

Yıldızların Yapısı ve Evrimi

Anakol Sonrası Evrim

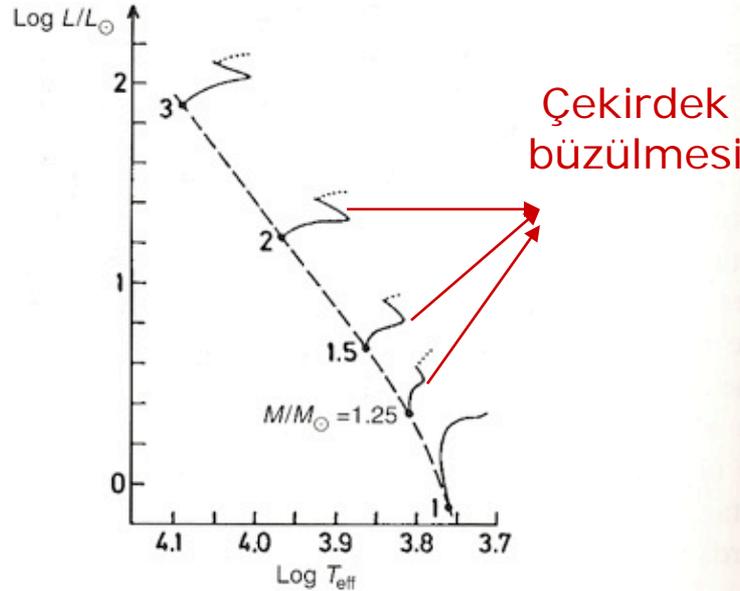
Anakol Evriminin Sonu

- Anakolda yıldız hidrostatik dengede ve çekirdekte hidrojenini yakıp helyuma çevirecek yeterli sıcaklığa sahip.
 - Şimdi yıldız kimyasal olarak iki farklı bölgeye sahip. Çekirdekte He külü ve onu saran H zarfı. Çekirdekteki sıcaklık helyumu yakmak için yeterli sıcaklığa sahip değil.
 - Küçük kütleli yıldızlarda yeni bir evrim süreci başlar ve yıldız Kırmızı Dev Koluna (KDK, RGB) doğru yükselir.
-

Anakol Evriminin Sonu

- Büyük kütleli ana kol yıldızlarında ise enerji üretimi bittiği için çekirdek kendisini dengede tutamaz ve büzölmeye başlar ve çekirdeğin çapı küçölmeye başlar. Bu çökme sıcaklığı artırır.
 - Bu sıcaklık çekirdeği saran H kabuğuna taşınır ve oradaki hidrojeni yakacak sıcaklığa erişir.
 - Kabukta hidrojen yanmaya başlar.
-

Çekirdek Büzülmesi

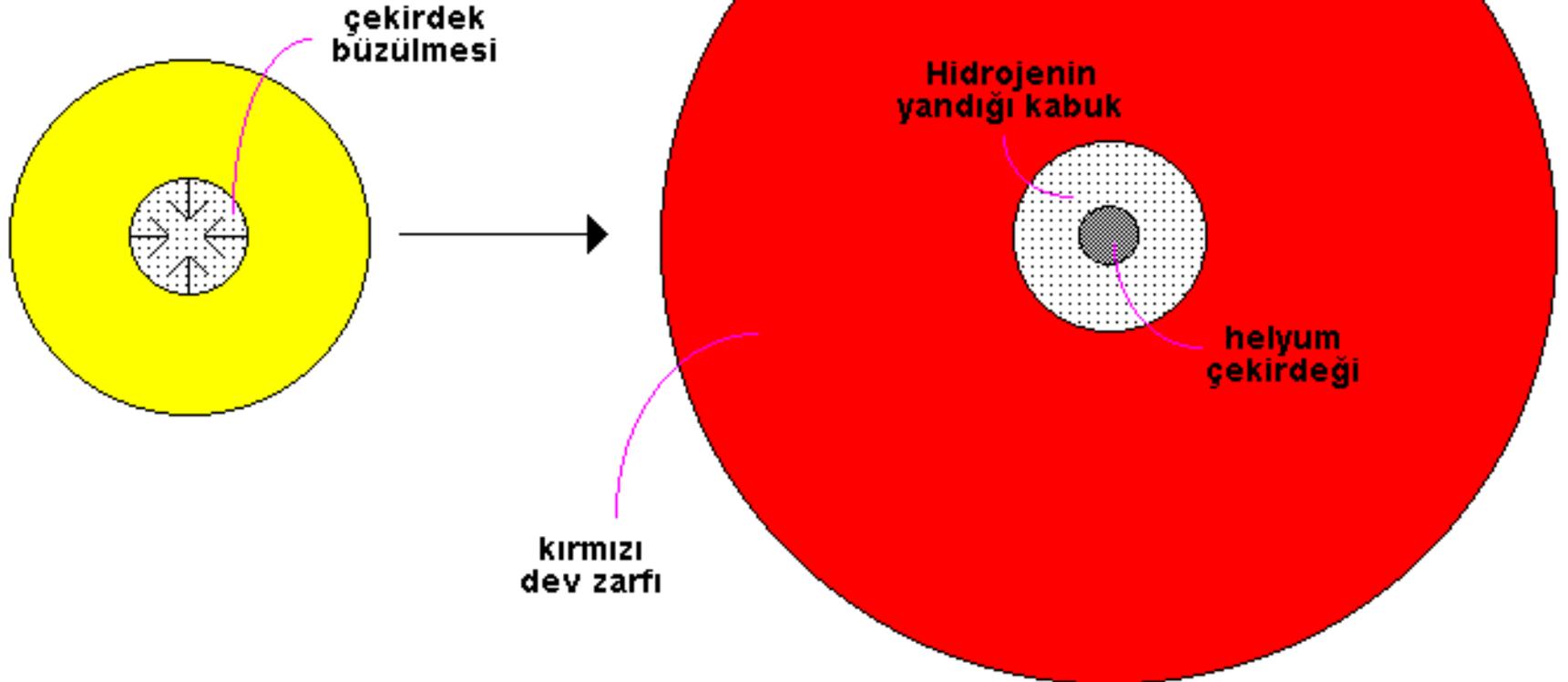


İşımasal ve
Konvektif
çekirdekler
arasındaki
fark?

Fig. 10.8. Evolution from the main sequence. Low-mass stars with radiative cores evolve smoothly from core burning into shell burning, and the track in the HR diagram is a smooth curve (e.g. $1 M_{\odot}$). Higher-mass stars with convective cores have a period of overall contraction before shell burning starts, and there is a leftward hook in the evolutionary track. (From Kippenhahn and Weigert, 1990.)

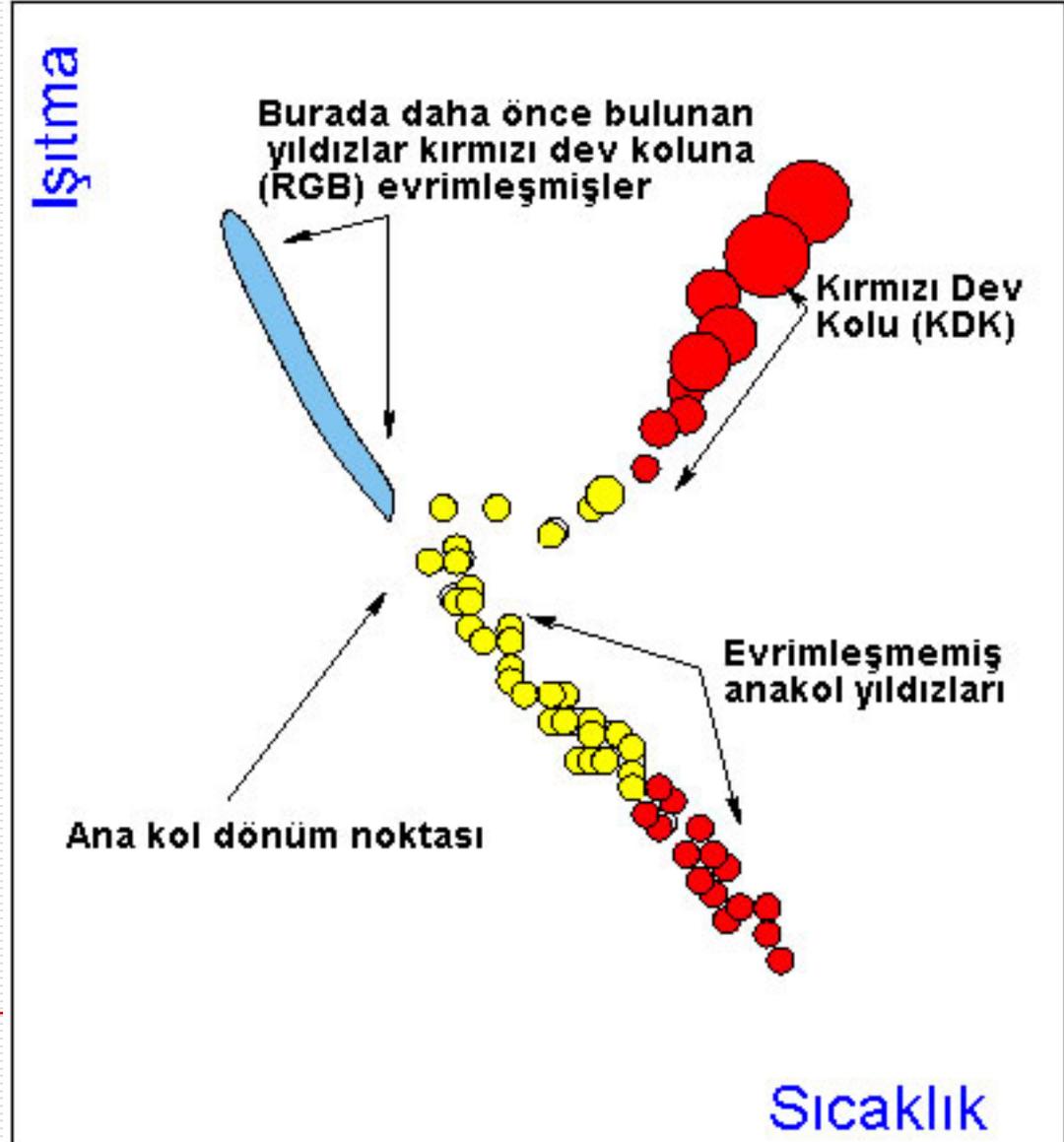
Anakol Evriminin Sonu

Hidrojenin Yandığı Kabuk



Anakol Sonrası Evrim

Küme yaşlandıkça anakolun dönme noktasındaki yıldızların kütleleri azalır. Dolayısıyla dönme kolundaki yıldızın kütlesini saptadığımızda kümenin yaşını saptamış oluruz.



