

YILDIZLARIN EVRİMİ

Ünal Ertan

Sabancı Üniversitesi

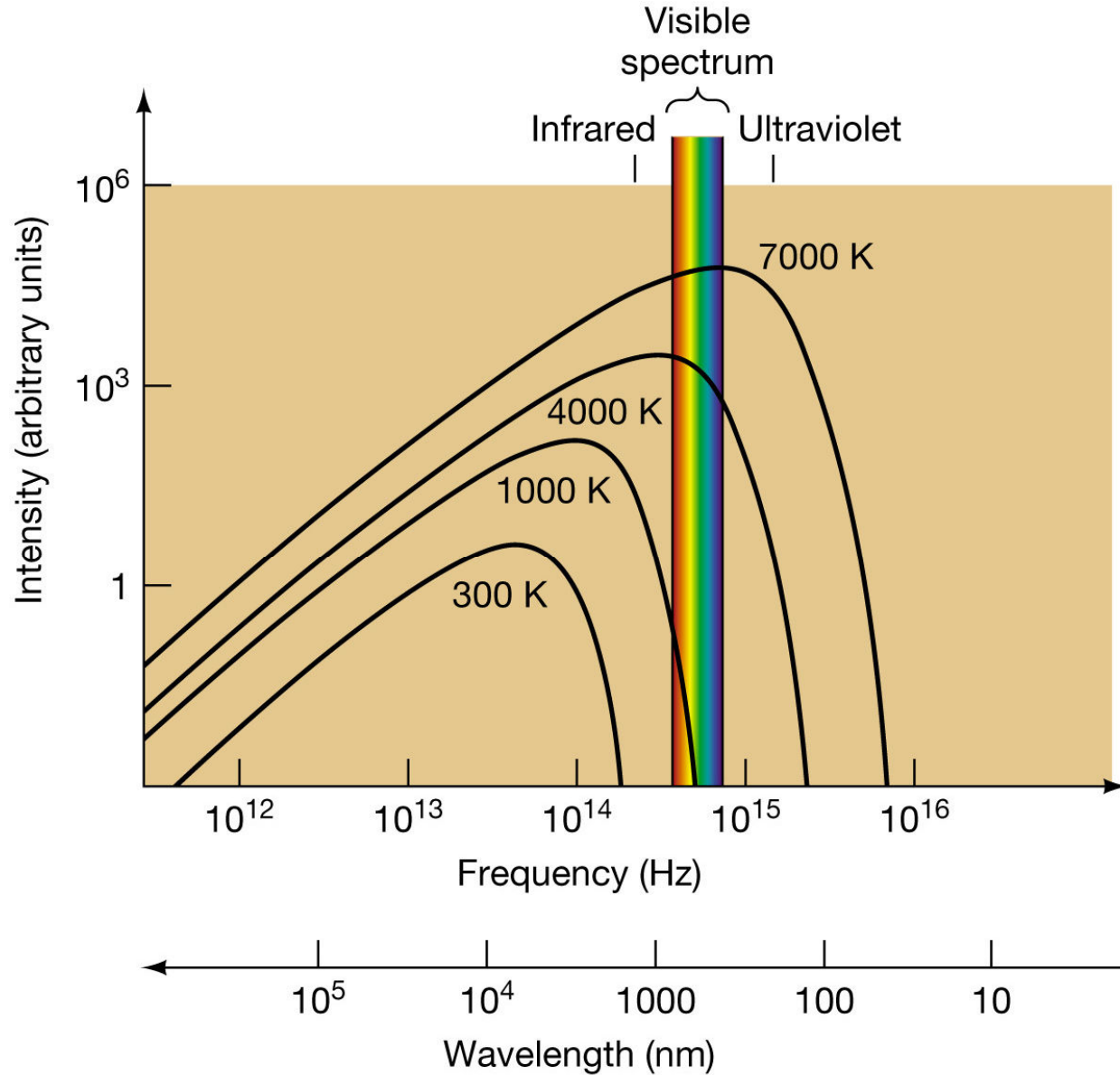
GALILEO ÖĞRETMEN AĞI ÇALIŞTAYI - Ağustos 2009

YILDIZ OLUŞUMU



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Kara Cisim Işıması

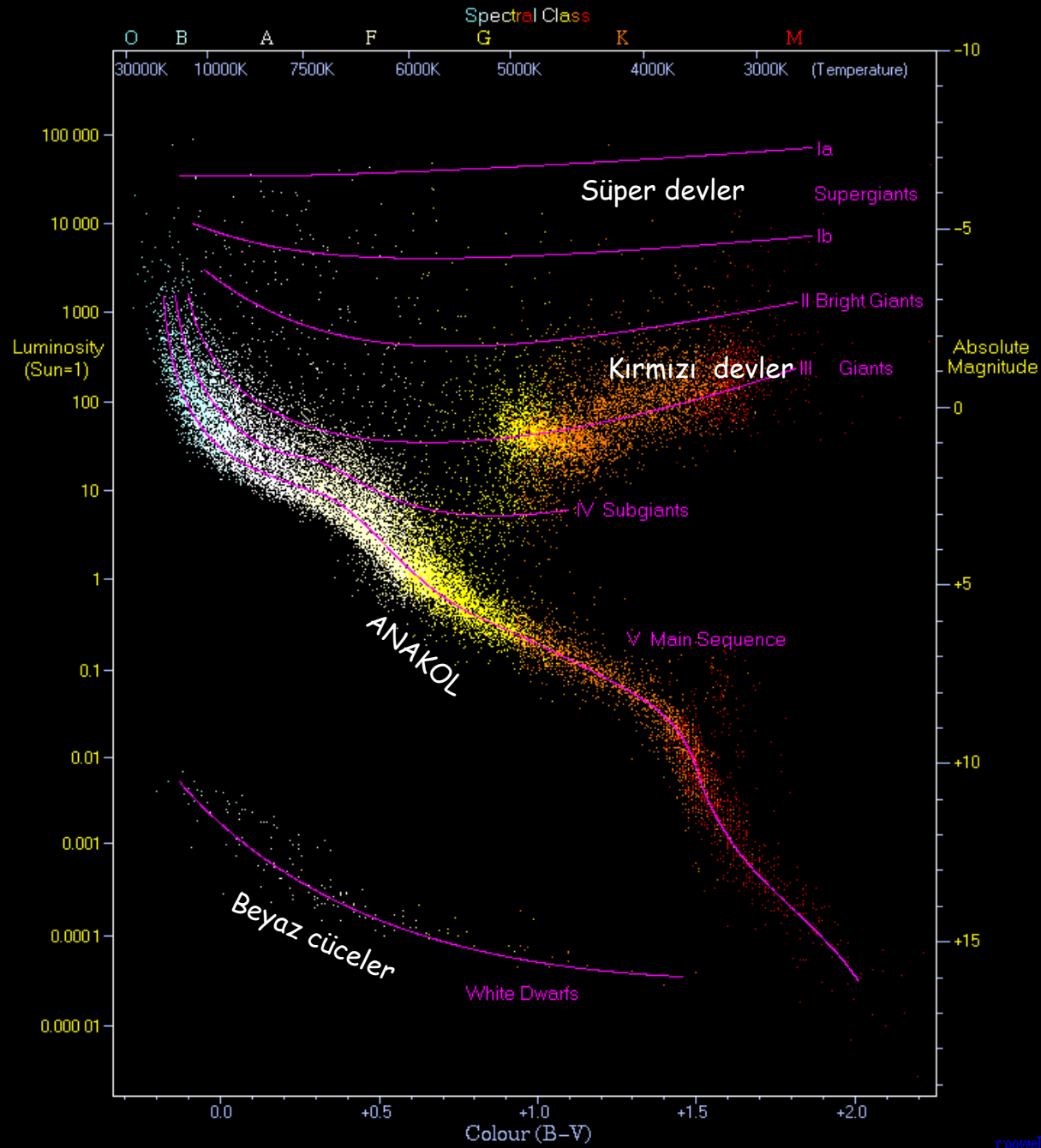


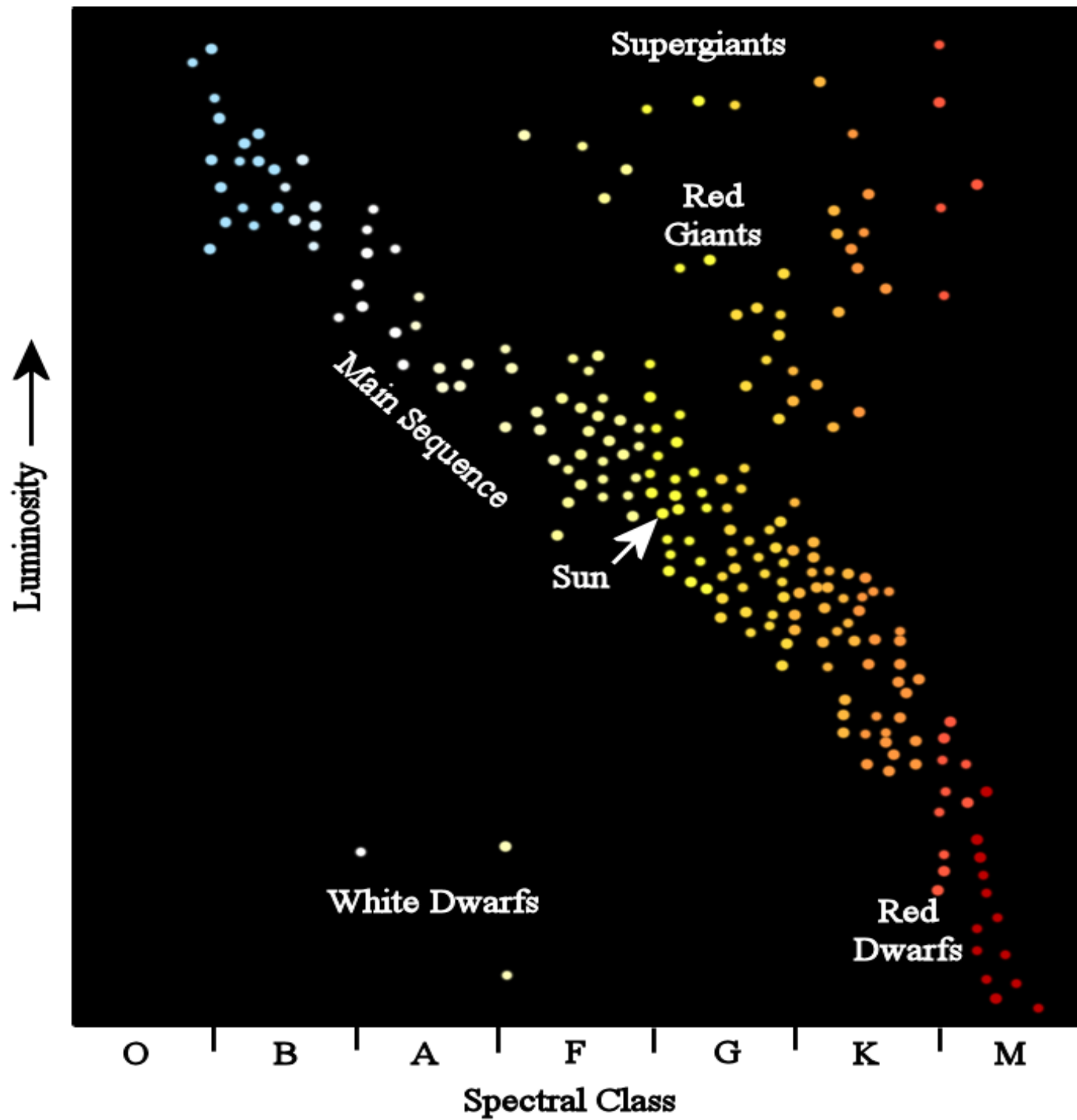
Hertzprung-Russell diyagramı. (HR – Diyagramı)

Işıma
şiddeti

Ne işe yarar ?

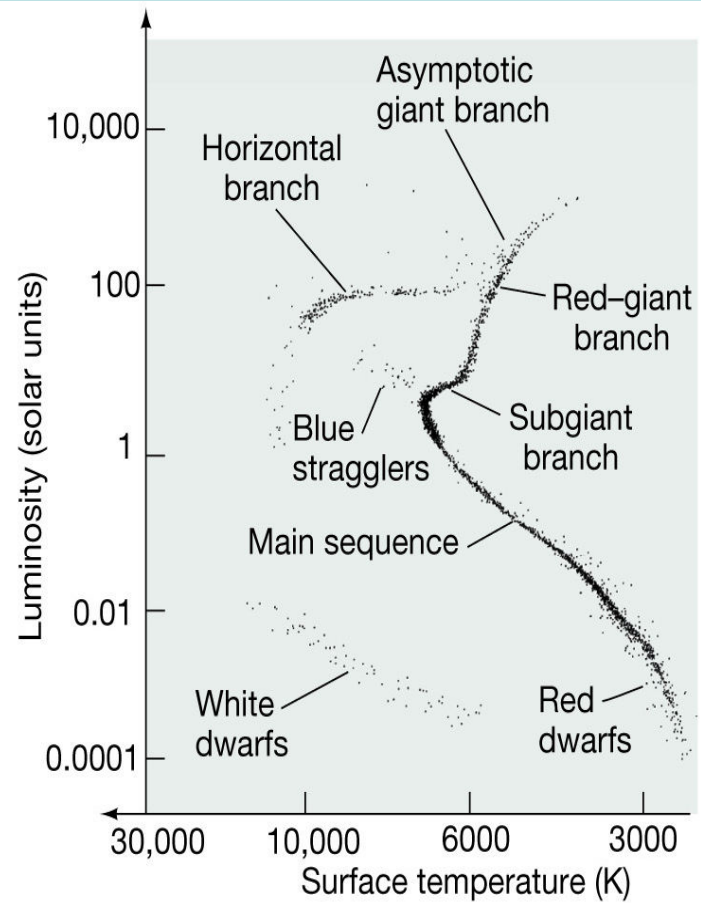
Sıcaklık (Renk)







(a)

