
YILDIZLARIN EVRİMİ-I

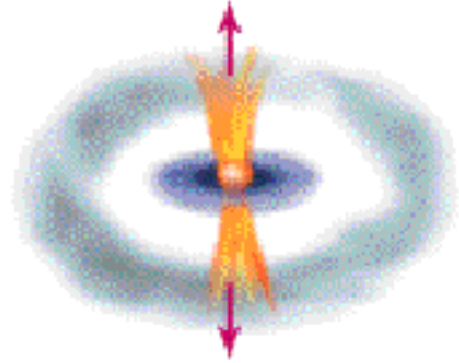
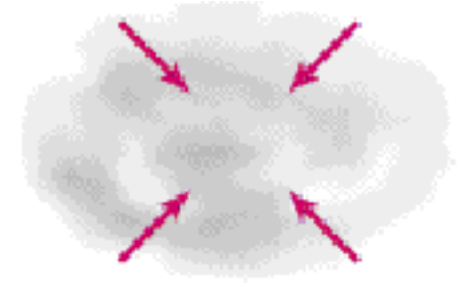
Güneş Türü Yıldızlar

Serdar Evren

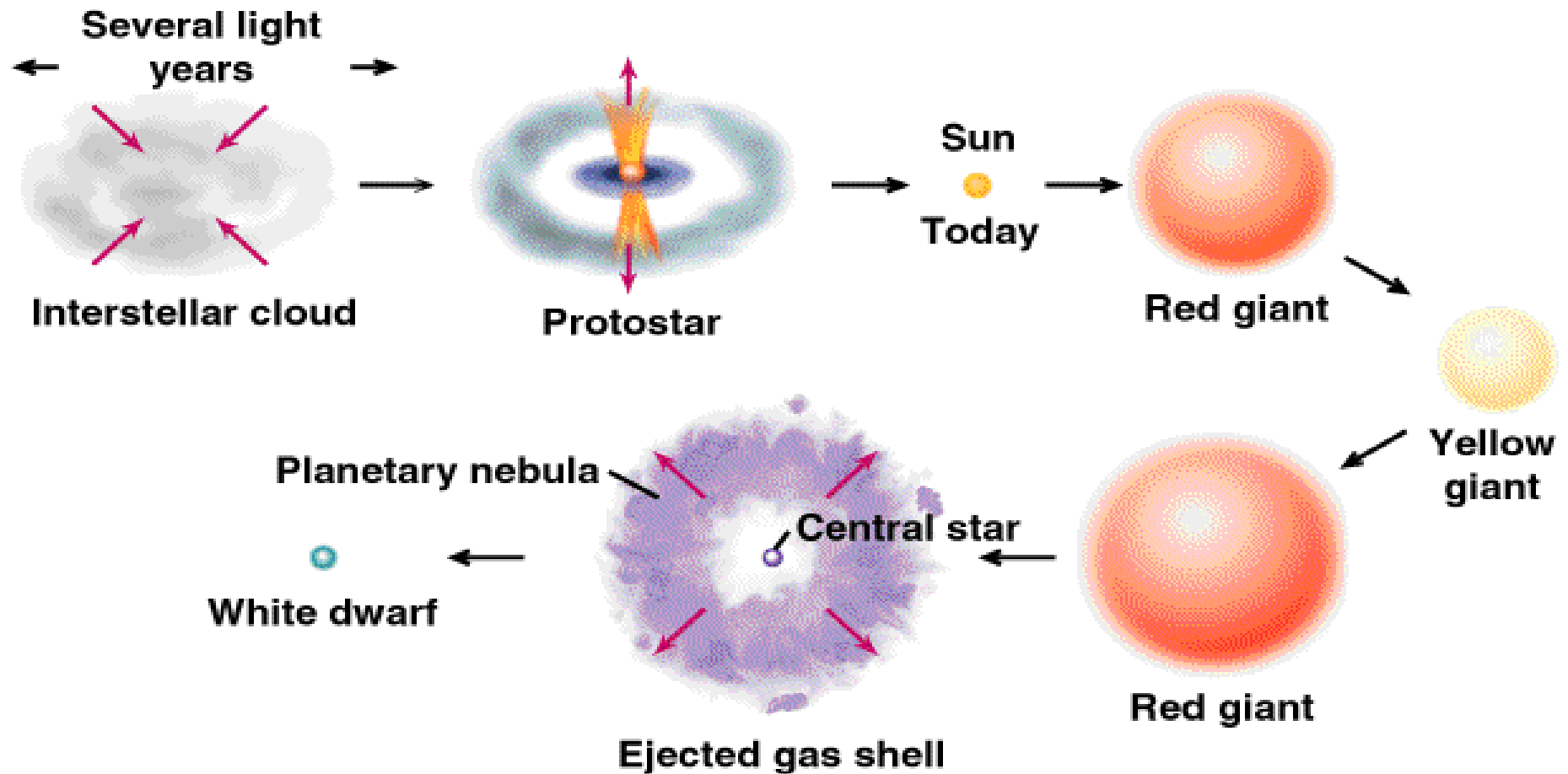
Astronomiye Giriş II - 2015

YILDIZLARIN OLUŞUMU

- Yıldızlar gaz ve toz bulutlarının çökmesinden oluşur. Bulut çöktükçe, yoğunluğu ve sıcaklığı artar. Sıcaklık ve yoğunluk bulut merkezinde en yüksek olur ve burada yeni bir yıldız oluşacaktır. Bulutun çökmesi sonucunda merkezde oluşan cisim “**ilkel yıldız**” (protostar) olarak adlandırılır.
- İlkel yıldız gaz ve toz bulut içinde gömülü olduğundan, onu **görünür ışıkta saptamak zordur**. İlkel yıldızın saldığı görünür ışık, çevresindeki madde tarafından soğurulur. Ancak, daha sonraki evrelerde çevredeki madde yeterince ısındıkça ışınım dışarı doğru çıkmaya başlar ve yıldız görünür ışıkta görülebilir.
- O ana kadar bu cisim **yalnız kızılöte dalgaboylarında görülebilir**. İlkel yıldız tarafından salınan ışık çevresindeki toz tarafından soğurulur, bu durum tozun ısınmasına neden olur ve kızılötede ışınım yapar. Yıldız oluşum bölgelerinin kızılöte çalışmaları yıldızların (ve dolayısıyla Güneş ve güneş sisteminin) nasıl doğduğu hakkında önemli bilgiler verir.



Güneş'in Evrimi

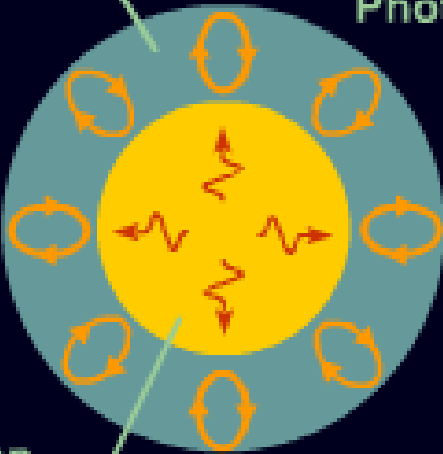


Farklı kütleli yıldızlarda konvektif katmanın yeri

Convection

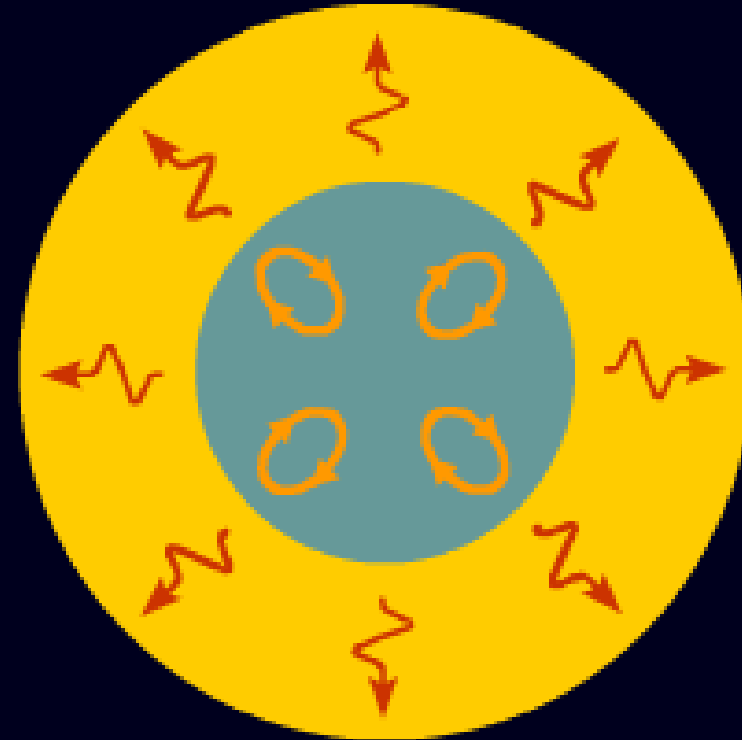
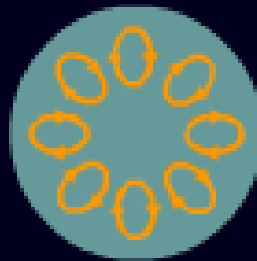
Photosphere

Radiation



1 Solar Mass Star

0.1 Solar Mass Star



Massive Star

Kartal (Eagle) Bulutsusu

Yıldız Oluşum
Bölgesi



NGC 604



Dev bir yıldız
oluşum bölgesi

LH 95

Büyük Magellan
Bulutunda
yıldız oluşum
bölgesi



Orion Bulutsusu



Optik Dalgaboylarında



Kızılöte Dalgaboylarında

Rho Ophiuchi Bulutu



Optik Dalgaboylarında

<http://apod.nasa.gov/apod/ap040602.html>



Kızılöte Dalgaboylarında

<http://www.allthesky.com/nebulae/rho.html>

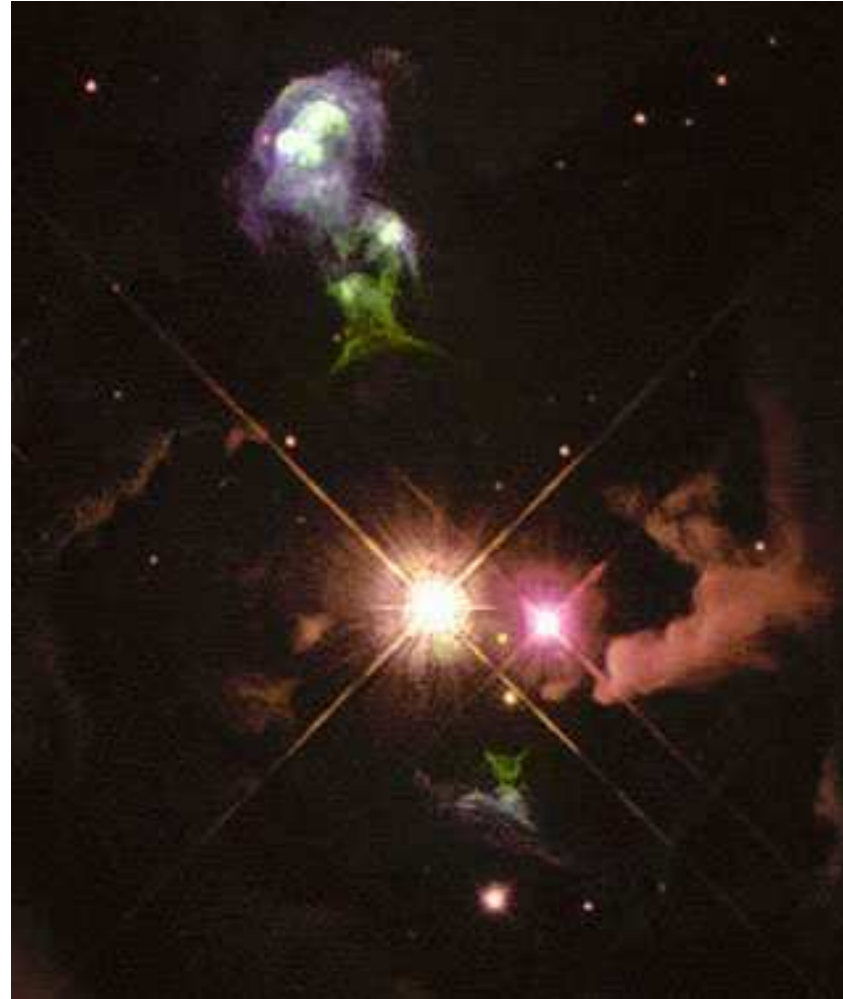
T Tauri Yıldızları ve Herbig-Haro Cisimleri

- Çevrelerindeki gaz ve tozu uzaklara doğru üfören ilkel yıldızlar “**T Tauri yıldızları**” olarak adlandırılırlar.
- T Tauri yıldızları etrafındaki ılık toz kalıntısı hala kızılötede ışık yayar. T Tauri yıldızları etrafındaki bu gaz ve toz kalıntı gezegen sisteminin başlangıcını işaretleyen dönen-disk modeli için bir delil olarak kabul edilir.
- Yeni oluşan yıldızlarla ilişkili olan “**Herbig-Haro cisimleri**” kızılötede çalışılabilir. Bunlar, birkaç yıllık dönemlerle şekilleri ve parlaklıkları değişen küçük bulutsulardır.
- Herbig-Haro ve T Tauri cisimleri aktif yıldız oluşum bölgelerinde bulunur. Bu bulutsular içinde genç yıldızlardan çıkan ve yıldızlararası bulutlarla çarpışan yüksek hızlı gaz akıntıları görülür. Bu tür cisimlerin araştırılması yıldızların nasıl oluştuğunu anlamamıza yardımcı olur.