Anakol Sonrası Evrim

- Kümenin yaşı, dönme noktasındaki yıldızların anakol yaşam süresine eşittir.
 - Birçok kümenin yaşını saptadığımızda ilginç sonuçlara varırız.
 - Kümelerin yaşlarının 0 ile 13 milyar yıl arasında olduğunu görüyoruz.
 - Genç kümeler Samanyolunun diskinde ve çok genç olanları gaz ve toz bulutları içinde bulunmakta
-

Anakol Sonrası Evrim

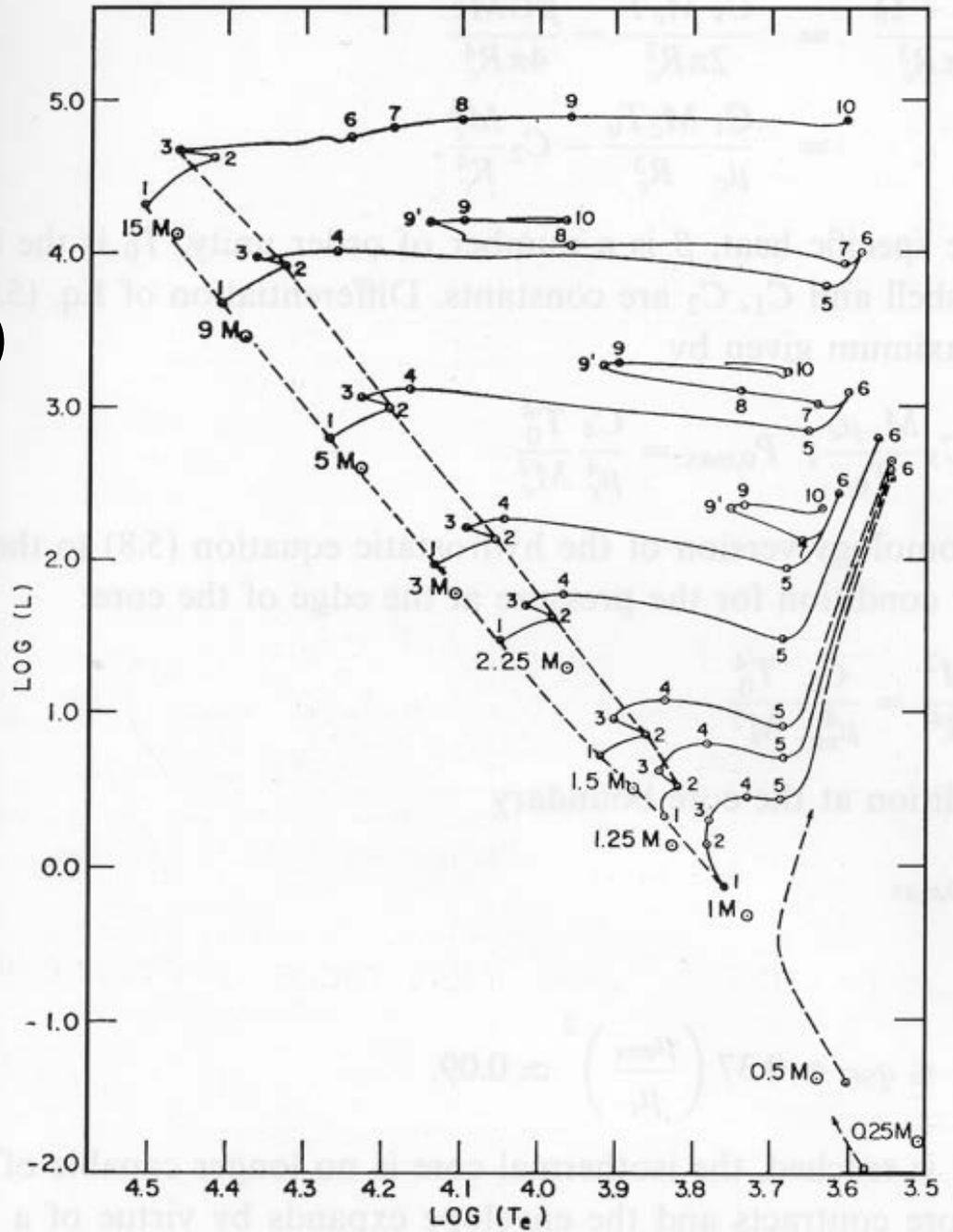
- Yaşlı kümeler halo ve bulge bölgesinde
 - Yaşlı kümenin yıldızlarında metal çok az.
 - Elementlerin bollukları zamanla değişiyor.
 - O zaman şu sonuca varabiliriz.
 - Samanyolunun önce halo ve bulge bölgesi oluştu ve geri kalan gaz ve toz gökadanın dönmesi ile diskte toplandı ve yıldız oluşumu halen devam etmekte.
-

Anakol Evriminin Sonu

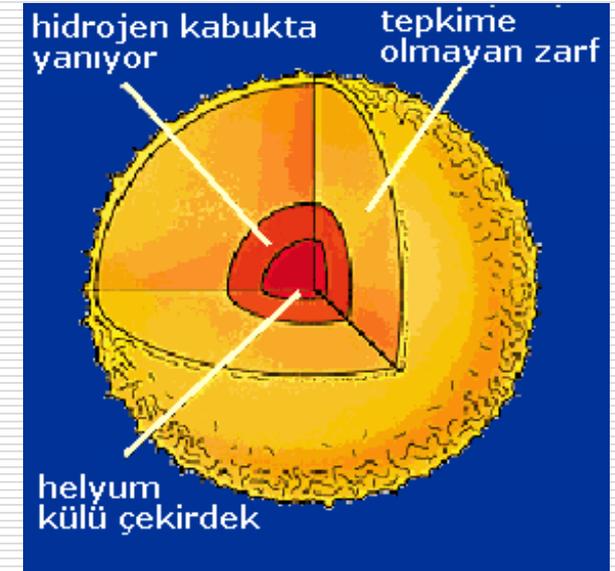
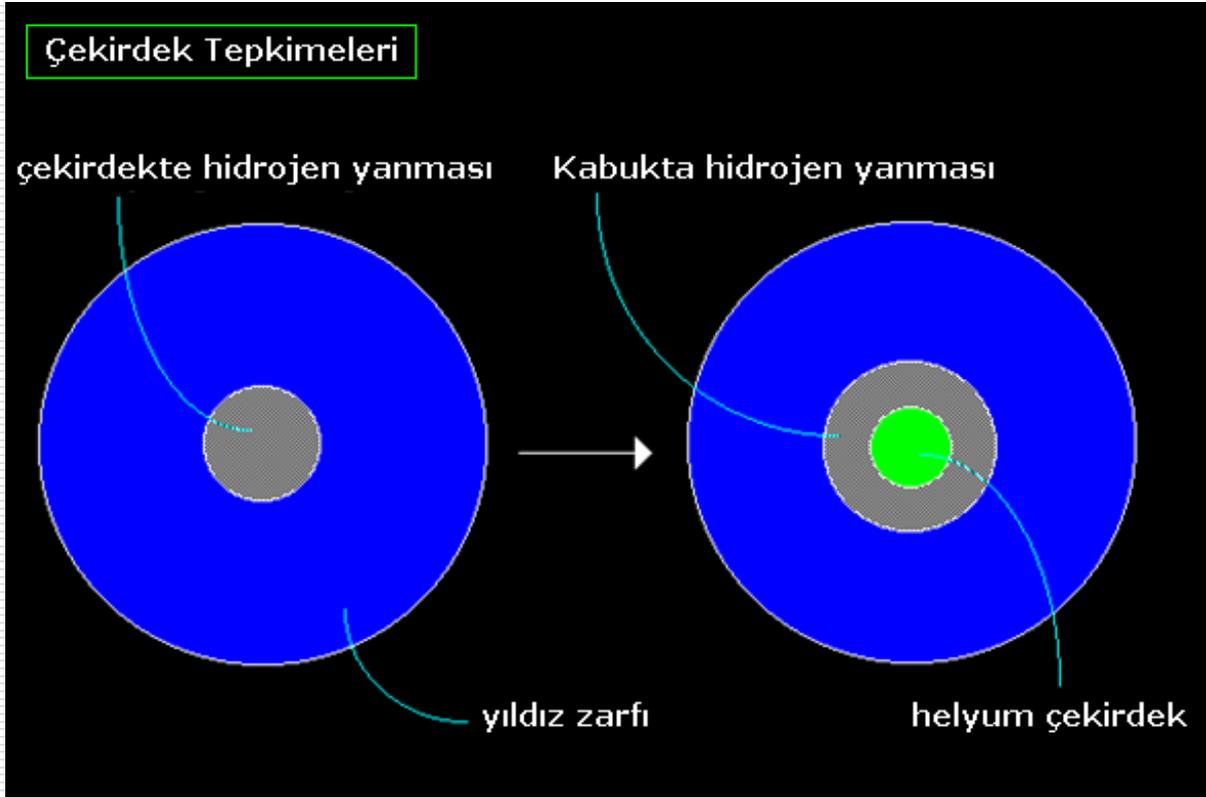
- Çekirdek büzölmeye devam ettikçe hidrojenin yandığı kabukta sıcaklık artmaya devam eder, dolayısıyla basınç artar ve yıldızın ışıması yavaşça artar.
 - Bu durumda artık yıldız hidrostatik dengede değildir ve zarf genişlemeye başlar.
 - Genişledikçe bu dış katmanlar soğumaya başlar. Yıldızın ışıması hafif artarken soğuduğundan dolayı kırmızılaşır ve yavaşça KDK'a doğru yükselir.
 - Bu dengesizlik, yıldız yeni bir çekirdek enerji kaynağı buluncaya kadar devam eder.
-