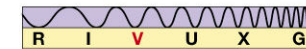
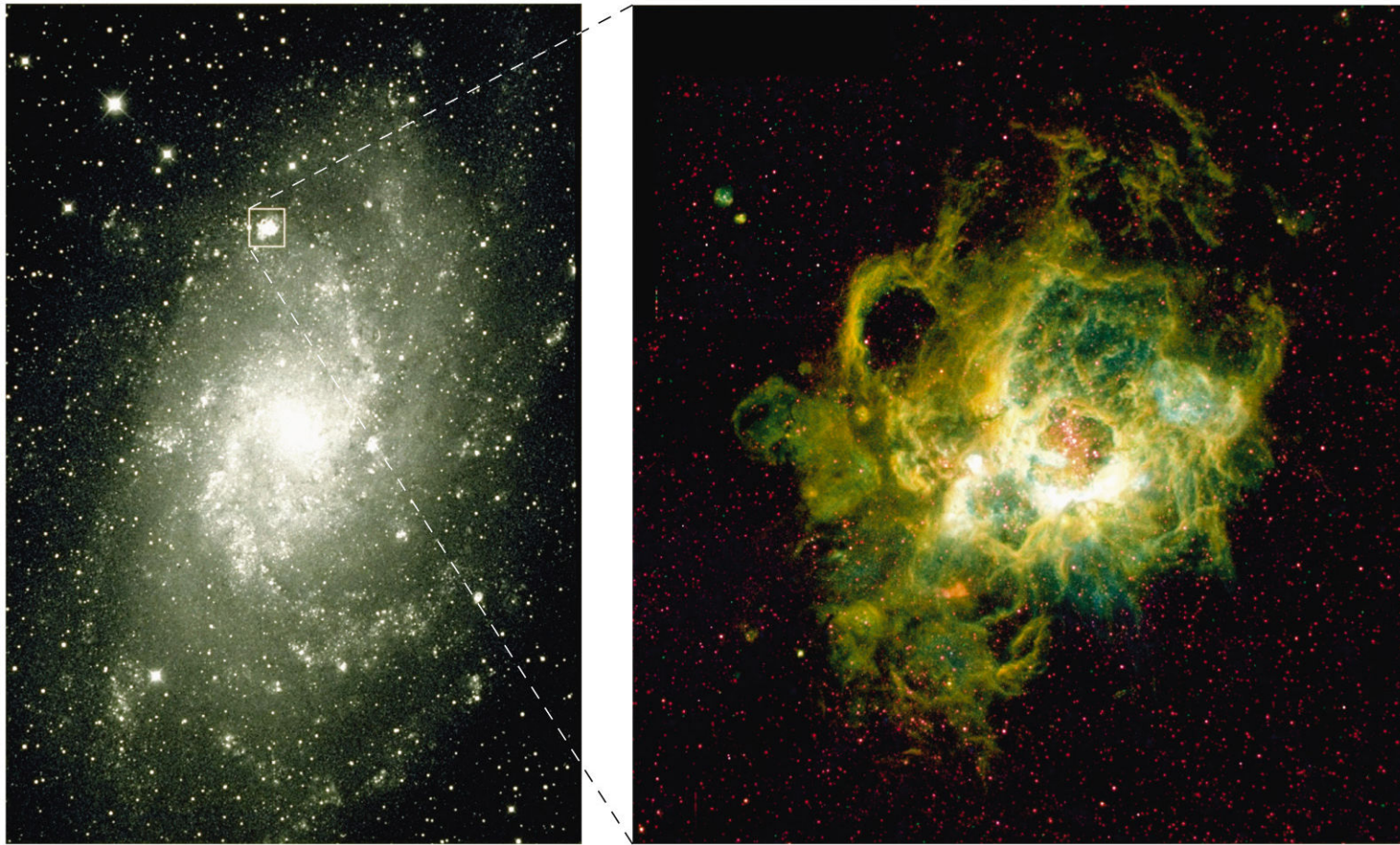


(b)



Spectral classification

Galaksimizde yıldız oluşumu, diğer galaksilerde olduğu gibi, devam eden bir süreç.



•Yıldızlararası ortamda, yoğun bir toz bulutunun bir kısmı kendi yerçekiminin etkisiyle **çökmeye** başlar.

•Çökme devam ederken, bulutun iç sıcaklığı zamanla artar. Çökme yavaş ve termal basınç nedeniyle zor olur (Yerçekimi ve basınç kuvvetleri arasında sürekli bir **yarışma** var).

•Yerçekimi kazanacaksa (çöken kütle yeterince büyükse), çökme, sıcaklıktaki artış **merkezde füzyon** reaksiyonu başlayıncaya kadar değişik aşamalardan geçerek devam eder.

Proton - proton zinciri



$$\text{Enerji} = \text{kütle} \times (\text{işık hızı})^2$$

$$(E = m c^2)$$

•Bu füzyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için sıcaklığın $10^7 \text{ K} = 100$ milyon K'e çıkması gerekir.

•Çökmekte olan toz bulutu sonunda bu sıcaklığı aşamazsa yıldız olamaz.

Yıldızlararası ortamda, toz bulutundan yıldız oluşumu belirli evreleri izler.

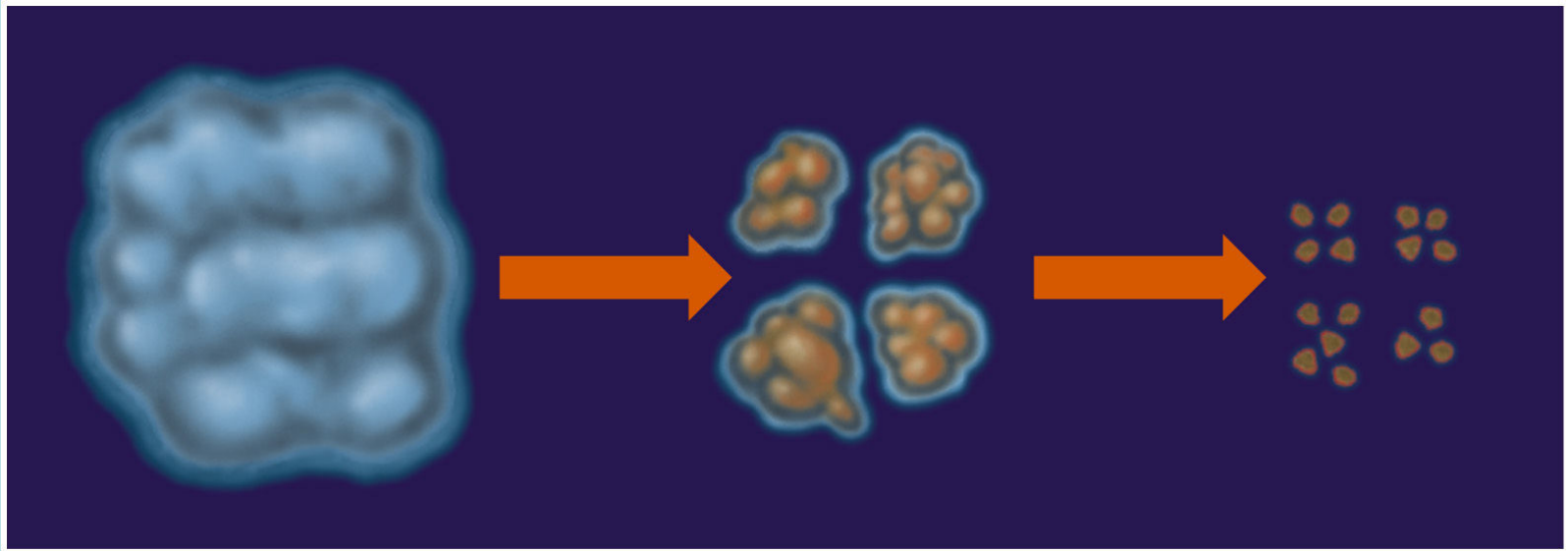
Güneş Tipi Bir Yıldızın Oluşum Evreleri

Evre	Süre	Merkezi sıcaklık	Yüzey sıcaklığı	Merkez yoğunluğu	Çap	Cisim
	(yr)	(K)	(K)	(particles/m³)	(km)	
1	2×10^6	10	10	10^9	10^{14}	Interstellar cloud
2	3×10^4	100	10	10^{12}	10^{12}	Cloud fragment
3	10^5	10,000	100	10^{18}	10^{10}	Cloud fragment/protostar
4	10^6	1,000,000	3000	10^{24}	10^8	Protostar
5	10^7	5,000,000	4000	10^{28}	10^7	Protostar
6	3×10^7	10,000,000	4500	10^{31}	2×10^6	Star
7	10^{10}	15,000,000	6000	10^{32}	1.5×10^6	Main-sequence star

**Round numbers; for comparison, recall that the diameter of the Sun is 1.4×10^6 km, while that of the solar system is roughly 1.5×10^{10} km.*

1. Evre:

Toz bulutu yıldızlararası ortamda şok ve basınç dalgalarıyla tetiklenerek çökmeye balar. Çöme devam edip, yoğunluk artarken, büyük toz bulutu parçalanarak küçük parçalara (fragmanlara) ayrılır (Fragman sıcaklığı yaklaşık 10 K).



2. Evre:

Fragmanlar çökmeye devam eder. Yoğunluk yeterince arttığında daha fazla bölünme olmaz. Fragmanların içi kendi ışınımına opak (ışık geçirmez) hale gelir. Bu sırada sıcaklık çok düşük. (100 K merkezde, 10 K yüzeye yakın)

3. Evre:

İç kısımlar artık opak olduğundan ısınmaya başlar ve merkezdeki sıcaklık sıcaklık 10 000 K'e ulaşır .

Güneş Tipi Bir Yıldızın Oluşum Evreleri

Evre	Süre (yr)	Merkezi sıcaklık (K)	Yüzey sıcaklığı (K)	Merkez yoğunluğu (particles/m ³)	Çap (km)	Cisim
1	2×10^6	10	10	10^9	10^{14}	Interstellar cloud
2	3×10^4	100	10	10^{12}	10^{12}	Cloud fragment
3	10^5	10,000	100	10^{18}	10^{10}	Cloud fragment/protostar
4	10^6	1,000,000	3000	10^{24}	10^8	Protostar
5	10^7	5,000,000	4000	10^{28}	10^7	Protostar
6	3×10^7	10,000,000	4500	10^{31}	2×10^6	Star
7	10^{10}	15,000,000	6000	10^{32}	1.5×10^6	Main-sequence star

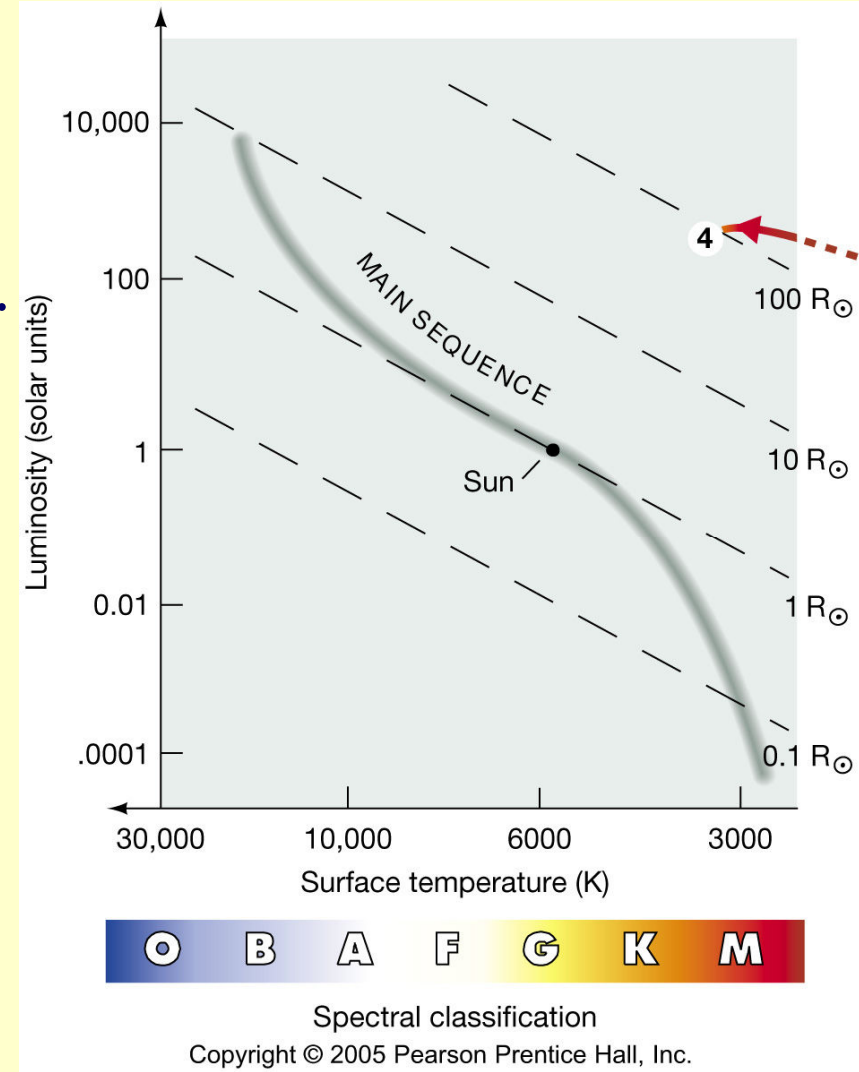
**Round numbers; for comparison, recall that the diameter of the Sun is 1.4×10^6 km, while that of the solar system is roughly 1.5×10^{10} km.*

4. Evre:

Yoğunlaşmış ve ısınmış bulutun çekirdeği bu evrede **protostar** olarak adlandırılır. Artık kara cisim ışıması yapan bir yüzeyi (**fotosferi**) var. Bu aşamada, protostar H-R diagramına girer.