Herbig-Haro Cisimleri



HH34

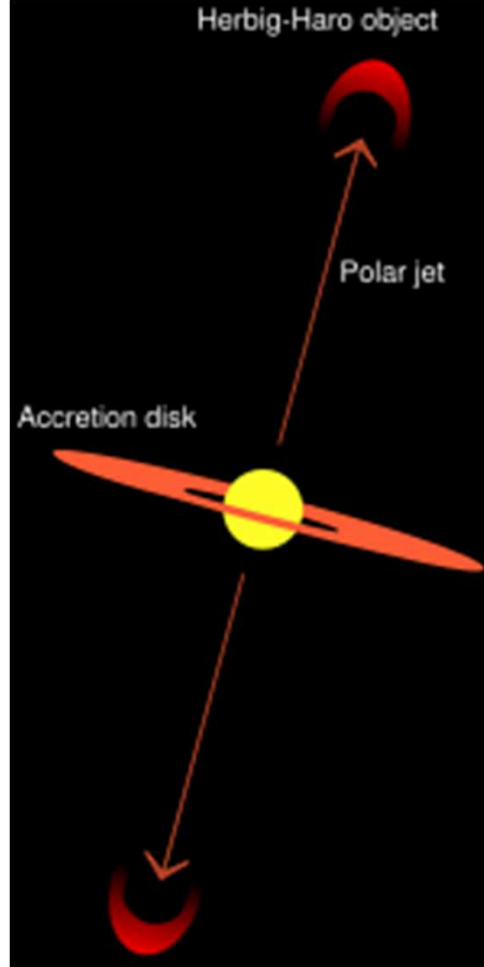


HH32

Herbig-Haro Cisimleri



HH47



HH cisimlerinin oluşumunu gösteren şematik diagram



HH1 ve HH2

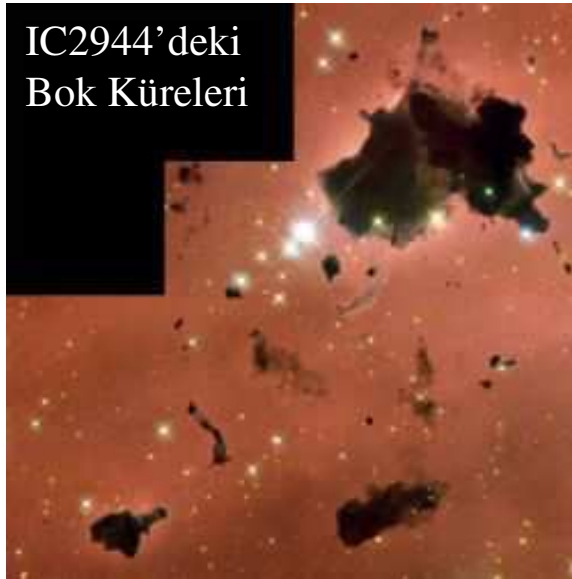
Kleinmann-Low Bulutsusu

- Orion takımyıldızındaki yoğun yıldız oluşum bölgesi olan Kleinmann-Low Bulutsusu'nun kızılöte görüntüsü.
- Bu bölgenin büyük bir kısmı görünür ışıkta toz tarafından engellendiğinden görünmez. Yeni oluşan büyük kütleli yıldızlar tarafından üretilen sıcak rüzgarların etkisi ancak kızılötede görülür.
- Bu sıcak rüzgarlar çevredeki gazı ısıtır ve kızılötede kuvvetli ışık yaymasına neden olur. Rüzgarlar yıldızların çevresindeki gaz ve toz ortamı yavaş yavaş temizler.



Bok Küreleri (Bart Bok - 1940'lar)

- Bok Küreleri, yıldız oluşum bölgelerinde bulunan 1 ışık yılı çaplı ve 10-1000 güneş kütleli, gaz ve tozdan oluşmuş küçük bulutlardır.
- Görünür ışıkta, parlak bulutsu önünde karanlık gölge görüntü olarak görülürler.
- Kendi ışıklarını üretmezler ve yıldızları oluşturmak için çökecek olan bulutlar olarak düşünülürler.



BHR 71 molekül bulutu

H-R Diagramında Yıldızların Evrim Yolu

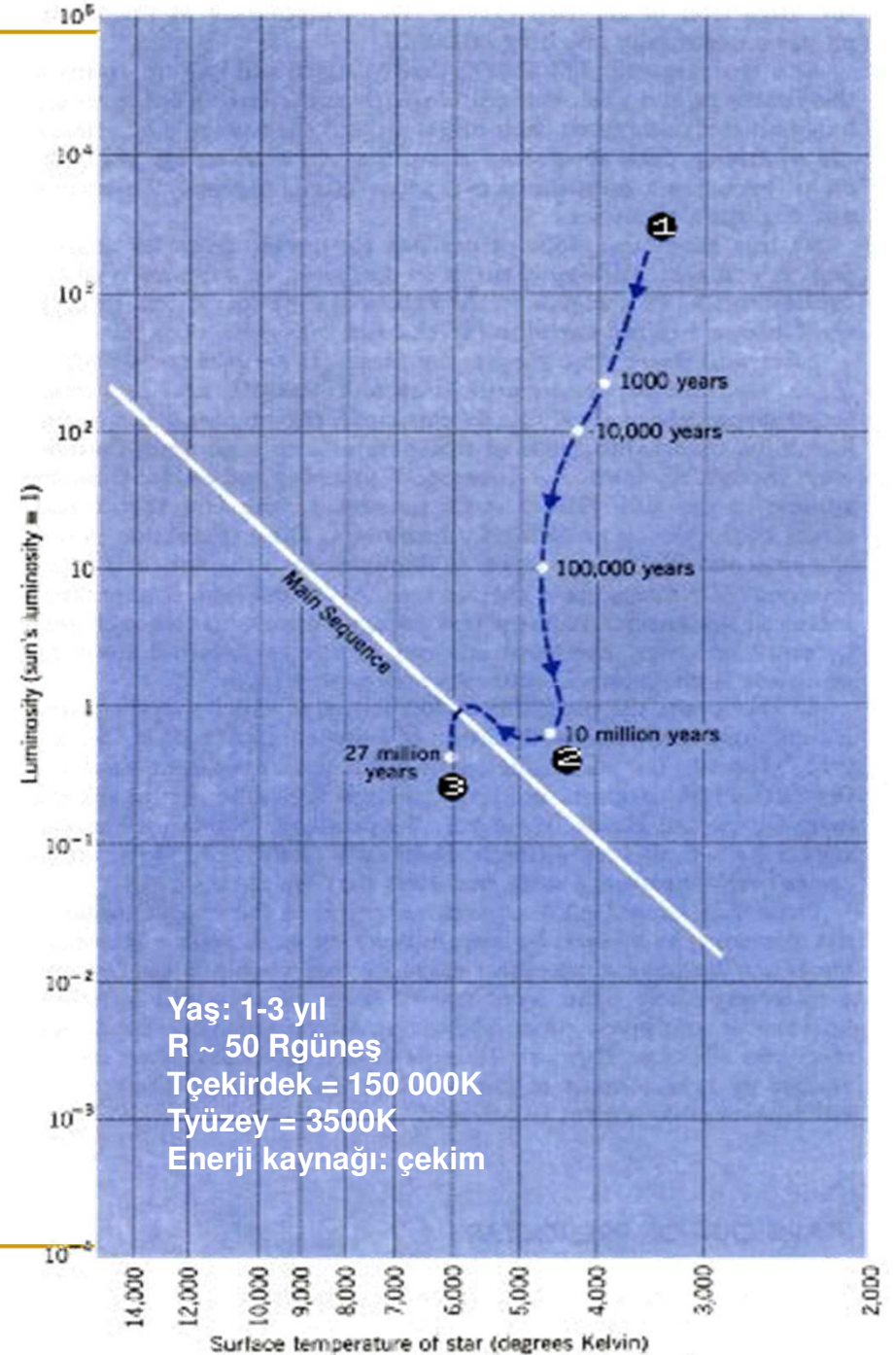
- Yıldız oluşumunun gerçek işlemi kendi gizemi içinde gömülüdür. Çünkü, soğuk ve yoğun moleküler bulutlar içinde oluşan yıldızların görüntüsü toz tarafından engellenir.
- Tam anlaşılamayan nedenlerden dolayı bir molekül bulutunun yoğun çekirdeği kendi çekimi altında büzölmeye başlar ve ilkel yıldız kütlelerine uygun bulutlar halinde parçalanır.
- Bir molekül bulutunu tedirgin eden olası nedenler:
 - Molekül bulutlarının parçalanması,
 - Molekül bulutlar içinde yayılan şok dalgaları,
 - Gökadaldaki sarmal yapılar içinden geçen bulutlar,
 - Manyetik-çekimsel kararsızlık.
- Bulut yoğunlaştıkça, çekimsel potansiyel enerji serbest kalır. Bu serbest kalan çekimsel enerjinin yarısı bulutun ısınmasına yardımcı olur. Diğer yarısı da ısısal ışınım olarak yayılır.
- Çekim, bulut merkezi yakınında çok kuvvetli olduğundan, merkez daha çabuk yoğunlaşır. Bulut merkezinden daha çok enerji serbest kalır ve merkez bölgeler dış katmanlara göre daha sıcak olur.

1. İLKEL YILDIZ

- Başlangıçtaki çökme birkaç yıl gibi kısa sürede Yıldız ısındıkça ideal Gaz Yasası'na göre basınç oluşur.

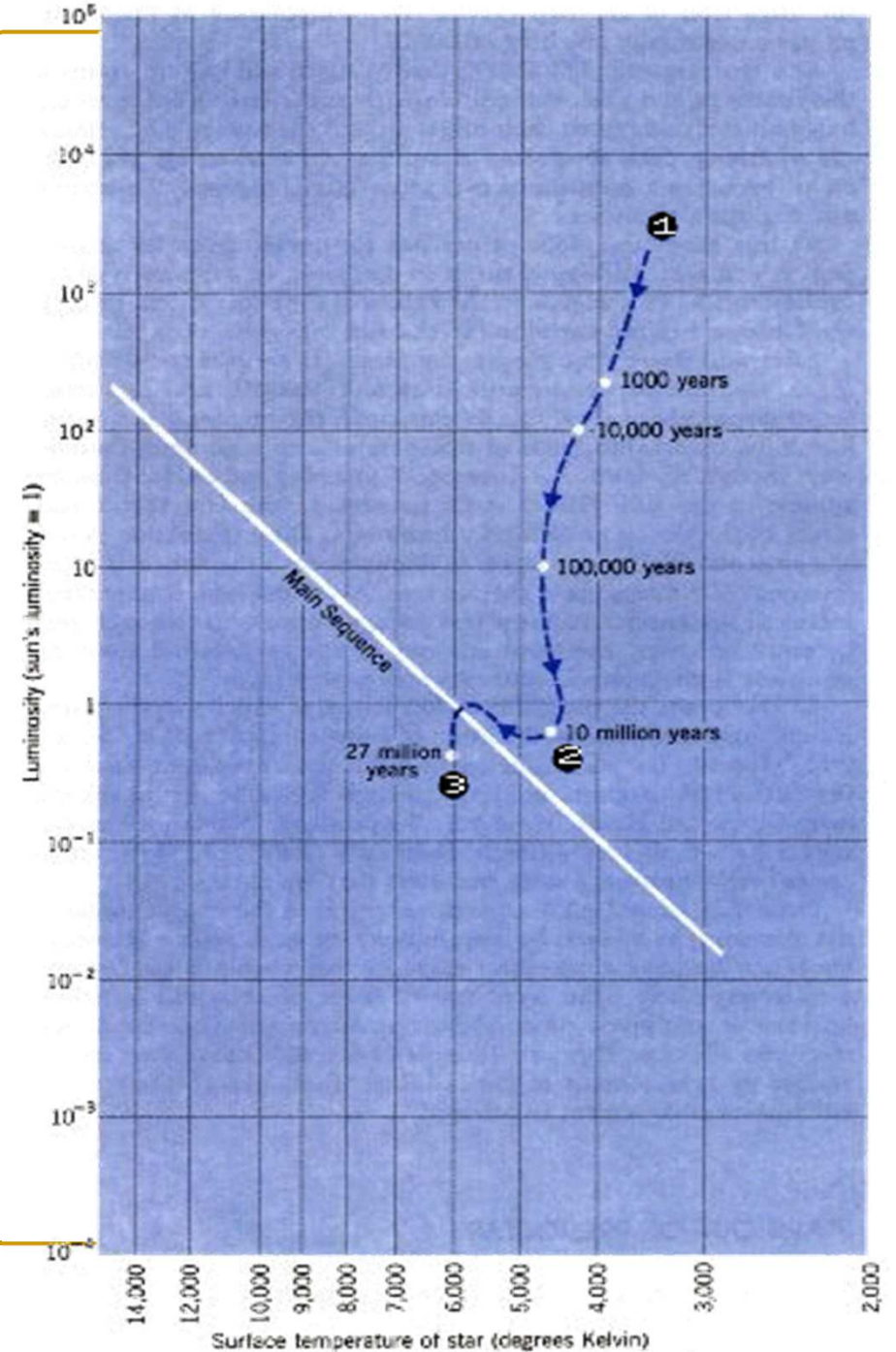
$$PV = nRT$$

- Burada, P= basınç ve T= sıcaklıktır. Dışa doğru olan basınç içe doğru olan çekim kuvvetini yaklaşık dengeler ve "**hidrostatik denge**" oluşur.
- Yıldız soğuktur, buyüzden yıldızın rengi kırmızıdır. Yarıçapı büyük olduğundan ışınlım gücü yüksektir ve H-R diagramında sağ üste yakın yerde bulunur.