Ana Kol

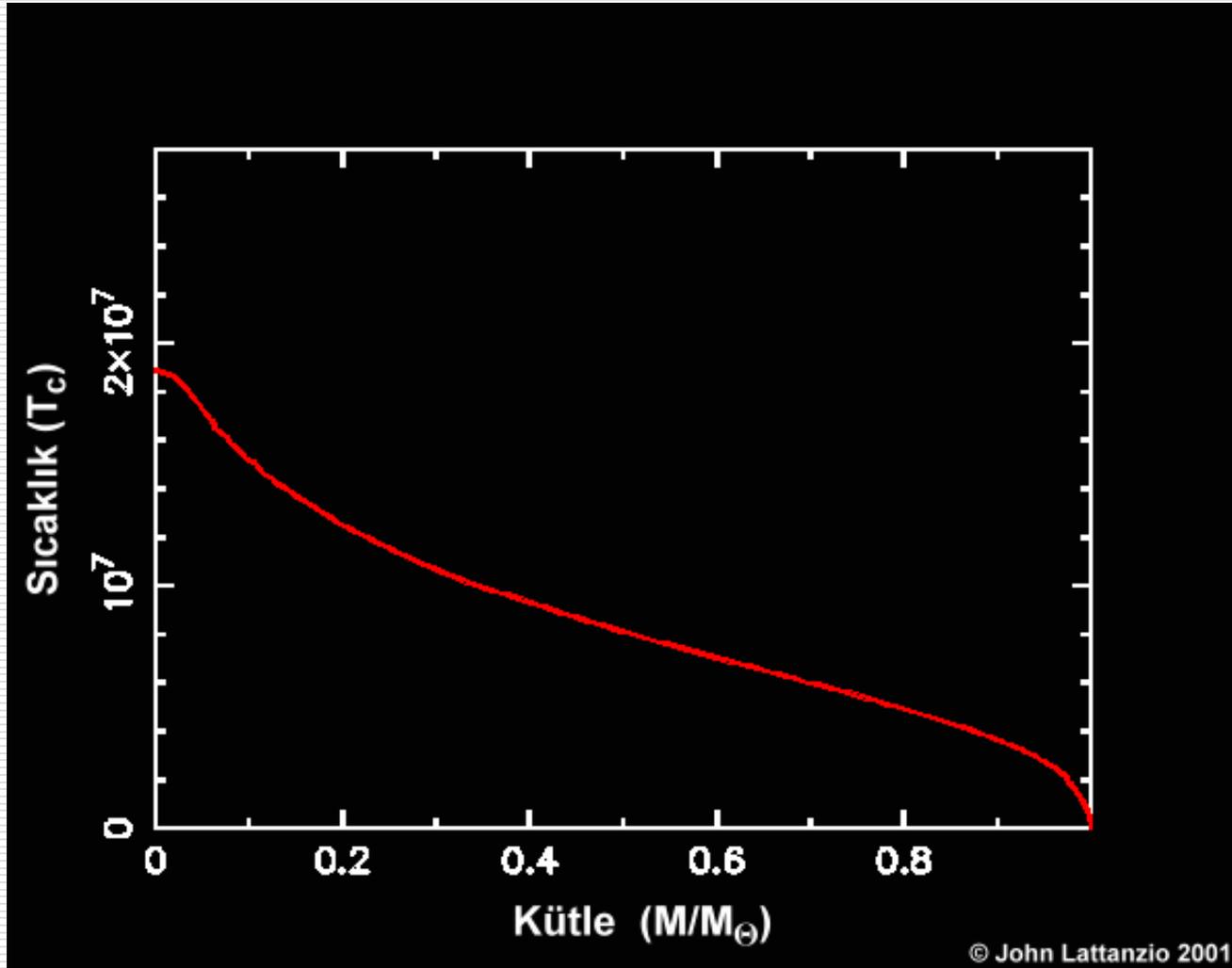
Yıldızların kütlesi, SYAK'daki (ZAMS) kütlesi olarak verilir. 1 ile gösterilen noktaların birleşimi anakolu, 2 ile gösterilen noktaların birleşimi AKTÇ'yi verir.



