

## **2.2 Alt Devler Kolu, Kırmızı Devler Kolu ve Yatay Kol**

**2.2.1 Alt devler kolu (ing. Subgiant branch - SGB)**

**2.2.2 Kırmızı devler kolu (ing. Red giant branch - RGB)**

**2.2.3 Yatay kol (ing. Horizontal branch - HB)**

## 2.2.1 Alt Devler Kolu (SGB)

Küçük ve orta kütleli yıldızlar için, yıldız zarfının tabanında bulunan hidrojen kabukta yanmaya devam eder.

Helyum çekirdek kararlı bir şekilde kütlelerini artırır ve hemen hemen izotermal olur.

Schönberg - Chandrasekhar limitine ulaşılır ve çekirdek hızlı bir şekilde küçülmeye başlar, bu durum çok daha hızlı bir Kelvin-Helmholtz zaman ölçeğinde devam eden bir evrime sebep olur. Çekirdeğin hızlı bir şekilde küçülmesiyle açığa çıkan çekimsel enerji yıldızın zarfının genişlemesine sebep olur ve bu süreç yıldızın HR diyagramında sağa doğru gitmesiyle sonuçlanır.

**Evrimin bu aşaması alt devler kolu (SGB) olarak bilinir.**



# Schönberg-Chandrasekhar limiti

İzotermal çekirdeğin kütlesi çok büyük olduğunda ve çekirdek üstündeki materyali artık taşıyamaz hale geldiğinde, hızlı bir şekilde çöker. Bir yıldızın maksimum kütle kesri ilk olarak Schönberg and Chandrasekhar (1942) tarafından öngörüldü;

$$(M_{\text{core}}/M_{\star}) \approx 0.37 (\mu_e / \mu_{\text{core}})^2 \approx 0.08 - 0.1$$

Bir yıldızın kütlesinin büyük kısmı izotermal çekirdekte toplanmış ve hala hidrostatik dengededir. Bu kütle, çekirdek ve zarfın ortalama molekül ağırlığının bir fonksiyonudur.

**İzotermal helyum çekirdeğin kütlesi bu limiti aştığında çekirdek bir Kelvin-Helmholtz zaman ölçeğinde çöker ve yıldız anakol evriminin nükleer zaman ölçeğine nazaran çok daha hızlı bir şekilde evrimleşir.**

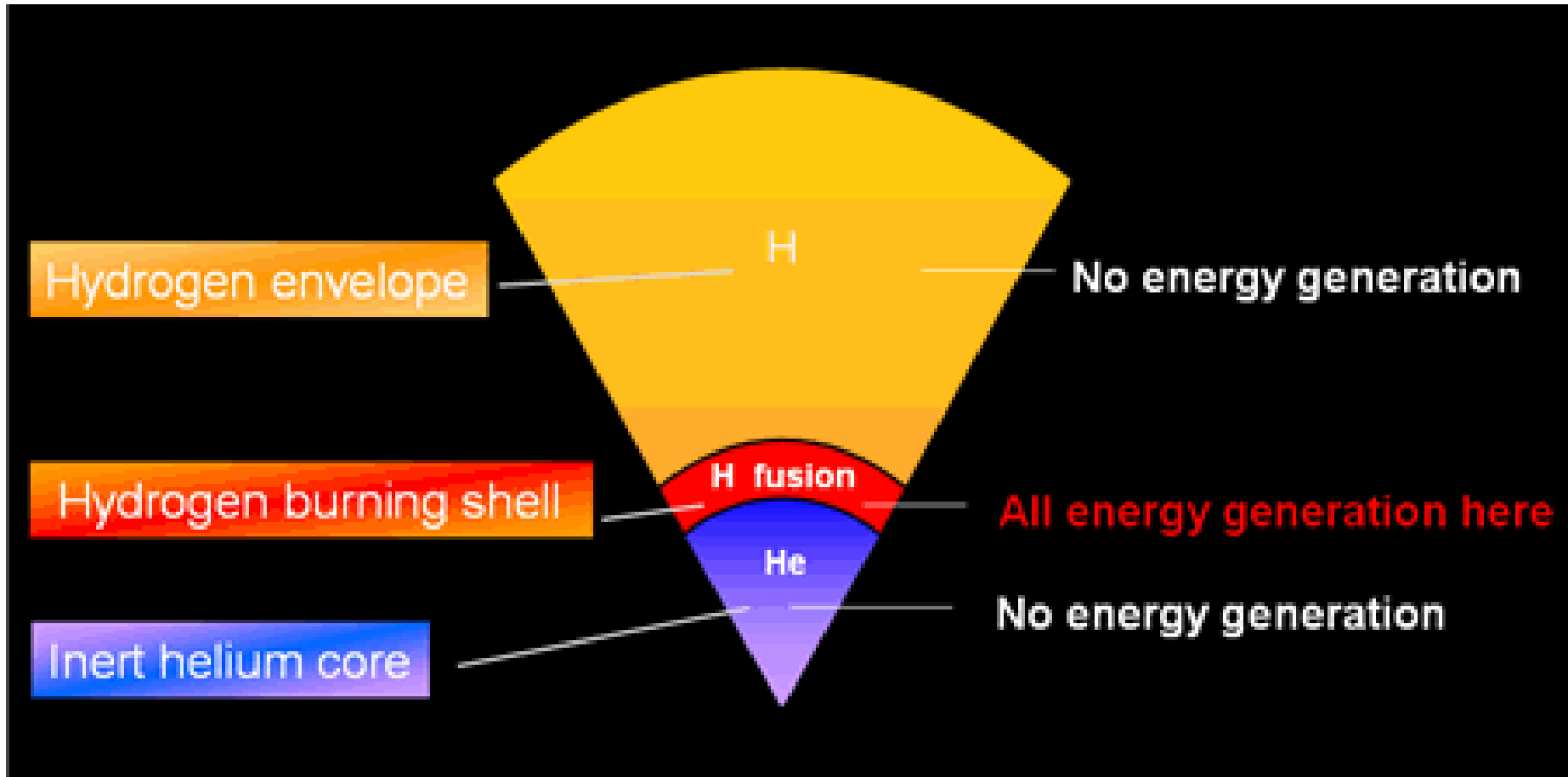
Çekirdek küçüldüğü için, çekimsel potansiyel enerji serbest kalır ve sıfırdan farklı bir sıcaklık gradyenti yeniden kurulur.