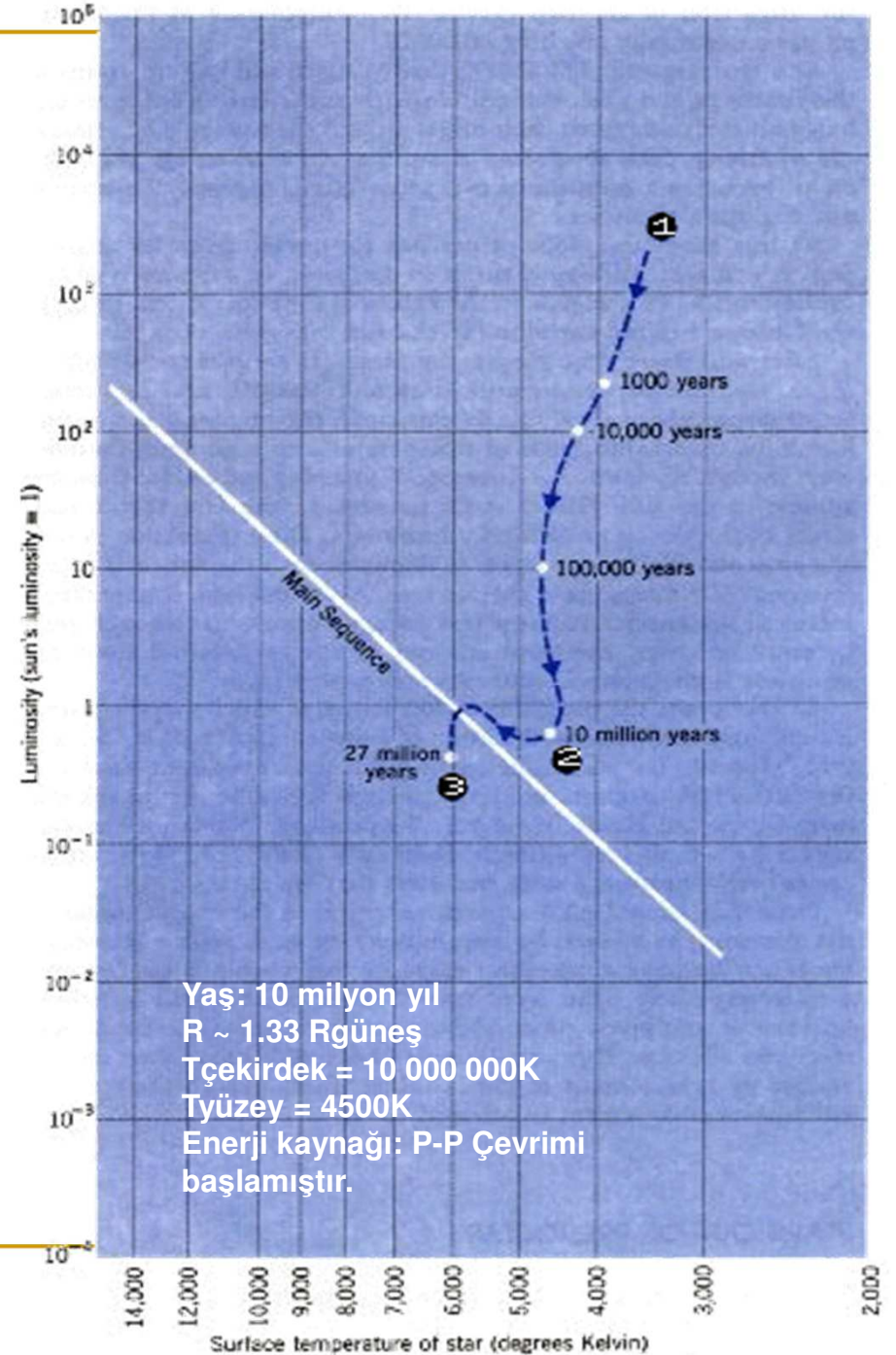


2. ANAKOL ÖNCESİ

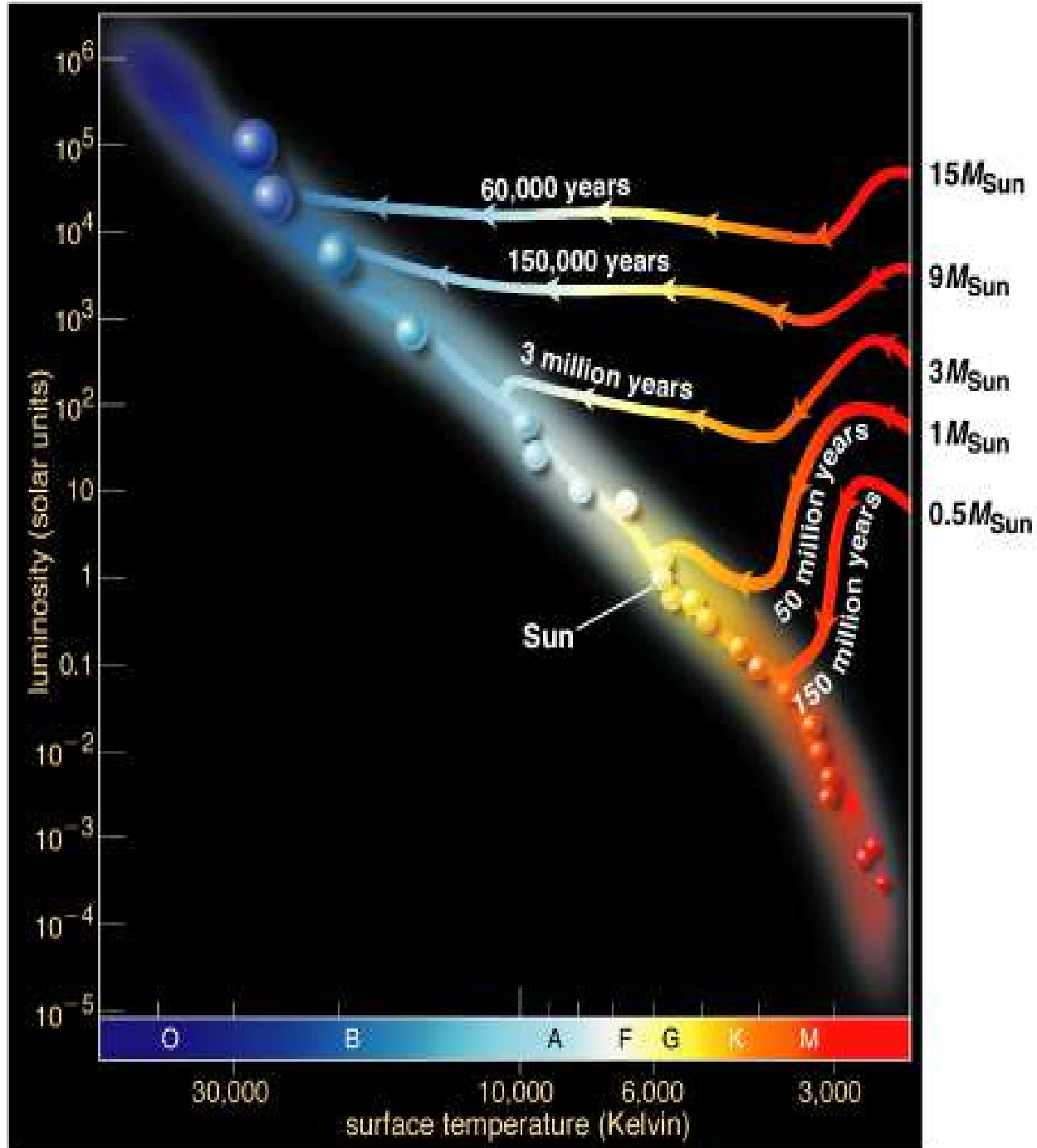
- Hidrostatik denge hemen hemen kurulmuştur ve büzülme yavaşlamıştır. Fakat yıldız enerji (ışık) yaymaya devam eder ve bu yüzden gerekli ışıınım gücünü destekleyecek çekim enerjisini sağlamak için büzülme devam etmektedir.
- Çekirdekdeki sıcaklık nükleer tepkimeleri başlatabilecek yeterince yüksek değere ulaşıncaya kadar, yıldız çökmeye devam eder.
- Çekim enerjisini dengeleyecek yeni enerji kaynağına göre iç ayarlamalarını yapan yıldız, çekirdekte nükleer tepkimeleri başlatır.
- Nükleer tepkimeler çok yüksek sıcaklığa bağımlı olduğundan, merkezdeki yoğunlaşmada proton-proton çevrimi baskındır.



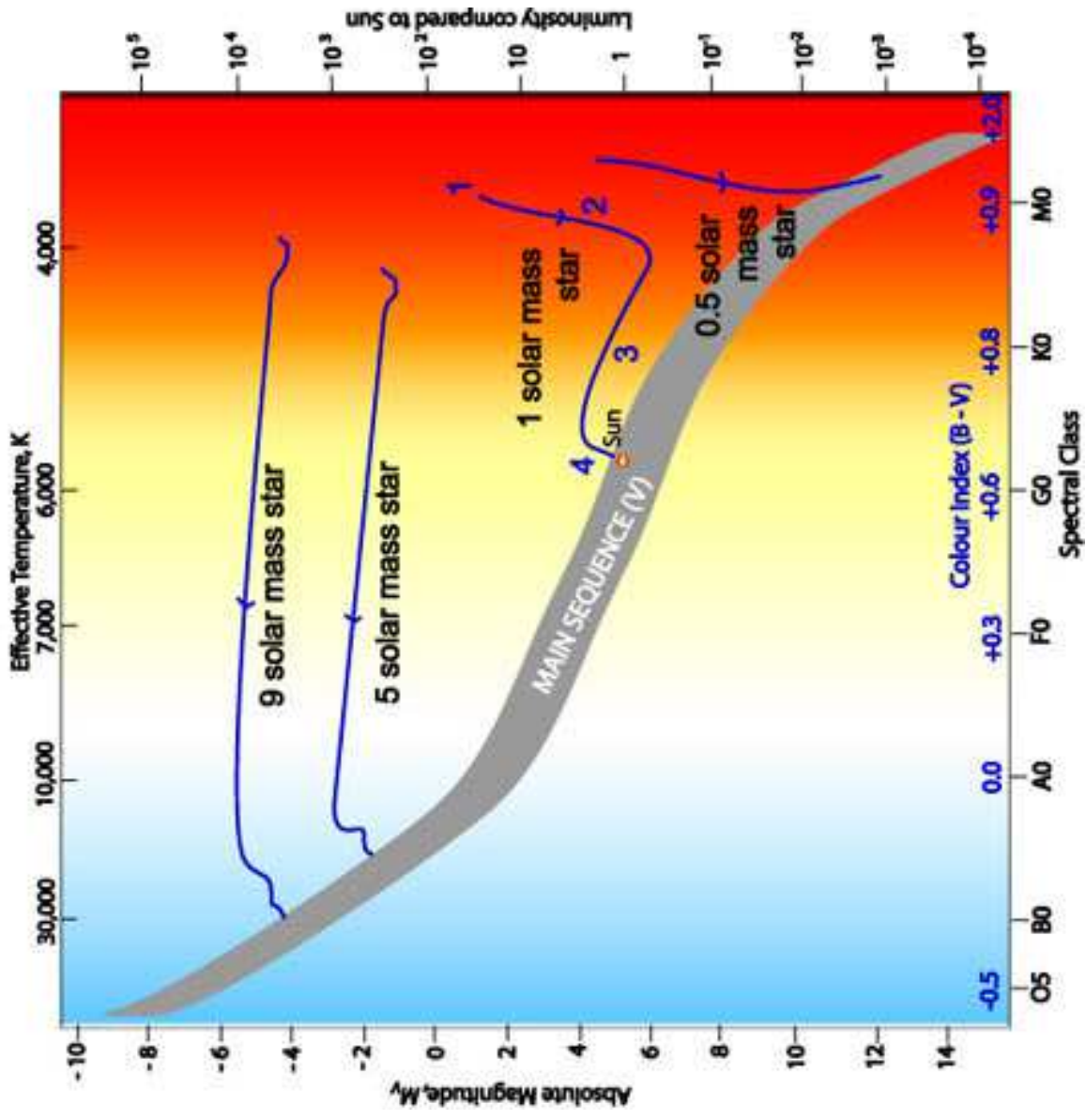
- Bu evre boyunca yıldızlar anakolun üzerindeki bölgede bulunur. Bu gibi anakol öncesi yıldızlar yüksek aktivite gösteren “T Tauri Yıldızları” olarak gözlenir.
- Çevredeki madde hala yıldızın üzerine doğru düşmekte; ancak, yıldız da maddeyi dışa doğru kuvvetli rüzgarlarla veya jetlerle püskürtmektedir.



