

Informationssammlung stellarer Objekte:

generell: Photonen, speziell von der Sonne kommend: Sonnenwind (Atome/-kerne, Elektronen) und Neutrinos (zB: „Gallex“; mit Super-Kamiokande werden Trajektorien extrasolarer Neutrinos meßbar).

Gravitationswellen (transversale Raumzeit-Wellen durch bewegte Massen) sollen durch langarmige Interferometer nachgewiesen werden. Relative Längenänderung ca. $10^{-21} = 1 \text{ Atomradius} / 1 \text{ AE}$.

Bei Photonen gibt es durchlässige Fenster in der Atmosphäre: optischer Bereich (250 nm - 2 μ m), außerhalb wird absorbiert (Extinktion) durch O₂, O₃ (im UV) und durch Wasserdampf und CO₂ (IR). Radio-Fenster (1 mm - 12 / 100 m) darüber wirkt die Ionosphäre reflektierend (je nach Ionendichte).

Beobachtungsinstrumente:

Zur Beobachtung dienen Teleskope mit Linsen oder Spiegeln. Spiegelteleskope können größere Öffnungen haben, da die Linsen in der Größe beschränkt sind. Wichtig für Auflösungsvermögen.

Radioteleskope: Effelsberg: 100 m (frei schwenkbar), Arecibo: 300 m (in einem Krater, nur minimale Ausrichtungsmöglichkeiten mit Sekundäroptik), San Agustin: Very Large Array aus 27 x 25 m Teleskopen in Y-Anordnung, Very Long Baseline Interferometer: auf der Erde verteilte Teleskope.

Optische Teleskope: VLT: 4 x 8,2 m Spiegel auf dem Mount Paranal in den Chilenischen Anden.

Im Weltraum (ohne optisches Fenster): Hubble mit 2,4 m und NGST mit 8 m Spiegel ab etwa 2010. Beobachtung auch im Röntgenbereich zB. mit ROSat oder 3K-Hintergrundstrahlung mit COBE.

Aufnahme:

Auge, Photoplatte (1% der Photonen, logarithmische Abhängigkeit von der Intensität), Photokathode (20-30% der Photonen, hohe zeitliche Auflösung), CCDs (80-90% der Photonen, lineare Photonenzählrate, beste zeitliche Auflösung), Spektrometer, Interferometer.

Interferometrie ist in Radio-Astronomie auf große Distanzen möglich, gemessen wird Amplitude und Phase des Signals durch gekreuzte Dipole (Polarisation). Im optischen Bereich mißt man die Intensität und verliert deshalb die Phasen-Information. Optische Interferometrie ist nur bis ca. 100 m Distanz möglich. Interferenz ist im optischen schwieriger, da bei gleicher Signalleistung (bzw. Energie) weniger Photonen wegen der höheren Frequenz vorkommen und das Schottky-Rauschen früher relevant wird.

Auswertung:

Spektroskopie: Absorptionslinien, Doppler-Verbreiterung durch Geschwindigkeits-Verteilung $\sim \sqrt{k_B T}$, Druck-Verbreiterung durch Stöße der Orbitale beeinflussen sich die Energie-Eigenzustände.

Entfernungsmessung: im Sonnensystem durch Parallaxenbestimmung relativ zu Fixsternen oder auch durch Signallaufzeiten bei Radarmessungen und Laser (Reflektor auf dem Mond).

Außerhalb des Sonnensystems: Hipparcos recht genau unter 100 pc, darüber bis 500 pc nur ungenau. In dieser Entfernung etwa 120'000 Sterne, sinnvoll für Entfernungsleiter.

Entfernungen zu Kugelsternhaufen: Sterne unterhalb von G (=Knie) im HRD sind vergleichbar in ihrer absoluten Helligkeit mit Sternen unterhalb von G in unserer Umgebung => Entfernung.

Extragalaktisch: pulsierende Veränderliche (Cepheiden bis 20 Mpc, RR-Lyrae): Periode-Leuchtkraft.

Größte Durchmesser von H-II Regionen: heiße und helle Sterne ionisieren H-Gas => H-II Region. Größter Durchmesser einer H-II Region gilt als Standard-Maß in einer Galaxie (ungenau, bis 40 Mpc).