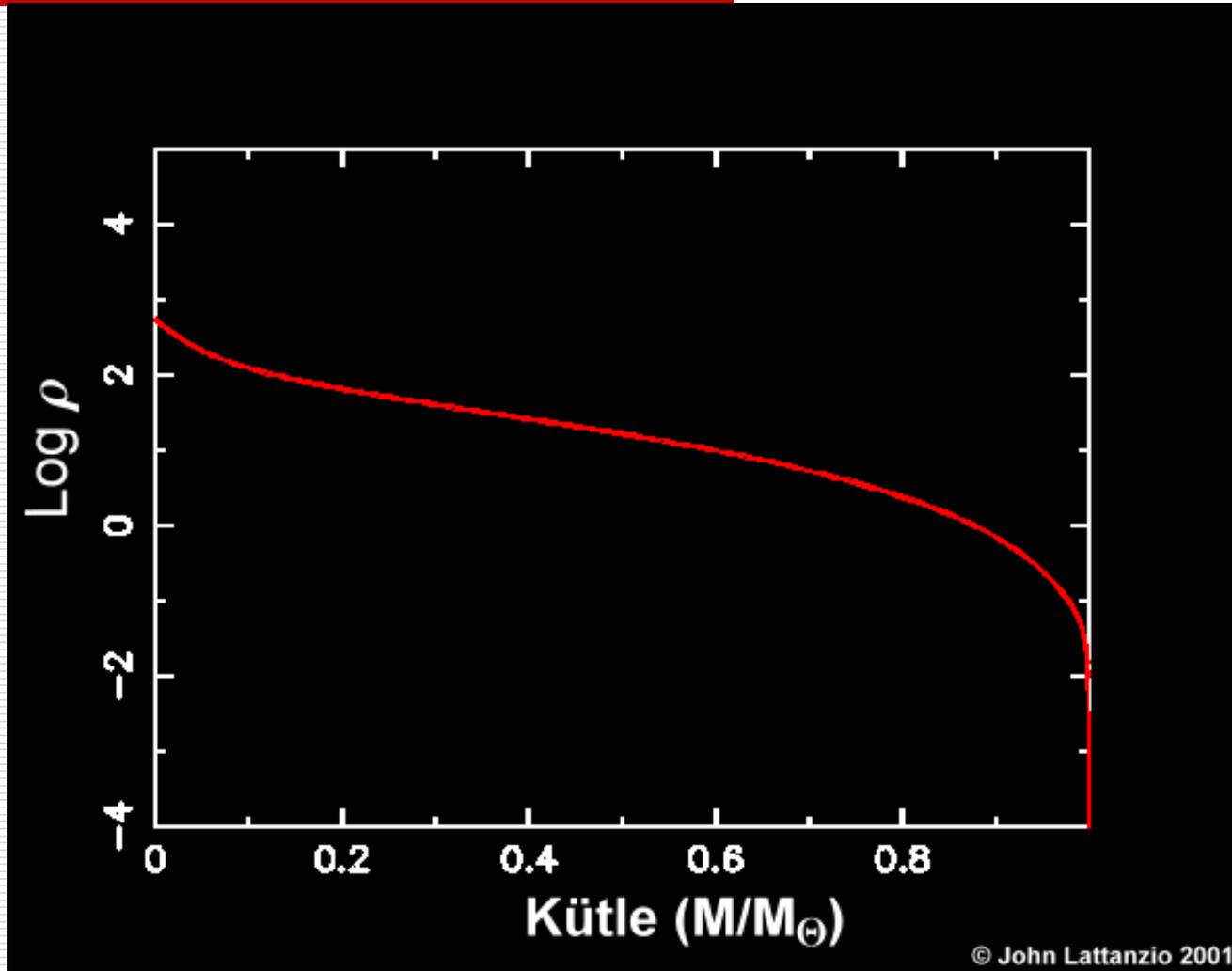
Anakol Evriminin Sonu



Merkezi Sıcaklıkta Değişim

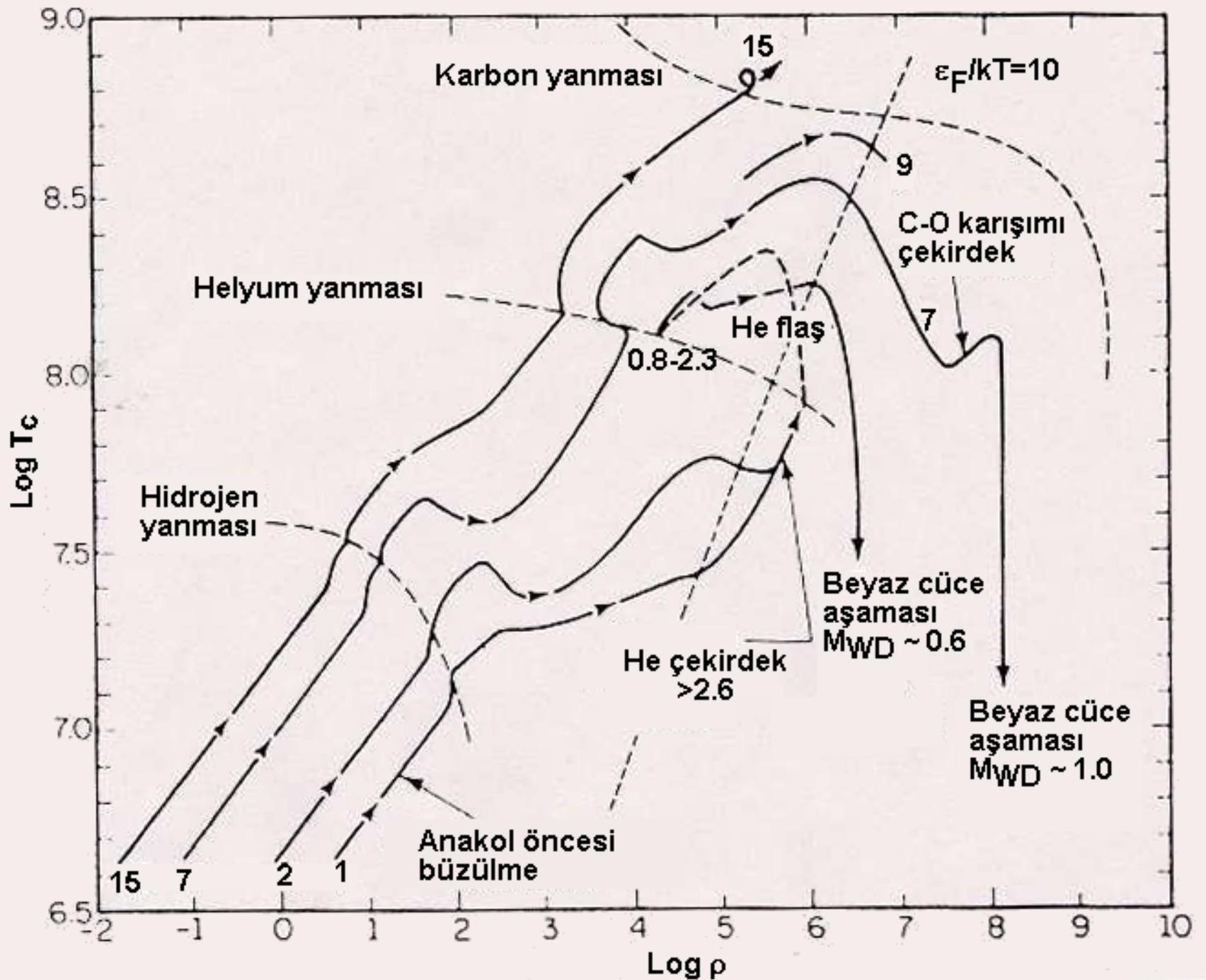


Yoğunlukta Değişim



Kütle Ne Olmalıdır?

Yanan element	Yakmak için gerekli anakol kütlesi	Yanması için gerekli sıcaklık	Yaklaşık yoğunluğu	Dejenere elektron için minimum yoğunluk
Hidrojenin yanması H → He	0.1	$4 * 10^6$	$10^1 - 10^2$	10^3
Helyumun yanması He → C	0.4	$120 * 10^6$	$10^3 - 10^6$	10^5
Karbonun yanması C → Ne, Mg, Si	4.0	$600 * 10^6$	$10^5 - 10^8$	10^7
Diğerlerinin yanması Si → Ni, Fe	8.0	$1 - 3 * 10^9$	$> 10^7$	10^9



Helyum Parlaması

- Çekirdekteki helyum külünün yanması için sıcaklığın 100 milyon K'e (10^8) çıkması gerekir. Yıldızın helyumunu yakması onun kütlesine bağlıdır.
 - Kütlesi $M > 3M_{\odot}$ olan yıldızlar hızla büzülür ve çekirdeklerini ısıtırlar ve helyumunu yavaş yavaş yakmaya başlar.
 - Küçük kütleli yıldızlar daha yavaş evrimleşirler ve çekirdek o kadar çok büzülür ki madde dejenere olur.
-

Helyum Parlaması

- Sıcaklık yeterli miktara gelince helyum yanmaya başlar ve dolayısıyla T daha da artar fakat basınç madde dejenere olduğu için artmaz. Dejenere elektron basıncı.
 - Helyumun yanmaya devam etmesi sıcaklığı artırır ve sonuç olarak patlama meydana gelir. Birkaç dakika süren bu helyum parlaması tüm galaksiden daha fazla ısıtma üretir. Bu parlama yıldızı imha etmez çünkü zarf enerjiyi soğurur.
-

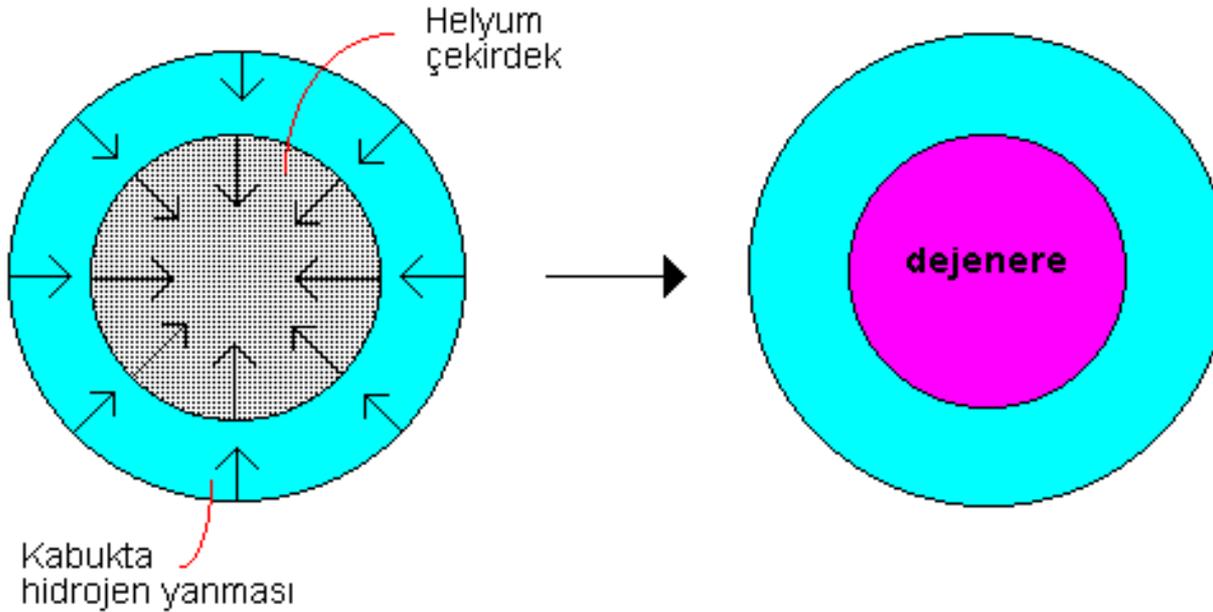
Kırmızı Devin Yapısı

- Şimdi çekirdeğin sıcaklığı $T \sim 10^8$ K'e yükselmiştir, bu sıcaklık He'un yanarak karbon üretmesi için minimum sıcaklıktır.
 - Yıldız tam statik dengede değildir. Yıldızın KDK yaşam süresi onun anakol yaşam süresinin yaklaşık %10'u kadardır.
 - He'un yanarak karbona dönüşmesi sonucu çekirdekte üretilen enerji, kabukta hidrojenin helyuma dönüşmesi ile elde edilen enerjiden çok fazladır.
-

Dejenere Çekirdek

Dejenere çekirdek

Kırmızı dev yıldızlarda kabukta yanan hidrojen çekirdeğe helyum depolar. Helyum çekirdek kütle olarak artar ve büzölmeye başlar



Büzölme elektronlar dejenere oluncaya kadar çekirdeğin basınç ve yoğunluğunu artırır. Basıncıta değişim fazla olmadığı için çekirdek ısı 3-alfa tepkimeleri başlayıncaya kadar artmaya devam eder.

Küçük Kütleli Kırmızı Devler

Küçük kütleli yıldızlar iki farklı kırmızı dev aşaması geçirirler.

1. Kabukta hidrojen yanmaya başladığında kırmızı dev (KD) olurlar
 2. Çekirdekte He yanmaya başladığında yatay kol (HB) yıldızı,
 3. Çekirdekte He yanması bittikten sonra kabukta yanmaya başlar işte bu evrede Asimtotik Dev Kolu (ADK, AGB) yıldızı olurlar.
-

Küçük Kütleli Kırmızı Devler

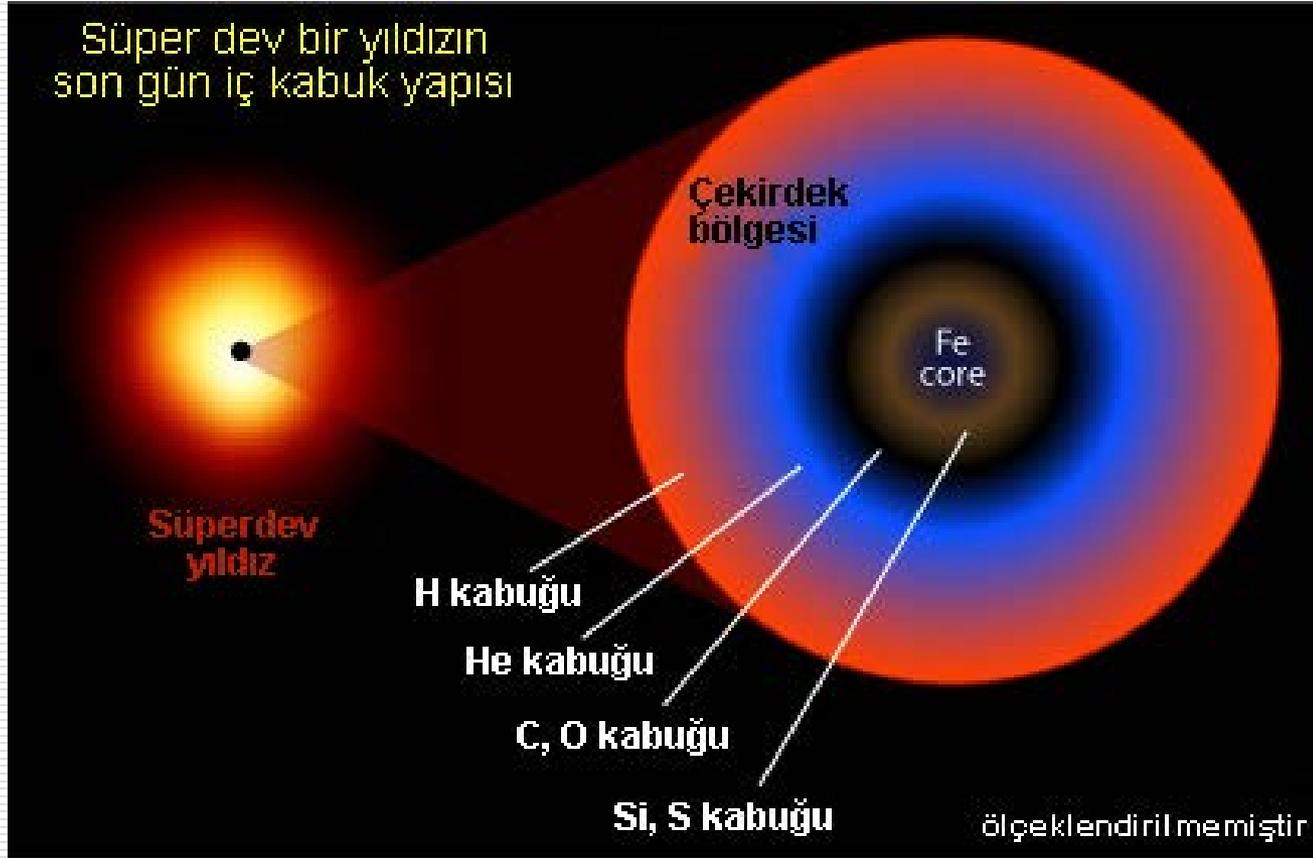
- CO çekirdeği büzülmeye başlar, bu durumda çekirdek üstündeki katmanlar genişler. Kabukta hidrojen yanması iyice söner.
- Yine bu evrede CO çekirdek dejenere hale gelir.
- Zarf genişleyip soğuyunca konveksiyon çok derinlere sönük H kabuğuna kadar iner. Kütle $4 M_{\odot}$ 'den büyük ise konveksiyon He'un yandığı kabuğa kadar iner ve ikinci karışım meydana gelir.