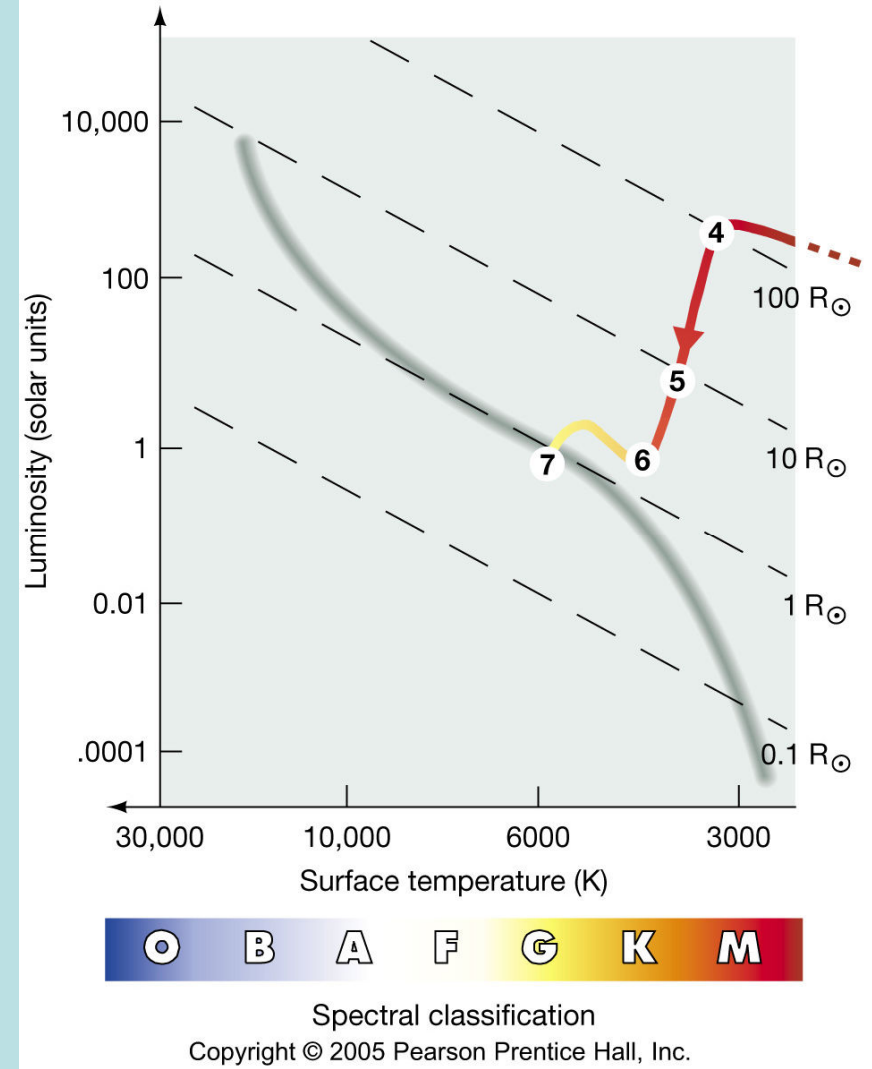
3 → 4. Evre:

Kelvin -Helmholtz büzülme evresi.



• From 4 →6 :
Hayashi evresi.

• Bu evrede yıldızın parlaklığı (luminosity) azalırken sıcaklık artar. Bunun nedeni protostar'ın yoğunlaşıp yarıçapının hızla küçülmesi.



Güneş Tipi Bir Yıldızın Oluşum Evreleri

Evre	Süre	Merkezi sıcaklık	Yüzey sıcaklığı	Merkez yoğunluğu	Çap	
Cisim						
1	2×10^6	10	10	10^9	10^{14}	Interstellar cloud
2	3×10^4	100	10	10^{12}	10^{12}	Cloud fragment
3	10^5	10,000	100	10^{18}	10^{10}	Cloud fragment/protostar
4	10^6	1,000,000	3000	10^{24}	10^8	Protostar
5	10^7	5,000,000	4000	10^{28}	10^7	Protostar
6	3×10^7	10,000,000	4500	10^{31}	2×10^6	Star
7	10^{10}	15,000,000	6000	10^{32}	1.5×10^6	Main-sequence star

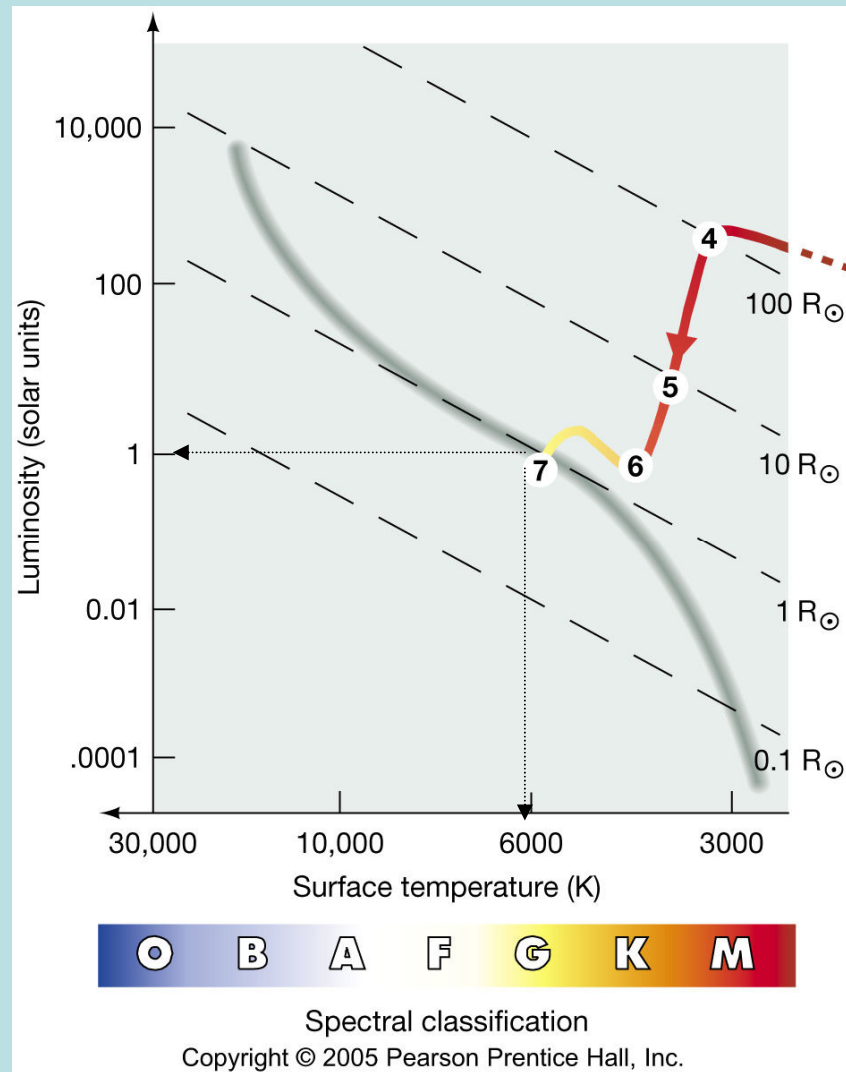
**Round numbers; for comparison, recall that the diameter of the Sun is 1.4×10^6 km, while that of the solar system is roughly 1.5×10^{10} km.*

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

•6. Evre: Çekirdek sıcaklığı **10 milyon K**'e ulaşır ve füzyon reaksiyonu başlar. Böylece yeni bir yıldız doğmuş olur.

•Yıldız **hidrostatik dengeye** ulaşınca kadar biraz daha büzülür ve sıcaklığı artar.

•7 evre: Bu evrede yıldız artık bir **anakol** yıldızıdır. Hidrojenini harcayıp dengesi bozuluncaya kadar anakol üzerinde yaklaşık aynı noktada kalır.



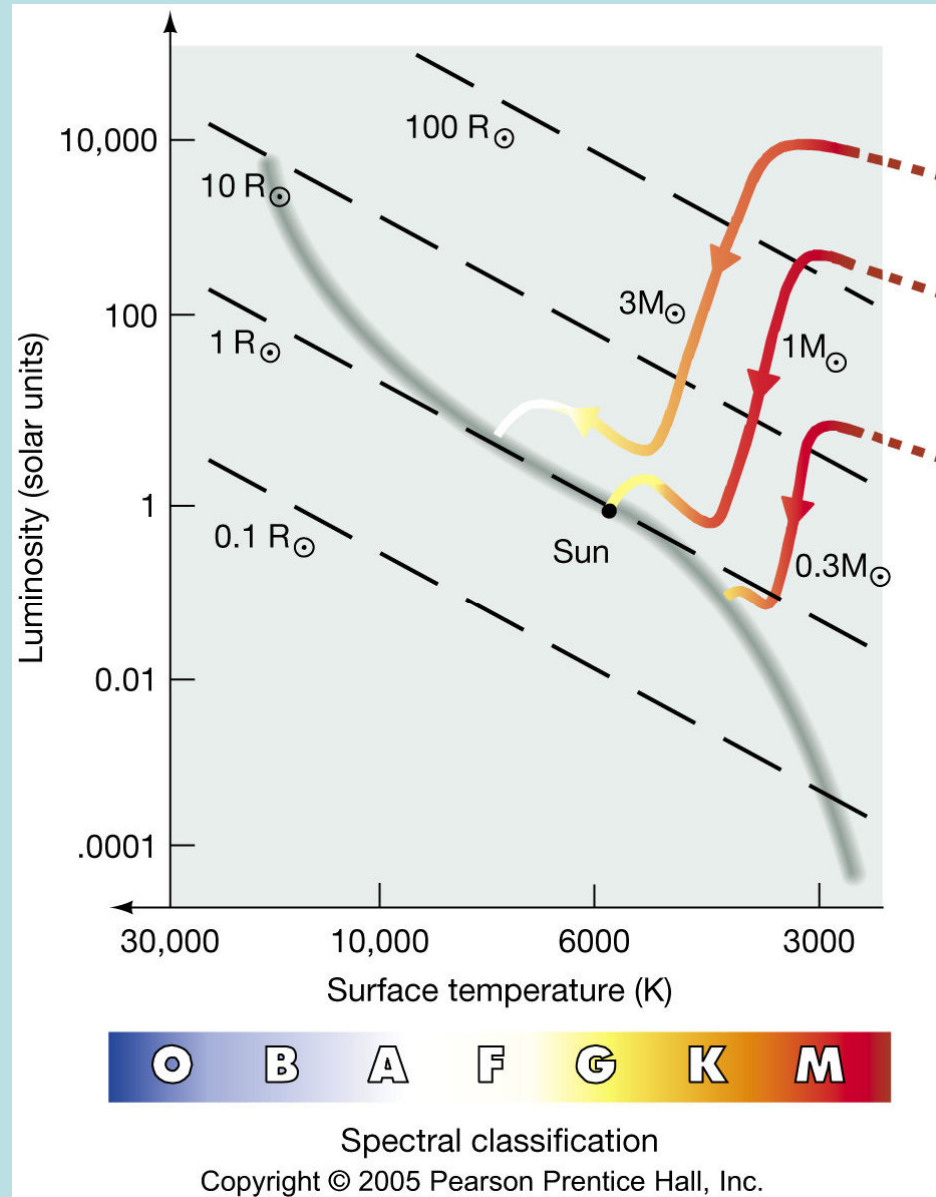
Güneş Tipi Bir Yıldızın Oluşum Evreleri

Evre	Süre (yr)	Merkezi sıcaklık (K)	Yüzey sıcaklığı (K)	Merkez yoğunluğu (particles/m ³)	Çap (km)	Cisim
1	2×10^6	10	10	10^9	10^{14}	Interstellar cloud
2	3×10^4	100	10	10^{12}	10^{12}	Cloud fragment
3	10^5	10,000	100	10^{18}	10^{10}	Cloud fragment/protostar
4	10^6	1,000,000	3000	10^{24}	10^8	Protostar
5	10^7	5,000,000	4000	10^{28}	10^7	Protostar
6	3×10^7	10,000,000	4500	10^{31}	2×10^6	Star
7	10^{10}	15,000,000	6000	10^{32}	1.5×10^6	Main-sequence star

**Round numbers; for comparison, recall that the diameter of the Sun is 1.4×10^6 km, while that of the solar system is roughly 1.5×10^{10} km.*

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Farklı kütlelerde yıldızlar?

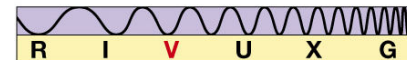


•Anakol bir çizgiden çok bir bant şeklinde.
Bunun nedeni yıldızların farklı kimyasal bileşenlere sahip olmaları.

•Yıldızlar anakol üzerinde hareket etmiyorlar.
Anakol üzerine geldikten sonra , yakıtları bitene kadar hidrostatik dengede ve yaklaşık aynı noktada kalıyorlar.

- Bazı fragmanlar yeteri kadar kütleyle sahip değilse, yıldız olamıyor, zamanla soğuyorlar.
- Böyle başarısız (failed star) yıldızlar kahverengi cüce (brown dwarf) olarak adlandırılıyor.
- Füzyonun başlayabilmesi için fragmanın sahip olması gereken en düşük kütle $0.08 M_{\text{güneş}}$ civarında. Daha düşük kütleli toz bulutları ya da fragman hiçbir zaman 10^7 K sıcaklığa ulaşmıyor.