Standard-Kerzen: Supernovae 1A haben wegen ähnlicher Parameter ähnliche Maximalhelligkeiten (bis 1 Gpc). Supernovae 1B & 2 sind schlecht, da Parameterraum größer => keine Standard-Kerzen.

Hellste Sterne in Kugelsternhaufen: bei nahen Galaxien können einzelne Sterne aufgelöst werden, wenn man viele Sterne untersucht, kann eine Maximalhelligkeit angenommen werden (bis 2 Gpc).

Fluktuationen der Helligkeit: statistischer Fehler aus Anzahl der Sterne pro Pixel geht mit $\sqrt{N_{\text{Sterne}}}$.

Altersbestimmung: Knie im HRD von Kugelsternhaufen zeigt, welche Sterne H-Fusion beendet haben. Im HRD sind 90% der Objekte Hauptreihen-Sterne, Sonne (G2) verlässt Hauptreihe mit 10 Mia Jahre.

Alter des Universums: Kosmologie 12 - 15 Mia Jahre, genauer: 13,7 Mia Jahre aus Hubble-Konstante (=71,3 km/s Mpc aus Fluktuationen der 3K-Hintergrundstrahlung, Helligkeit + Rotverschiebung SN1A) 13,6 ± 0,8 Mia Jahre aus Beryllium-Anteil in Kugelsternhaufen (von 2004).

Formeln:

Öffnungsverhältnis: $F = D / f_{\text{Objektiv}} = f / n$ (f : Brennweite, Linsen: n = 8 ... 15)

Vergrößerung: $V = \theta_{\text{Bild}} / \theta_{\text{Objekt}} = f_{\text{Objektiv}} / f_{\text{Okular}}$ (für Kepler-Teleskope)

Auflösungsvermögen: $\theta = a \cdot \lambda / D$ mit $a_{\text{Optisch}} = 1,22$ und $a_{\text{Radio}} = 1,03$ wegen der Keulenbreite

Zwei Punktquellen gelten als aufgelöst, wenn das Hauptmaximum (Airy-Funktion) des Beugungsmusters der einen Punktquelle mit dem ersten Minimum der zweiten zusammenfällt.

Interferenzmuster bei zwei Teleskopen: Breite der Einhüllenden $\sim \lambda / D$, Breite der Interferenzstreifen $\sim \lambda / B$ mit projizierter Basislänge B. Auflösung steigt mit B. Beispiele: Auge = 1' - 2', Hubble: 0,05''

Plancksches-Strahlungsgesetz: $I(\nu) \cdot d\nu \cdot d\Omega = \frac{2}{c^2} \frac{h\nu^3}{e^x - 1} \cdot d\nu \cdot d\Omega$ mit $x = \frac{h\nu}{kT}$ und $\lambda = \frac{c}{\nu}$

Rayleigh-/Jeans: $h\nu \ll kT : e^x \approx 1 + x$ Wiensches-Strahlungsgesetz: $h\nu \gg kT : e^x - 1 \approx e^x$

Strahlungsfluß: $F_\nu = \oint I_\nu \cos(\vartheta) \cdot d\Omega = \oint \frac{dE}{d\nu \cdot dA \cdot d\Omega} = \sigma \cdot T_{\text{Eff}}^4$ und $F_{\text{Beobachtet}} = R^2 / r^2 \cdot F_\nu$

Leuchtkraft: $L = \sigma \cdot (A = 4\pi R^2) \cdot T_{\text{Eff}}^4$ (Sonne: $T_{\text{Eff}} = 5780K$, $L_{\text{Sonne}} = 3,8 \cdot 10^{26} \text{ Watt}$)

Effektiv-Temperatur: $\frac{3}{2} k_B T_{\text{Eff}} (L) = \frac{1}{2} m \bar{v}^2$: Stefan-Boltzmann-Gesetz

T_{Eff} entspricht Schwarzem Körper mit gleichem L Stefansches-Gesetz: $R^2 = GM / g$ (in L=...)

