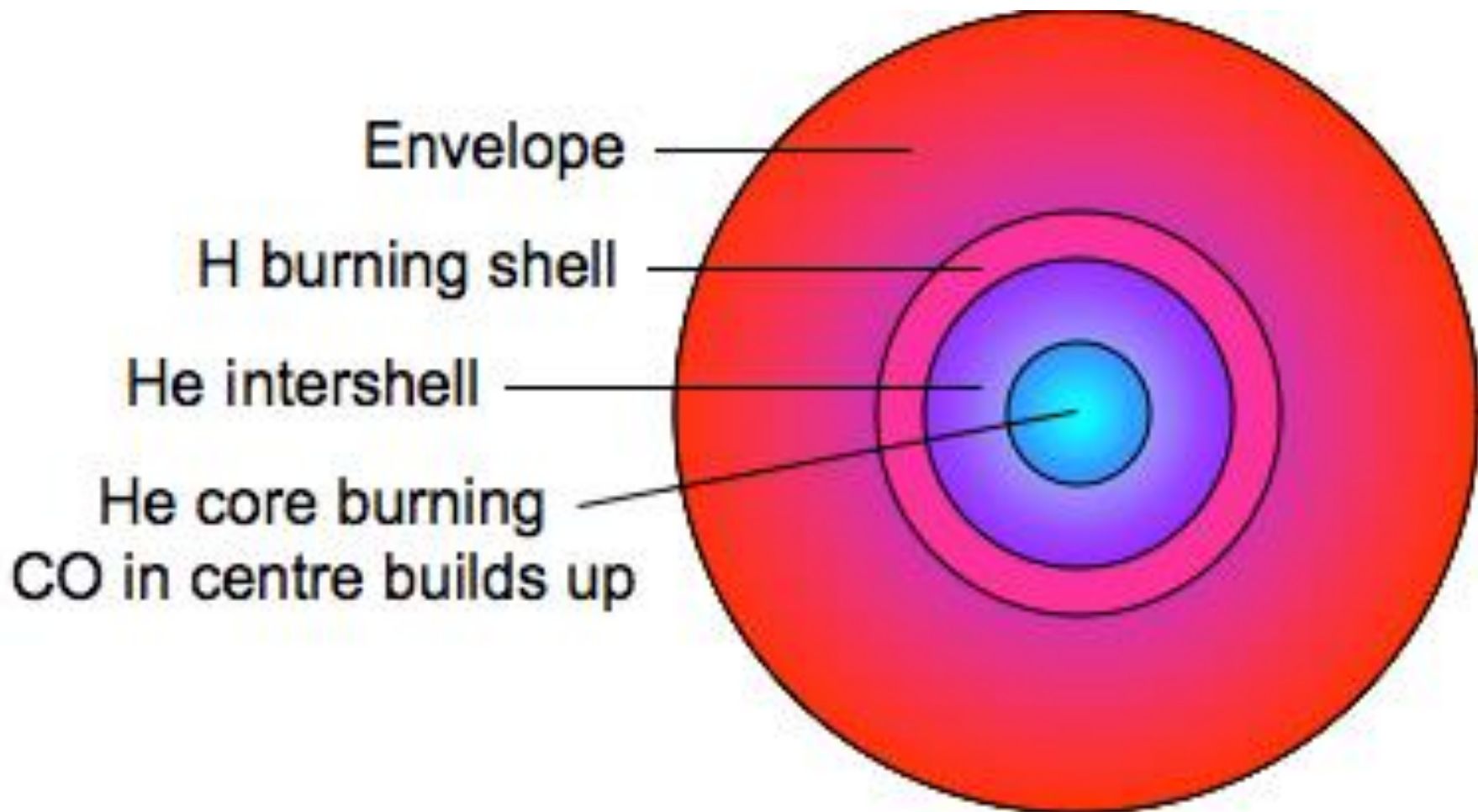
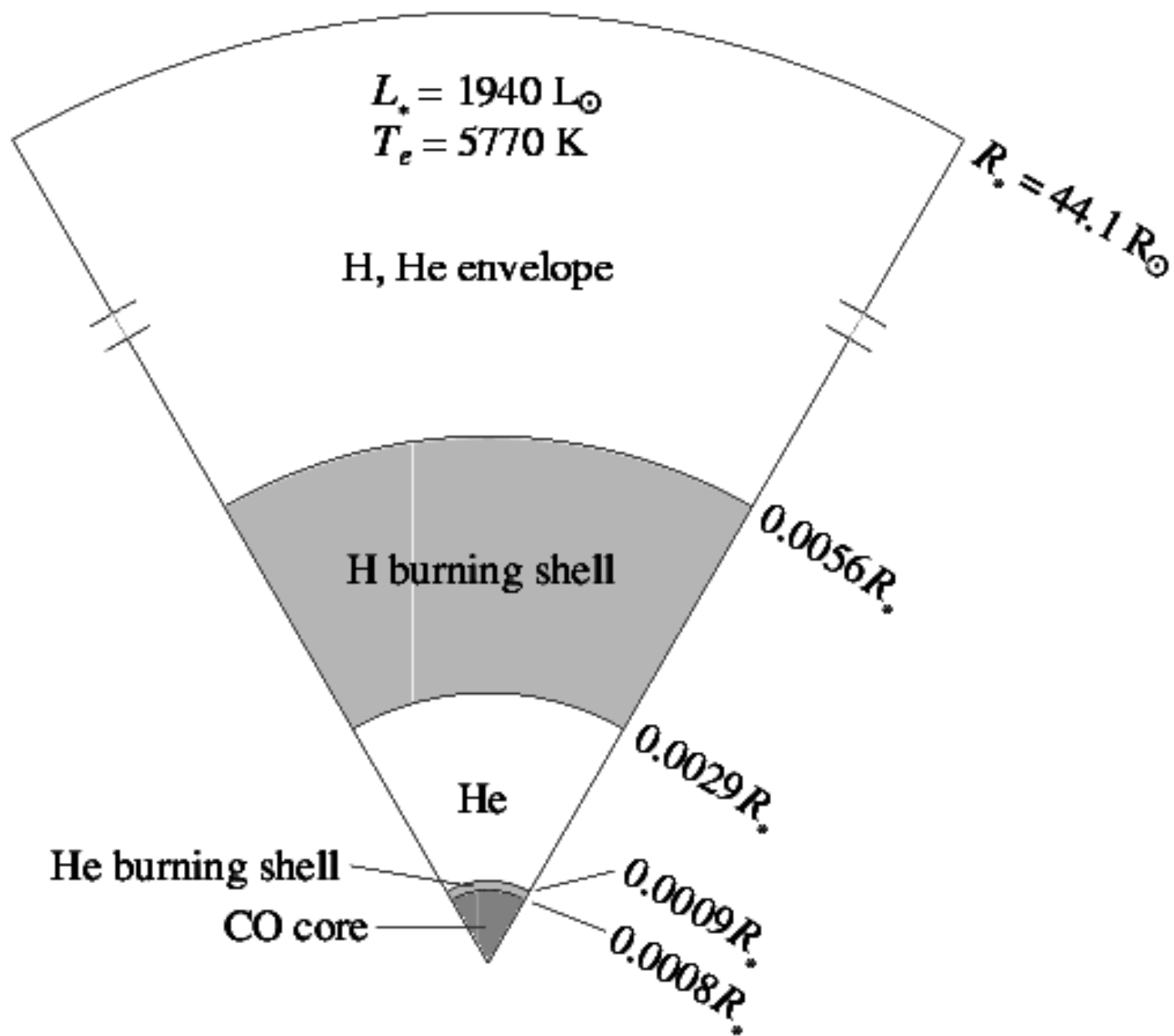


FIGURE 13.5 A schematic diagram of the evolution of an intermediate-mass star of $5 M_{\odot}$ from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The diagram is labeled according to Fig. 13.4 with the addition of the Horizontal Branch (HB).