Küçük Kütleli Kırmızı Devler

Kabukta He yanması H'in söndüğü katmana kadar geldiğinde H tekrar kabukta yanmaya başlar.

Çift kabuk yanma evresi başlar. Her iki kabuk aynı anda büyümez ve alttaki He yanan kabukta bir takım ısıl zonklama meydana gelir. Isıl zonklayan ADK evresi başlar. Bu zonklamalar sırasında yıldız çok yüksek kütle kaybına uğrar. Yılda $10^{-4} M_{\odot}$ kütle kaybedebilir.

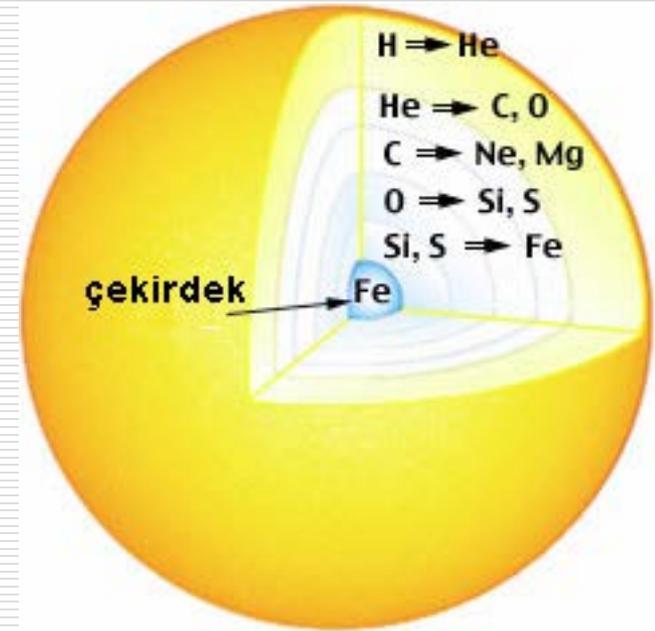
Kırmızı Süperdev Yıldız



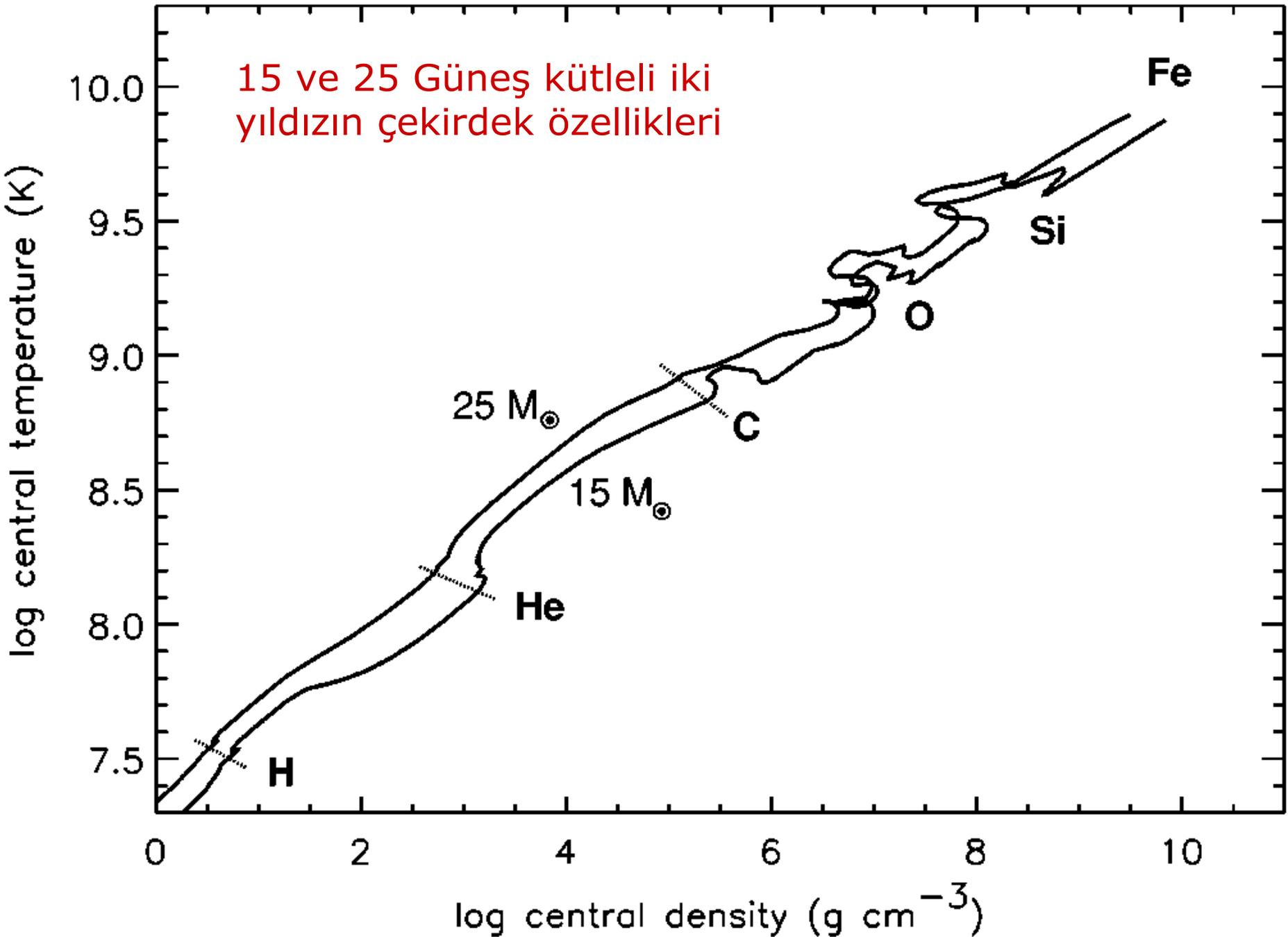
Yüksek Derecede Evrimleşmiş Yıldız Yapısı

Büyük kütleli yıldız yaşamının son evresinde, demirce zengin bir çekirdeğe sahiptir. Çekirdeği saran farklı kabuklarda farklı nükleer tepkimeler vardır.

Nükleer tepkime zinciri burada durur çünkü demirden daha kütleli elementler enerji vermezler ve yıldız patlar.