Abstand-Leuchtkraft: $d = \sqrt{L / (4\pi \cdot F_{\text{Beobachtet}})}$

Visueller Doppelstern: $G \cdot (M_1 + M_2) \cdot T^2 = 4\pi^2 \cdot a^3$

Masse-Leuchtkraft: $\log(L_{\text{Stern}} / L_{\text{Sonne}}) = 3,8 \cdot \log(M_{\text{Stern}} / M_{\text{Sonne}}) + 0,08$ gilt nicht für WZ und Riesen. (für massearme Sterne: $< 0,5 \cdot M_{\text{Sonne}} \Rightarrow L \sim M^4$, Hauptreihe: $L \sim M^{3,15}$, massereich: $L \sim M^{2,8}$)

Lebensdauer: $T = (M_{\text{Stern}} / M_{\text{Sonne}})^{-2,8} \cdot 10^{10} \text{ Jahre}$

Entfernungsmodul: $m - M = -5 + 5 \cdot \log(r_{[\text{Parsec}]}) - \text{Extinktion} = -5 - 5 \cdot \log(\pi_{\text{Parallaxe}}) - \text{Extinktion}$

scheinbare Helligkeit: $m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log(s_1 / s_2)$ wobei s : Strahlungsstrom [Watt]

bolometrische Helligkeit: $m_{\text{bol}} = -2,5 \cdot \log(\int F_{\text{Beobachtet}} \cdot d\lambda)$ und $M_{\text{bol}} - M_{\text{Sonne}} = -2,5 \cdot \log(L / L_{\text{Sonne}})$

Konstanten:

1 AE = Abstand Erde-Sonne = 8 Lichtminuten = 150 Mio km (Durchmesser Sonnensystem: 80 AE).

1 Parsec = Abstand, unter dem 1 AE als 1'' erscheint = 3,2 Lichtjahre = 200'000 AE = 30 Bio km.

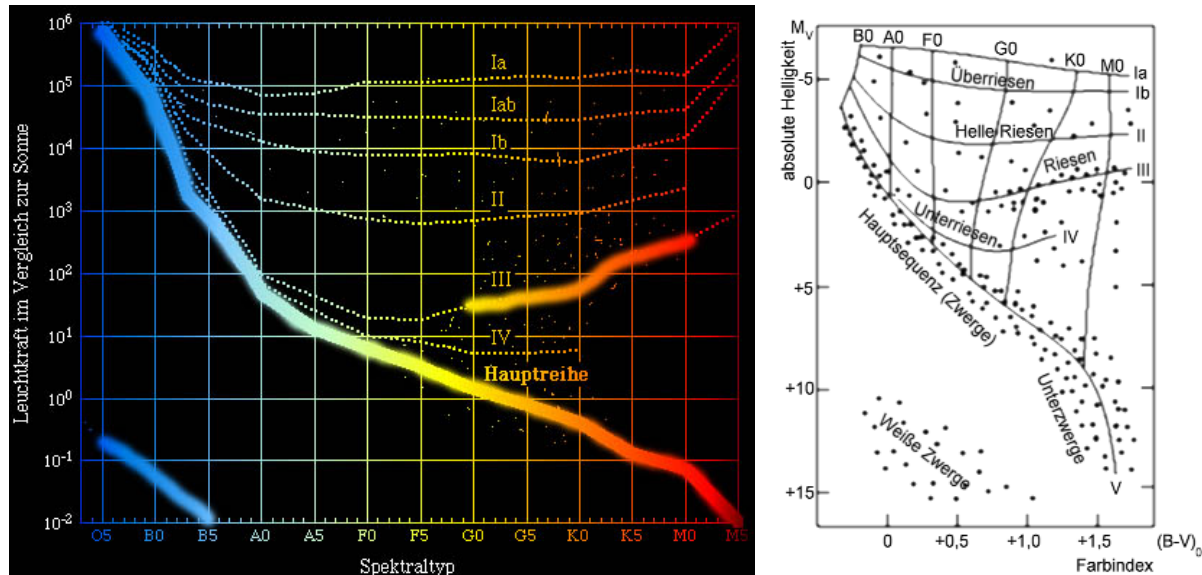
1'' = 1 Bogensekunde = 1 / 206265 rad (Auge sieht: 6 mag, also bis 1 k Parsec)

(Scheinbare Helligkeit m ≡ Absolute Helligkeit M, wenn der Stern 10 Parsec entfernt ist.)

Zoologie:

Entstehung der Elemente: H, He und Li: schon beim Urknall, He bis Fe: durch Fusion in Sternen, schwerere Elemente über Fe durch Neutroneneinfang bei Supernovae.