Anakola
gelmekte
olan farklı
kütleli
yıldızların
evrim
yolları

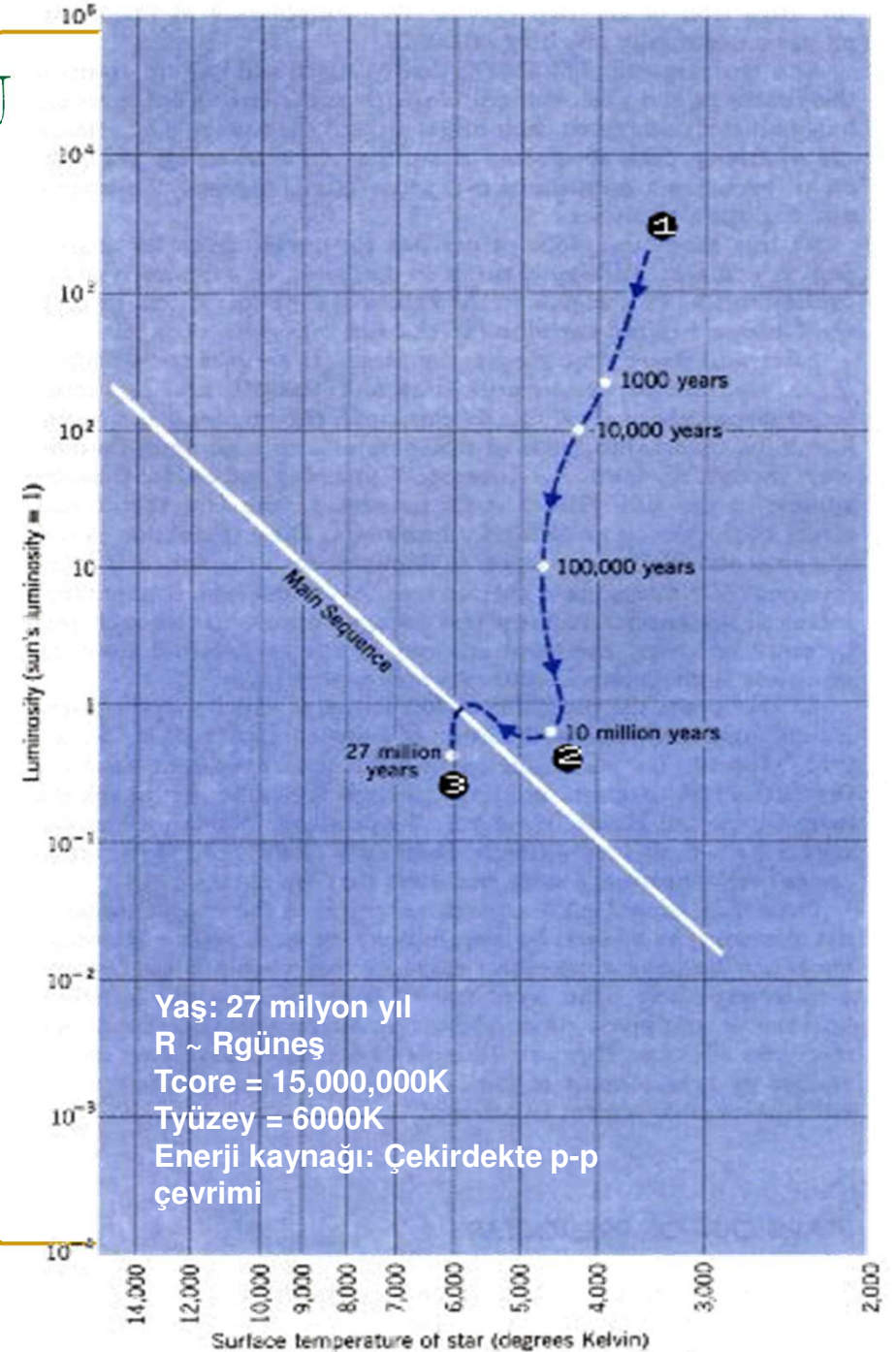


Theoretical Hayashi Tracks of Protostars



3. SIFIR YAŞ ANAKOLU (ZAMS)

- Yıldız anakolun altına yerleşinceye kadar milyonlarca yıl daha geçer. Anakol H-R diagramında bir çizgi şeklinde olmayıp band şeklindedir.
- Yıldızlar “Sıfır Yaş Anakolu” (*Zero-Age Main Sequence*) olarak adlandırılan en alt sınıra oturarak “Anakol” yaşamına başlar.
- Hidrojenin helyuma dönüşümü nükleer yanma işlemlerinde en uzun zaman dilimi olduğundan, anakol evresi bir yıldızın yaşamındaki en uzun evredir.
- 1 güneş kütleli bir yıldız için yaklaşık 10 milyar yıl sürer. Toplam yaşamlarının %99'unu bu evrede geçirir.



ANAKOL EVRESİ

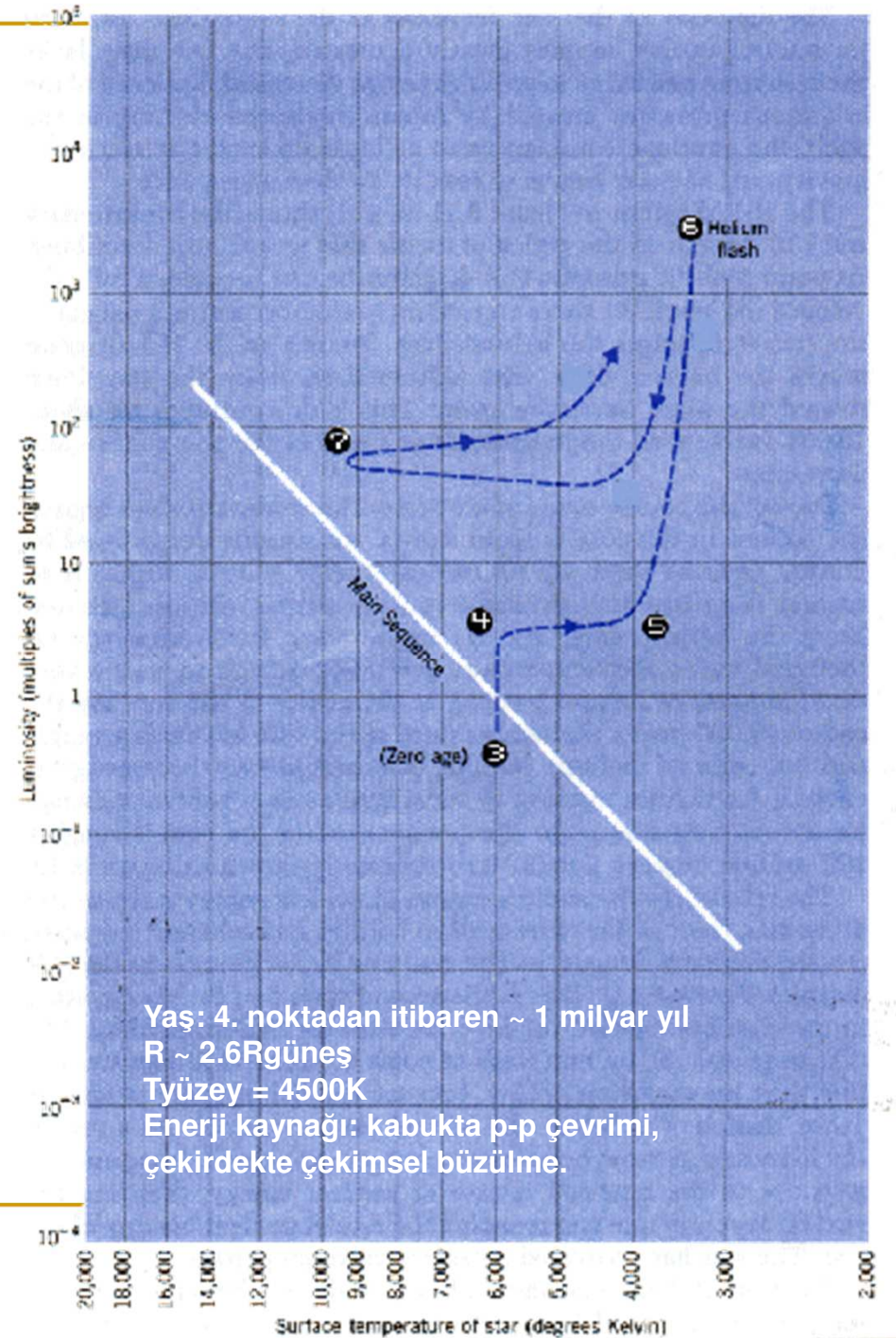
- Aslında, bir enerji türü olan ısı, gaz basıncını karşılayabilecek kadar onu dışa doğru itemez. Buna rağmen, sıcaklık ve yoğunluğun üretimi olan basınç ona karşı koyabilir.
- “Sıkıştırılmış akışkan”da olduğu gibi hidrostatik denge, yıldızı içerdeki her noktada çökmeye veya genişlemeye karşı koruyarak kararlı tutar.
- Yıldız hidrostatik dengede olsa bile açıklanması gereken diğer bir nokta ise yıldızın ışınım gücünü (yani enerji akış hızını) sürekli değiştirmesidir. Özellikle Güneş durumunda olduğu gibi her 100 milyon yılda bir parlaklığında yaklaşık %1 artış olur.
- Eğer, geriye doğru bir dışdeğer hesabı (ekstrapolasyon) yapılırsa güneşin ışınım gücü bugünkünden belki de yaklaşık 1/3 daha az ısıtılmalı çıkar.

4. HİDROJEN TÜKENMESİ ve ANAKOLUN SONU

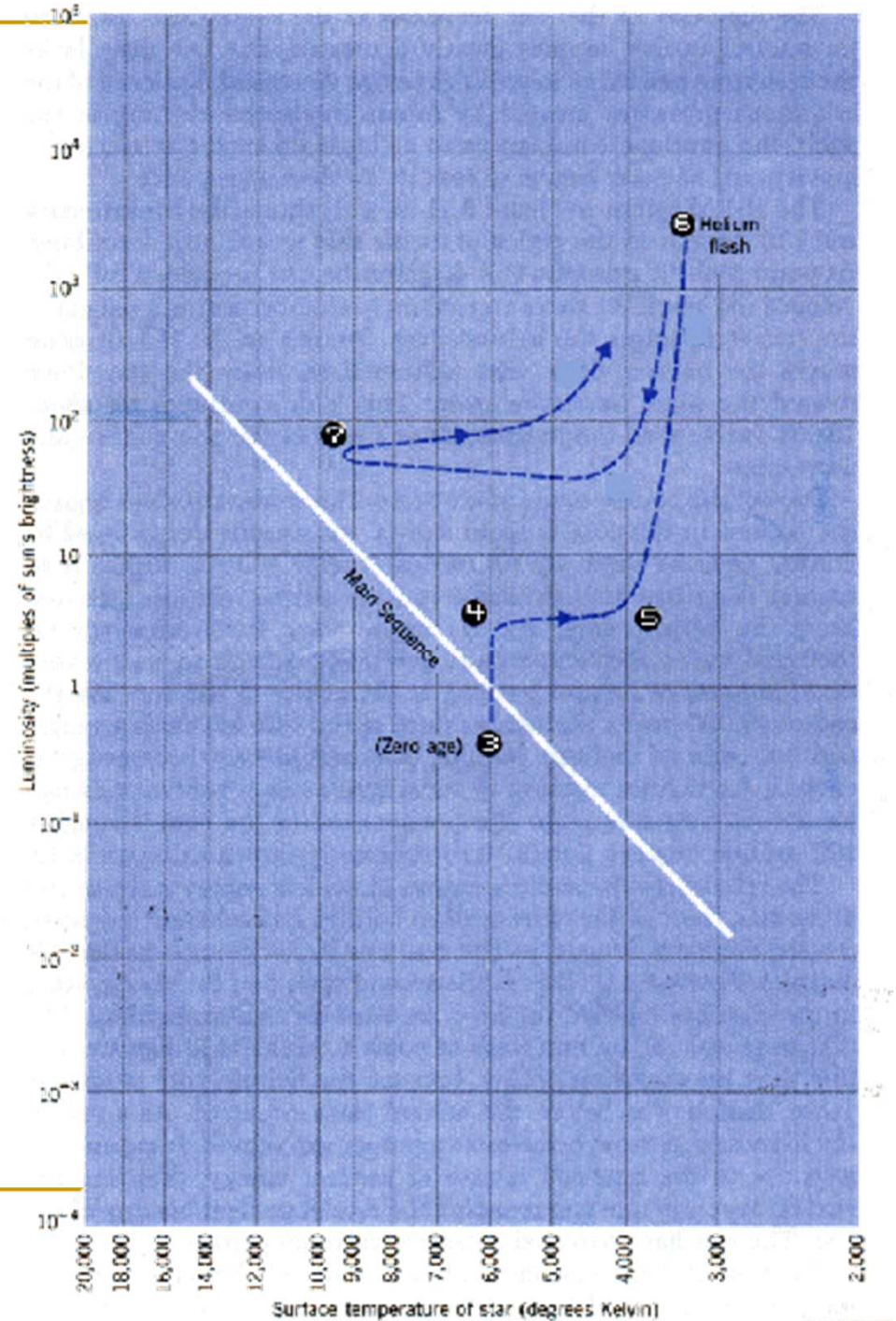
- Güneş yaşlandıkça, hidrojen yavaş yavaş tükenir. Yaklaşık 10 milyar yıl sonra yanma, tüm boyutun yaklaşık 0.01'lik en iç kısmında devam eder.
- Yıldızın çekirdeğinde büyük miktarda hidrojen tükenmesi nükleer tepkimelerin durmasına neden olur. Hidrojen yanması, çekirdeğin hemen üstündeki ara katmanda azalmadan devam eder.
- Çekirdeğin kendisi aslında bir yıldızın destek ünitesi ve kararlılık garantisidir. Ancak, çekirdekte yanmanın bitmesi kararsızlığa neden olur. Çünkü, soğuyan çekirdekte dışa doğru gaz basıncı zayıflarken içe doğru çekim kuvvetinde bir azalma olmaz. Çekim asla durmak bilmediğinden çekime karşı dışa doğru itme olmayınca yıldızda yapısal değişikliklerin görünmesi kaçınılmaz olur.
- Yaş: 10 milyar yıl
- Enerji kaynağı: Çekirdeği saran kabukta p-p çevrimi.