2.3 Asimptotik Devler Kolu

2.3.1 Erken Asimptotik dev kolu

2.3.2 Termal pulsasyon yapan Asimptotik dev kolu

2.3.3 Üçüncü karışım ve Karbon yıldızları

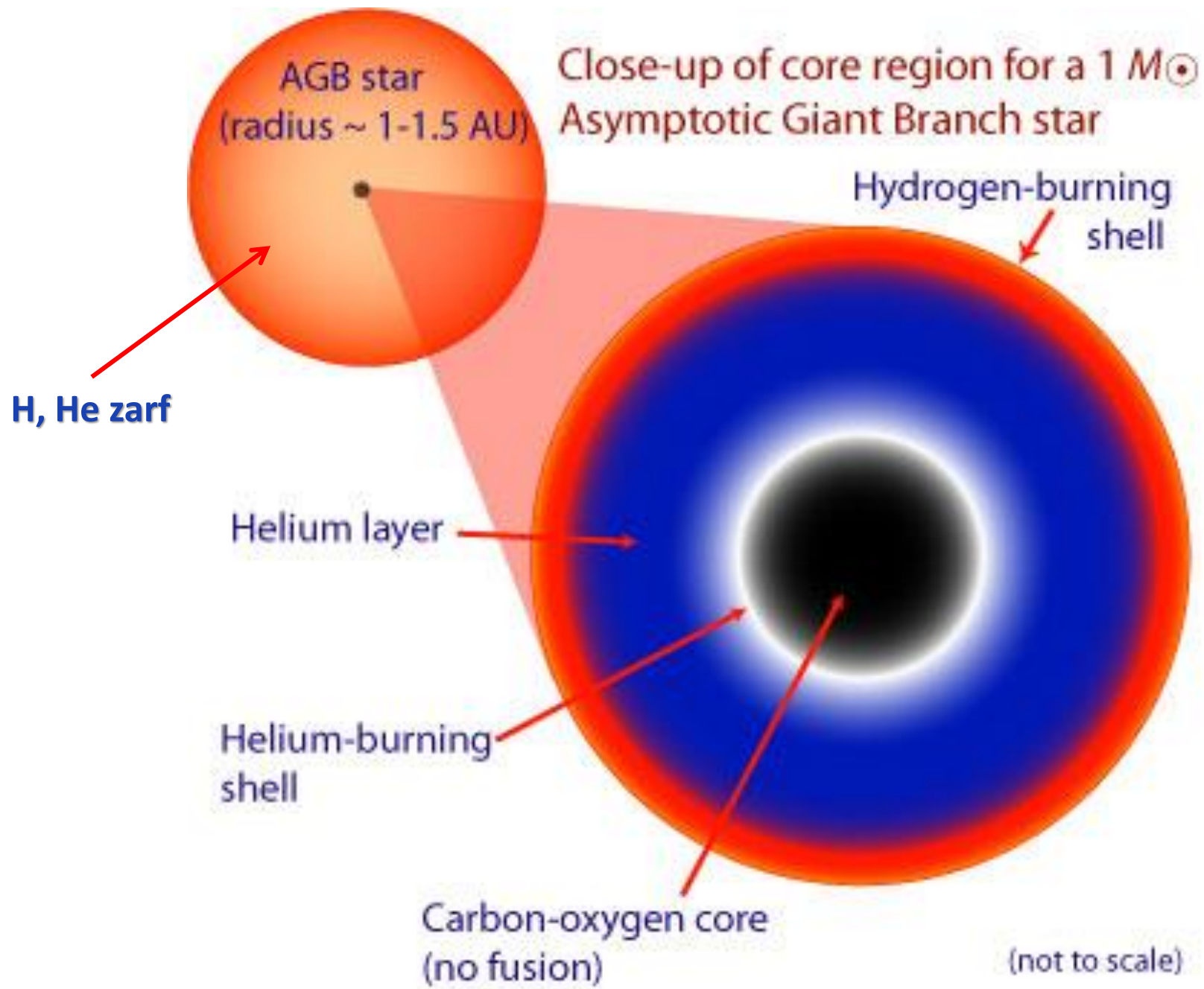
2.3.4 s-süreci nükleosentezi

2.3.5 Kütle kaybı ve AGB Evrimi

2.3.6 Asimptotik dev kolu Sonrası

2.3.1 Erken Asimptotik Devler Kolu (E-AGB)

- İki kabuk kaynağı betimlenmiş olmasına rağmen, **E-AGB boyunca baskın enerji çıkışı helyum yakan kabuktan** olur, hidrojen yakan kabuk bu noktada hemen hemen etkisizdir.
- Genişleyen zarf, başlangıçta helyum kabuk tarafından üretilen enerjinin çoğunu soğurur.
- Etkin sıcaklık azalmaya devam ettiğinden, konvektif zarf yeniden derinleşir, bu derinleşme hidrojen zengin dış katmanlar ve helyum yakan kabuğun üstündeki helyumca zengin bölge arasındaki kimyasal kesikliğe doğru olur. **İkinci karışım (second dredge-up)** olarak bilinen bu karışım, zarfın helyum ve azot içeriğini artırır.