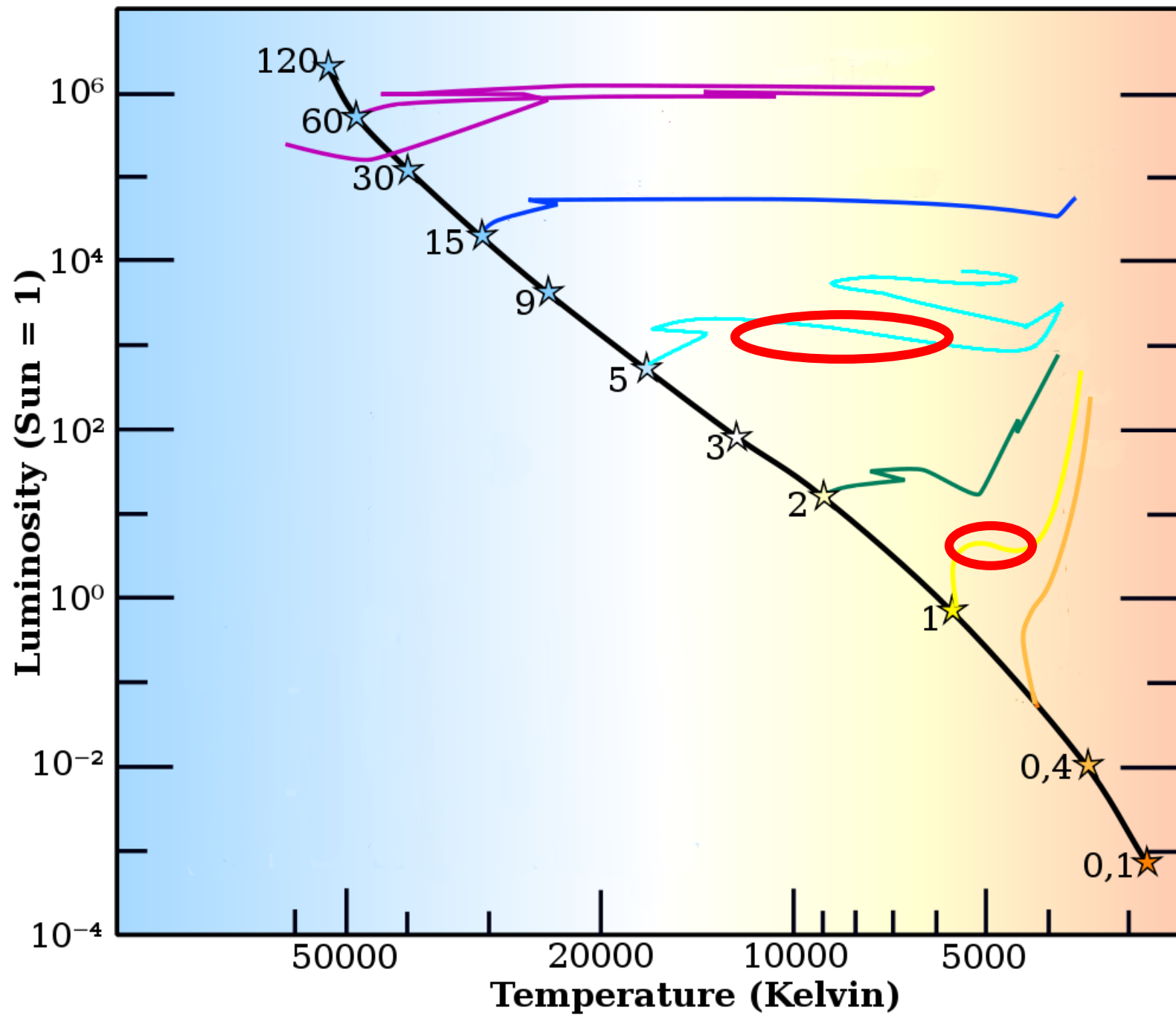
Aynı zamanda, hidrojen yakan kabuğun sıcaklığı ve yoğunluğu artar ve kabuk önemli ölçüde incelmeye başlamasına rağmen, kabuk tarafından üretilen enerji hızlı bir şekilde artar.

Yıldızın zarfı yeniden genişlediğinde, kabuk tarafından üretilen enerjinin bir kısmı yüzeye ulaşmadan soğurur.

$5M_{\odot}$  yıldız için, durum benzerdir. Kalın hidrojen yakan kabuk tüm büzülme süreçlerini takip eder, genişleyen zarf yeterli bir sürede enerjiyi soğurur ve ışınım gücü azalır.

Örneğin; Procyon ( $\alpha$  CMi)





## 2.2.2 Kırmızı Devler Kolu (RGB)

- Yıldızın zarfının genişlemesi ve etkin sıcaklığının azalmasıyla fotosferik opasite  $H^-$  iyonlarının katkısından dolayı artar.

**Sonuç olarak, hem küçük hemde orta kütleli yıldızların yüzeylerine yakın bir konveksiyon bölgesi meydana gelir.**

- Konveksiyon bölgesinin tabanı yıldızın daha derin kısımlarına kadar genişler. Yıldızın iç yapısının büyük bir kısmı boyunca gerçekleşen konveksiyonla ilişkilendirilen adyabatığe yakın bir sıcaklık gradyenti ve yüzeye taşınan enerji etkinliği ile **yıldız HR diyagramında kırmızı dev kolu boyunca hızlı bir şekilde yukarı yönde yükselmeye başlar.**



## 2.2.2 Kırmızı Devler Kolu (RGB)

Yıldız RGB ye tırmanırken, oluşan konveksiyon bölgesi daha da derinleşir taki konveksiyon bölgesinin tabanı kimyasal kompozisyonun nükleer süreçlerle modifiye edildiği bölgeye ulaşana dek. Özellikle, nükleer reaksiyon etki kesitinin oldukça büyük olmasından dolayı lityum görelî olarak düşük sıcaklıklarda ( $> 2.7 \times 10^6$  K) protonlarla çarpışmayla yanar.

