 2.3.2 Atomkern
  - 2.3.2.1 Elemente und Isotope
  - 2.3.2.2 Kernbindungsenergie
  - 2.3.2.3 Radioaktivität / Kernzerfall
- 2.3.3 Elektronenhülle
  - 2.3.3.1 Bohrsches Atommodell / Schalenmodell
  - 2.3.3.2 Quantenzahlen und Auswahlregeln
  - 2.3.3.3 Unschärferelation / Elektronendichteverteilung

- 2.3.3.4 Bohr-Sommerfeld-Atommodell / Orbitale
- 2.3.3.5 Elektronenkonfigurationen / Elementensystem
- 2.3.4 Größe von Atomen
- 2.3.5 Elektronische Übergänge / Atome und Ionen
- 2.3.6 Teilchenenergien im Kosmos
- 2.4 Vom Urstoff zum Fusionsreaktor - Sternentstehung**
  - 2.4.1 Kontraktion
  - 2.4.2 Grenzbedingungen für Kontraktion
  - 2.4.3 Hinderungsprozesse
  - 2.4.4 Hilfsprozesse
    - 2.4.4.1 Herausdriften des Magnetfeldes
    - 2.4.4.2 Galaktisches Scheibenmagnetfeld
    - 2.4.4.3 Spiralarmdichte
    - 2.4.4.4 externe Kompression
  - 2.4.5 Modellrechnung
  - 2.4.6 Massenbegrenzung vor der Hauptreihe
    - 2.4.6.1 Massenabwurf / Jets
    - 2.4.6.2 Kernbrennen mit Hüllenkontraktion
    - 2.4.6.3 H II-Region durch Strahlungsdruck
    - 2.4.6.4 Fragmentierungs-Maximalgröße
  - 2.4.7 Beispiele
- 2.5 Es werde Licht! - Strahlung und Spektrum**
  - 2.5.1 Strahlungsarten
    - 2.5.1.1 Strahlungsprozesse
    - 2.5.1.2 Thermische Strahlung
    - 2.5.1.3 Nicht-thermische Strahlung
    - 2.5.1.4 Atomare Linienstrahlung
    - 2.5.1.5 Polarisation
  - 2.5.2 Elektromagnetisches Spektrum
    - 2.5.2.1 Spektralbereiche
    - 2.5.2.2 Empfindlichkeit des Auges
    - 2.5.2.3 Spektralbänder und -sequenzen
    - 2.5.2.4 Atmosphärische Transmission
  - 2.5.3 Strahlungsgesetze
    - 2.5.3.1 Planck-Strahlung
    - 2.5.3.2 Strahlungsgesetze
    - 2.5.3.3 Beugung
    - 2.5.3.4 Brechung und Dispersion
  - 2.5.4 Spektroskopie
    - 2.5.4.1 Spektralapparate
      - 2.5.4.1.1 Prismenspektralapparat
      - 2.5.4.1.2 Gitter
    - 2.5.4.2 Spektren
      - 2.5.4.2.1 Absorptionslinienspektren
      - 2.5.4.2.2 Emissionslinienspektren
  - 2.5.5 Strahlungsgrößen
    - 2.5.5.1 Entfernungsmodul
    - 2.5.5.2 Radiometrie und Photometrie

## **2.6 Fußspuren der Sternentwicklung - das Hertzsprung-Russell-Diagramm**

- 2.6.1 Geschichtliches
- 2.6.2 Spektralklassifikation
  - 2.6.2.1 Spektralklassen
  - 2.6.2.2 MKK-Klassifikation
  - 2.6.2.3 Klassifikationsschema
  - 2.6.2.4 Untertypen
  - 2.6.2.5 Beispiele
- 2.6.3 Schematisches HRD
  - 2.6.3.1 Farben-Helligkeitsdiagramm
  - 2.6.3.2 Hertzsprung-Russell-Diagramm
  - 2.6.3.3 Leuchtkraftklassen
  - 2.6.3.4 Radien
  - 2.6.3.5 Massen
  - 2.6.3.6 Alter
- 2.6.4 Hauptreihe