5. ANAKOL SONRASI

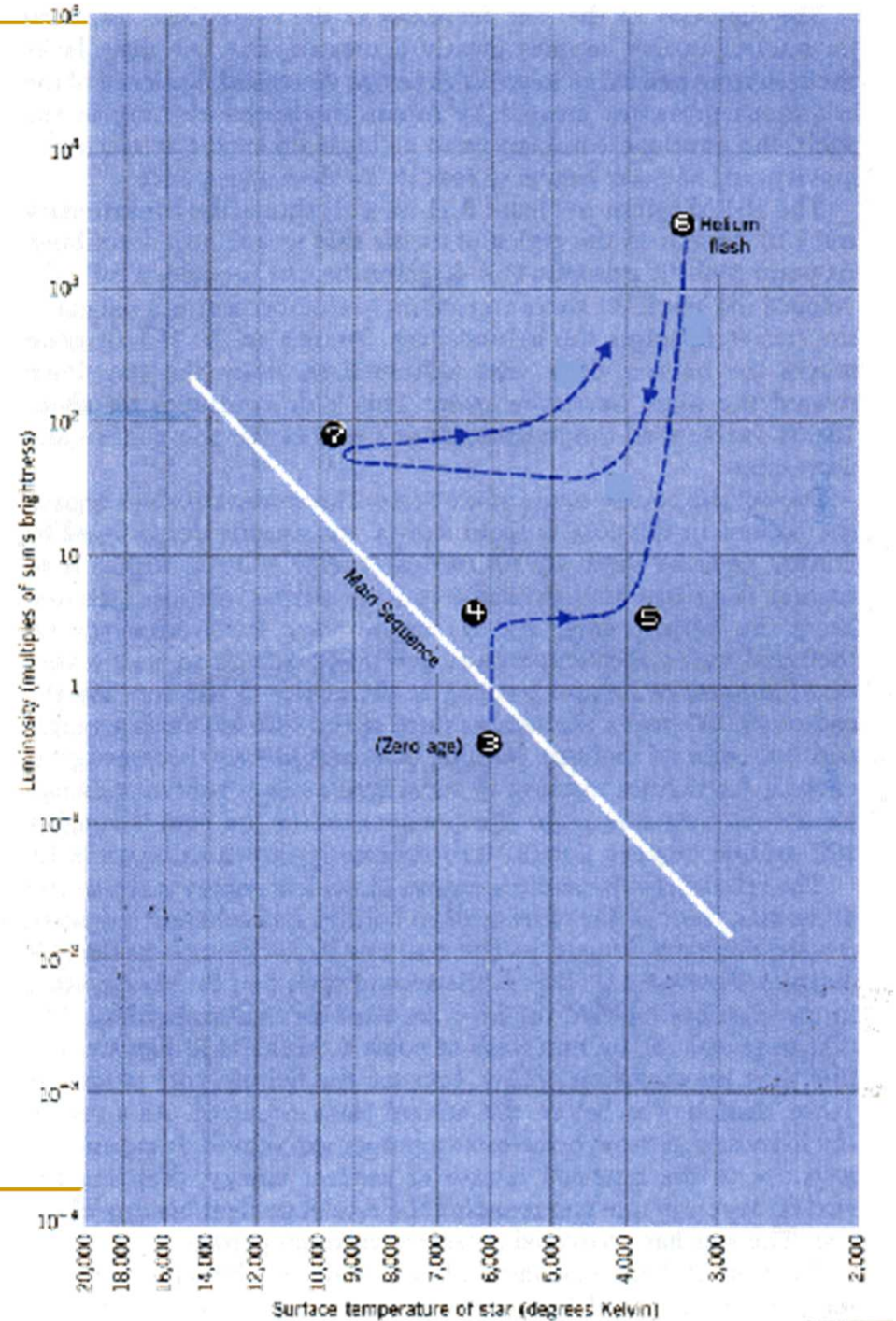
- Yaşlı yıldızı yeniden hidrostatik dengeye getirebilecek şey aslında daha çok ısı üretimidir.
- Örneğin, çekirdekte helyum yanmaya başlar ve karbon gibi daha ağır elemente dönüşürse o zaman herşey yeniden dengeye girer. Dışa doğru gaz basıncı yeniden doğar.
- Fakat, burada helyum henüz yanamaz. Çekirdeğin milyonlarca Kelvin'lik sıcaklığına rağmen, hala orası helyumun tutuşması için çok "soğuktur".



- Hidrojenin tutuşabilmesi için en az 10 milyon K'lik sıcaklık gerekmektedir. Ancak, bu sıcaklık helyum yanması için yetersizdir. Helyum çekirdekleri arasındaki büyük çarpışmanın olabilmesi için 100 milyon K gibi daha yüksek sıcaklıklar gerekir.
- Isıdan yoksun olan yıldızın helyum çekirdeği uzun süre dayanamaz. Hidrojen yakıtı harcandığı için, çekirdek büzülmeye başlar.
- Çekimi dengeleyecek yeterince basınç olmadığından gaz yoğunluğu artar ve gaz parçacıkları daha sık çarpışarak daha çok ısının oluşmasına neden olur.
- Bu arada çekimsel potansiyel enerji, sürtünme kaynaklı ısı enerjisine dönüşerek sıcaklığın artmasına neden olur.

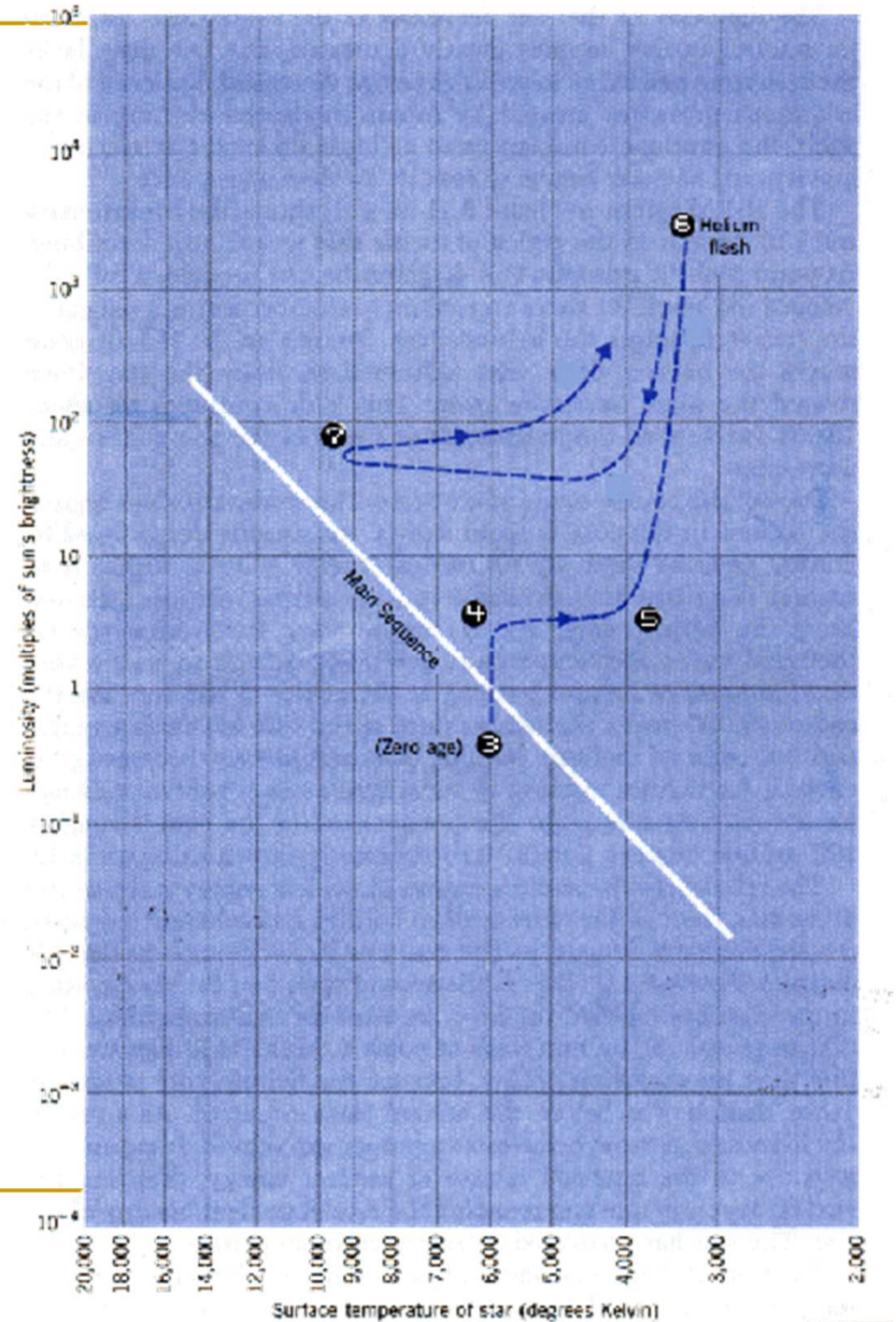


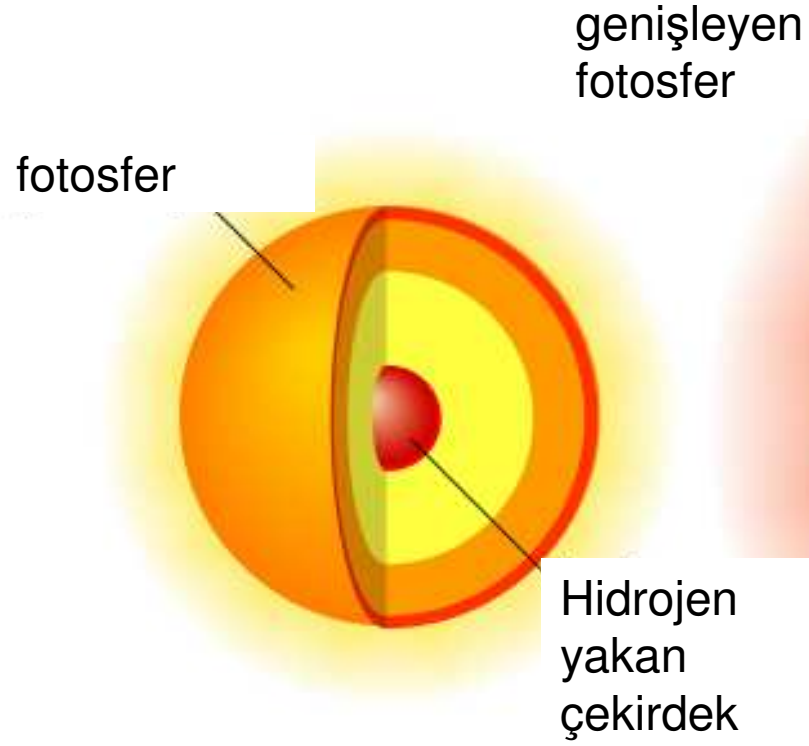
- Çekirdek dengesizdir ve helyumu yakabilmek için büzülme­ktedir. Ara katmanlar hidrojeni helyuma olduğundan daha hızlı çevirir.
- Bu hidrojen yanmasının uyguladığı gaz basıncı yıldızın dış katmanlarını genişletir.
- Henüz çekim kuvveti durdurulamamıştır. Dolayısıyla, çekirdek büzölmeye devam ederken dış katmanlar genişler.
- Yıldızın yapısal kararlılığı tamamen ortadan kalkmıştır.



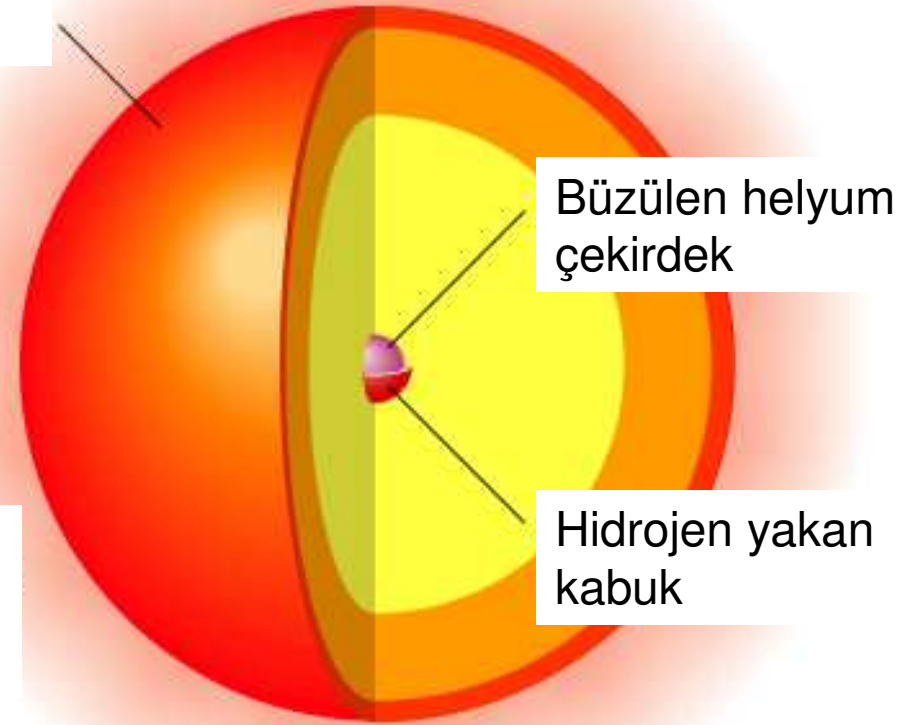
Gözlemsel Sonuçlar

- Bu durumdaki bir yıldız için iki gözlemsel bulgu vardır: Birincisi, bu gökçismi normalden 100 kat daha büyük yarıçaplıdır.
- İçerde yakalanan ışınım yıldızın yüzeyini normalden ~ 1000 K daha soğuk yapar.
- Normal bir yıldızdan hemen hemen dev sayılan bir yıldızla geçiş yaklaşık 100 milyon yıl sürer.
- 1 güneş kütleli yaşlı bir yıldızın doğasındaki büyük ölçekli bu değişimler H-R diagramında izlenebilir. 4-5-6 numaralı evrim yolu anakol sonrası gelişimi gösterir.
- Yıldızın ışınım gücü Güneş'in şu andaki ışınım gücünden yaklaşık 100 kat daha parlaktır.