**Bunun anlamı, bu noktada yıldızın evriminden dolayı lityum yıldızın iç bölgelerinin hemen hemen tamamında (kütlenin yaklaşık %98 inde) tükenmeye yakın hale gelir.**

## 2.2.2 Kırmızı Devler Kolu (RGB)

Aynı zamanda, nükleer süreçler, CNO çevrimi ile çeşitli türlerin bolluk oranlarını değiştirmesinin yanısıra yıldızın çekirdeğinde  $^3\text{He}$  ün kütle kesrini artırır.

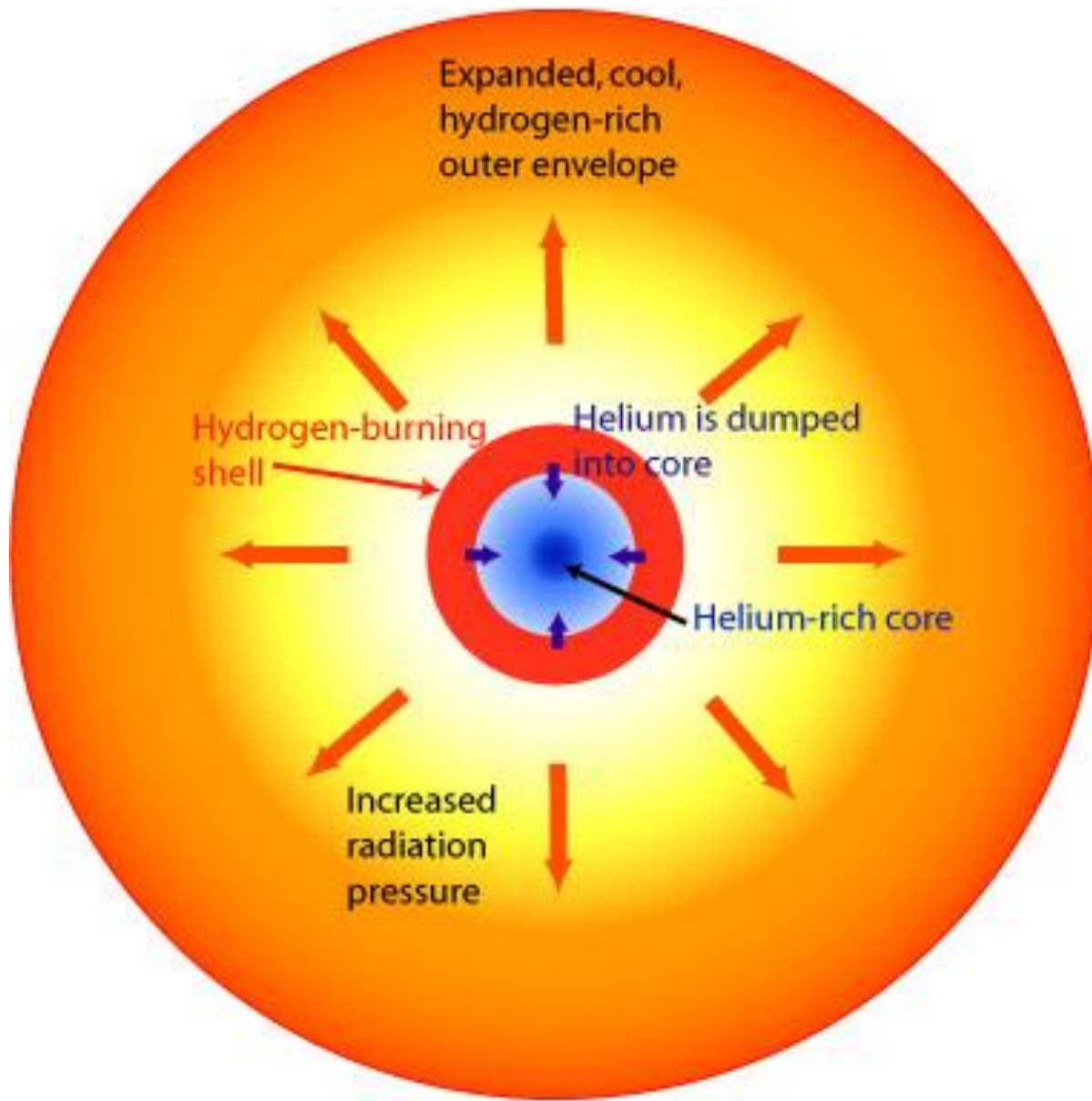
**Yüzey konveksiyon bölgesi kimyasal olarak modifiye edilmiş bu bölgeyle karşılaştığında, işlenmiş materyal üst kısımdaki materyal ile karışır.**