Herzsprung-Russel-Diagramm mit Leuchtkraftklassen: Oh Be A Fine Girl Kiss Me (Susan / Right Now)



Leuchtkraftklassen: I+II = Überriesen, III = Riesen, IV = Unterriesen, V = Hauptreihe, unten links: WZ.

Milchstraße: ($10^{10} M_{\text{Sonne}}$) 90% Stellare Materie, 10% Interstellare Materie, 0,1% Staub ($T_{\text{Staub}} = 50 \text{ K}$).
 Scheibe (Durchmesser: $30 \times 1 \text{ kpc}$) eigentlich differentielle Rotation $\sim 1/\sqrt{r}$, aber außen Abweichung, daher Dunkle Materie nötig. Sonne rotiert: 220 km/s, auf Herkules zu: 30 km/s. Im Halo (50 kpc) sind ca. 200 Kugelsternhaufen mit RR-Lyrae-Sternen (kurzperiodisch) und Dunkle Materie ($10^{12} M_{\text{Sonne}}$), Sterne sichtbar bis 2 kpc, Zentralregion (Bulge mit 4,6 kpc): abgeplattete Kugel, enthält Sterne und am Rand auch Sternhaufen, Interstellare Materie in mehreren konzentrischen Ringen um Zentrum: Schwarzes Loch ($R < 1 \text{ AE}$, $10^6 M_{\text{Sonne}}$) in der Mitte der Galaxie im Sagittarius Kugelsternhaufen. Spiralstruktur beobachtbar durch H_2 -Gaswolken und junge Sterne (opt. Balmer-Linien).

Galaxien: Elliptische \sim (bis $1000 M_{\text{Milch}}$), Zwerg \sim (ab $1/100 M_{\text{Milch}}$), Spiral \sim , Balken-Spiral \sim

Andromeda-Galaxie von Hubble entdeckt durch Auflösung einzelner Sterne. $d = 0,5 \text{ M Parsec}$.

Radiogalaxie: elliptische Riesengalaxie mit bis zu 1 M Parsec Durchmesser und L bis 10^{38} Watt ,
 Radioquelle: Synchrotronstrahlung aus Akkretion um ein zentrales, massives schwarzes Loch (=Aktiver Galaktischer Kern mit Staubtorus und Emissionslinien der Gaswolke, Jets entlang Achse.)
 Seyfert I: aus Zentralbereich, hohe Geschwindigkeiten sichtbar, starke Linienverbreiterung.
 Seyfert II: Zentralbereich durch Staubtorus verdeckt, nur kleine Geschwindigkeiten, schmale Linien.

Quasar: Quasi Stellar Radio sources, extrem hohe Leuchtkraft $L \approx 10^{41} \text{ W}$, Frühphase einer Galaxie, sehr alt bzw. weit entfernt => hohe Rotverschiebung, nicht auflösbar (deshalb Quasi Stellar Object).

Pulsierende Veränderliche: Mira-Sterne, Cepheiden, W-Virginis und RR-Lyrae, funktionieren durch:

Kappa-Mechanismus: Steigt bei Kontraktion der Hülle die Absorptionsfähigkeit an, werden Druck und Temperatur dermaßen gesteigert, daß eine Expansion über die Gleichgewichtslage hinaus verursacht wird => Aufschaukeln bis GGW zur Dämpfung. (Benötigt Ionisationszone in Oberflächennähe).

Mira-Sterne: $P = 100 \text{ bis } 1000 \text{ Tage}$. Rote Riesen mit Leuchtkraftschwankung um Faktoren 10 bis 200
 Mira selbst: $P = 11 \text{ Monate}$, scheinbare Helligkeit: $m_{\text{Max}} = 3 \text{ bis } 4$ (Auge), $m_{\text{Min}} = 9$ (Amateurteleskop).

Cepheiden: $P = 1 \text{ bis } 50 \text{ Tage}$. δ -Cephei: $M_v = -1,4 - 2,8 \cdot \log(P)$, II-C: $M_v = -0,1 - 1,6 \cdot \log(P)$

RR-Lyrae: in Kugelhaufen, kurzperiodisch: $P = \text{bis } 1 \text{ Tag}$, geringe Masse, Spektraltyp A (selten F), Leuchtkraft schwankt um Faktor 2 bis 3, Leuchtkraftklasse IV (knapp über HR), konstantes $M = 0,6$.