Bir yıldız oluşum bölgesi



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Yıldız Evrimi



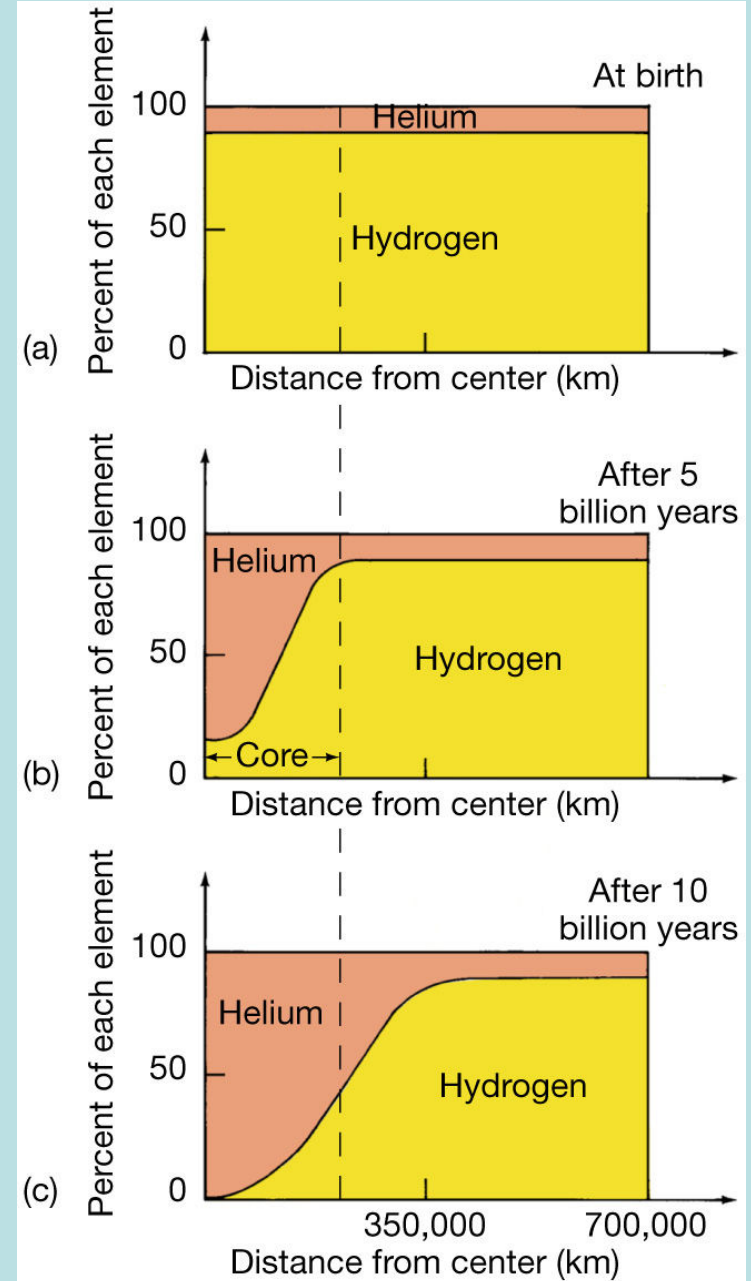
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Güneş kütleli bir yıldız **anakol üzerinde** :

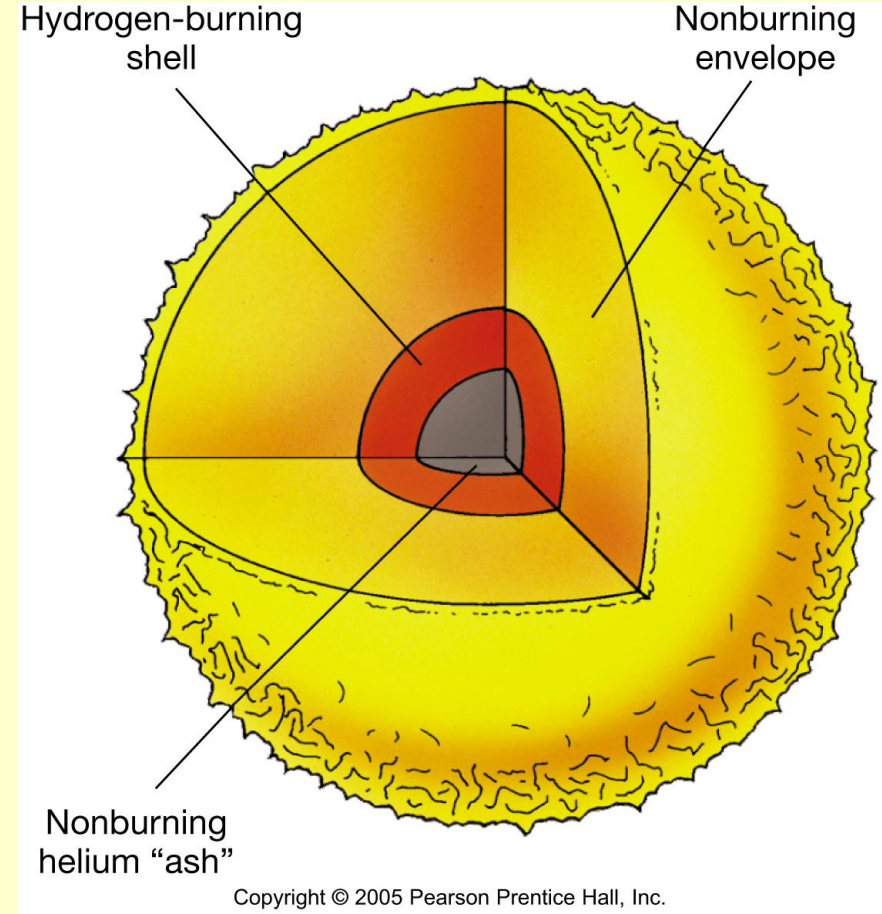
- 10 milyar yıl kalıyor.
- Yıldız hidrostatik dengede.
- Çekirdekte nükleer yanma (füzyon)
- Parlaklıkta çok yavaş bir artış (3-4 faktörü kadar)
- Yakıt bittiğinde, yıldız anakolu terkeder.

Güneş Tipi bir yıldızın evrimi

Anakol üzerindeyken, hidrojen yanması nedeniyle, yıldızın çekirdeğindeki kimyasal bileşimi yavaşça değişiyor.



- Merkezde yanmadan sonra helyum oluşuyor, ve çökmeye başlıyor.
- Hidrojen çekirdeğin dışında yanmaya devam ediyor.



Güneş Tipi Bir Yıldızın Evrimi

Evre	Süre	Merkezi sıcaklık	Yüzey sıcaklığı	Merkez yoğunluğu	Yarıçap	Cisim	
	(Yr)	(10^6 K)	(K)	(kg/m^3)	(km)	(solar radii)	
7	10^{10}	15	6000	10^5	7×10^5	1	Main-sequence star
8	10^8	50	4000	10^7	2×10^6	3	Subgiant branch
9	10^5	100	4000	10^8	7×10^7	100	Helium flash
10	5×10^7	200	5000	10^7	7×10^6	10	Horizontal branch
11	10^4	250	4000	10^8	4×10^8	500	Asymptotic-giant branch
12	10^5	300	100,000	10^{10}	10^4	0.01	Carbon core
		—	3000	10^{-17}	7×10^8	1000	Planetary nebula*
13	—	100	50,000	10^{10}	10^4	0.01	White dwarf
14	—	Close to 0	Close to 0	10^{10}	10^4	0.01	Black dwarf

*Values refer to the envelope.

8. Evre : Küçük Dev evresi

- Yıldız anakolu terk etmeye başlar.
- Sonraki evrim kütleyle bağlı.

9. Evre: Kırmızı Dev Kolu

Helyum çekirdek büzölmeye devam eder.

Yer çekim enerjisi açığa çıkar.

Çelirdek sıcaklığı yükselir.

→ Çekirdeği çevreleyen H-yanma hızı artar.

→ Yıldız genişler.

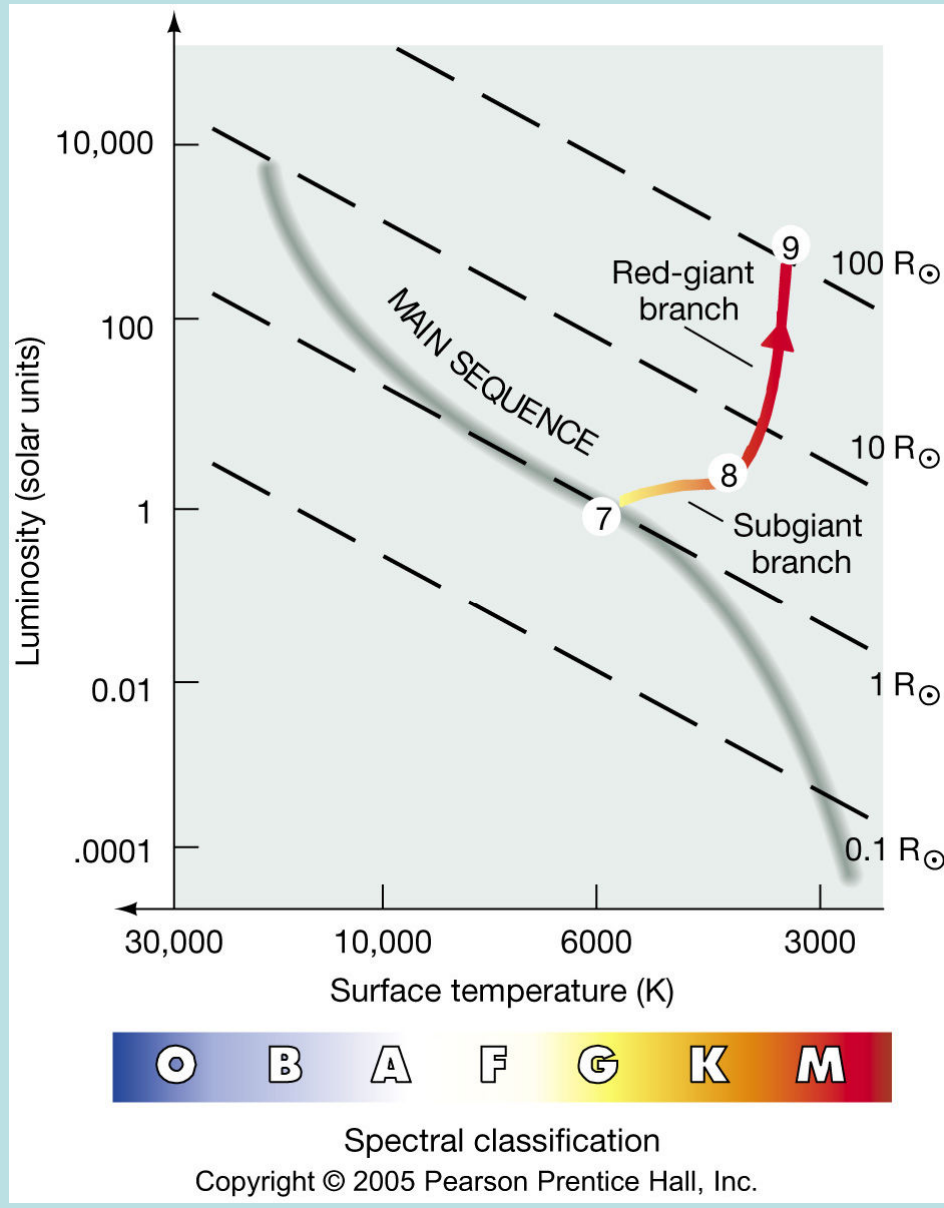
•Merkez sıcaklık hala He-füzyon tepkimesi için yetersiz.

•Yıldızın dış katmanları genişler ve soğur.

→ Kırmızı Dev.

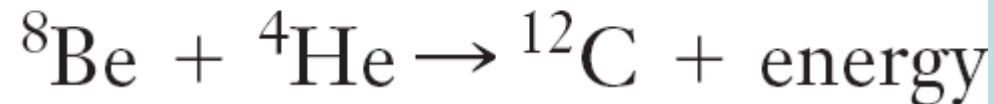
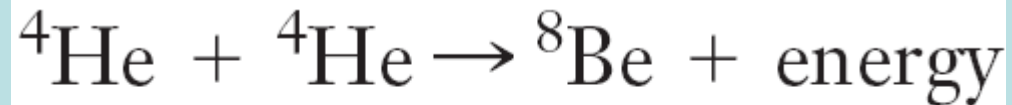
•Yıldız şimdi daha soğuk, fakat ışımaya şiddeti genişlemiş yüzey nedeniyle yüksek,

•Yıldız anakoldan kırmızı dev fazına yaklaşık 10^8 yılda geliyor.



10: Helyum Yanması

Çekirdek sıcaklığı 10^8 K yükselir ve helyum **üçlü-alpha** füzyonu ile karbon oluşturmaya başlar:



Helyum parlaması (He-Flash):

He-füzyonu fazında çekirdekte çok yüksek yoğunluklara ulaşılır (100 kg/cm^3). Kuantum mekanik etkiler önemli olmaya başlar.

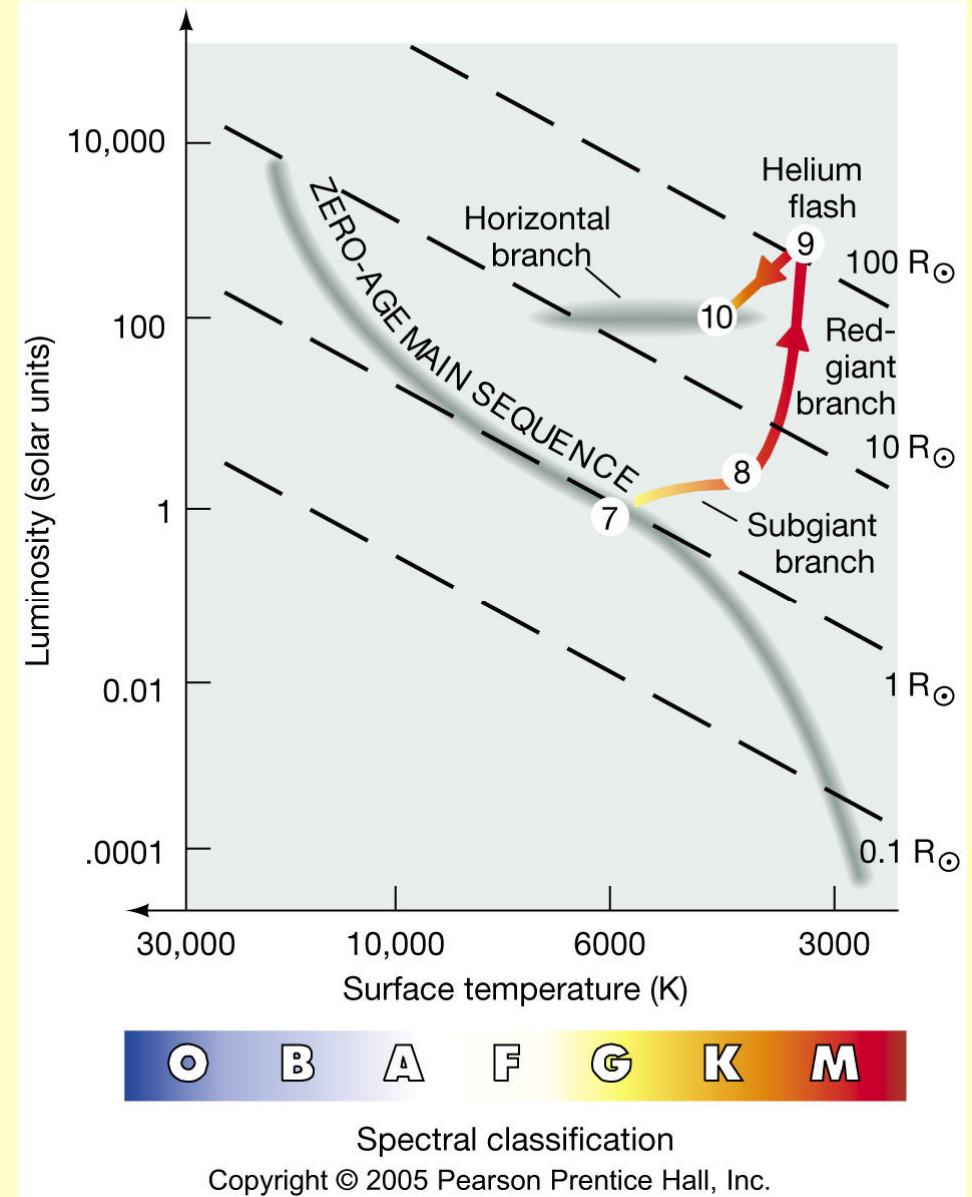
- Elektronlar serbest, fakat **Pauli dışlama prensibi** nedeniyle birbirlerine çok fazla yaklaşamazlar (elektronlar dejenere olur).
- (2 elektron aynı kuantum durumunda bulunamaz, çekirdek bu yüzden belli bir noktadan sonra daha fazla büzülemez).
- Bu sırada basıncın hemen tüm kaynağı **dejenere elektron** basıncıdır.
- Elektron dejenere basıncı sıcaklığa duyarlılığı çok az olduğundan, basınç çok değişmeden sıcaklık ve ona bağlı olarak füzyon hızı artar.