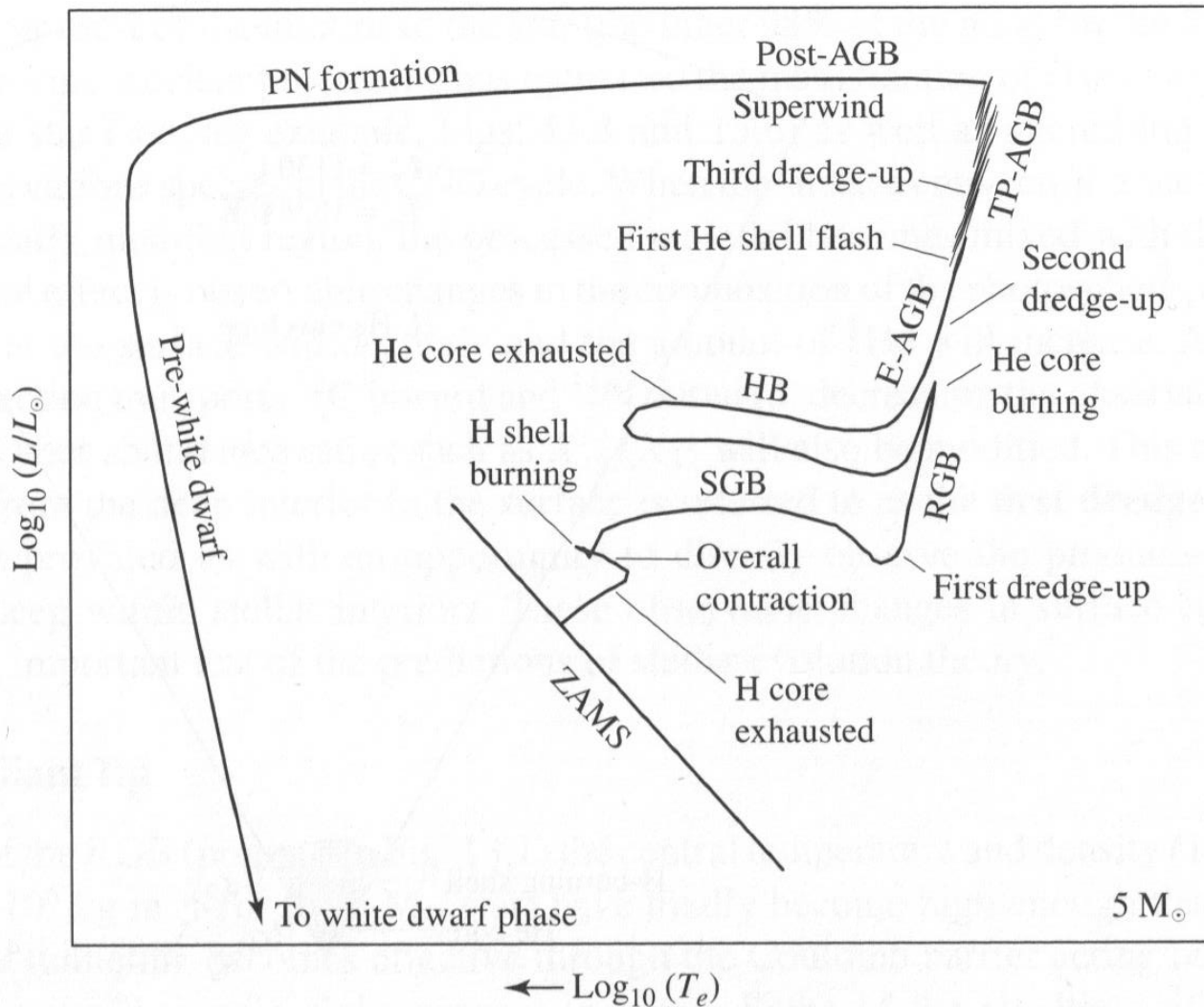


FIGURE 13.5 A schematic diagram of the evolution of an intermediate-mass star of $5 M_{\odot}$ from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The diagram is labeled according to Fig. 13.4 with the addition of the Horizontal Branch (HB).

2.3.2 Termal Pulsasyon Yapan Asimptotik Dev Kolu (TP-AGB)

- AGB nin daha üst kısmına yakın bölgede (TP-AGB), etkin olmayan **hidrojen yakan kabuk** kademeli olarak yeniden ateşlenir ve yeniden **yıldızın enerji çıkışında baskın** olur.
- Ancak evrimin bu safhası boyunca, daralan helyum yakan kabuk yarı-peryodik olarak açılır ve kapanır. Bu kesikli helyum kabuk parlamaları, hidrojen yakan kabuğun helyum külünü aşağıdaki helyum katmanına boşaltmasından dolayı meydana gelir.
- Helyum katmanının kütlesi arttığı için, tabanı hafifçe dejenere olur. O zaman, helyum kabuğun tabanındaki sıcaklık etkin bir şekilde artar ve bir helyum kabuk parlaması meydana gelir.

- Bu süreç hidrojen yakan kabuğu dışa doğru hareket ettirir.
- Helyum kabuktaki yanma kademeli olarak azalır, hidrojen yakan kabuk eski haline döner ve süreç tekrarlanır.
- Pulsar arasındaki dönem yıldızın kütlesinin bir fonksiyonudur:
 - $5M_{\odot}$ için binlerce yıl,
 - $0.6M_{\odot}$ için yüzbinlerce yıl.

Puls'un genliği gerçekleşen her pulsasyonla artmaktadır.

Yıldızın derin iç katmanlarındaki periyodik aktivitenin bu safhası yüzey ışınım gücündeki ani değişimler için delil teşkil etmektedir.