**Gözlenen etki, yıldızın fotosferinin kompozisyonunun değişimidir;**

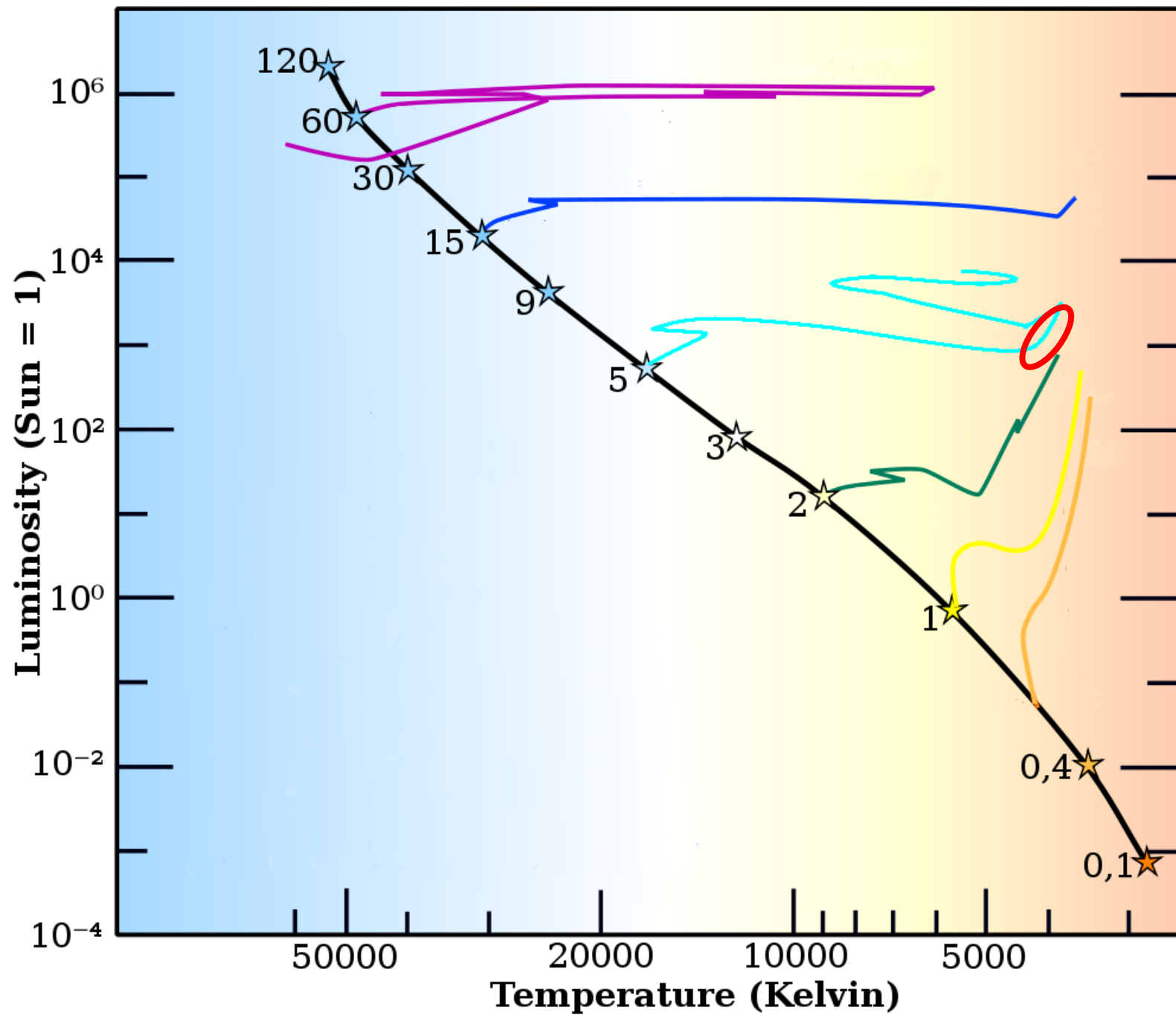
- Yüzeydeki lityum miktarı azalır ve  $^3\text{He}$  miktarı artar.
- Aynı zamanda, konveksiyon  $^{12}\text{C}$  yi içe,  $^{14}\text{N}$  ü dışa doğru taşır, böylece **gözlenen  $X_{12}/X_{14}$  oranı azalır.**

**Derin iç bölgelerden yüzeye gerçekleşen bu taşımaya ilk karışım (ing. first dredge up) safhası adı verilir.**

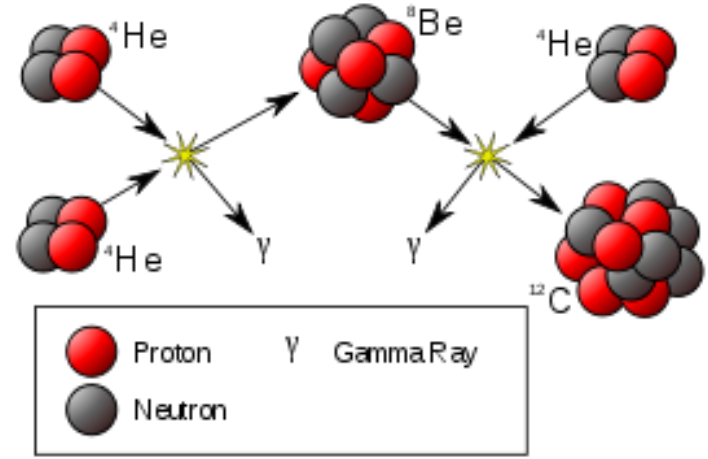
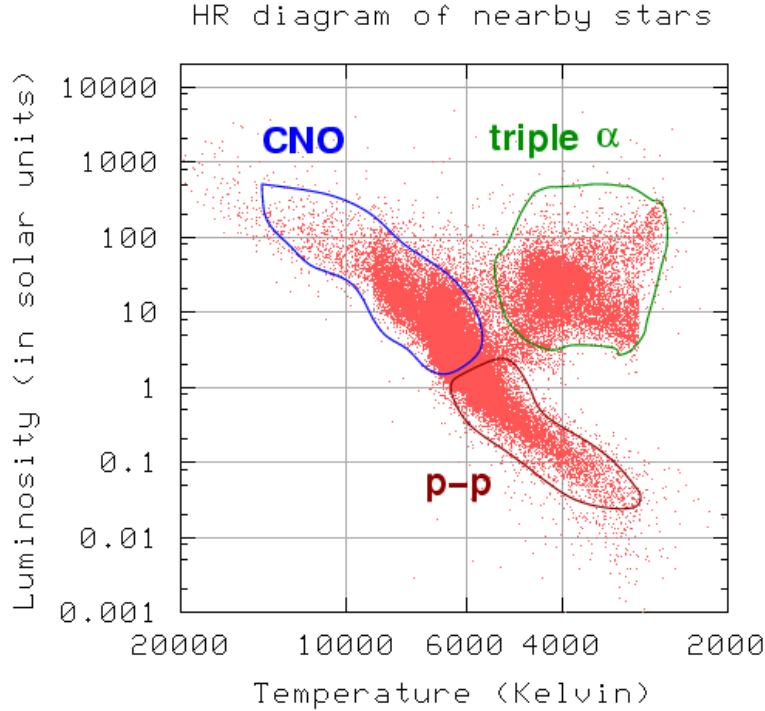
Yüzey kompozisyonunda gözlenebilen bu değişimler yıldız evrim teorilerinin doğruluğunu test etmede önemlidir.