•Çekirdekte, helyum çok hızlı bir şekilde, saatler içinde, füzyonla karbona dönüşür
carbon (He-FLAŞ!)

•Termal basınç kritik bir sıcaklığın üzerinde yeniden baskın hale gelir. Hidrostatik denge yeniden sağlanır.

•Çekirdek yeterince genişlemiş olduğundan, füzyon hızı yavaşlar.

•Yıldız yatay kola (horizontal branch) gelir.



Güneş Tipi Bir Yıldızın Evrimi

Evre	Süre	Merkezi sıcaklık	Yüzey sıcaklığı	Merkez yoğunluğu	Yarıçap	Cisim	
	(Yr)	(10^6 K)	(K)	(kg/m^3)	(km)	(solar radii)	
7	10^{10}	15	6000	10^5	7×10^5	1	Main-sequence star
8	10^8	50	4000	10^7	2×10^6	3	Subgiant branch
9	10^5	100	4000	10^8	7×10^7	100	Helium flash
10	5×10^7	200	5000	10^7	7×10^6	10	Horizontal branch
11	10^4	250	4000	10^8	4×10^8	500	Asymptotic-giant branch
12	10^5	300	100,000	10^{10}	10^4	0.01	Carbon core
		—	3000	10^{-17}	7×10^8	1000	Planetary nebula*
13	—	100	50,000	10^{10}	10^4	0.01	White dwarf
14	—	Close to 0	Close to 0	10^{10}	10^4	0.01	Black dwarf

*Values refer to the envelope.

•Yatay kolda çekirdekte helyum yanarken, (anakoldaki gibi) yıldız hidrostatic dengede.

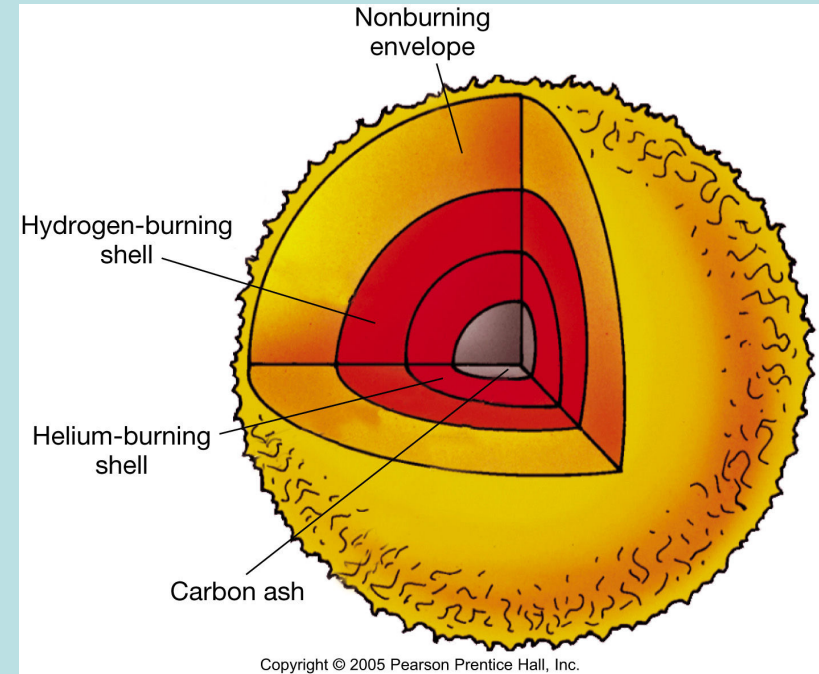
•Yatay kol bir evrim çizgisi değil

•Yatay yol üzerinde yıldızın konumu kütesine bağlı.

11.Evre: Kırmızı süperdeve doğru.

Çekirdek merkezinde biriken karbon yeterli sıcaklık olmadığı, için füzyon tepkimesine giremez, fakat sıkışmayla gittikçe ısınır.

Artan sıcaklık nedeniyle karbonu çevreleyen He ve H füzyon tepkime hızları artar.



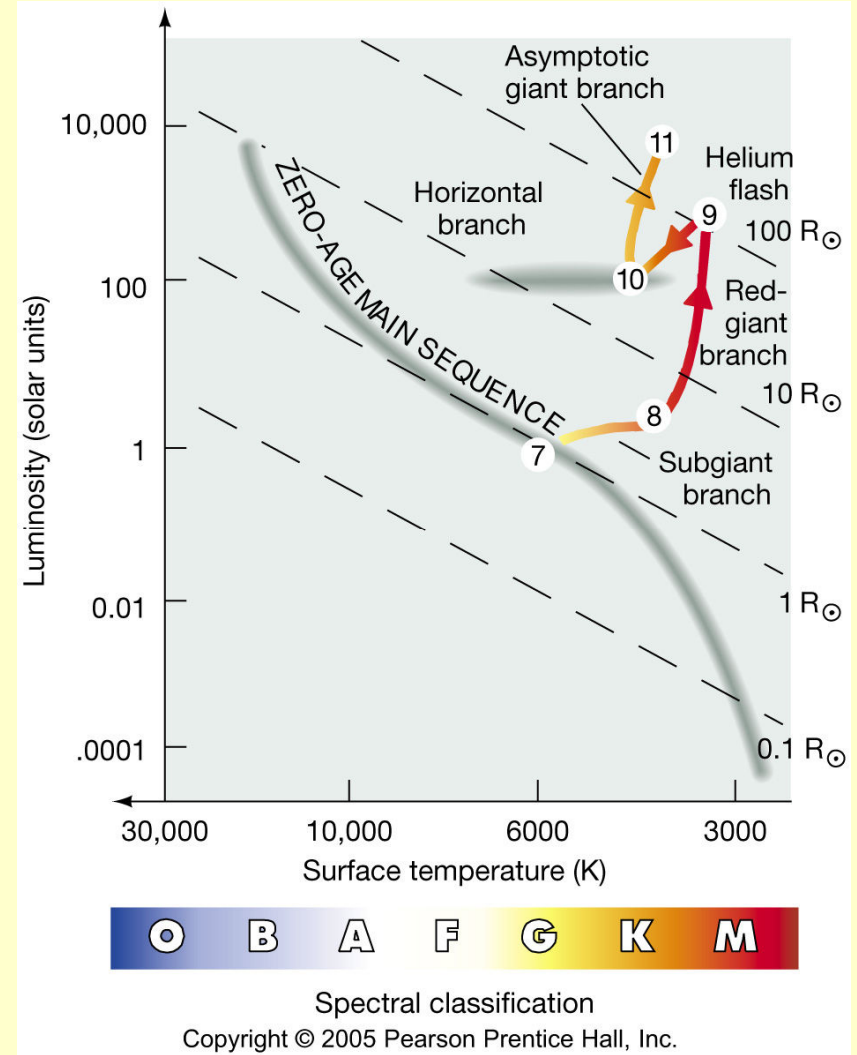
•Yaklaşık 10^6 yılda, He-yanması sona erer.

•Çekirdekte biriken karbon kritik sıcaklığa ulaşamadığından, basınç düşer büzülme başlar.

•Açığa çıkan enerji kabuklardaki yanmayı daha da hızlandırır.

•Sonuçta, yıldız hızla genişler ve bir kırmızı süperdev olur. (10^4 yrs)

•Yıldızın kütlesi yeterli olmadığından çekirdek etkili bir karbon yanması için gerekli sıcaklığa ulaşamaz.

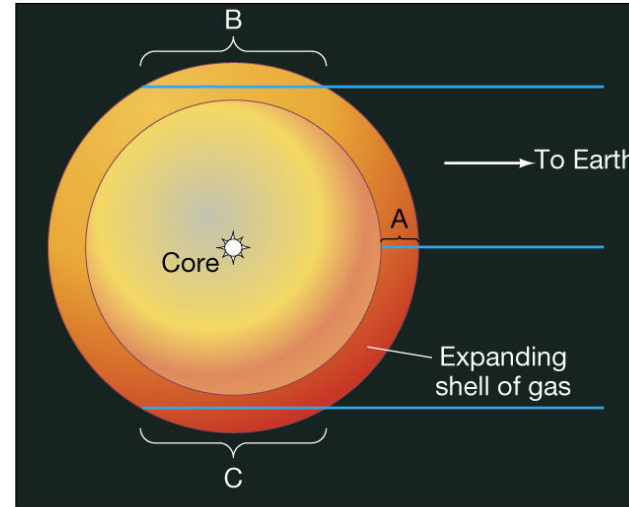


- **12. Evre:** Yıldız kırmızı süperdev evresinde kararlı değil. Sıcaklık yüksek olduğundan He-füzyon kabuğunda tekrarlayan helyum parlamaları meydana gelir.
- Açığa çıkan enerji üçlü alfa reaksiyon hızlarını ani bir şekilde artırır.
- Yıldızın füzyon bölgesi üstündeki katmanları periyodik olarak genişip büzölmeye başlar. Genleşme genlikleri gitgide büyür, sonunda dış katmanları çekirdekten ayrılarak genişler.
- Çekirdek biraz daha büzölürken, ayrılan katmanlar bir gezegensiz bulut (planetary nebula) oluşturur.
- Bu düşük kütleli bir yıldızın ölümü demek, çünkü füzyon artık sona erdi, yakıt tükendi.

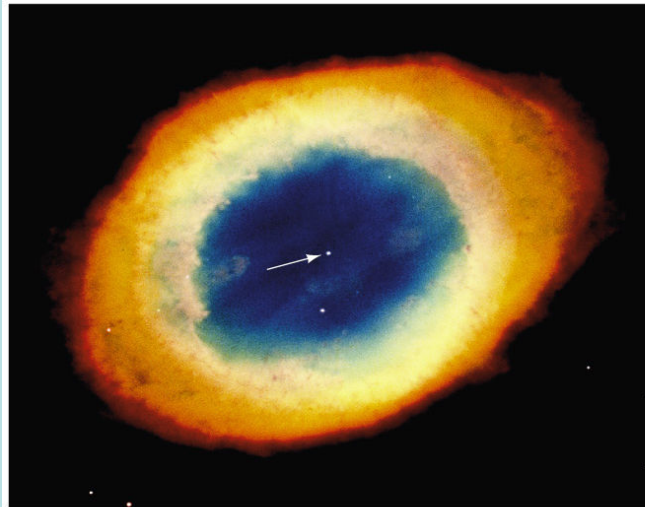
Düşük kütleli bir yıldızın ölümü



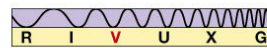
(a)



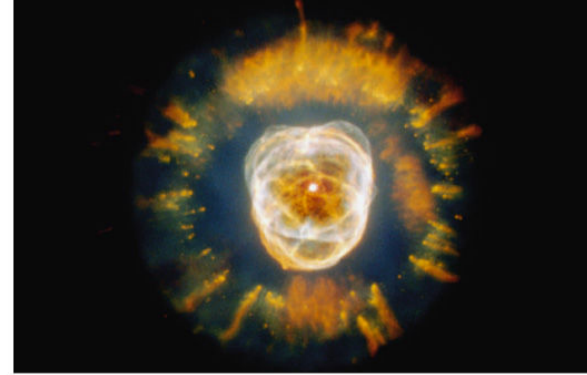
(b)



(c)



Çekirdek soğurken,
etrafındaki madde
genişler ve etrafa
yayılmaya devam eder.