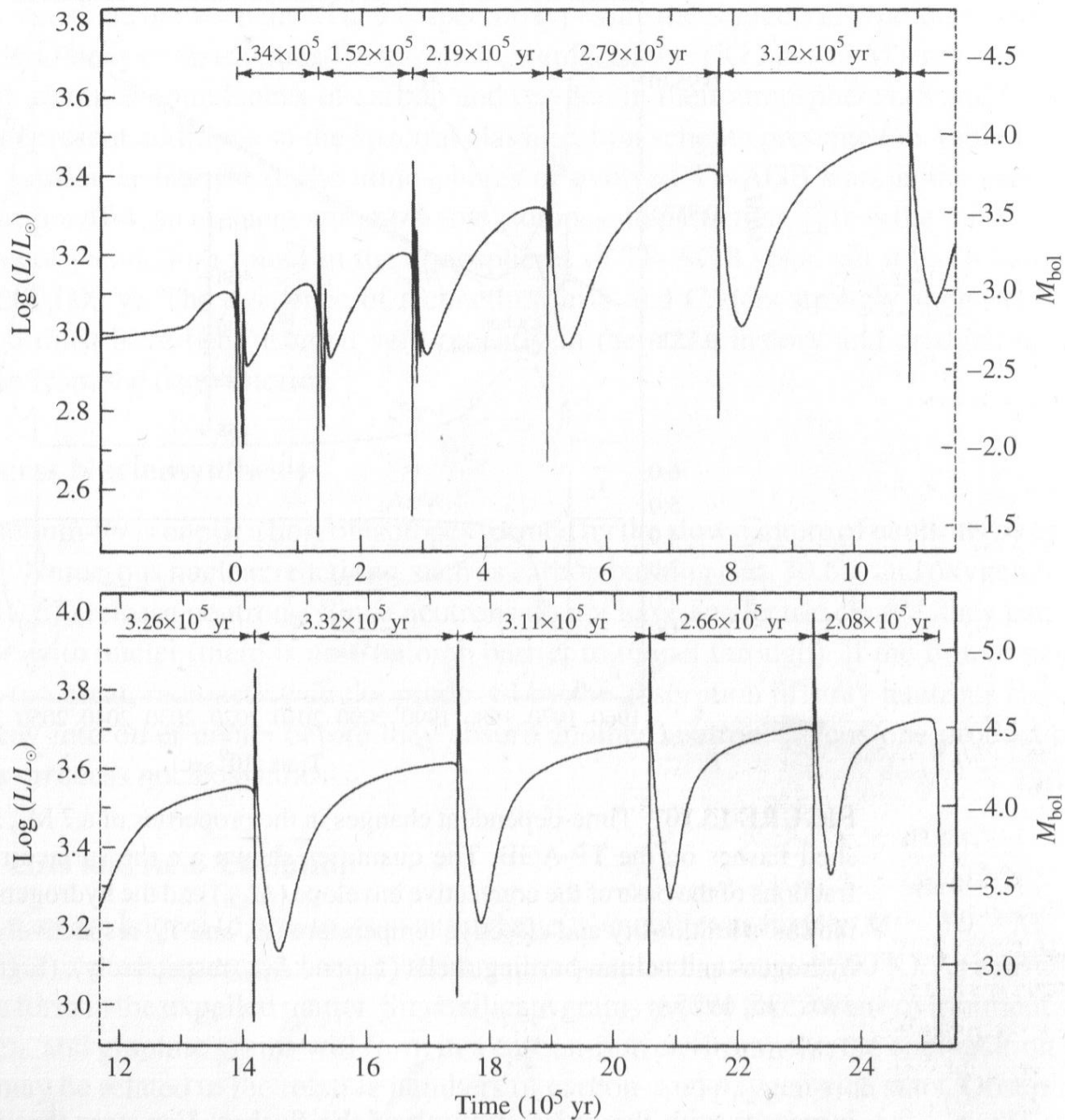
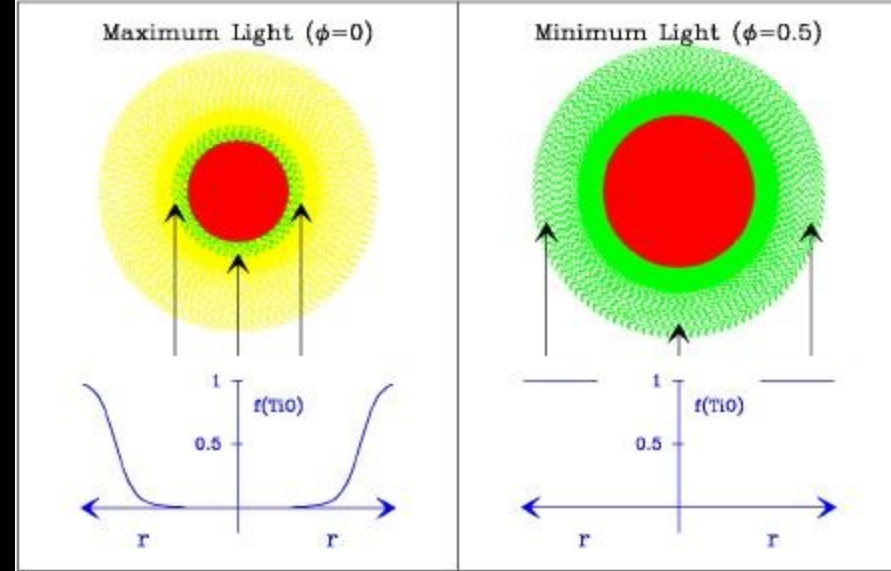
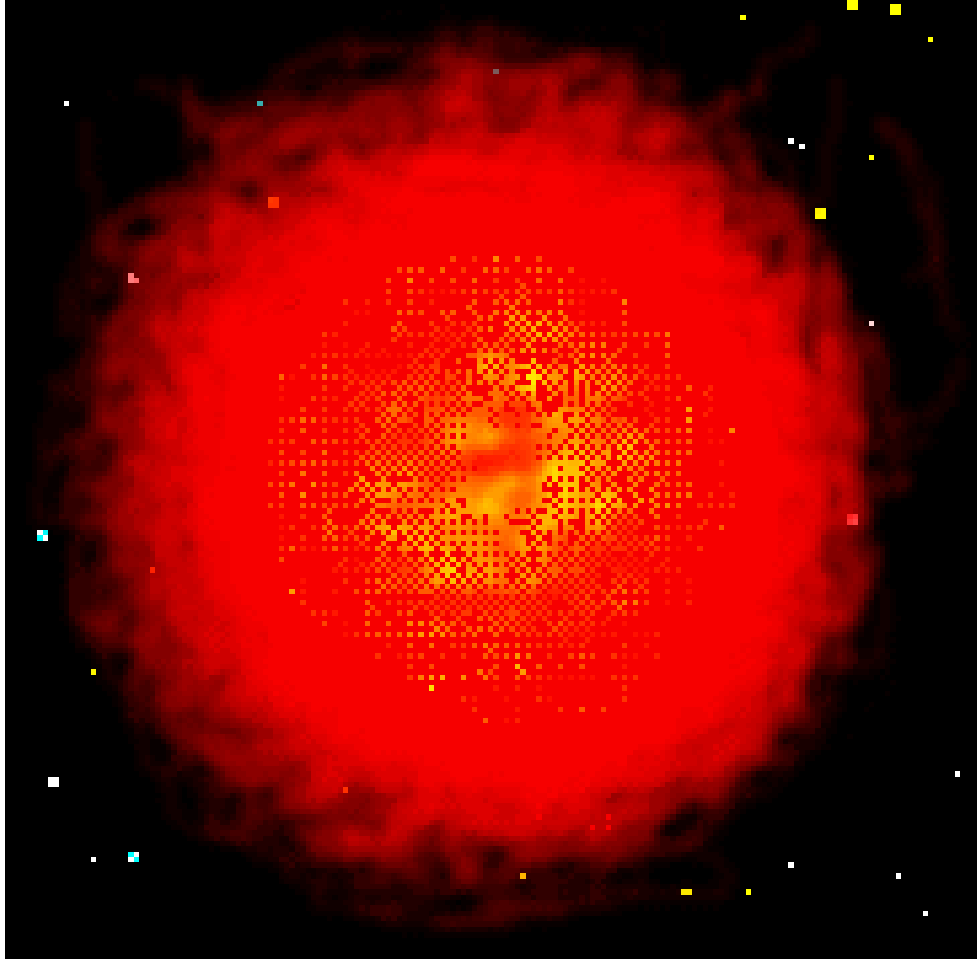


FIGURE 13.9 The surface luminosity as a function of time for a $0.6 M_{\odot}$ stellar model that undergoing helium shell flashes on the TP-AGB. (Figure adapted from Iben, *Ap. J.*, 260, 821, 1982)

- Bir helyum kabuk parlamasını takip eden, hidrojen yakan kabuktan gelen ışınım gücü farkedilir ölçüde düşerken helyum yakan kabuktan gelen enerji artar.
- Bu, hidrojen yakan kabuğun dışa doğru itilmesinden dolayıdır. Yıldızdan çıkan enerjinin çoğu hidrojen yakan kabuktan geldiği için, helyum kabuk parlaması olduğunda yıldızın ışınım gücü aniden azalır. **Aynı zamanda, yıldızın yüzey yarıçapı azalır ve etkin sıcaklığı artar.**
- Bir dönem sonra, dejenerasyon yükseltildiğinde helyum kabuktan gelen enerji azalır, hidrojen yakan kabuk yıldızın daha derin iç katmanlarına doğru ilerler ve hidrojen yakan kabuk bir kez daha yıldızdan gelen toplam enerjide baskın olur.