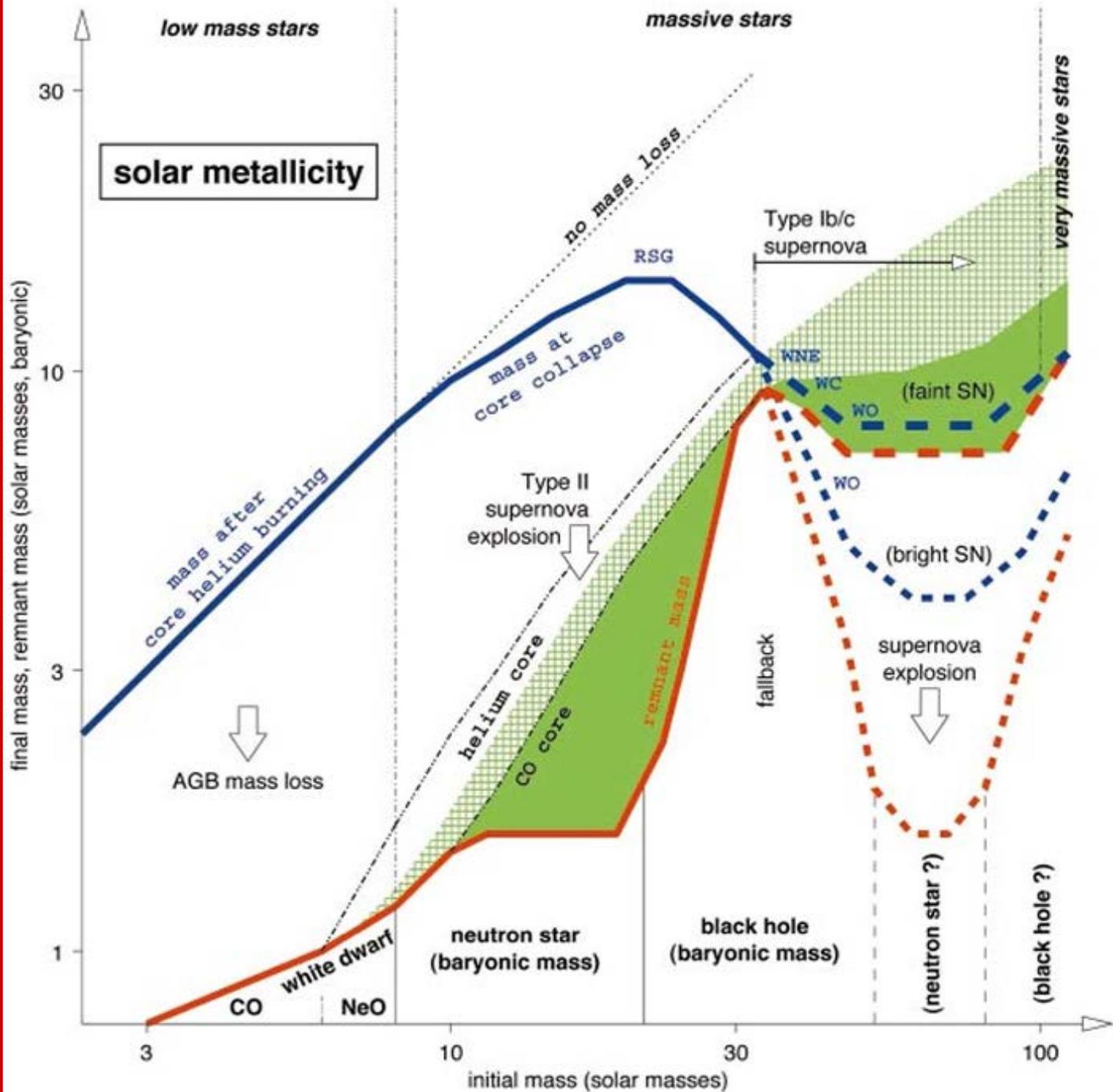


15 ve 25 Güneş kütleli iki yıldızın çekirdek özellikleri



Yıldız Evriminin Son Evresi

- Yaşamlarının son evresinde yıldızların kaderini çizen onların doğumunda sahip oldukları kütledir.
 - İlk kütlesi 8 güneş kütlesinden küçük olan yıldızlar yaşamlarına beyaz cüce olarak son verirler. Yıldız kırmızı dev zarfını döker ve atıl dejenere çekirdek pasif olarak soğur.
 - İlk kütlesi 8 güneş kütlesinden büyük olan yıldızlar yaşamlarını süpernova olarak son verirler. Bu patlama sonucu geriye kalan çekirdekler nötron yıldızı veya kara deliktir.
-



Yıldızların İç Yapısı ve Evrimi

Güneş'in Evrimi

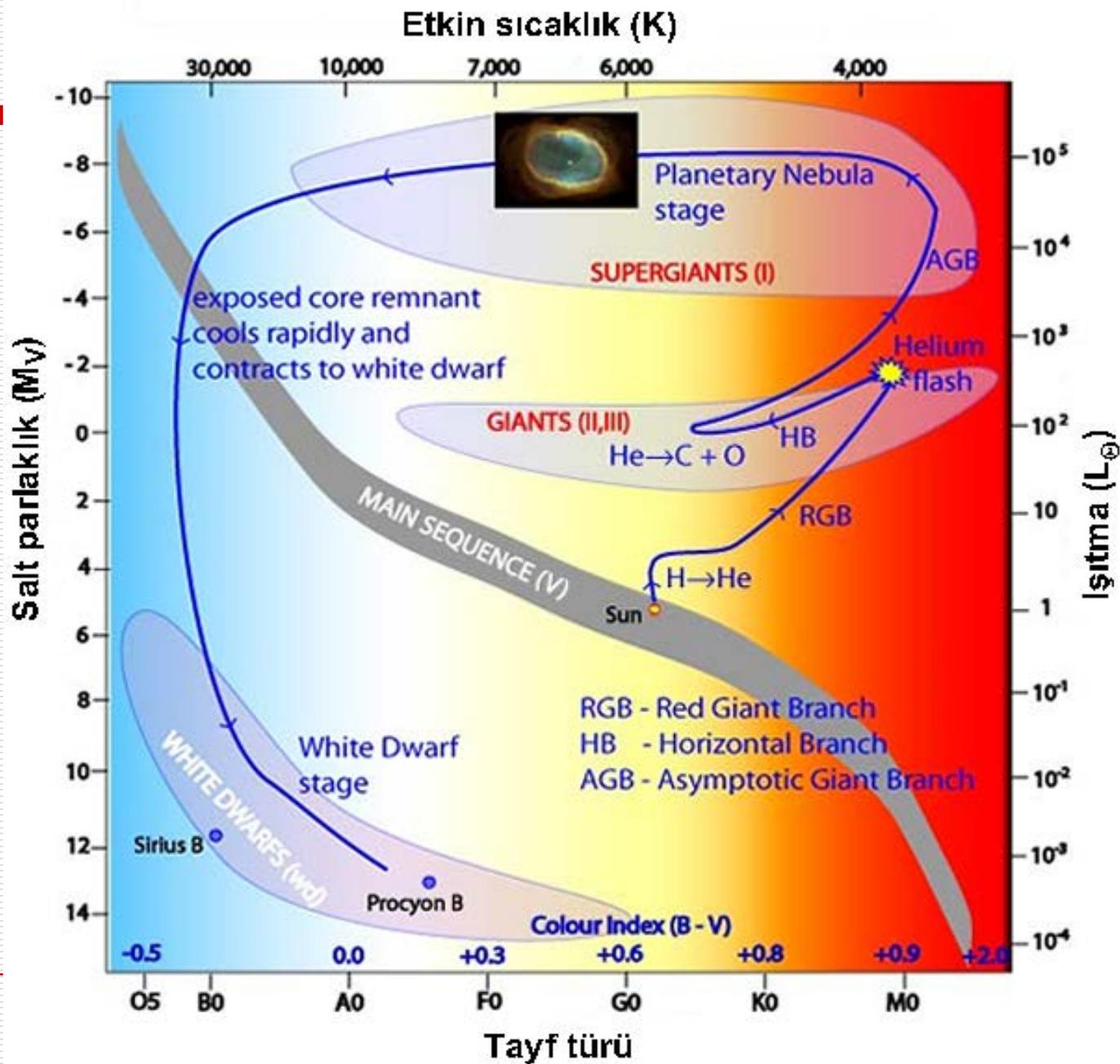
Gezegensimsi Bulutsu Oluşumu

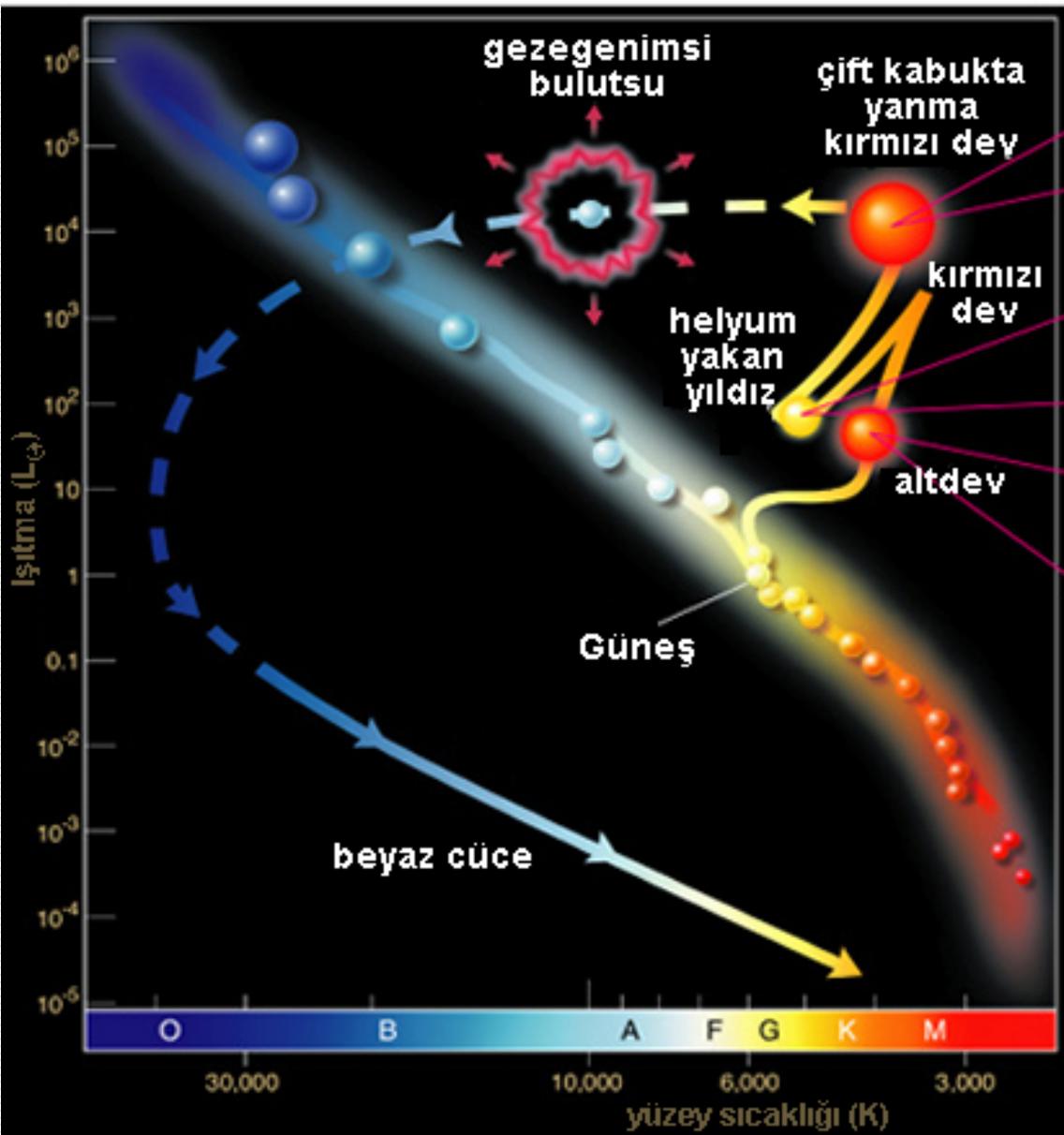
- Bir kırmızı dev ilk parlaklığının 1 000-10 000 katı parlak. Hidrojence zengin dış zarfı birkaç gök birimi şişer, bu sırada sıcaklığı $T \sim 2,000 - 3,000 \text{ K}$ 'dir.
 - Bu evrede kuvvetli yıldız rüzgarları başlar ve hidrojence zengin zarfını dışarı doğru taşır.
 - Kütle kaybı en büyük ve zarf atımının sonunda olduğunda yıldız kararsız duruma geçer ve zonklamaya başlar. Bunun dönemi bir kaç ay ila bir yıldan büyük olabilir. Böyle yıldızlara "**uzun dönemli değişenler**" denir
 - Yıldız tarafından atılan zarf, genişleyen gaz kabuğu oluşturur ve bu **gezegensimsi bulutsu (PN)** olarak bilinir.
-

Gezegeenimsi Bulutsu Oluşumu

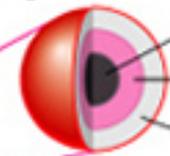
Gezegeenimsi bulutsuların tipik kütleleri $M \sim 0.2 M_{\odot}$ olmasına rağmen bazılarının kütlesi biraz daha büyüktür. Bulutsu yaklaşık 10-20 km/s hızla genişler, ve onu çevreleyen yıldızlar arası ortama karışır. Bu şekilde ISM'un kimyasal yapısına katkıda bulunur. Bundan önceki evrede yıldızın dejenere çekirdeği olan onların merkezi yıldızları çevrelerindeki bulutsuyu iyonize ederler.