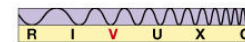
(a)



(b)



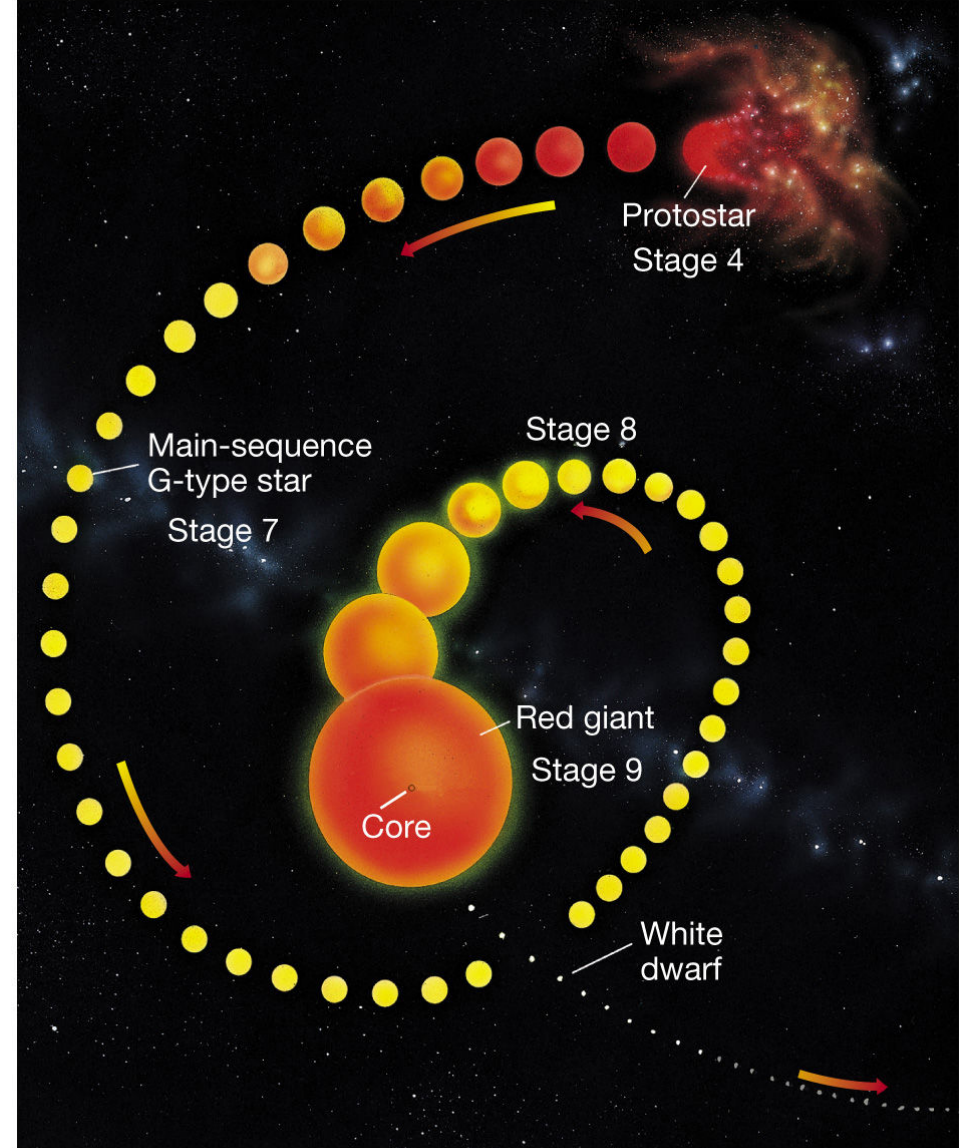
(c)



Güneş tipi bir yıldızın evrimi

Böyle yıldızların
çekirdekleri karbon
yakamadığından soğumaya
devam eder.

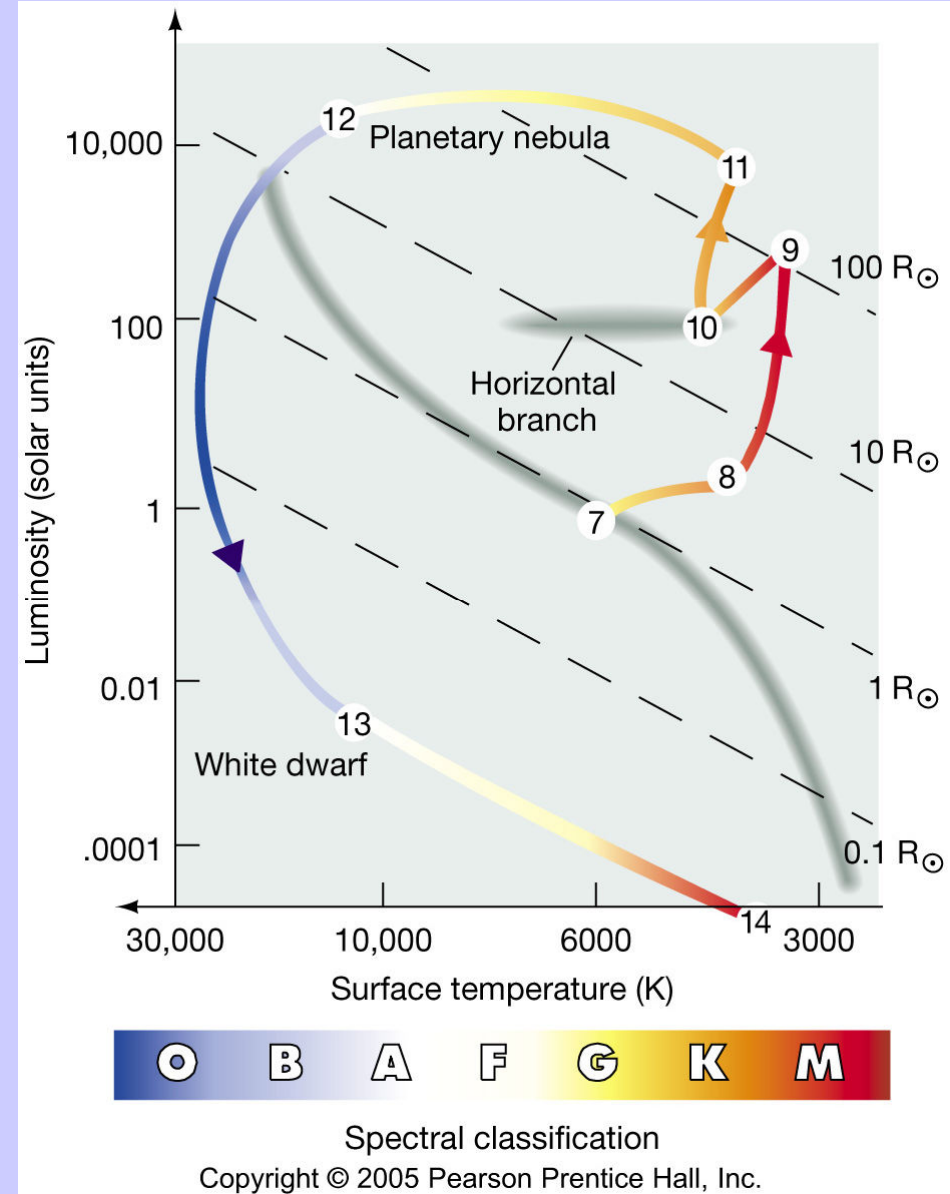
Beyaz cüce → kara cüce



13. and 14. Evre: Beyaz ve Kara Cüceler

Gezegensiz bulut dağıldıktan sonra, geriye çok yoğun, sıcak ve küçük bir yıldız kalır (**beyaz cüce**)

Beyaz cücenin ilk zamanlarındaki yüksek ışıma şiddeti yüksek sıcaklığından kaynaklanıyor.

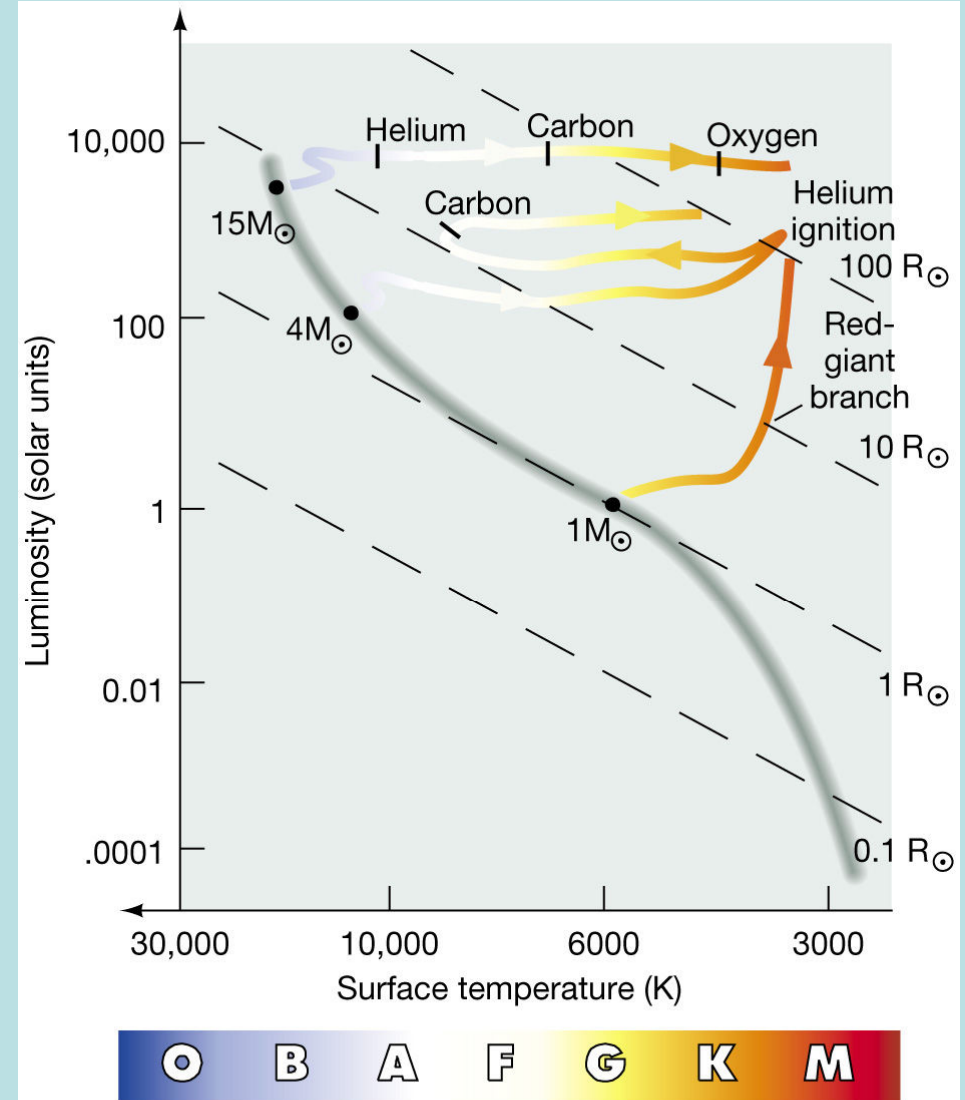


Yüksek Kütleli Yıldızların Evrimi

• Daha hızlı yaşıyorlar, çok daha genç ölüyorlar.

• Çok parlak bir yaşantıları oluyor.

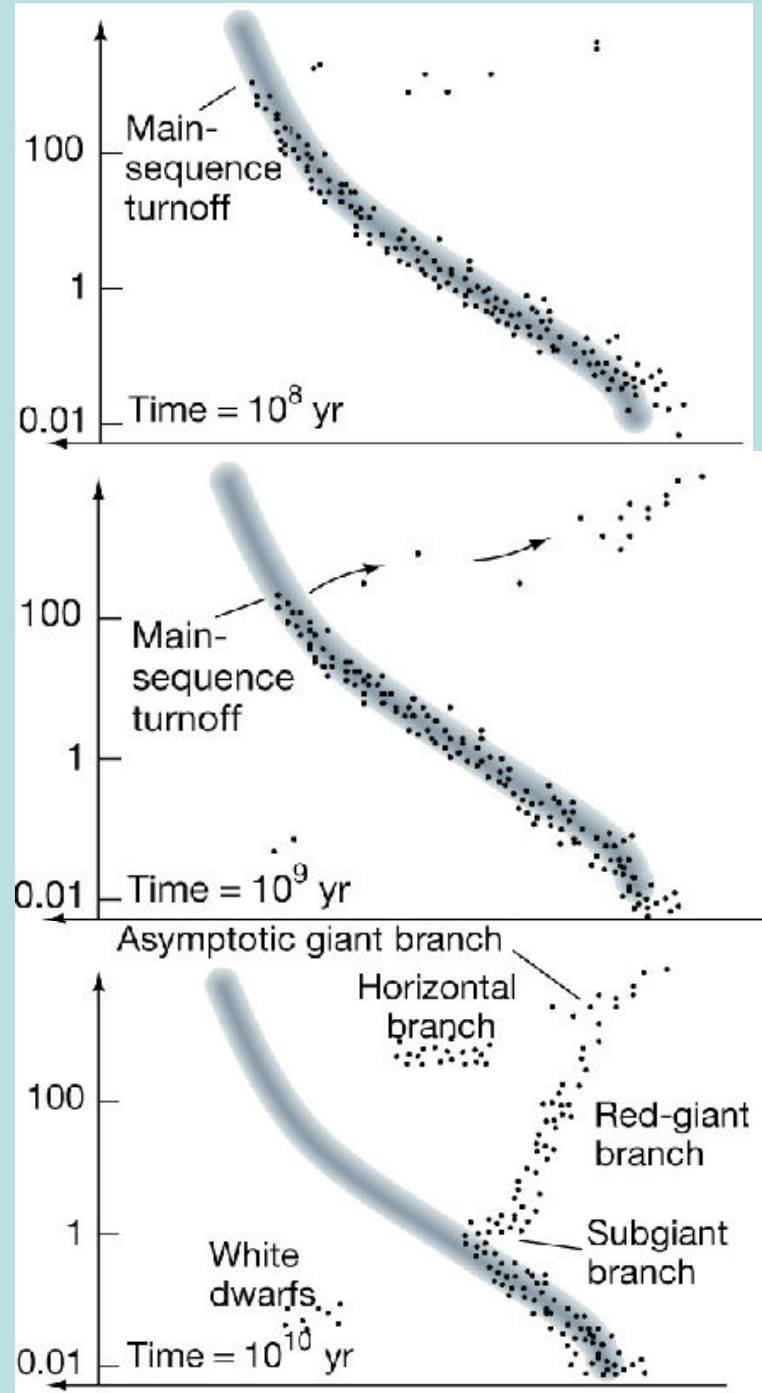
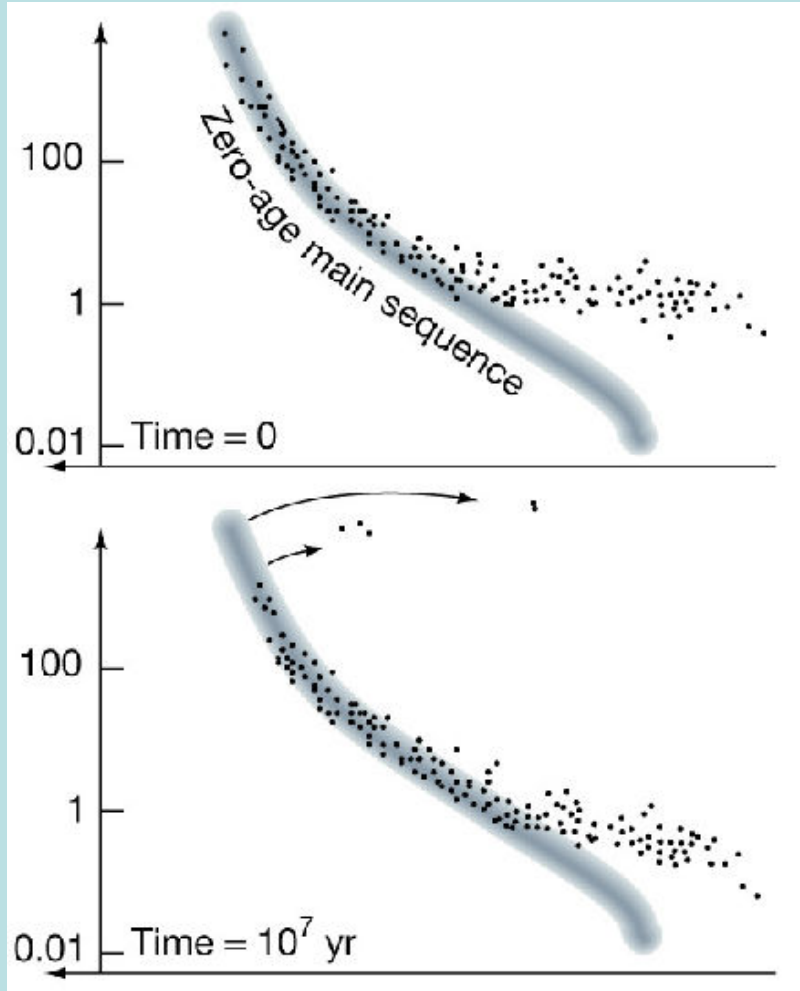
Ölümleri de çok şatafatlı, renkli → **süpernova**