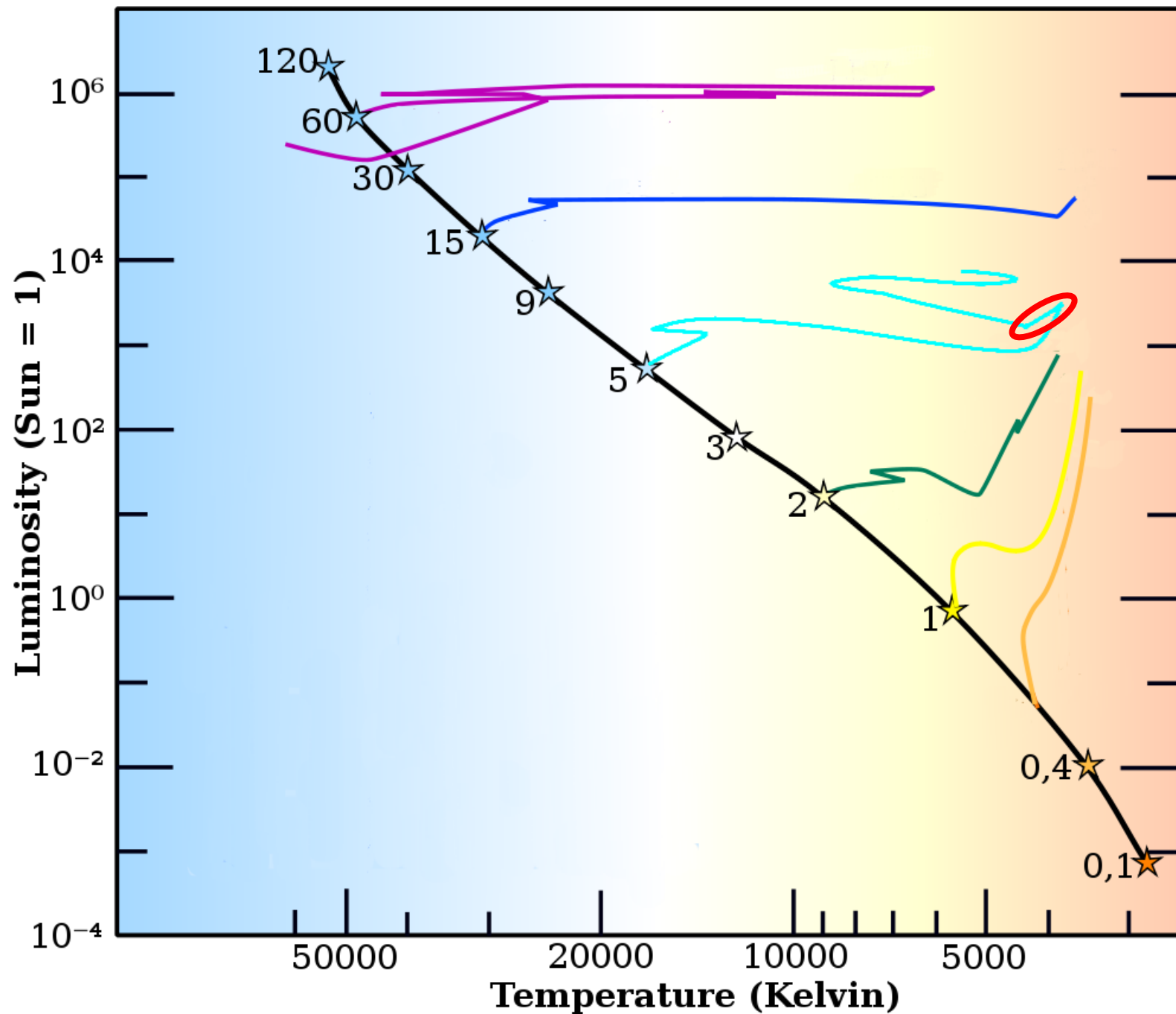
Hydrogen Shell Burning on the Red Giant Branch



- RGB nin ucunda, merkezi sıcaklık ve yoğunluk ( $130 \times 10^6 \text{K}$ ,  $7.7 \times 10^6 \text{kg/m}^3$ ) sonunda yeterince yüksek olur. Böylece üçlü  $\alpha$  reaksiyonları başlar. **Üretilen  $^{12}\text{C}$  nin bir kısmı  $^{16}\text{O}$  ya dönüştürülür.**



- Sıcaklığa bağlı, yeni ve güçlü bir enerji kaynağının başlangıcı ile, çekirdek genişler.
- Hidrojen yakan kabuğun yıldızın ışınım gücünün temel kaynağı olarak kalmasına rağmen, çekirdeğin genişlemesi hidrojen yakan kabuğu dışa doğru iter, soğuma gerçekleşir ve böylece kabuğun enerji çıktı oranı bir dereceye kadar azalır.
- Sonuç, yıldızın ışınım gücündeki ani bir azalmadır.
- Aynı zamanda, zarf büzülür ve etkin sıcaklık yeniden artmaya başlar.





# Helyum Çekirdek Parlaması (ing. The Helium Core Flash)

Kütlesi  $<2M_{\odot}$  yıldızlar için, helyum çekirdek RGB nin ucuna kadar evrim boyunca büzölmeye devam eder ve **çekirdekte güçlü bir şekilde elektron dejenerasyonu** meydana gelir.