## **2.7 Vom Gasnebel bis zum Roten Riesen - Sternentwicklung**

- 2.7.1 Vor-Hauptreihen-Entwicklung
- 2.7.2 Hauptreihe
  - 2.7.2.1 Typische Sterndaten
  - 2.7.2.2 Energieproduktion
  - 2.7.2.3 Kreisprozess
  - 2.7.2.4 Brennzyklen
  - 2.7.2.5 Massenabhängigkeit
  - 2.7.2.6 Entartung
  - 2.7.2.7 Neutrino-Nachweis
- 2.7.3 Nach-Hauptreihen-Entwicklung
  - 2.7.3.1 Rote Riesen
  - 2.7.3.2 Veränderlichkeit
  - 2.7.3.3 Sternflecken und Rotation
- 2.7.4 Der hypothetische Sternhaufen M007

## **2.8 Beispiel für einen Stern - die Sonne**

- 2.8.1 Die Sonne als Stern
  - 2.8.1.1 Physikalische Grundlagen
  - 2.8.1.2 Physische Daten
- 2.8.2 Aufbau und Energieerzeugung
  - 2.8.2.1 Energieerzeugung
  - 2.8.2.2 Chemische Zusammensetzung
  - 2.8.2.3 Aufbau der Sonne und Energietransport
- 2.8.3 Sonnenaktivität und magnetischer Zyklus
  - 2.8.3.1 Erscheinungen der Sonnenaktivität
  - 2.8.3.2 Differentielle Rotation
  - 2.8.3.3 Der magnetische Zyklus
- 2.8.4 Die Entwicklung der Sonne
  - 2.8.4.1 Protosolarer Nebel und Entstehung
  - 2.8.4.2 Der Hauptreihenstern
  - 2.8.4.3 Planetarischer Nebel und Weißer Zwerg
  - 2.8.4.4 Entwicklungsweg der Sonne

## **2.9 *Weißer Zwerge, schwarze Löcher* - Endstadien der Sternentwicklung**

- 2.9.1 Braune Zwerge und Planeten
- 2.9.2 Übergangsphase: Massenabstoß
- 2.9.3 Grundlagen der Endstadien
- 2.9.4 Entwicklung zu Planetarischen Nebeln und Weißen Zwergen
  - 2.9.4.1 Planetarische Nebel
  - 2.9.4.2 Entwicklungswege zum Planetarischen Nebel
  - 2.9.4.3 Weiße Zwerge
- 2.9.5 Entwicklung zu Neutronensternen und Pulsaren
  - 2.9.5.1 Kataklysmische Veränderliche: Supernovae
  - 2.9.5.2 SN 1987A: Beispiel für einen Supernova-Ausbruch
  - 2.9.5.3 Supernova-Überreste (SNR)
  - 2.9.5.4 Neutronensterne / Pulsare
- 2.9.6 Schwarze Löcher
- 2.9.7 Beobachtungsinstrumente / Satelliten

## **2.10 *Im Dutzend einfacher* - Sonderfälle der Sternentwicklung**

- 2.10.1 Sternhaufen
- 2.10.2 Enge Doppelsternsysteme
  - 2.10.2.1 Typen
  - 2.10.2.2 Entwicklung in engen Doppelsternsystemen
- 2.10.3 Novae
  - 2.10.3.1 Allgemeines
  - 2.10.3.2 Novamodell
  - 2.10.3.3 Zwergnovae
    - 2.10.3.3.1 Typen
    - 2.10.3.3.2 Modell

## **2.11 *Der Schubs kam von außen* - die Entstehung des Sonnensystems und Planeten bei anderen Sternen (Exoplaneten)**

- 2.11.1 Protosolare Wolke
  - 2.11.1.1 Ausgangssituation
  - 2.11.1.2 Einbettung
  - 2.11.1.3 Nahe Supernova-Ausbrüche
  - 2.11.1.4 Nachweis interstellarer Partikel
- 2.11.2 Exoplaneten
  - 2.11.2.1 Begriffserläuterung
  - 2.11.2.2 Nachweismethoden
    - 2.11.2.2.1 Pekuliarbewegung
    - 2.11.2.2.2 Bedeckungen
    - 2.11.2.2.3 Microlensing
    - 2.11.2.2.4 Direktbeobachtung
    - 2.11.2.2.5 Suche nach Sauerstoff
  - 2.11.2.3 Statistik und Eigenschaften
- 2.11.3 Ein neues Sonnensystem?