Spectral classification

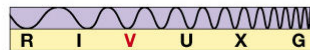
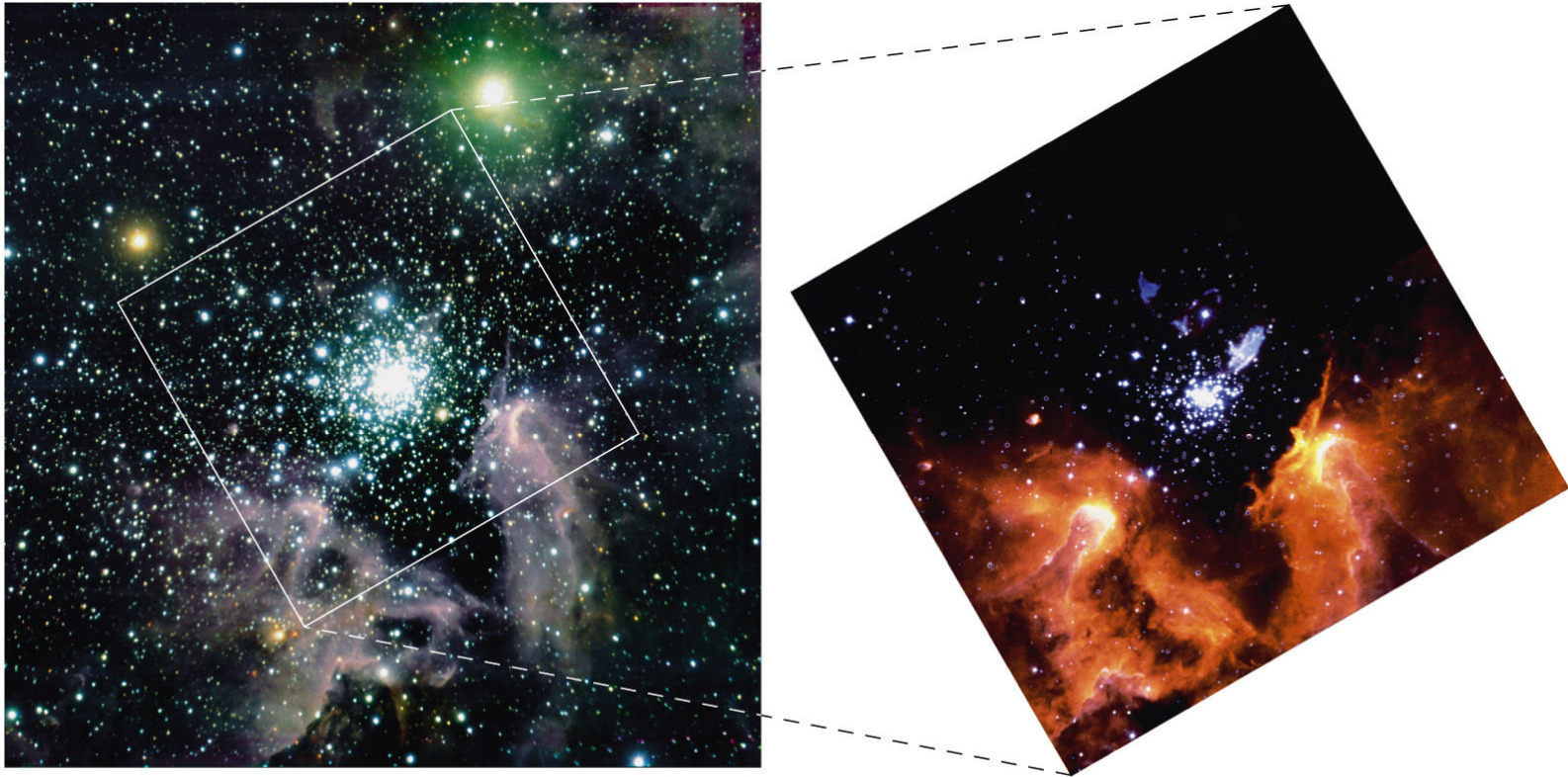
Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

Aynı yaşta farklı kütlelerde yıldızların evrimi



Yıldız Kümeleri

Yıldızlararası ortamda bir toz bulutunun çökmesi tek bir yıldızdan çok bir yıldız kümesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu yıldızların hepsi aynı yaşta ve aynı kimyasal yapıya sahip olduklarından, yıldız kümeleri evrimde kütlelerin önemini çalışmak için bulunmaz laboratuvarlar.



Yıldız Kümeleri

Genel olarak iki tür yıldız kümesi gözlemliyoruz. Bunlar **açık kümeler** ve **küresel kümeler** olarak adlandırılıyor. Uzaydaki geometrileri dışında en önemli farklılıkları, küresel kümelerin çok yaşlı açık kümelerin ise genç olması.

Yüksek kütleli anakol yıldızlarının küresel kümelerde olmayışının nedeni bu kümelerin çok yaşlı olması-oluşmalarından bu yana yüksek kütleli yıldızlar çoktan yakıtlarını bitirip anakolu terk etmiş.

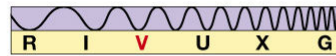
Açık Kümeler:

- Tipik olarak 100 - a few $\times 1000$ yıldızdan oluşuyor.
- Düzensiz şekilleri var.
- Çapları yaklaşık birkaç $\times 10^4$ pc
- Yüksek kütleli yıldızlardan oluşuyorlar.

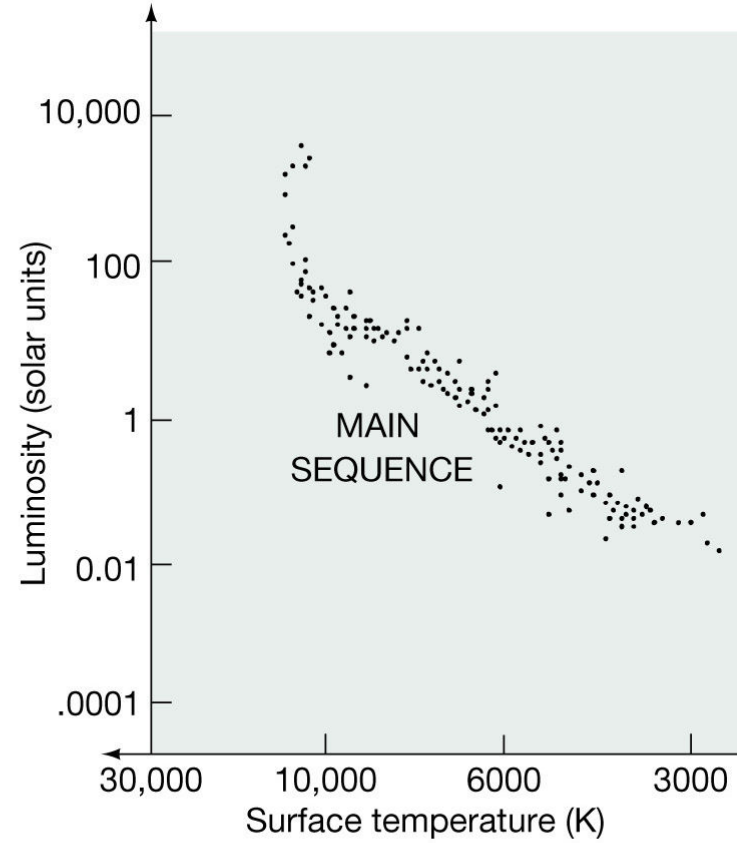
Pleiades (bir açık yıldız kümesi örneği).



(a)



Yaş: 10^8 yıl



(b)

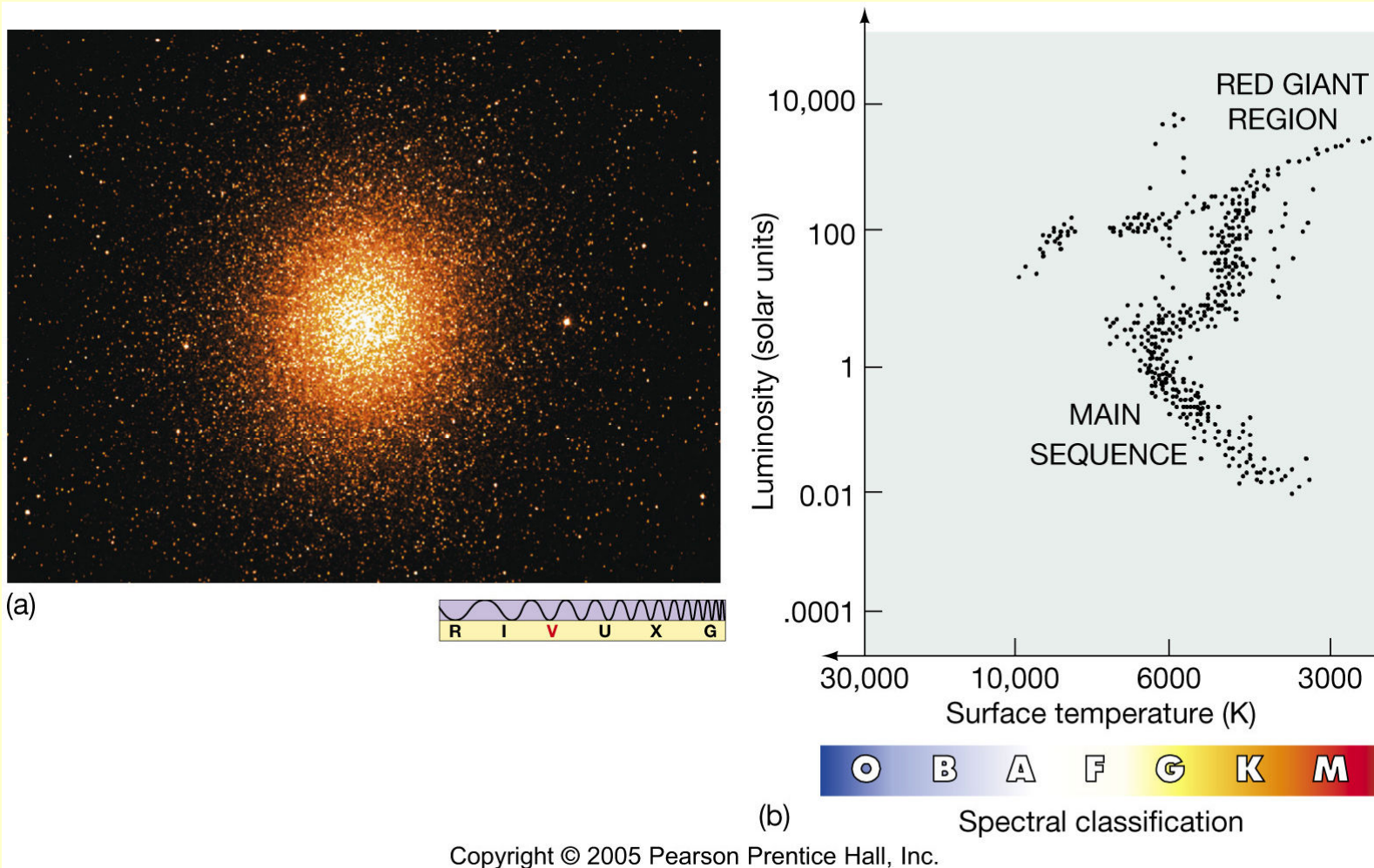


Spectral classification

Küresel Kümeler:

- 10^5 - 10^6 yıldız.
- Yapıları küresel
- Çap: 50 -100 pc
- Samanyolu'ndaki en yaşlı yıldızları içeriyor.
- Yaş: Birçok küresel küme için 10^{10} (10 milyar) yıldan daha fazla.