Güneş'in Anadol Sonrası Evrim Yolu





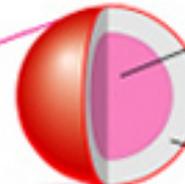
çift kabukta yanma



karbon külü

helyum yanan kabuk

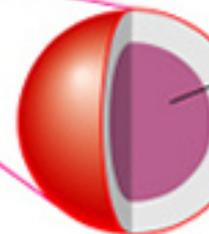
hidrojen yanan kabuk



helyum külü

hidrojen yanan kabuk

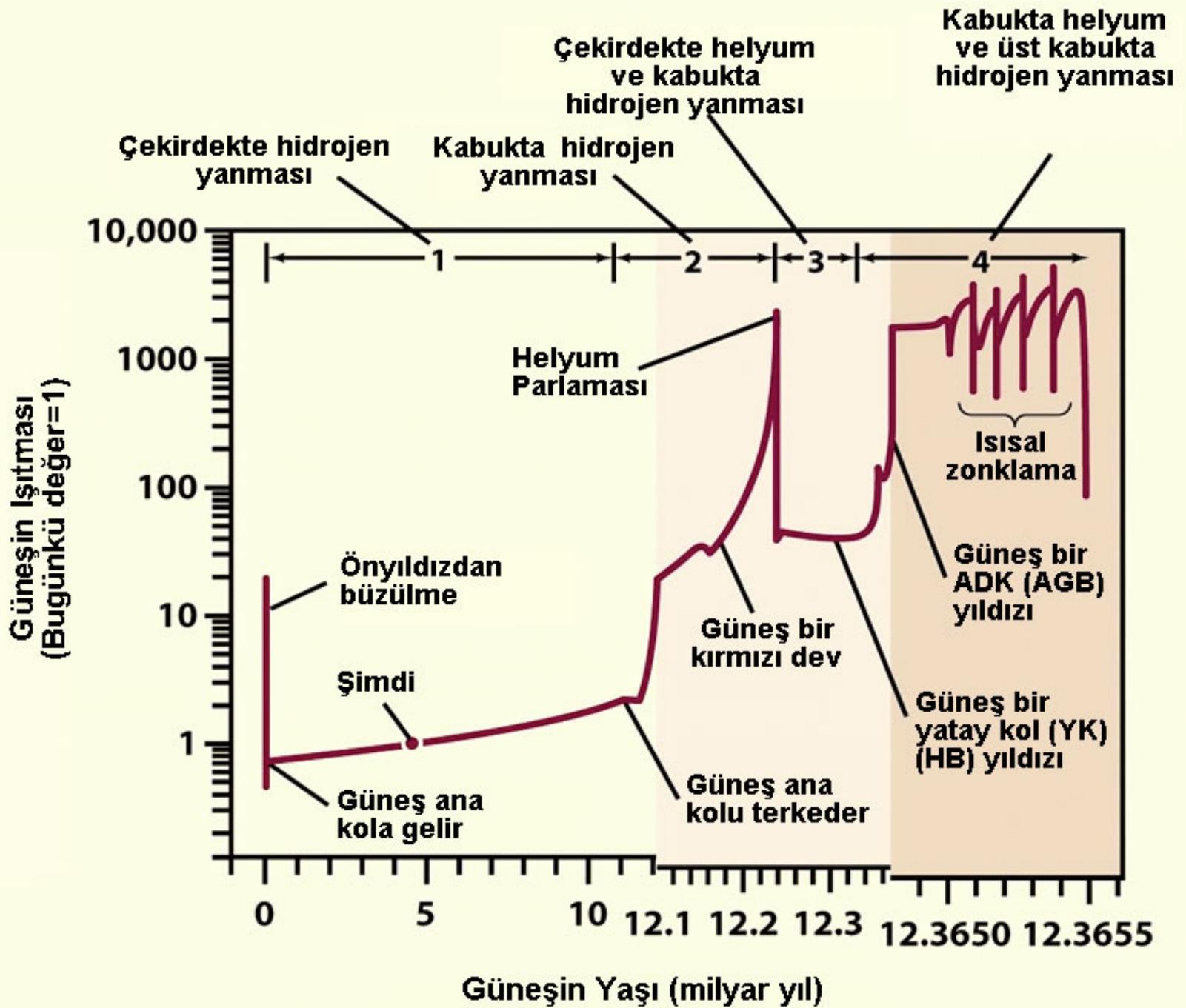
helyum yakan yıldız çekirdeği



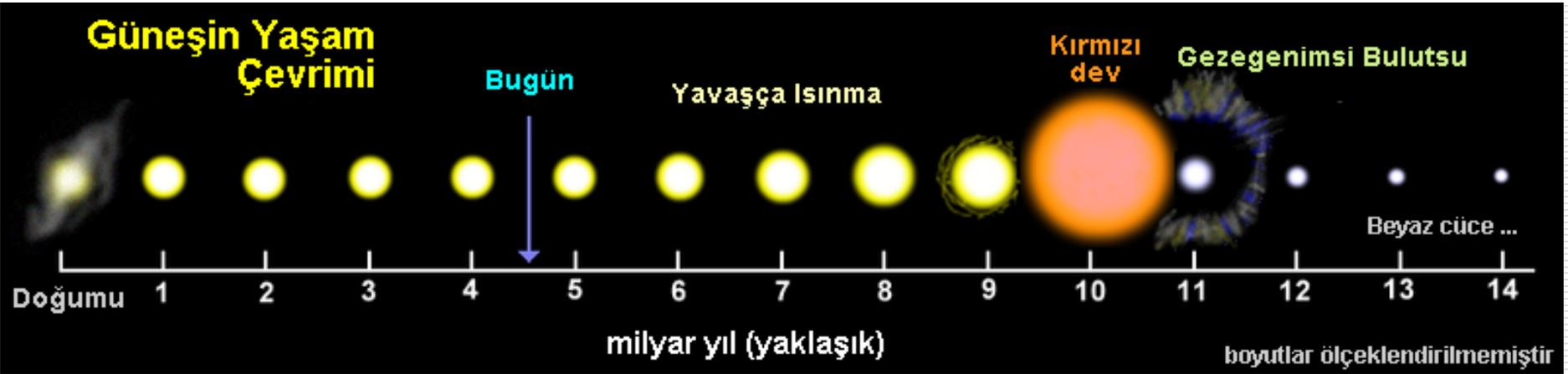
helyum külü

hidrojen yanan kabuk

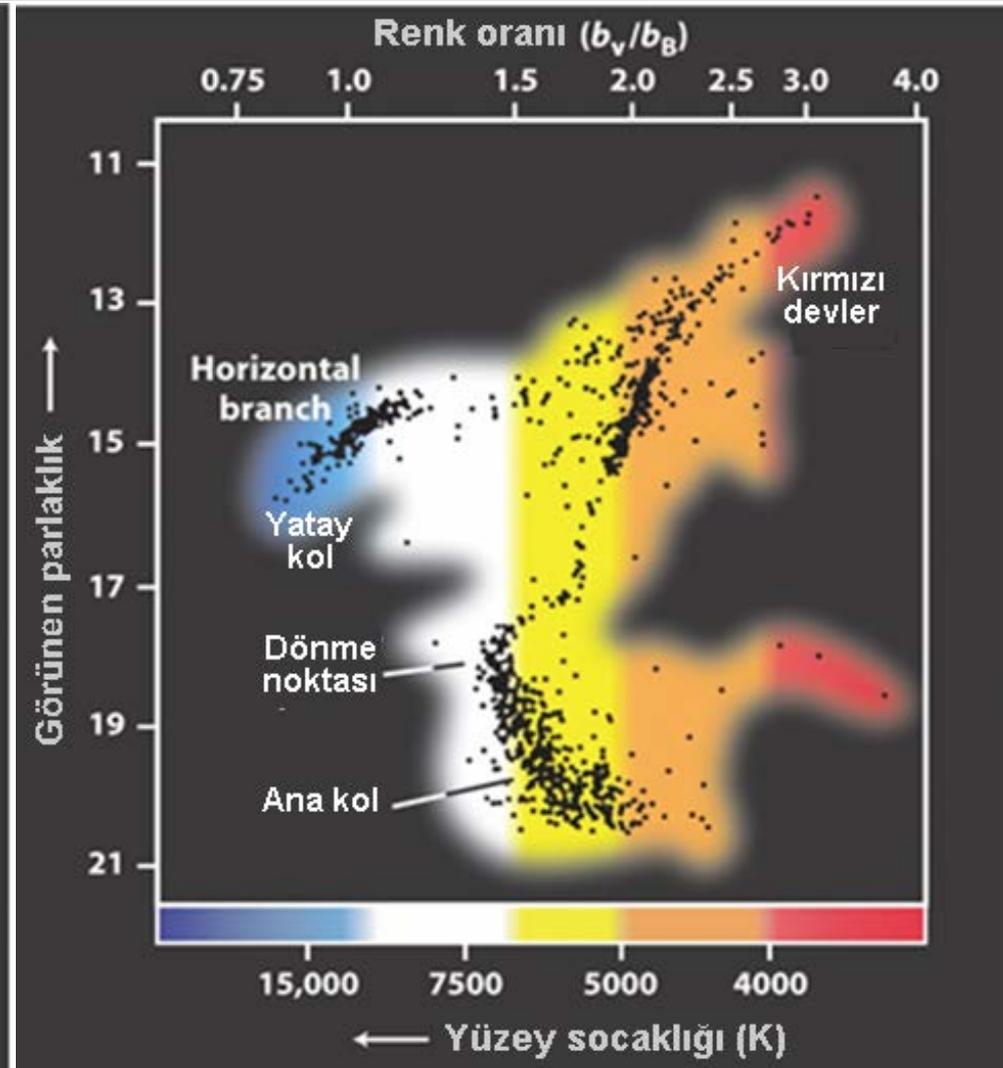
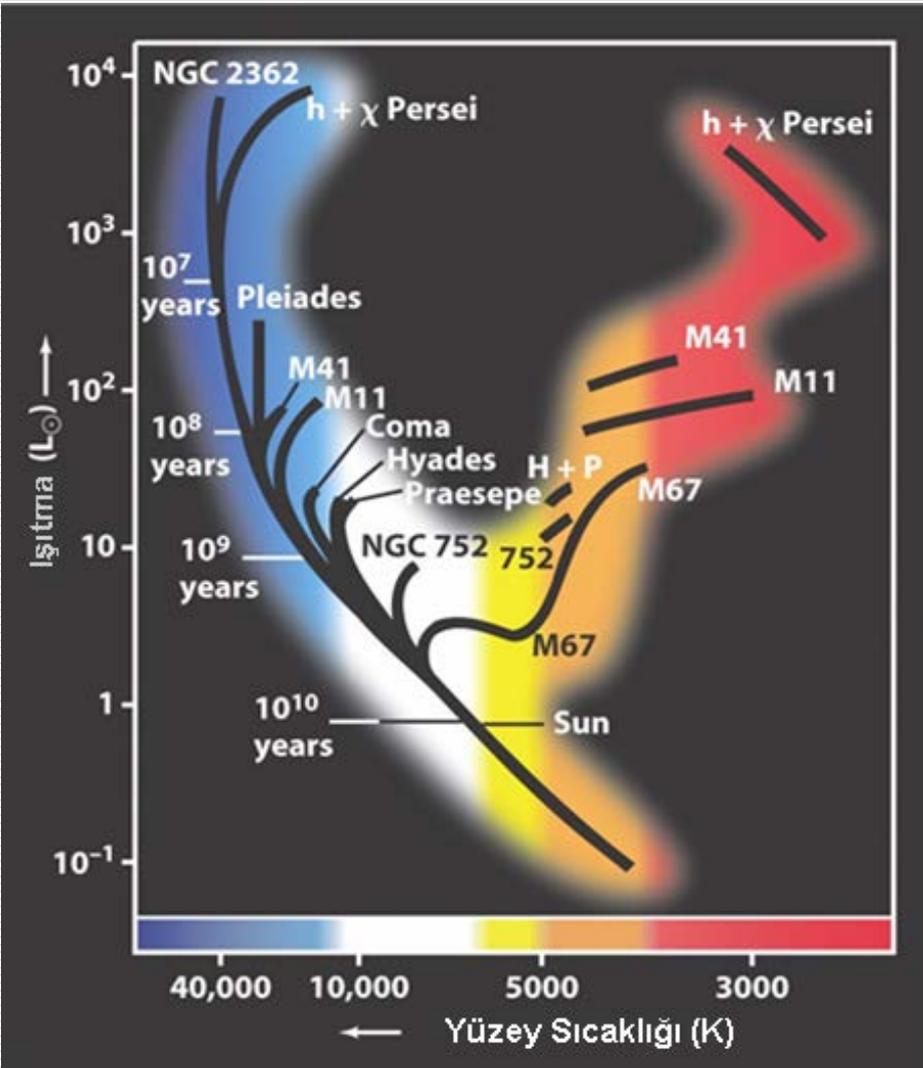
altdev/kırmızı dev çekirdeği