Dahası, RGB nin ucuna ulaşmadan önce yıldızın çekirdeğinden kaybedilen nötrinolardan dolayı merkeze yakın negatif bir sıcaklık gradyenti oluşur. Kaçan nötrinolarla dışarı taşınan enerjiden dolayı çekirdek soğur.

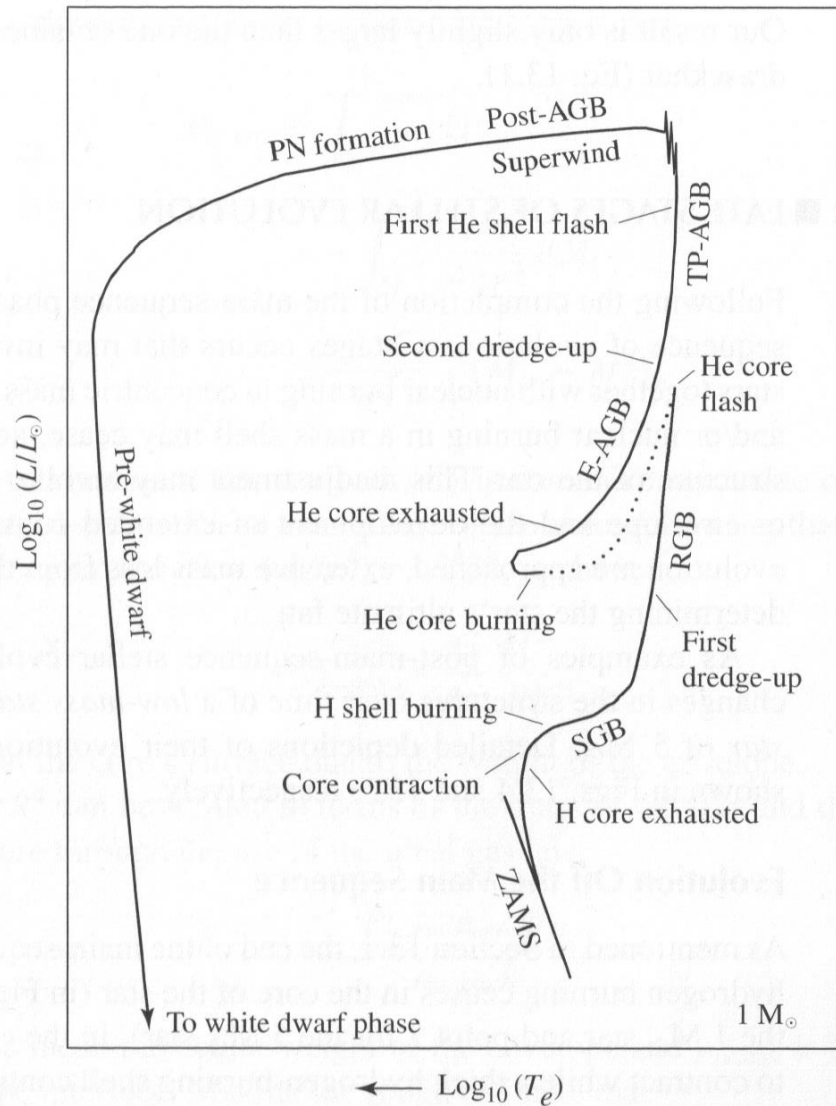
**Sıcaklık ve yoğunluk üçlü  $\alpha$  reaksiyonlarını başlatmak için yeterli olduğunda, ortaya çıkan enerji salınımı patlamalı bir şekilde olur.** Helyumun ateşlenmesi ilk olarak yıldızın merkezi etrafındaki bir kabukta meydana gelir ancak çekirdeğin tamamı çabucak sürece dahil olur ve negatif sıcaklık gradyenti daha üst katmanlara yükseltilir.

- **Helyum yakan çekirdek tarafından üretilen ışınım gücü  $10^{11}L_{\odot}$  (bir galaksinin ışınım gücüyle kıyaslanabilir düzeyde) değerine ulaşır.** Ancak bu muazzam enerji salınımı yalnızca bir kaç saniye sürer ve enerjinin çoğu asla yüzeye ulaşamaz. Onun yerine, zarfın üst tarafında bulunan katmalar tarafından soğurulur. Bu süreç, yıldızın yüzeyinden kütle kaybedilmesine sebep olan mümkün süreçtir. Küçük kütleli yıldızların evrimindeki bu kısa ömürlü safhaya **helyum çekirdek parlaması** adı verilir.
- **Patlamalı bir süreçle serbest bırakılan enerjinin kaynağı, dejenere olmuş elektron basıncının sıcaklığa çok zayıf bir şekilde ve üçlü  $\alpha$  sürecinin sıcaklığa güçlü bir şekilde bağlı olmasıdır.**
- Üretilen enerji, ilk olarak dejenerasyonun katmanlar boyunca yükseltilmesi için harcanır. Bu gerçekleştikten hemen sonra, enerji, çekirdeğin genişlemesi için gerekli termal (kinetik) enerji olarak harcanır. **Bu durumda, yoğunluk azalır, sıcaklık azalır ve reaksiyon oranı yavaşlar.**

## 2.2.3 Yatay Kol (HB)

- Hem küçük hemde orta kütleli yıldızlar için, RGB nin sonuna gelindikten sonra yıldızın zarfı büzölmeye başlar. Böylece hidrojen yakan kabuk daha çok sıkışır ve bu durum kabuktan enerji çıkışına sebep olur.
  - Yıldızdan çıkan bu enerji onun HR diyagramında yukarı yönde tekrar hareket etmesine sebep olur.
- Etkin sıcaklıktaki artışla ilişkili olarak, zarftaki derin konvektif bölge yüzeye doğru yükselir, diğer taraftan konvektif bir çekirdek gelişir.
  - Konvektif çekirdeğin ortaya çıkışının sebebi üçlü  $\alpha$  sürecinin sıcaklığa son derece duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır.