- **Sonuç olarak**, yüzey yarıçapı, ışınım gücü ve etkin sıcaklık parlamadan önceki değerlerine yakın bir değere ulaşır.
- TP-AGB boyunca, yıldızın evrim yollarının tümü daha büyük ışınım gücüne ve daha düşük etkin sıcaklığa doğrudur.
- AGB yıldızları, uzun dönemli değişenler olarak bilinen zonklayan değişen yıldızların (zonklama dönemi 100-700 gün aralığında) bir türüdür (örneğin Mira yıldızları). **Kabuk parlamalarından kaynaklanan yapısal değişimler bu yıldızların bazılarının dönemlerinde gözlenebilir değişimlere sebep olurlar.**

Mira Yıldızları

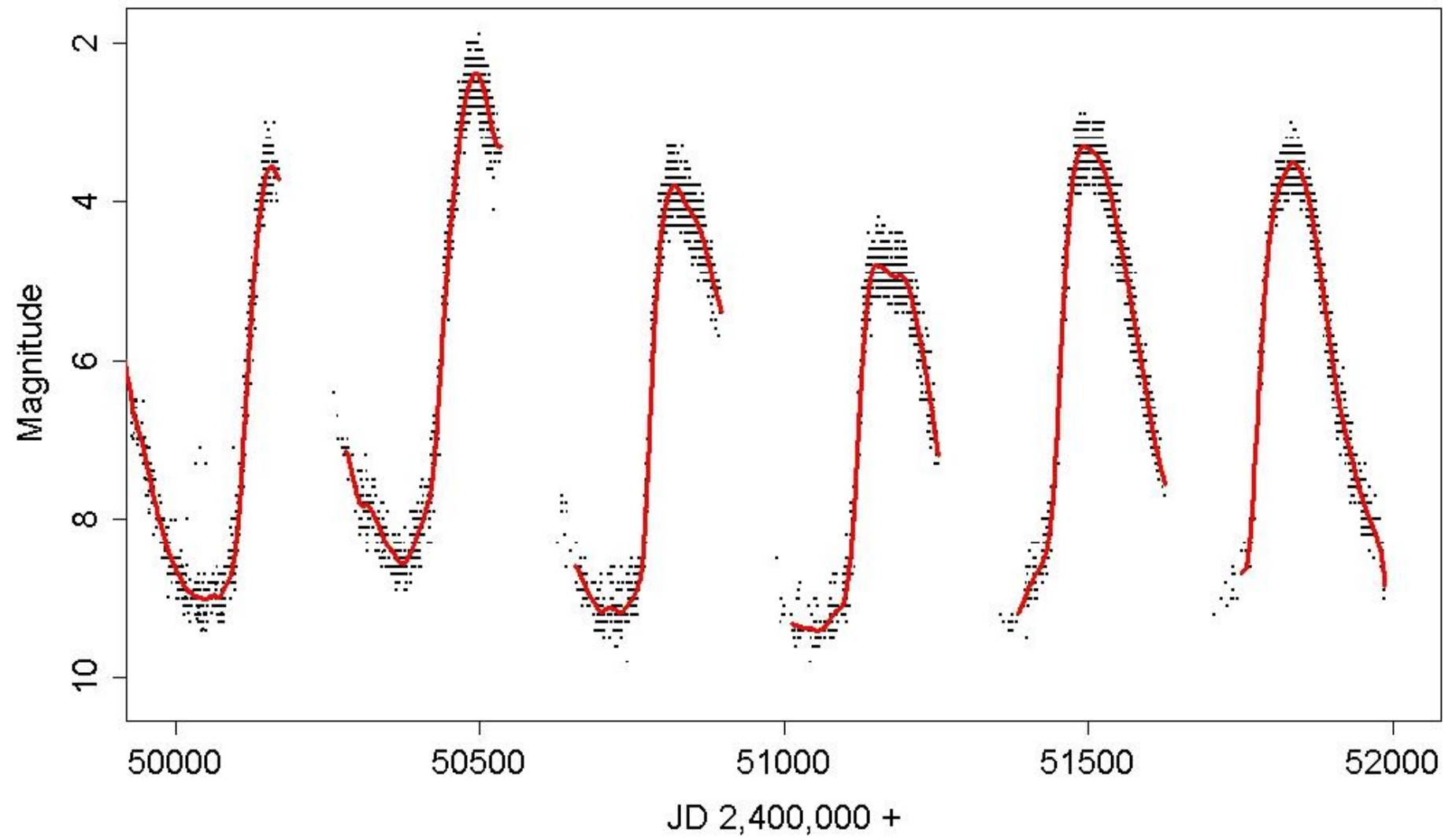


Soldaki şekil, bir Mira'nın görsel görünümündeki değişimi resmediyor (panellerden soldaki maksimum sağdaki ise minimum ışıktaki).

Yıldız (kırmızı ile gösteriliyor) maksimum ışıpta minimumda olduğundan daha küçük ve daha sıcak. Maksimum ışıpta yıldızın genişlemiş atmosferi (sarı ile gösteriliyor) görünür dalgaboylarında kısmen geçirgen, ve bir gözlemci oklarla işaret edilen yıldız yüzeyine kadar olan kısmı hemen hemen görebilir.

Minimum ışığa yakın yıldızın sıcaklığı azalır ve genişlemiş atmosfer boyunca yeşil ile gösterilen TiO gibi metal oksitler oluşur. TiO deki $f(TiO)$ ile gösterilen Ti kesri yarıçapın fonksiyonu olarak mavi ile çizilmiştir. Minimum ışığa yakın, TiO yaklaşık 2 yıldız yarıçapında etkin bir yoğunlukta (görünür ışığa karşı opak olacak) oluşur. Bu yarıçapta sıcaklık çok düşük olabilir ve radyasyonun çoğu kızılötededir. Görünür ışık çok az ortaya çıktığı için yıldız insan gözünde neredeyse kaybolur (2002, ApJ, 572, 694).

Mira



2.3.3 Üçüncü Karışım ve Karbon Yıldızları

- Bir parlama dönemi boyunca helyum yakan kabuktan gelen enerji akısındaki ani artıştan dolayı, helyum ve hidrojen yakan kabuklar arasında bir konveksiyon bölgesi oluşur. Aynı zamanda, konveksiyon bölgesi zarfının derinliği parlamaların puls gücüyle artar.
- $M > 2M_{\odot}$ kütleli yıldızlar için, konveksiyon bölgeleri birleşir ve karbonun sentezlendiği iç bölgelere doğru kademeli olarak genişler.
- Hidrojen ve helyum yakan kabuklar arasındaki bölgede, karbon bolluğu oksijen bolluğundan fazla olur. Bu **üçüncü karışım (third dredge-up)** boyunca, karbonca zengin materyal yüzeye getirilir ve böylece O/C oranı azalır.
- Tekrarlanan helyum kabuk parlamalarından kaynaklanan çoklu üçüncü karışım olayı varsa, **oksijence zengin bir yıldızın tayfı zamanla karbonca zengin bir tayfa dönüşür.**