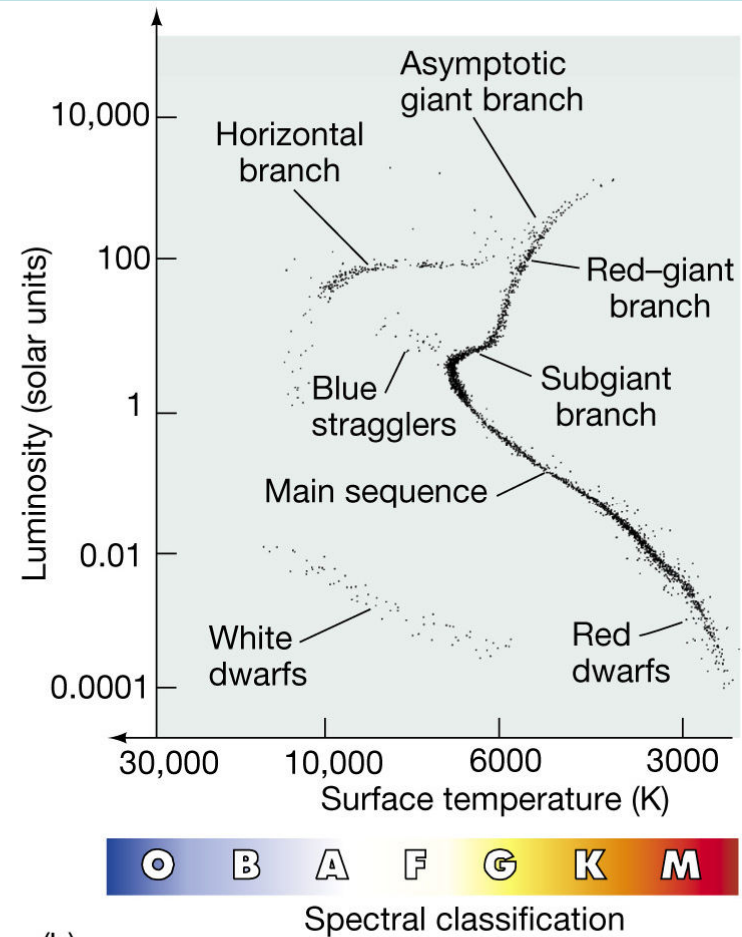
Küresel Küme - HR diyagramında yüksek kütleli yıldızlar yok, kırmızı dev bölgesi ise dolu.



Küresel küme gözlemleri yıldız evrimi modellerinin sınanmasında önemli rol oynuyor.



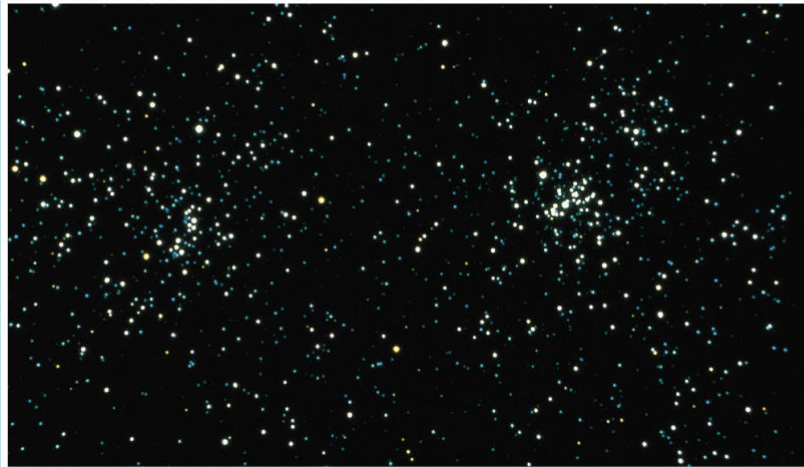
(a)



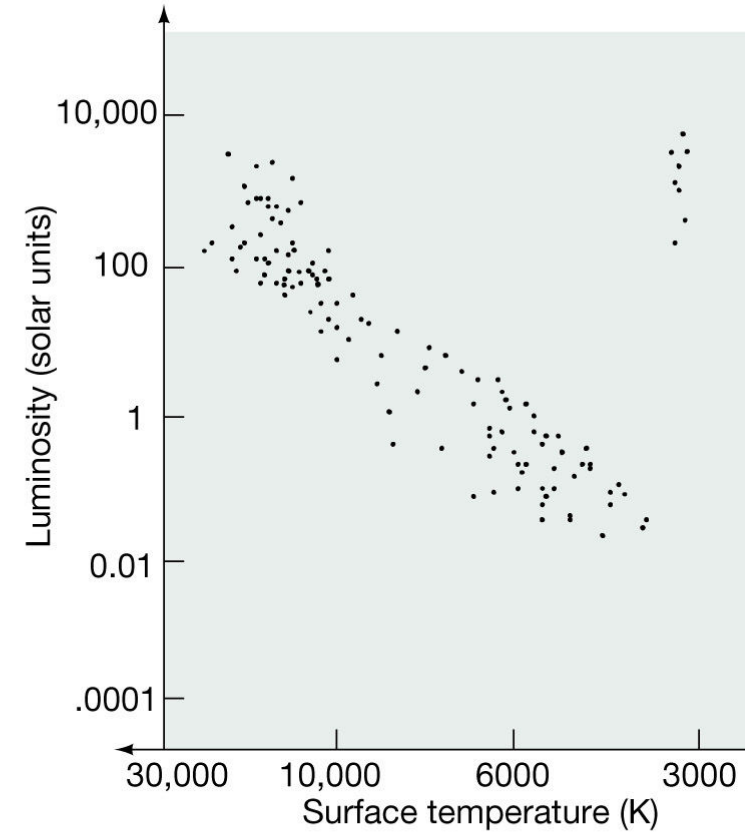
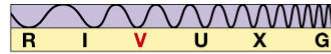
(b)

Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

The "blue stragglers" are formed probably from the merger of smaller stars



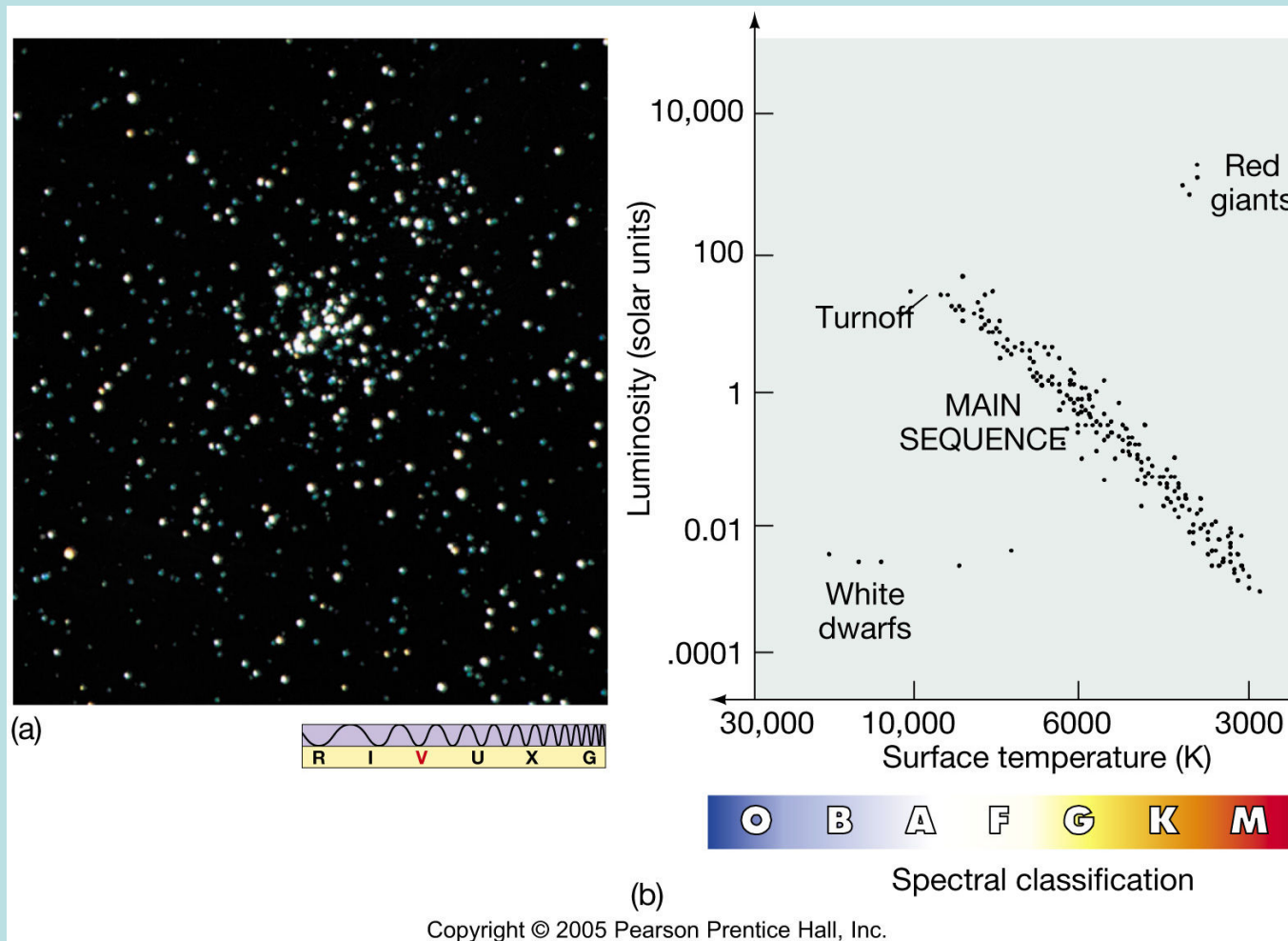
(a)



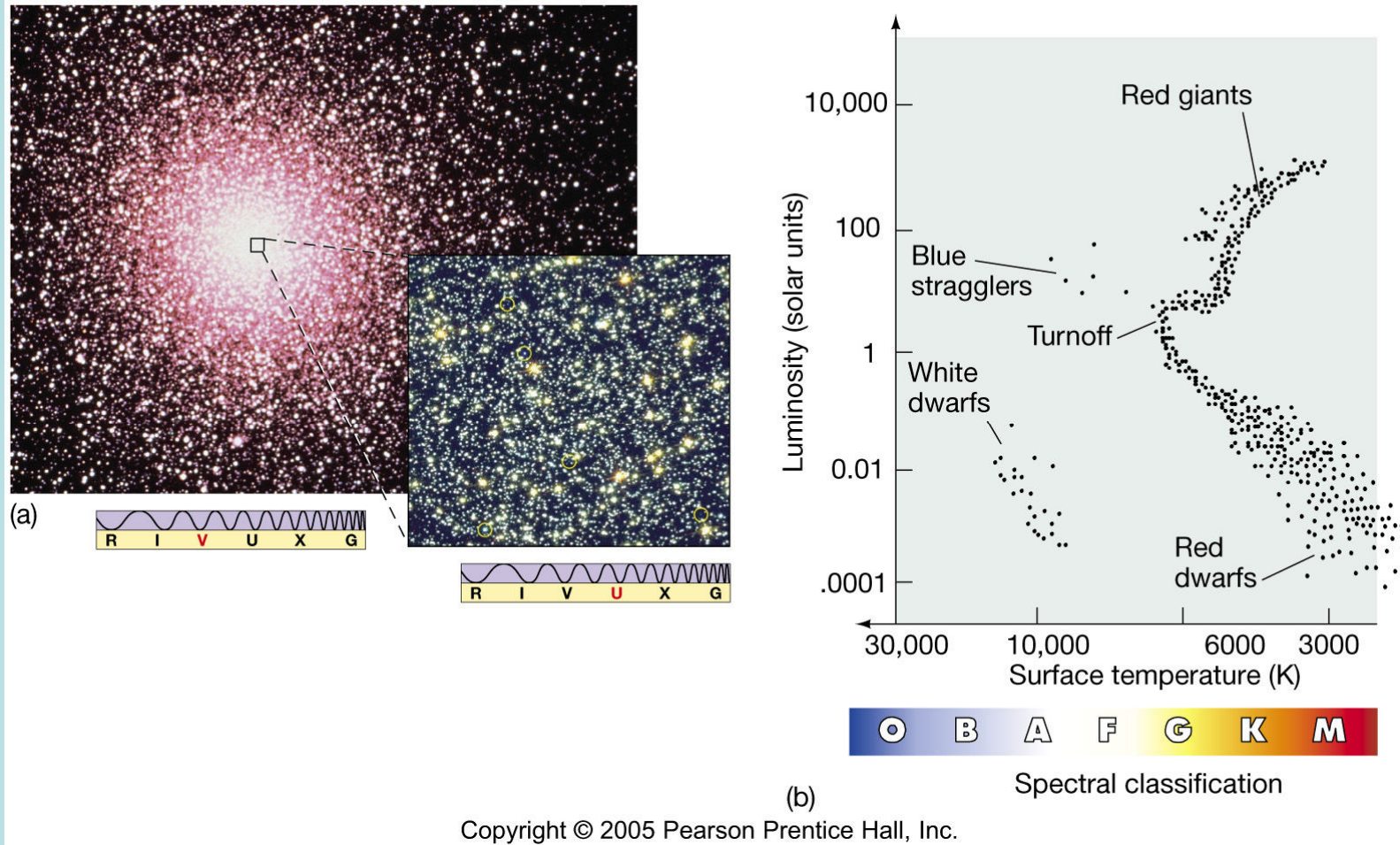
Spectral classification

**h and chi Persei kümeleri -
10 milyon yıldan daha genç.**

The Hyades kümesi, anakol dönüşünden tahmin edilen yaşı 600 milyon yıl.



47 Tucanae (küresel küme), yaklaşık 10-12 milyar yaşında.



Farklı kütleli yıldızların evrimlerinin sonu.

Initial Mass (Solar Masses)	Final State
less than 0.08	(hydrogen) brown dwarf
0.08–0.25	helium white dwarf
0.25–8	carbon–oxygen white dwarf
8–12 (approx.) [*]	neon–oxygen white dwarf
greater than 12 [*]	supernova (Chapter 21)

**Precise numbers depend on the (poorly known) amount of mass lost while the star is on, and after it leaves, the main sequence.*

Evrimlerinin sonunda:

Yüksek kütleli yıldızlar → Supernova patlamaları

→ nötron yıldızları ? veya kara delikler ?

Düşük kütleli yıldızlar → beyaz cüceler.

Bu yıldızlar ölü yıldızlar. Merkezlerinde artık çekirdek tepkimeleri olmuyor. Ama, yine de hemen her dalga boyunda (özellikle X-ışınlarında) çok yüksek ışıma kaynağı olarak görülüyorlar.

Neden, Nasıl ? → SONRAKİ KONUŞMA (Emrah Kalemci)

TEŞEKKÜRLER