T-Tauri: kontrahierender Protostern mit Ausbrüchen (kein hydrost. GGW), bipolare Jets aus dem Kern.

Blue Straggler: früher Spektraltyp, erst kürzlich erworbene große Masse (zB. aus Doppelsternsystem).

Weißer Zwerg: C,O-Kern ((relativistisch) entartet) und dünner H- oder He-Hülle. $1M_{\text{Sonne}} \equiv 1R_{\text{Erde}}$

Brauner Zwerg: $T_{\text{Eff}}=1500$ bis 2500 K (IR-Strahler), Masse: 1% bis 8% M_{Sonne} zu leicht für H-Fusion

Nova: Doppel-Stern mit Rotem Riesen und WZ, der H wegrißt und an Oberfläche nochmal zündet.

Supernovae:

1A: aus engem Doppelsternsystem mit WZ, der H-arme Masse akkretiert (H-reich: Nova) und unter extrem entarteten Bedingungen He- oder C-Fusion zündet. Ähnliche abs. Helligkeit -19 bis -20 mag.

1B/C: Einsturz der Schale (nach Kern-Fusion) wird durch Entartungsdruck beendet (Elektronen lassen sich nach Pauliprinzip nicht weiter komprimieren). Durch Gravitation freigesetzte Energie wird teilweise an äußere Sternschichten übertragen => ein Planetarischer Nebel wird explosiv abgegeben.

2: aus massenreichen Sternen, Gravitationskollaps durch im Kern entstandenes Eisen nach Si-Brennen. Wird zu einem Neutronenstern. Inkompressibler Neutronen-Kern stoppt Einsturz und bildet gigantische Schockwelle, da die Schallgeschwindigkeit (\sim Dichte) nach außen abfällt.

Planetarischer Nebel: Lebensdauer ca. 10^4 Jahre, zB. Supernova 1B/C-Rest beleuchtet vom WZ.

Neutronenstern: $M > M_{\text{Sonne}}$, Durchmesser bis ca. 30 km, Fluchtgeschwindigkeit ca. $1/2$ c.

Aufbau: Außen dünne Schicht (5%) mit entarteter Masse wie bei WZ, erst Fe und weiter unten neutronenreichere Materie, darunter (bis 30%) dissoziieren neutronenreiche Kerne, innere 2/3: inkompressible Neutronenflüssigkeit, ganz innen möglicherweise in Quarks dissoziierte Neutronen. Durchmesser sinkt mit zunehmender Masse: Oppenheimer-Volkoff Grenze (ca. $3 M_{\text{Sonne}}$), darüber: SL. Beim Kollaps bleibt Drehimpuls und magnetisches Moment anfangs erhalten => schnelle Rotation (0,1 bis 640 Umdrehungen/s) und extrem hohe Magnetfelder an Oberfläche => Radiostrahlung.

Schwarzes Loch: $M > 60 M_{\text{Sonne}}$, bei zünden der O-Fusion ($T \approx 2 \cdot 10^9$ K) erleidet der Stern die Instabilität der Paarbildung und wird dynamisch instabil wegen variabler Teilchenezahl. Der Kern übersteigt die Neutronen-Grenzmasse (Oppenheimer-Volkoff Grenze ca. $3 M_{\text{Sonne}}$), Fluktuationen lösen den unaufhaltbaren Kern-Kollaps aus, Objekt hat $R < R_{\text{Schwarzschild}} = 2GM/c^2 \approx 3M/M_{\text{Sonne}}$.

Doppel-Sterne:

visuell: getrennt beobachtbar, astrometrisch: Begleiter unsichtbar, teilweise nur $\approx 1/1000 M_{\text{Sonne}}$,

spektroskopisch: periodische Dopplerverschiebung (Doppler-Doublett Linien im Spektrum),

photometrisch: Helligkeitsschwankung, da einer der beiden Sterne durch den anderen verdeckt wird.