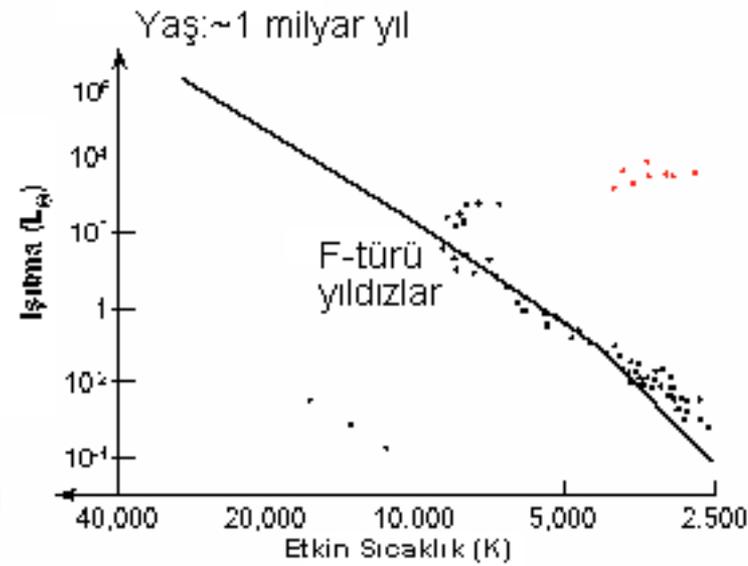
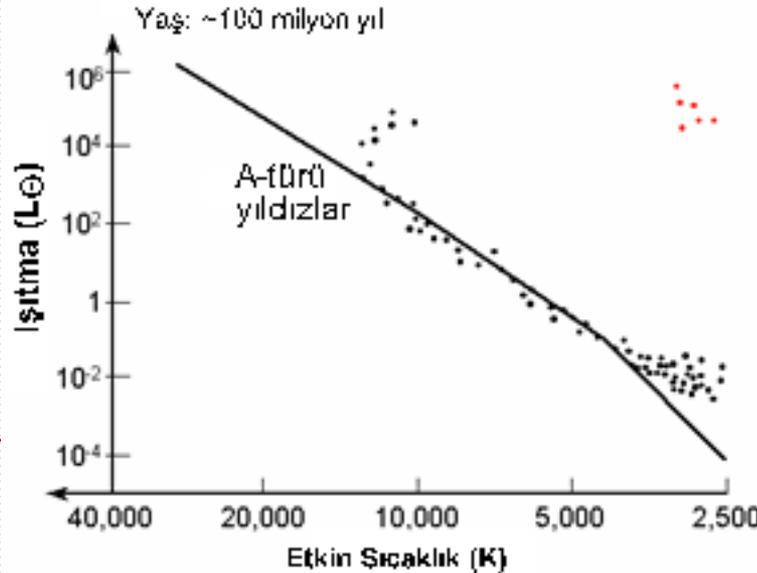
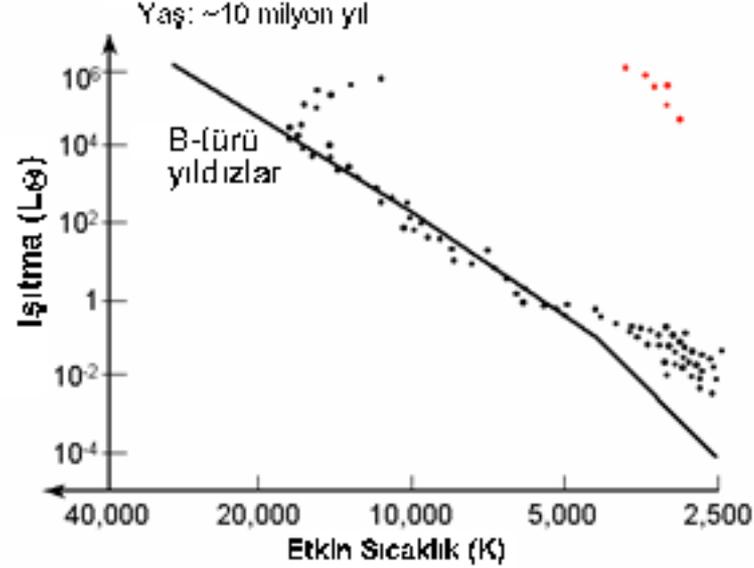
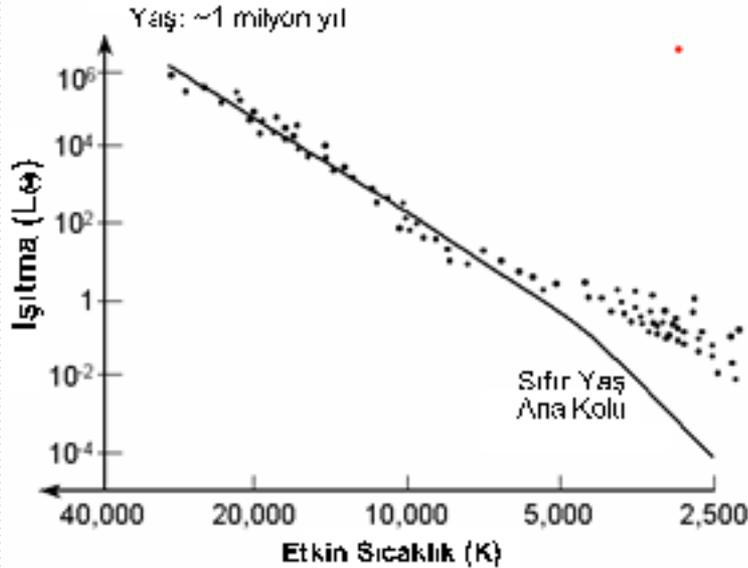
Güneşin Yaşam Çevrimi



Evrim Çalışmalarının Testi



Evrim Çalışmalarının Testi



Farklı Kütledeki Yıldızların Kaderi

İlk Kütle	Son evrim Durumu
$M < 0.01$	Gezegen
$0.01 < M < 0.08$	Kahverengi Cüce
$0.08 < M < 0.25$	Helyum Beyaz Cüce
$0.25 < M < 8$	C-O Beyaz Cüce
$8 < M < 12$	O-Ne-Mg Beyaz Cüce
$12 < M < 40$	Süpernova » Nötron Yıldızı
$40 < M$	Süpernova » Kara Delik