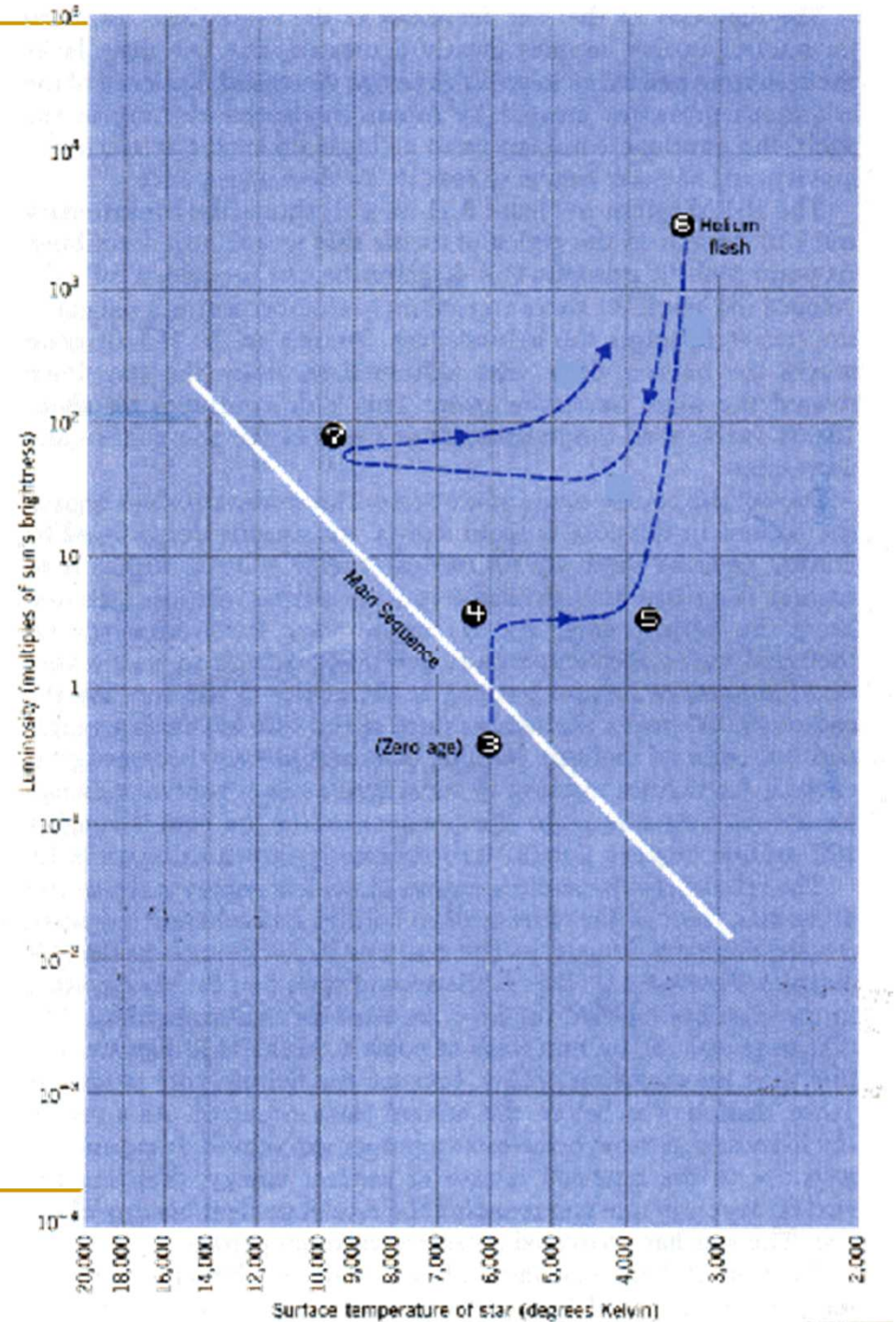
anakol yıldızı



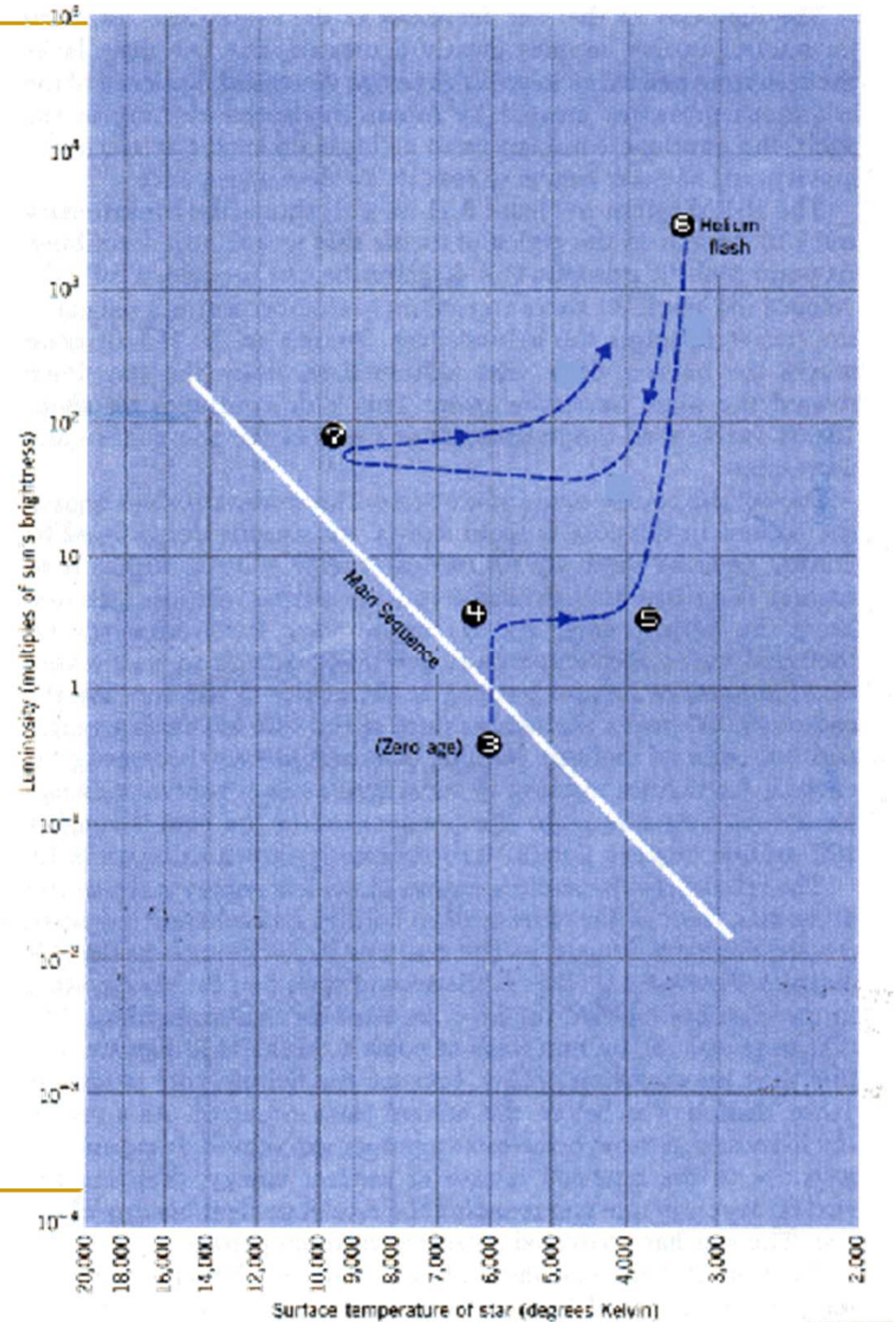
genişleyen altdev

KIRMIZI DEV KOLU

- İkinci değişim, artan boyuttan dolayı yüzeydeki soğumanın değişimidir.
- Yıldız genişledikçe toplam ısı daha büyük hacime yayılır. Soğumadan dolayı salınan görünür ışınım, yüzeyin rengini değiştirir. Genişlemiş yıldız daha kırmızı görünür.
- Parlak normal yıldız, “**kırmızı dev kolu**” olarak adlandıracağımız 5-6 numaralı evrim yolu üzerinde hareket ederek “**kırmızı dev**” olur.
- Tipik bir dev yıldız onun anakol boyutundan ~100 kat daha büyüktür.
- Buna karşılık helyum çekirdek tüm yıldızdan ~1000 daha küçüktür. Buradaki çekirdek Yer’den yalnız birkaç kat daha büyüktür.

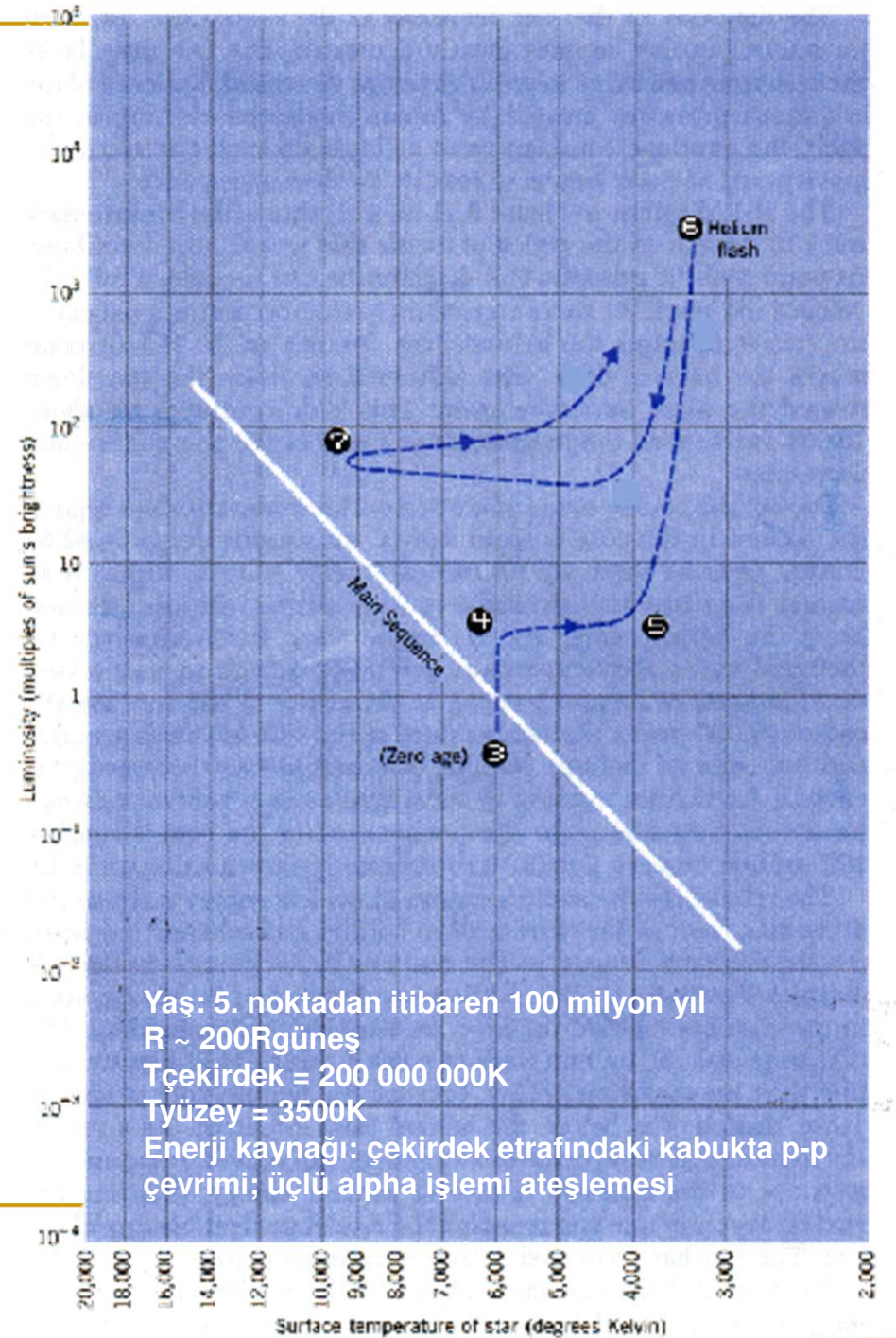


- Şu anda çekirdekteki yoğunluk çok büyüktür. Kırmızı dev yıldızın devam eden çekirdek büzülmesi helyum gazını $\sim 10^5$ g/cm³'e kadar sıkıştırır.
- Bu değer, kırmızı dev yıldızın $\sim 10^{-6}$ g/cm³ lük en dış katmanlarının yoğunluğuyla veya ~ 5 g/cm³ lük ortalama Yer yoğunluğuyla ve ~ 150 g/cm³ lük şu andaki Güneş'imizin yoğunluğuyla çok zıt durmaktadır.
- Bu sıkışık ortam aslında yıldızın tüm kütesinin \sim % 25 lik bölümünün küçük bir çekirdeğe sıkışmış halidir.