Interstellare Materie: 1% Staub, 99% Gas (70% H, 27% He, 3% Metalle) wird gespeist aus Sternwind sowie instabile Spätphasen der Sternentwicklung: Hüllenabstoßung (Sterne auf ARA), Supernovae. Interstellares Gas beobachtbar bei H-I ($T=50$ K, molekularer H_2 , Lyman-alpha in UV-Absorption, im Radio-Bereich: 21 cm Wasserstoff-Linie), H-II ($T=10^4$ K, Plasma, optische Balmer-Emissionslinien).

Jeans-Masse: $M_J \sim \sqrt{T^3/\rho}$: Mindestmasse für stabile Gaswolken. Jeans-Radius: $R_J \sim \sqrt{T/\rho}$.

Sternentstehung / Sternentwicklung:

Interstellare Materie verdichtet sich durch Gravitation und evtl. Dichtewellen. Erreicht sie die Jeans Grenzmasse/Grenzradius, ist die Wolke stabil (strebt homogene Dichte an) und kann bei weiterer Massenzunahme kontrahieren. Wolke beginnt ab $0,08 M_{\text{Sonne}}$ zu leuchten. Protostern wird opaque.

Meistens entstehen 10 - 1000 Sterne aus einer Wolke bis $300 M_{\text{Sonne}}$ bzw. kalte Wolke bis $50 M_{\text{Sonne}}$.

H-Fusion: pp-Zyklus: **1:** $^1H + ^1H \rightarrow ^2D + e^+ + \nu + E$ (14 Mio Jahre) **2:** $^2D + ^1H \rightarrow ^3He + \gamma + E$ (6 s)
3: $^3He \rightarrow ^4He + 2p + E$ (1 Mio Jahre) (bei 5 bis 15 Mio Kelvin) Totale Energieabgabe: 26,2 MeV.

CNO-Zyklus: $^{12}C \rightarrow ^{13}N \rightarrow ^{13}C \rightarrow ^{14}N \rightarrow ^{15}O \rightarrow ^{15}N \rightarrow ^{12}C + He + 25MeV$ (ab 15 Mio Kelvin).

Konvektive Hülle: $< 0,25 M_{\text{Sonne}}$. H-Brennen wandert nach außen bei $M < 1,5 M_{\text{Sonne}}$ (Kompression).

Ab $M > 1,5 M_{\text{Sonne}}$: radiative Hülle, Konvektion im Kern (He-Brennen) und in Schale mit H-Brennen.

He-Fusion: Triple-alpha-Prozeß: **1:** $2^4He + E \leftrightarrow ^{10}Be + \gamma$

2: $^8Be + ^4He \rightarrow ^{12}C + E$ (ab 100 Mio Kelvin, $E_{\text{tot}} = 7 \text{ MeV}$)

3: $^{12}C + ^4He \rightarrow ^{16}O + E \Rightarrow C, O$ entstehen im Kern.

C/O-Brennen: $2^{12}C \rightarrow ^{24}Mg^* \rightarrow Mg, Na, Ne, O, \alpha + 13MeV$

$2^{16}O \rightarrow ^{32}Si^* \rightarrow Si, P, S, Mg, \alpha + 16MeV$ (ab 0,5 / 1 Mia K).

Unter $0,08 M_{\text{Sonne}}$: nur D-Fusion \Rightarrow wird Brauner Zwerg.

Bei $0,08 < M < 0,26 M_{\text{Sonne}}$: nur H-Brennen.