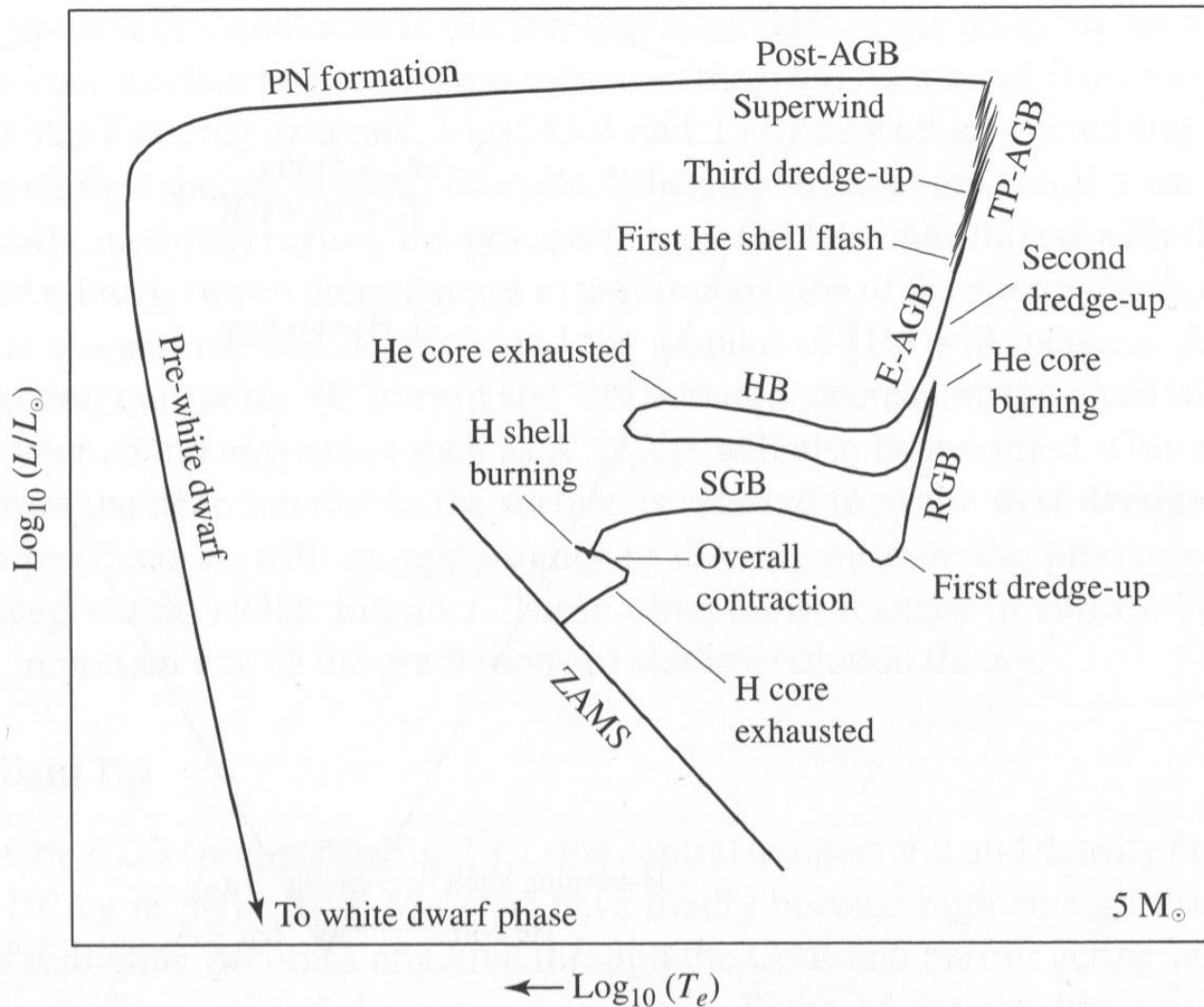
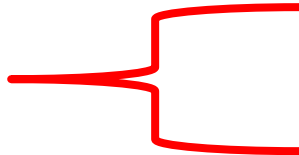


FIGURE 13.5 A schematic diagram of the evolution of an intermediate-mass star of $5 M_{\odot}$ from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The diagram is labeled according to Fig. 13.4 with the addition of the Horizontal Branch (HB).

- Bu, atmosferindeki oksijen atomlarının sayı yoğunluğu karbon atomlarının sayı yoğunluğundan fazla olan ($N_o > N_c$) oksijence zengin devlerle, karbon yıldızları adı verilen karbonca zengin ($N_c > N_o$) devler arasında ortaya çıkan tayfsal farkı açıklar gibi gözüküyor.
- **Karbon yıldızları** özel bir tayf sınıfı olan **C** (K ve M tayf türü ile üst üste gelen) ile gösterilir. Bu yıldızlar, M türünden yıldızların atmosferlerinde gözlenen SiO molekülünden ziyade **SiC** gibi karbonca zengin moleküllerin bolluğuyla tartışılır. Bu CO'nin çok sıkı bir şekilde bağlı olan bir molekül olmasından dolayı olur.
- Eğer bir yıldızın atmosferi karbondan daha çok oksijen içeriyorsa, karbonun hemen hemen tümü CO de bulunur, oksijen ilave molekülleri oluşturmak için ayrılır. Buna karşılık, eğer yıldızın atmosferi oksijenden daha çok karbon içeriyorsa, oksijen CO de bulunur, bu ise karbonun diğer molekülleri oluşturmasına olanak sağlar.

Class	Temperature	Absolute Magnitude	Luminosity (x Sun)	Diameter (x Sun)	Mass (x Sun)	Expected Lifetime	Notes
W	25,000-50,000	-5	20,000	5-10	>20	A few million	Very hot stars expelling their outer atmospheres.
O	30,000-60,000 K	-5	1,000,000	16	64	Less than a million	Orion's Belt
B	10,000-30,000 K	-3	20,000	7	18	10 million	Spica
A	7500-10,000 K	+0.5	40	2	3	600 million	Vega, Sirius
F	6000-7500 K	+2.5	6	1.5	1.7	2.5×10^9	Procyon
G	5000-6000 K	+5	1	1	1	10^{10}	Solar type stars
K	3500-5000 K	+6	0.4	0.9	0.8	10^{11}	Proxima Centauri
M	2000-3500 K	+10 to +15	0.04	0.5	0.4	10^{13}	Barnard's Star
L	1300-2000 K	> + 20	10^{-4}	0.1	0.2	Trillions to cool	Borderline stars
T	700-1300 K	> + 25	10^{-6}	0.05	0.1	Trillions to cool	Substellar
Y	<700 K	>> + 25	10^{-8}	0.05	<0.1	Trillions to cool	Substellar
D	10,000-60,000	+10 to +15	0.04	0.01	1	Trillions to cool	White Dwarfs
N	4000-6000	-5 to 0	10-1000	10-100	1	10^9 as giant	Orange carbon rich giants
R	2000-4000	-5 to 0	10-1000	10-100	0.5	10^{10} as giant	Red carbon rich giants
S	2000-5000	-5 to 0	10-1000	10-100	1	10^{10} as giant	Giant Stars with zirconium and titanium oxide
C	2000-6000	-5 to 0	10-1000	10-100	0.5-1	10^9 - 10^{10} as giant	Carbon rich giant stars. Combination of old classes R and N



Thermally Pulsing AGB

Early AGB

M=5

To PN and WD...