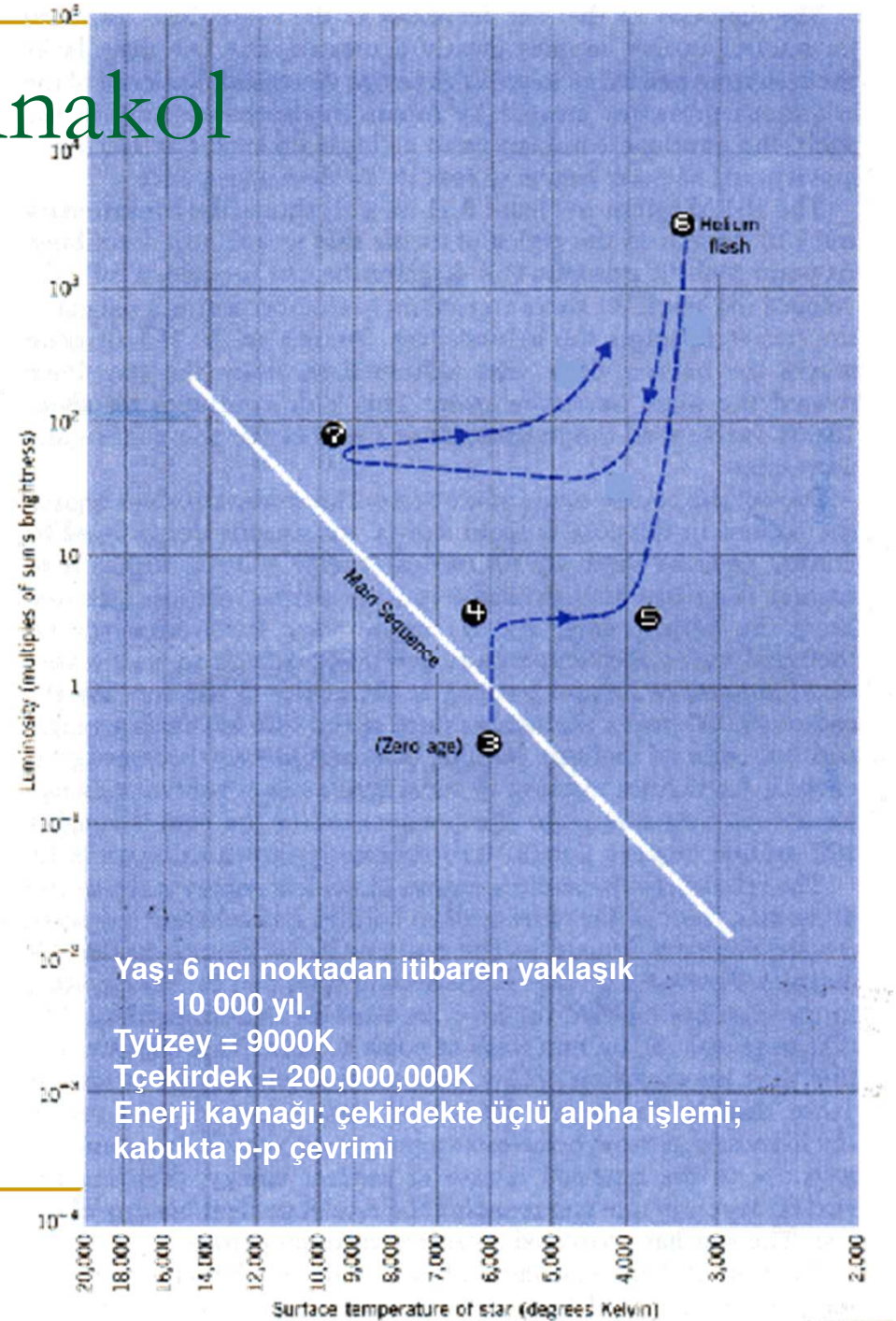
6. HELYUM FLAŞ

- Kırmızı dev yıldızın derinliklerinde iç basınç arttıkça yoğunluk artar. Çekirdek içindeki madde normal yıldızinkinden ~ 1000 kat daha yoğundur (yani, $\sim 10^5$ g/cm³).
- Gaz parçacıkları arasındaki çarpışmalar sürtünme olmasına rağmen büyük ve yeterince ısı üretecek kadar sık olur. Helyumun tutuşması için sıcaklığın 10^8 K'ne ulaşması gerekir.
- Bundan sonra, helyum çekirdekleri çarpışarak merkezdeki ateşi tekrar tutuşturur ve karbona dönüşüm başlar. Birkaç saatlik bu dönem içinde helyum çok şiddetli, ani ve hızlı olarak tutuşur. Bu özel evreye “**Helyum Flaş**” ismi verilir.
- Helyumu karbona dönüştüren nükleer tepkime “**üçlü alpha tepkimesi**” olarak adlandırılır.

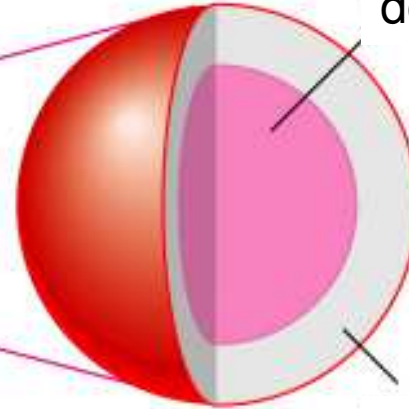
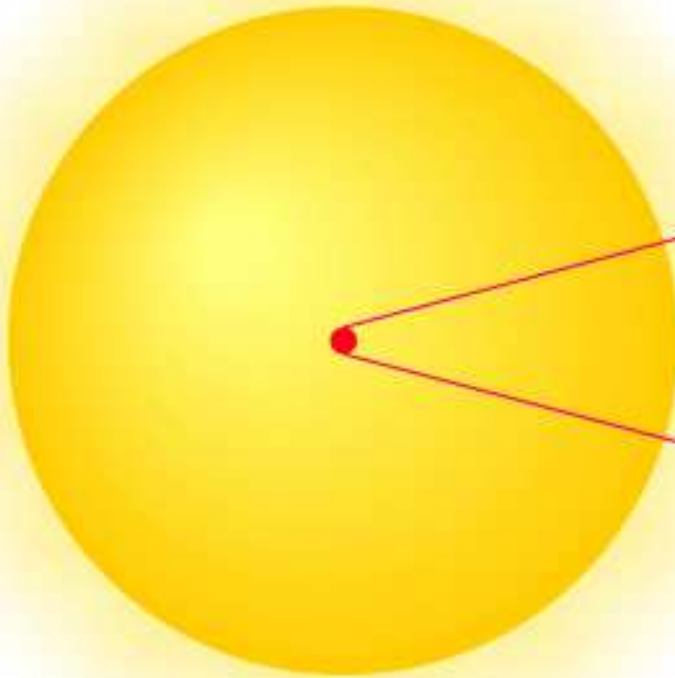


7. Helyum Yakan Anakol

- Üst katmanlarda hidrojenin helyuma dönüşümü bitmeye yüz tutmuşken, helyumun karbona dönüşümü başlar ve hemen sonrasında çekirdek daha kararlı olur.
- Yıldız bir miktar büzülerek şişmiş görüntüsünü kaybeder. Dış katmanların bu büzülmesi ışınım gücünün azalması ve yüzey sıcaklığının artmasına neden olur.
- Yıldız H-R diagramında yaklaşık 100 000 yılda tekrar geriye doğru döner.



Helyum yakan yıldızın çekirdek yapısı

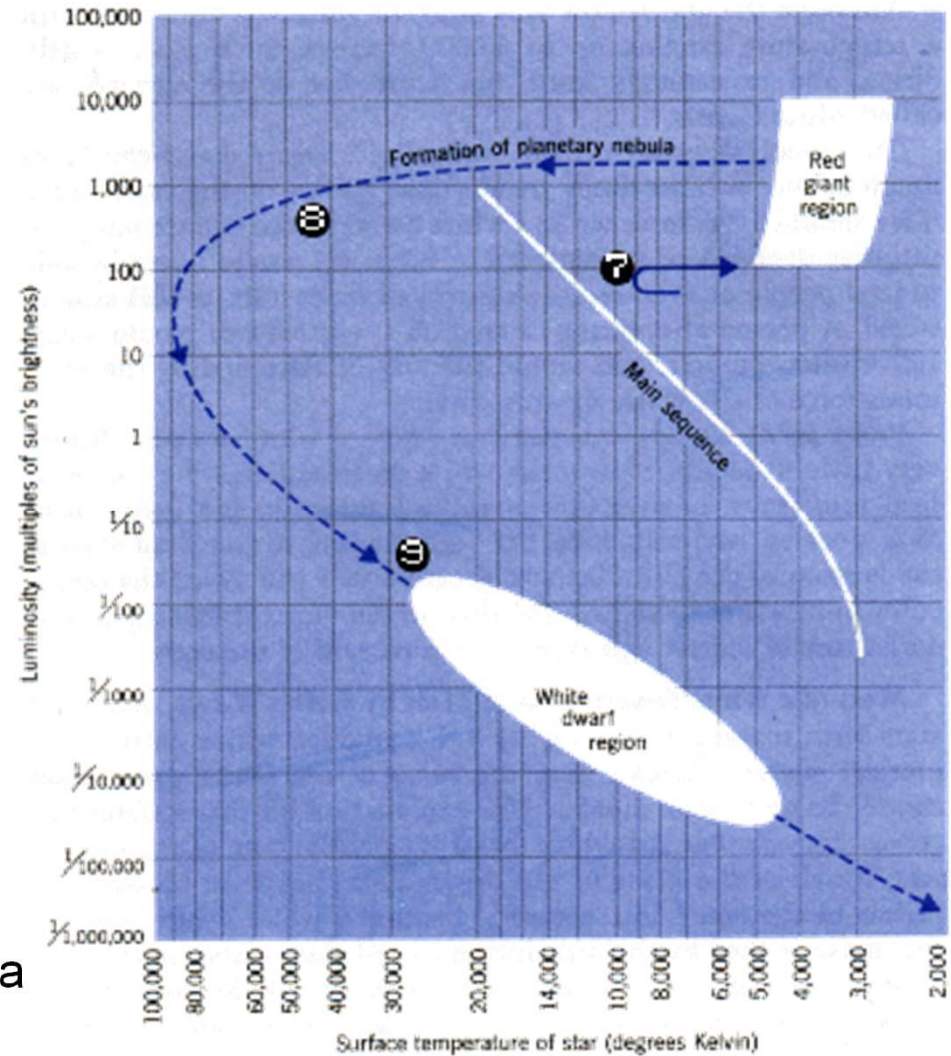


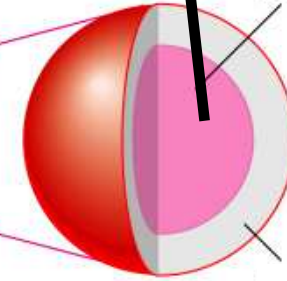
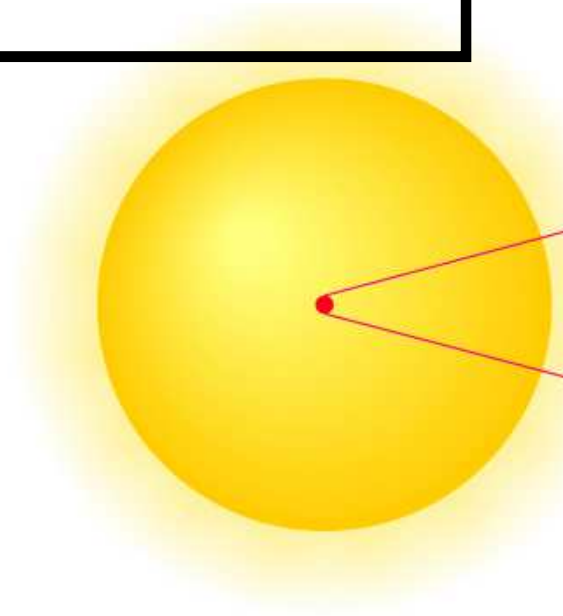
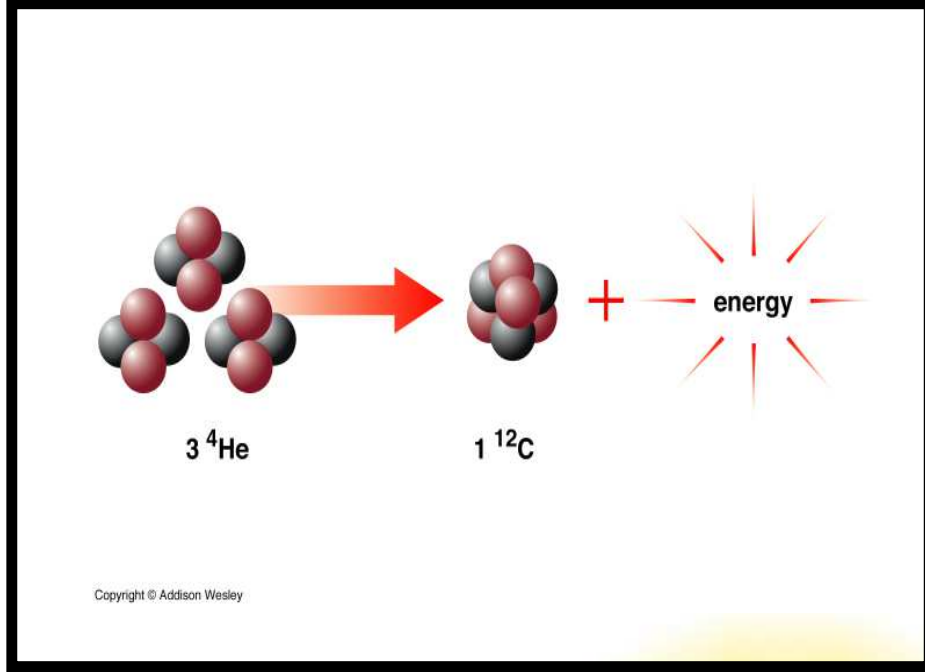
Çekirdekte
helyumu karbona
dönüştüren kısım

Hidrojeni helyuma
dönüştüren kısım

- Üçlü alpha tepkimesinden açığa çıkan enerji hidrojen yanmasından açığa çıkanın ancak %20'si kadardır.
- Bu yüzden yıldız, helyum yakan anakol üzerinde yalnız 2 milyar yıl kadar kalır.
- Karbon ve helyum bu evre içinde tepkimeye girerek karbon-oksijen çekirdek oluşturur.

$$12\text{C} + 4\text{He} \rightarrow 16\text{O}$$
- Güneş gibi bir yıldızın çekirdeğinde helyum tükendiğinde yeni bir tepkime olasılığı kalmaz.
- Helyum çekirdek üzerindeki bir kabukta kısa bir süre daha yanmaya devam eder. Ancak, artık yıldızın yaşamı bitmek üzeredir.