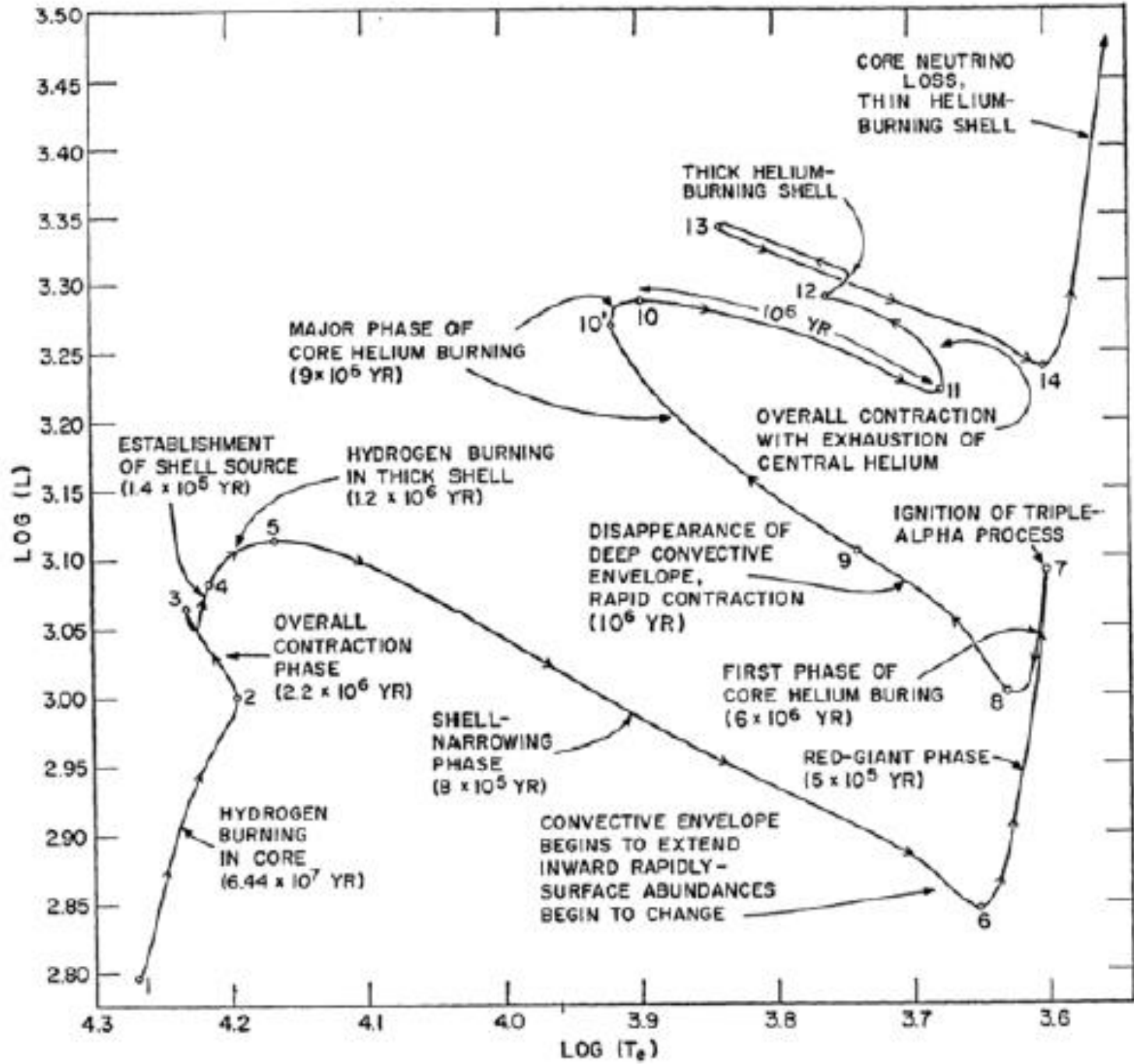
Yatay yönde gerçekleşen bu evrim yatay kolun mavi kısmını oluşturur. Yatay kolun mavi kısmı, hidrojen yakan bir anakol yıldızının helyum yakan özdeşidir. Tek bir farkla; zaman ölçeği çok daha kısadır.



**FIGURE 13.4** A schematic diagram of the evolution of a low-mass star of  $1 M_{\odot}$  from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The dotted phase of evolution represents rapid evolution following the helium core flash. The various phases of evolution are labeled as follows: Zero-Age-Main-Sequence (ZAMS), Sub-Giant Branch (SGB), Red Giant Branch (RGB), Early Asymptotic Giant Branch (E-AGB), Thermal Pulse Asymptotic Giant Branch (TP-AGB), Post-Asymptotic Giant Branch (Post-AGB), Planetary Nebula formation (PN formation), and Pre-white dwarf phase leading to white dwarf phase.

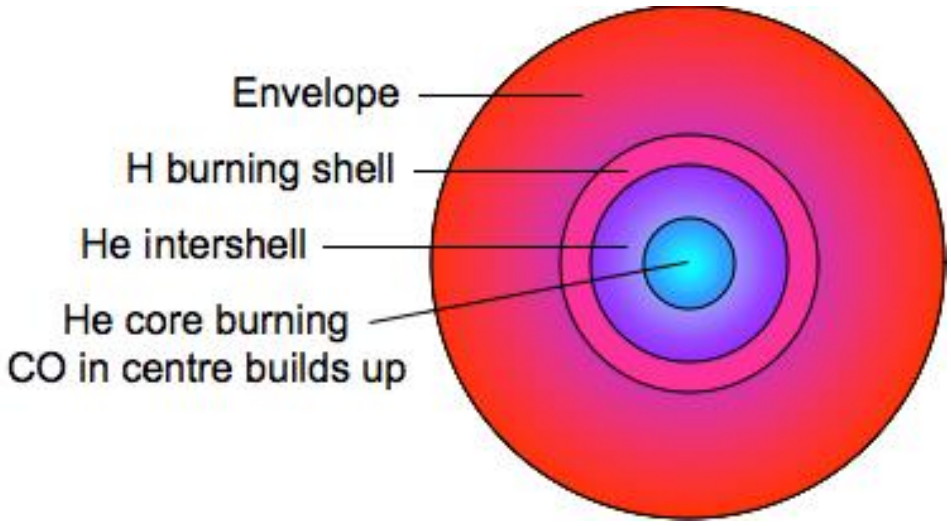
FIG. 1. The path of a metal-rich  $5M_{\odot}$  star in the Hertzsprung-Russell diagram. Luminosity is in solar units,  $L_{\odot} = 3.86 \times 10^{33}$  erg/sec, and surface temperature  $T_s$  is in deg K. Traversal times between labeled points are given in years.

