

Q12 * Astrophysik * Sternentwicklung

A. Von der Staub- und Gaswolke zum Hauptreihenstern

Interstellare Gaswolken

Typische Dichten: Teilchen / cm³ (Erdatmosphäre am Erdboden: 3·10¹⁹ Teilchen / cm³)

Arten von Wolken:



Dunkelwolken

Gas und Staub absorbiert Licht



Reflexionsnebel

Sternlicht wird an Staub reflektiert



Emissionsnebel

Sternlicht regt Gas zum Leuchten an

Konkurrierende Kräfte auf Wolken:

Wolken ziehen sich zusammen wegen der

Wolken werden auseinander getrieben wegen des

.....
(hängt ab von Dichte und Ausdehnung)

.....
(hängt ab von Temperatur)

Bei kugelsymmetrischer Wolke überwiegt die anziehende Kraft typischerweise ab Sonnenmassen.

Beim Kontrahieren zerfällt die Wolke (u.U. durch Schockwelle einer Supernova induziert) in viele Teilwolken. Sterne entstehen also immer in Gruppen (und Doppel- oder Mehrfachsternsysteme treten sehr häufig auf).

Kontraktion einer Teilwolke → Gravitationsenergie wird frei und Dichte wird größer → Aufheizen des Kerns → bei 2000K dissoziieren H₂-Moleküle, dann werden H und He ionisiert (Plasma) → Strahlung aus Kernbereich wird in Staubhülle absorbiert und dort als Wärmestrahlung (ca. 100K, d.h. Infrarot) abgegeben → Infrarotstern ist entstanden → weitere Kontraktion, bis im Kernbereich die Fusion (ab etwa 5 Millionen K) einsetzt → Eintritt des Sterns in das Hauptreihenstadium

Bei Sternmassen < 7% der Sonnenmasse gibt es keine Fusion → Brauner Zwerg

Die Zeitdauer von der kollabierenden Teil-Wolke bis zum Hauptreihenstern hängt stark von der Masse ab:

massereiche O und B Sterne: ... einige Jahre

sonnenähnliche F und G Sterne: ... einige Jahre

massearme K und M Sterne: ... einige Jahre

B. Hauptreihenstadium

Mit dem Einsetzen des Wasserstoffbrennens ist die Kontraktion beendet und der Stern erreicht die Hauptreihe.

Kennzeichen des Hauptreihenstadiums:

- Wasserstoffbrennen im Kerninneren
- Gravitationsdruck einerseits und Gas- und Strahlungsdruck andererseits stehen im Gleichgewicht.

Je massereicher der Stern, umso höher der Druck und die Temperatur im Kern des Sterns und damit um so höher die Strahlungsleistung. Für $L^* > 10^5$ zerreißt bei einem Hauptreihenstern der Strahlungsdruck den Stern.

Die Verweildauer τ auf der Hauptreihe hängt von m ab. Für die Sonne gilt $\tau_{\odot} \approx 10 \cdot 10^9$ Jahre.

Aufgaben 1. Begründen Sie, dass für die Verweildauer τ auf der Hauptreihe gilt: $\tau \sim \frac{1}{m^2}$

2. Zeigen Sie, dass aus $L^* \leq 10^5$ für die Masse m eines Sterns $m < 50 \cdot m_{\odot}$ folgt.

3. Schätzen Sie für sehr massereiche Hauptreihensterne (B0 mit $M \approx -5$) die Masse und die Verweildauer auf der Hauptreihe ab.

A. Von der Staub- und Gaswolke zum Hauptreihenstern

Interstellare Gaswolken

Typische Dichten: ... $10 - 10^4$... Teilchen / cm^3 (Erdatmosphäre am Erdboden: $3 \cdot 10^{19}$ Teilchen / cm^3)

Konkurrierende Kräfte auf Wolken:

Wolken ziehen sich zusammen wegen der

Wolken werden auseinander getrieben wegen des

... **Gravitationskraft** ...

(hängt ab von Dichte und Ausdehnung)

... **Gas – und Strahlungsdruck** ...

(hängt ab von Temperatur)

Bei kugelsymmetrischer Wolke überwiegt die anziehende Kraft typischerweise ab ... **1000** ... Sonnenmassen.

Die Zeitdauer von der kollabierenden Teil-Wolke bis zum Hauptreihenstern hängt stark von der Masse ab:

massereiche O und B Sterne: ... einige 10^4 Jahre

sonnenähnliche F und G Sterne: ... einige 10^7 Jahre

massearme K und M Sterne: ... einige 10^8 Jahre

B. Hauptreihenstadium

Aufgaben

1. Für die Verweildauer τ auf der Hauptreihe gilt $\tau \sim \frac{1}{m^2}$, denn

$\tau \sim m$, denn die Verweildauer ist proportional zur Masse des Brennstoffvorrats.

$\tau \sim \frac{1}{L}$, denn je größer L umso größer der Brennstoffverbrauch.

Wegen $L \sim m^3$ für Hauptreihensterne folgt damit

$$\tau \sim \frac{m}{L} \sim \frac{m}{m^3} = \frac{1}{m^2}$$

2. Aus $L^* \leq 10^5$ folgt $m < 50 \cdot m_{\odot}$, denn

$$L \sim m^3 \Rightarrow L^* = \frac{L}{L_{\odot}} = \frac{m^3}{m_{\odot}^3} \Rightarrow m = m_{\odot} \cdot \sqrt[3]{\frac{L}{L_{\odot}}} = m_{\odot} \cdot \sqrt[3]{L^*} \leq m_{\odot} \cdot \sqrt[3]{10^5} \approx 46 m_{\odot} < 50 m_{\odot}$$

3. Für einen Hauptreihenstern B0 mit $M \approx -5$ gilt:

$$M - M_{\odot} = -2,5 \cdot \lg \frac{L}{L_{\odot}} \Rightarrow L^* = \frac{L}{L_{\odot}} = 10^{0,4 \cdot (M_{\odot} - M)} = 10^{0,4 \cdot (4,8 + 6)} = 10^{4,32} \approx 2,1 \cdot 10^5$$

$$L^* = (m^*)^3 \Rightarrow m^* = \sqrt[3]{L^*} = \sqrt[3]{2,1 \cdot 10^5} \approx 59 \quad \text{also } m \approx 59 m_{\odot}$$

$$\tau \sim \frac{1}{m^2} \quad \text{und} \quad \tau_{\odot} \approx 10^9 \text{ a} \Rightarrow \frac{\tau}{\tau_{\odot}} = \frac{m_{\odot}^2}{m^2} = \frac{1}{59^2} \Rightarrow \tau = \frac{\tau_{\odot}}{59^2} = \frac{10 \cdot 10^9 \text{ a}}{59^2} \approx 3 \text{ Millionen Jahre}$$