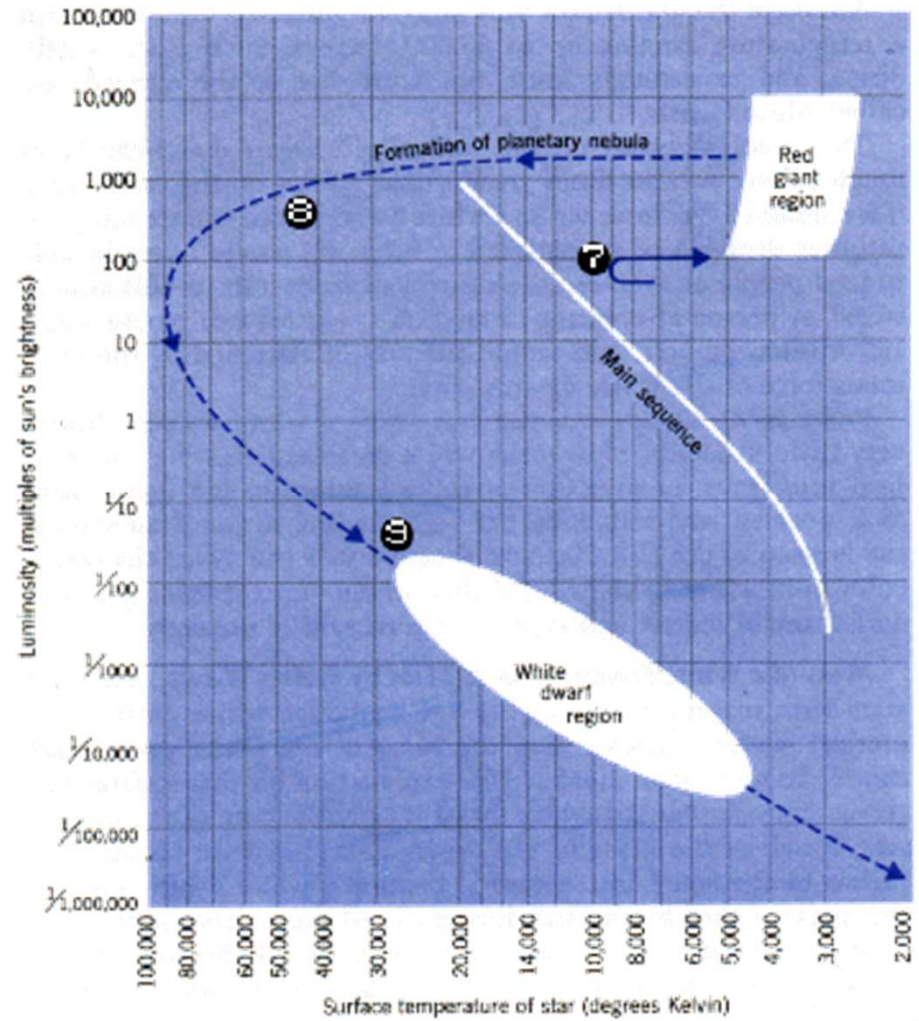


Çekirdekte helyumu
karbona dönüştüren kısım

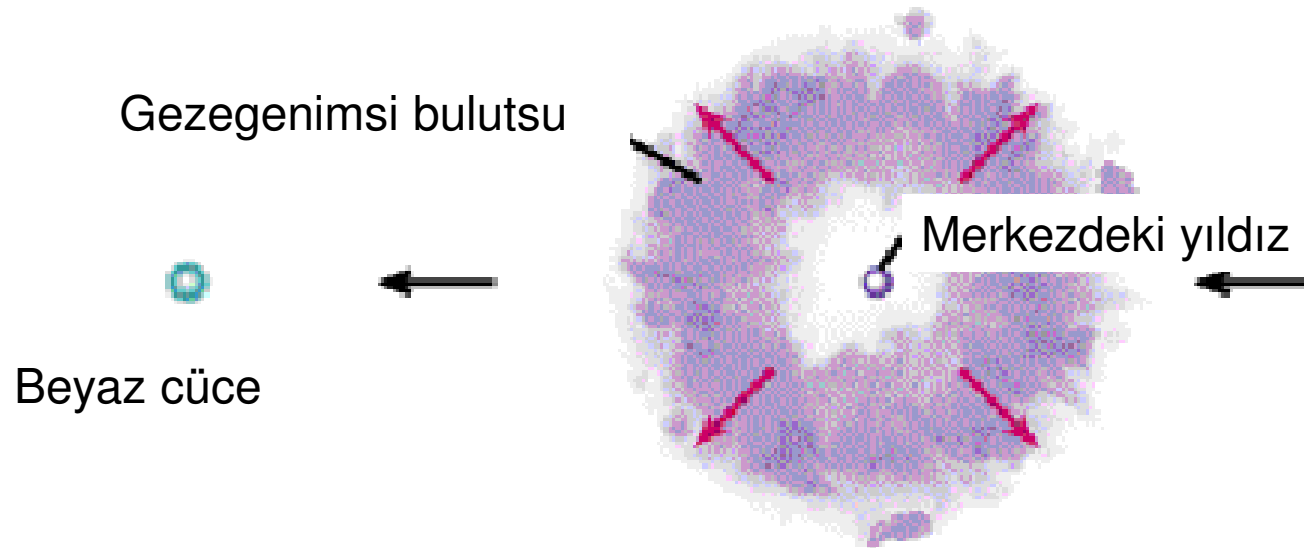
Hidrojeni helyuma
dönüştüren kısım

8. GEZEGENİMSİ BULUTSU

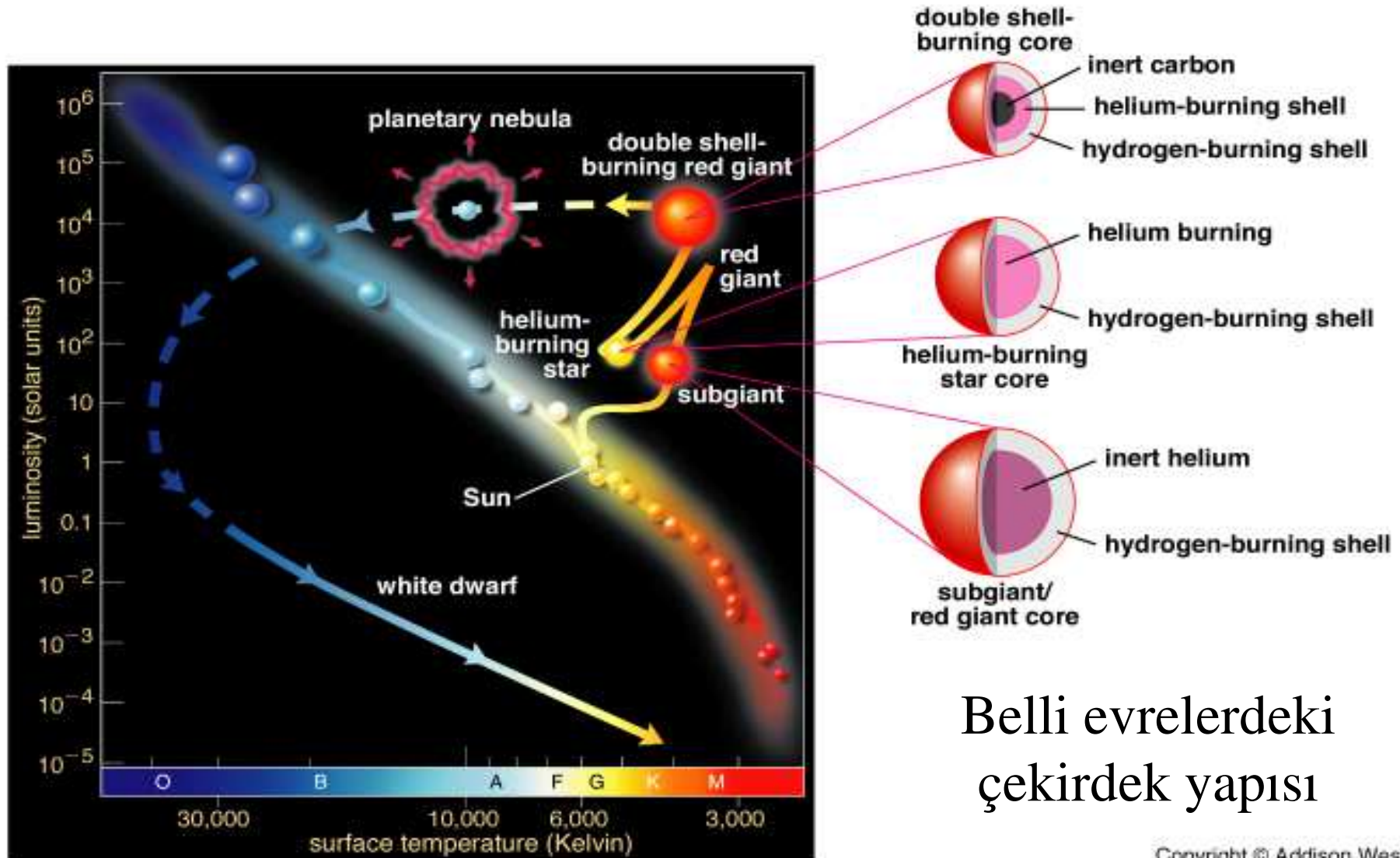
- Helyum, güneş gibi bir yıldızın çekirdeğinde tükendiğinde C-O çekirdek tekrar büzülmeye başlar.
- Merkezi sıcaklıklar karbon veya oksijeni yakabilecek yüksek değerlere asla ulaşamazken çekirdek üzerindeki katmanlarda helyum ve hidrojenin tepkimeleri devam eder.
- Yıldızlar yaşamı boyunca güneş rüzgarı gibi yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybeder. Bu kütle kaybı kırmızı dev yıldız yarıçapını arttırdıkça ve çekimini azalttıkça artar.
- Helyum yanması boyunca olan ısısal atmalar, ışınım gücünde büyük artışlar yapar.



- Helyum kabuk yanması sırasında son ısıl atma kütleinin %10'undan daha fazlasının fırlatılmasına neden olur.
- Fırlatılan madde aslında yıldızın tüm dış zarfıdır. 100 000K'ni aşan sıcak iç bölgeler açığa çıkar.
- Geriye kalan cisim “**Gezegensimsi Bulutsu**” olarak adlandırılır. Fırlatılan katmanlar yavaşça hareket ederken sıcak yıldız kalıntısı morötedede ışık yayar ve gazı ısıtarak fluoresans etkisi yapar.



1 Güneş kütleli bir yıldızın anakoldan beyaz cüceye kadar evrim yolu



Belli evrelerdeki çekirdek yapısı

Gezezenimsi Bulutsular



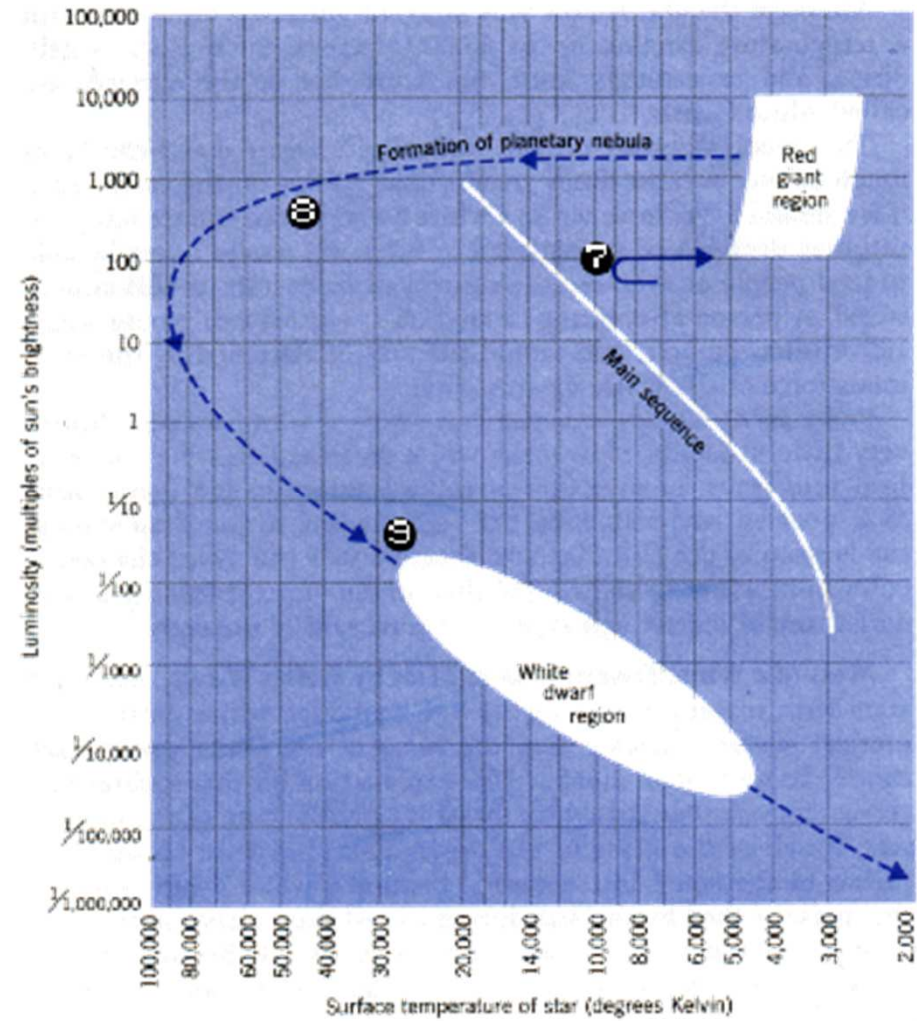
Ring



Helix

9. BEYAZ CÜCE

- Bulutsu dağıldıkça, kabuktaki nükleer tepkimeler ortadan kalkar, kalıntı yıldız soğumaya başlar.
- Beyaz cüce, yaklaşık Yer boyutlarında, küçük ve 10^6 g/cm^3 yoğunluklu bir yıldız kalıntısıdır.
- Bir beyaz cücenin ısısal enerjisini ışınım olarak tüketmesi, yüzey alanı küçük olduğu için milyarlarca yıl sürer.
- Beyaz cüce, H-R diagramında tamamen soğuyup gözden kayboluncaya kadar sağ-aşağıya doğru yavaşça hareket eder.
- Artık “**kara cüce**“ olmuştur.



R ~ Ryer
Tyüzey = 30000K - 5000K
Enerji kaynağı: “soğuma”



http://chandra.harvard.edu/xray_sources/white_dwarfs2.html

Kaynaklar

- <http://cass.ucsd.edu/public/tutorial/Stevl.html>
 - <http://www.ipac.caltech.edu/Outreach/Edu/sform.html>
 - http://www.tufts.edu/as/wright_center/cosmic_evolution/docs/fr_1/fr_1_stel.html
-