ibsen 1967

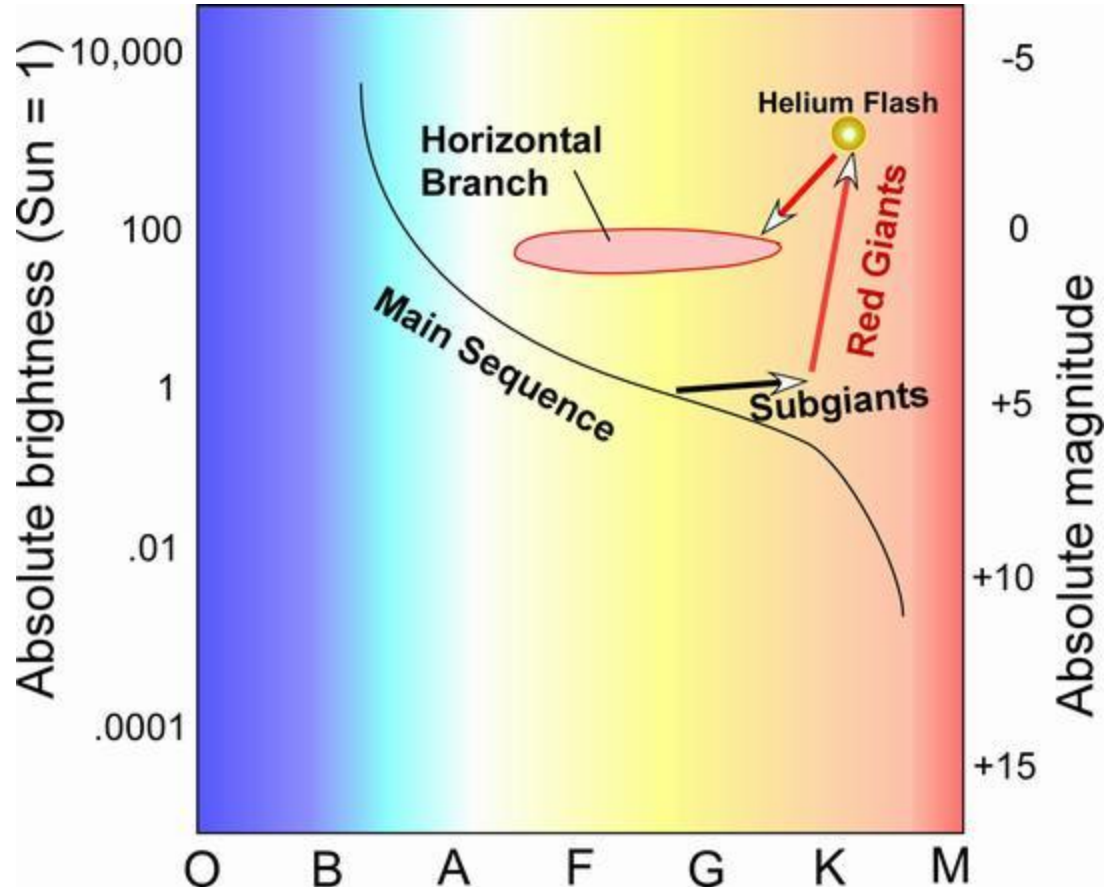


- Yıldız evriminin en mavi noktasına ulaştığında, çekirdeğin ortalama moleköl ağırlığı çökmeyi başlatacak kadar artmıştır.
  - Bu süreç, yıldızın zarfının genişlemesi ve soğumasıyla gerçekleşmektedir.
- Yatay kolun kırmızı kısmına ulaştıktan kısa bir süre sonra, çekirdekdeki helyum tamamen karbon ve oksijene dönüştürülerek tüketilir. İç CO çekirdek büzüldüğünden, kırmızı tarafa doğru evrim hızlı bir şekilde devam eder.
- Yatay kol boyunca uzanan bu geçiş süresince, yıldızların çoğunun dış zarflarında kararsızlıklar ortaya çıkar. Bu kararsızlıklar; ışınım gücü, sıcaklık, yarıçap ve yüzey radyal hızında gözlenen değişimler olan periyodik pulsasyonlara yol açar.





## Yatay kol yıldızının yapısı



## Yatay kol yıldızlarının H-R diyagramındaki yeri

- Çekirdeğin büzülmesiyle ilişkili olan sıcaklık (çekirdek sıcaklığı) artışıyla, CO çekirdeğinin dışında helyum yakan kalın bir kabuk gelişir.
  - Çekirdek sürekli büzülmeye devam ettiğinden, helyum yakan kabuk daralır ve güçlenir.
  - Bu, hidrojen yakan kabuğun geçici bir dönüm noktasında olması ile sonuçlanır.
- Helyum tüketmiş çekirdeğin büzülmesi boyunca, nötrino üretimi çekirdeğin birazcık soğuduğu noktaya doğru artar.
  - Merkezi yoğunluğun artması ve sıcaklığın azalmasının bir sonucu olarak, elektron dejenerasyon basıncı karbon ve oksijenden oluşan çekirdekteki toplam basıncın önemli bir bileşeni olur.