M=1

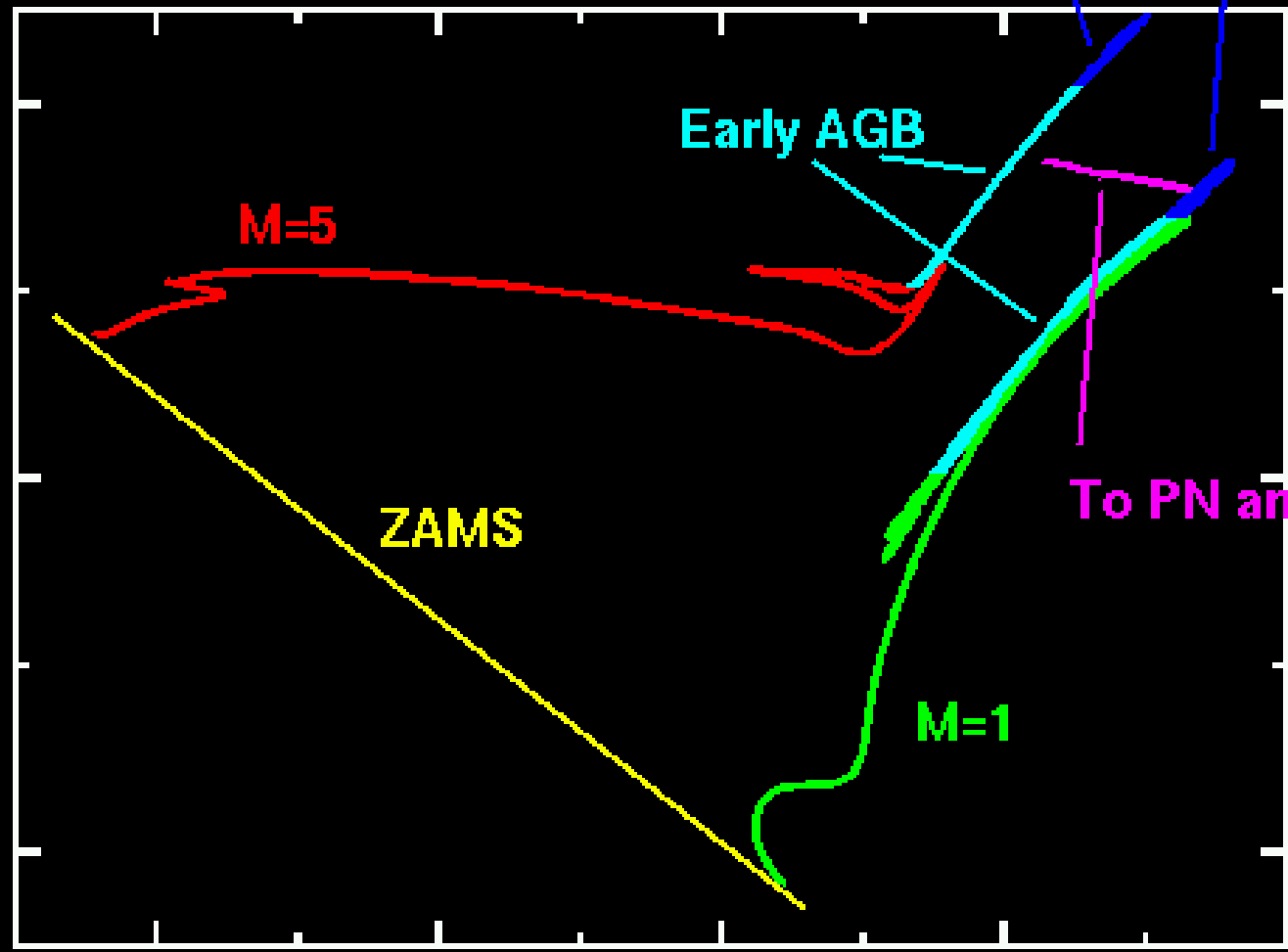
ZAMS

$\text{Log}_{10}(\text{Luminosity})$

$\text{Log}_{10}(T_e)$

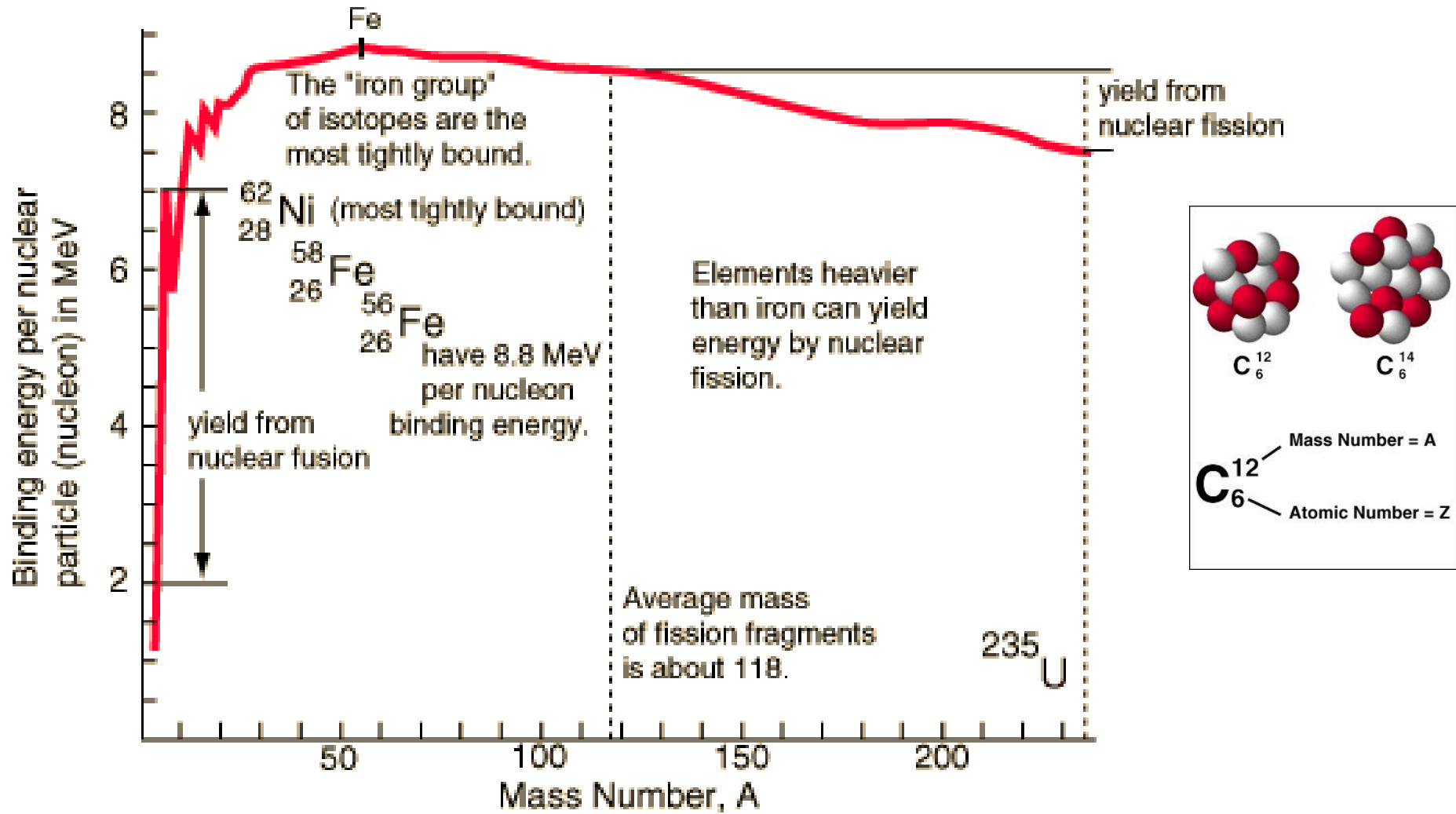
4
2
0

4.2 4 3.8 3.6



- M ve C tayf türleri arasındaki orta bir tür **S tayf türü**dür. Bu yıldızların atmosferlerinde, M tayf türünde gözlenen TiO çizgileri yerine **ZrO çizgileri** görülür.
- S yıldızları atmosferlerinde hemen hemen aynı karbon ve oksijen bolluklarına sahiptir.
- Evrimleşmiş TP-AGB yıldızlarının atmosferlerinin en ilgi çekici yönlerinden biri, kararlı bir izotopu olmayan bir element olan **Tc (teknesyum)** un varlığıdır (kütle numarası 99).