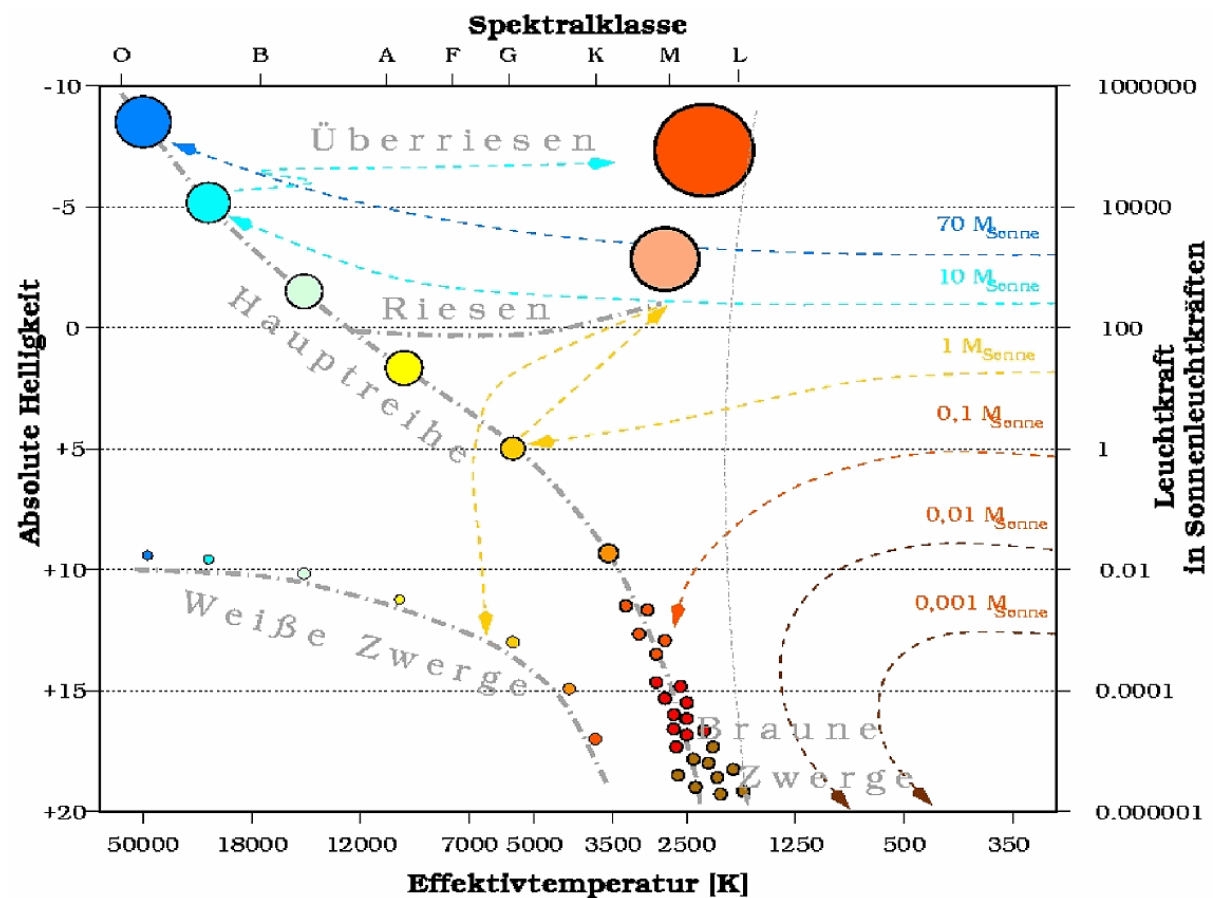
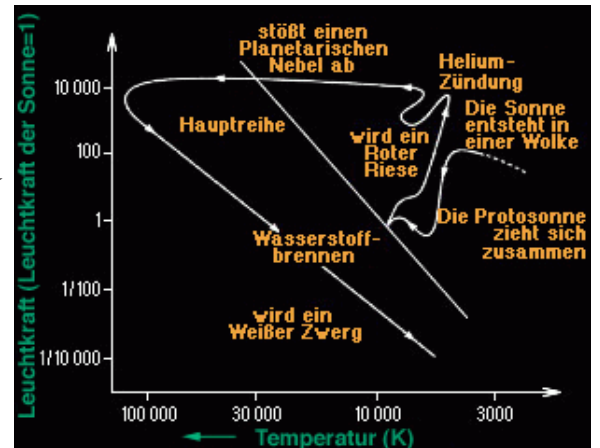
Kern kontrahiert und kühlt langsam ab \Rightarrow wird direkt WZ.

Sonne verbrennt nur bis He \Rightarrow C,O-Kern (Weißer Zwerg).

Helium-Flash: bis $1,4 M_{\text{Sonne}}$, darüber langsames He-zünden.

Roter Riese: $0,26 M_{\text{Sonne}} < M < 2,5 M_{\text{Sonne}}$: Hülle fängt He-zünden im Kern ab (mehrmals) \Rightarrow Pulsation.

Schalenweises Brennen: H, He. ab $8 M_{\text{Sonne}}$: C, O, Ne, Si (1 Tag), stoppt bei Fe sammelt sich im Kern.



Formeln:

Bewegungs-Gl.: $\ddot{r} = -\frac{Gm}{r^2} - 4\pi \cdot r^2 \frac{\partial P}{\partial m}$ Hydrostatisches GGW: $\ddot{r} = 0$ (Druckgradient \equiv Grav.)

Energie-Gl.: $\dot{u} - \frac{P}{\rho^2} \dot{\rho} = q - \frac{\partial F}{\partial m}$ Änderung der Gesamtenergie: $\dot{E} = \dot{U} + \dot{\Omega} + \dot{K} = L_{nuc} - L$

Druck-Gl.: $P_{Gas} = \frac{1}{3} u \cdot \rho = \frac{R}{\mu} \rho \cdot T$ $P_{Rad} = \frac{1}{3} a T^4$ Gesamt-Druck: $P = P_{Gas} + P_e + P_{Rad}$

Sternentwicklungs-Gleichungen:

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{Gm}{r^2} \quad \frac{dm}{dr} = 4\pi \cdot r^2 \rho \quad \frac{dT}{dr} = -\frac{3}{4ac} \frac{\kappa \cdot \rho}{T^3} \frac{F}{4\pi \cdot r^2} \quad \frac{dF}{dr} = 4\pi \cdot r^2 \rho \cdot q$$

Wobei: $\kappa = \kappa_0 \cdot \rho^a T^b$ und $q = q_0 \cdot \rho^m T^n$ Randbedingungen: $m(0) = F(0) = P(R) = 0$ $L = F(R)$

Polytopen-Modell: $P = \rho^\gamma \cdot K$ mit: $\gamma = 1 + \frac{1}{n}$ ist Näherung, unter der $\frac{dP}{dr}$ und $\frac{dm}{dr}$ entkoppeln.

Polytopen-Index: entartetes Gas: $n = 1,5 \Rightarrow \gamma = 5/3$ relativistisch entartetes Gas: $n = 3 \Rightarrow \gamma = 4/3$

Diverses:Teleskop-Montierungen:

äquatorial = parallaktisch: parallel zur Erdachse und hat Stundenwinkel sowie Deklinationswinkel.
azimutal: vertikale und horizontale Achse, für schwere Instrumente besser geeignet, da Gegengewicht entfällt, dafür muß die Nachführung zum Objekt in zwei Achsen erfolgen (heute Computer-gesteuert).

Sonnenbeobachtung: Heliostat: Bild dreht sich, Coelostat: durch zwei Spiegel stehendes Bild.

Bei optischen Teleskopen: „Seeing“ man erreicht nicht das theoretische Auflösungsvermögen wegen:

Bildfehler: Aberrationen: tägliche (Erdrotation), jährliche, sekuläre (Bewegung zum Apex mit 20 km/s).

Sphärische Aberration: nur achsennahe Strahlen im Fokus von sphärischen Spiegeln (Reflektoren), Parabol-Spiegel fokussieren zwar alle Strahlen, diese müssen aber alle exakt parallel zur Achse sein.

Chromatische Aberration: Refraktoren brechen Licht Wellenlängenabhängig, Fokus unterschiedlich.

Unruhe im Bild: durch Präzession bzw. Nutation der Erdachse, verursacht durch Planeten und Mond.

Verzerrungen: thermische Ausdehnung von Teleskopen, Luftschichten mit versch. Brechungsindizes.

Astigmatismus: Verzerrung des Bildes durch unterschiedliche horizontale und vertikale Krümmung.

Koma: schräg einfallende Strahlen fokussieren durch Asymmetrie (Linse und Spiegel) unterschiedlich.

Extinktion: Absorption und Streuung von Licht durch Erdatmosphäre oder Interstellare Materie.

Farb-Farb-Diagramm: Hauptreihen verschiedener Galaxien auftragen => Extinktion (farbabhängig)

Helio-Seismologie: Radialgeschwindigkeit der Sonnenoberfläche lässt auf Dichte-Oszillationen (entspricht Schallwellen) schließen; im Inneren ist die Schallgeschwindigkeit von der Dichte abhängig.

p-modes: Druckmoden der Schwingung an der Oberfläche, g-modes: Gravitationsmoden im Inneren.