Bağlanma enerjisi eğrisi



p+n nun kütlesi > çekirdeğin kütlesi → fark bağlanma enerjisi

- Özellikle, ^{99}Tc , TP-AGB yıldızlarının atmosferlerinde bulunan technetium'un en bol izotopudur **ancak yarı ömrü 200,000 yıldır.**

Bu süre AGB yıldızlarının ömürlerinden çok daha kısadır!

- O halde, S ve C yıldızlarındaki Tc nin varlığı, bu izotopun yıldızda yeni oluşmuş olduğunu ve karışımla derin iç kısımlardan yüzeye taşındığını güçlü bir şekilde destekliyor.

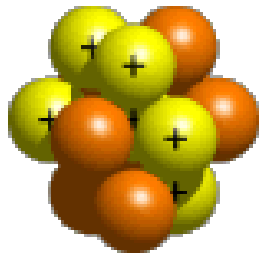
Yani s-süreci elementleri AGB lerde üretiliyor!

2.3.4 s-süreci nükleosentezi (Yavaş nötron yakalama süreci)

- Tc-99, mevcut çekirdek tarafından yavaş nötron yakalaması ile oluşmuş izotoplardan biridir.
- Karbon yanması, oksijen yanması gibi nükleer reaksiyonlar gerçekleşirken nötronlar ortaya çıkar.
- Nötronlar bir elektrik yüküne sahip olmadıklarından, çekirdekle kolayca çarpışabilirler (eğer bir coulomb bariyeri yoksa).
- Nötronların akısı çok büyük değilse yani ortamda nötron yoğunluğu azsa, sahipsiz nötronların soğurulmasıyla üretilen radyoaktif çekirdekler, başka bir nötronu soğurmadan önce diğer çekirdeklere bozunurlar (**nötron yakalama zamanı > beta bozunma zamanı: diğer bir deyişle çekirdeğin nötron yakalama oranı beta bozunma oranına göre yavaş**).
- ⁹⁹Tc bu yavaş s-süreci nükleosentezi ürünlerinden biridir.

Beta-minus Decay

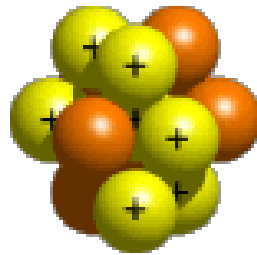
Carbon-14



6 protons
8 neutrons



Nitrogen-14

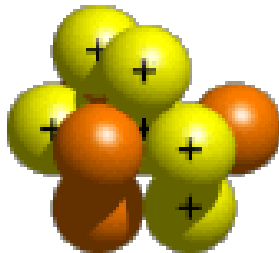


7 protons
7 neutrons



Beta-plus Decay

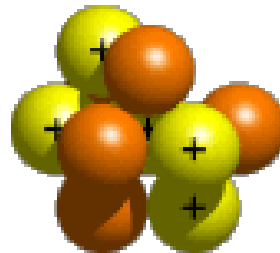
Carbon-10



6 protons
4 neutrons



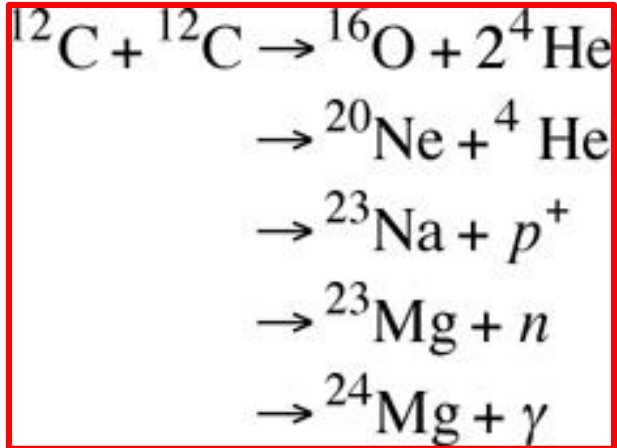
Boron-10



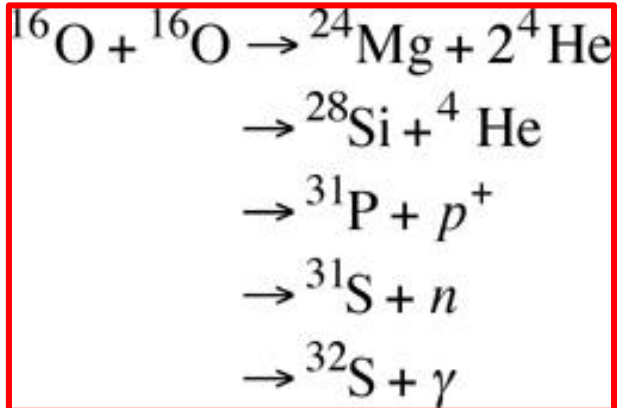
5 protons
5 neutrons



Nötron Kaynakları:

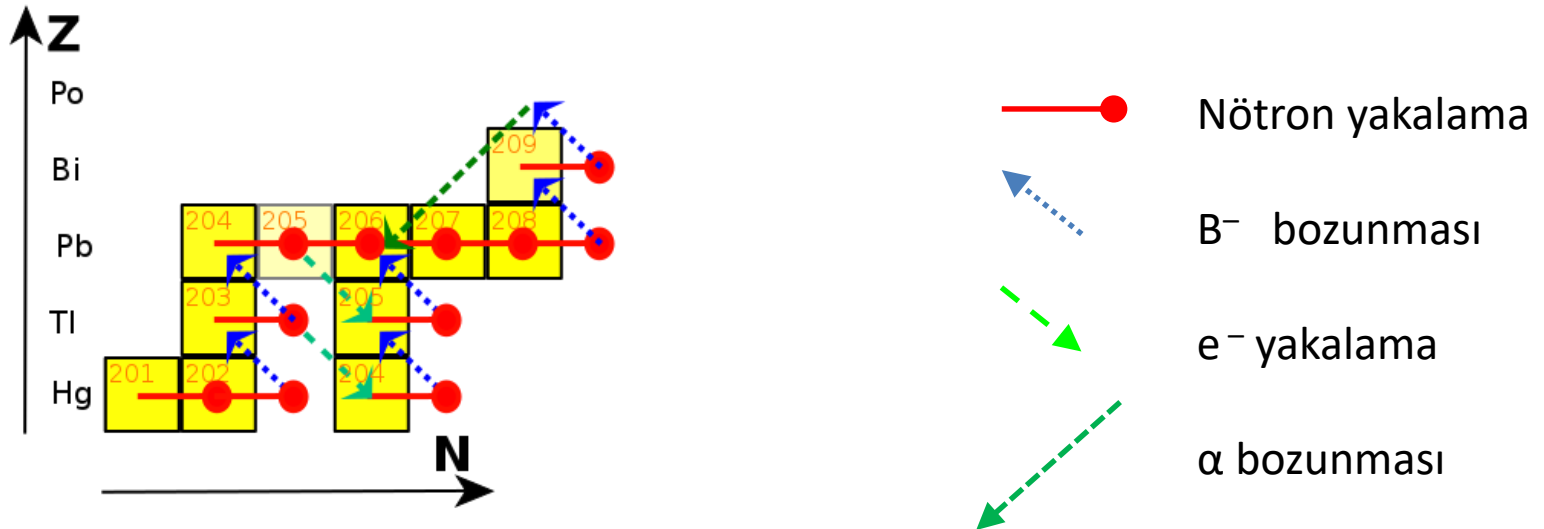
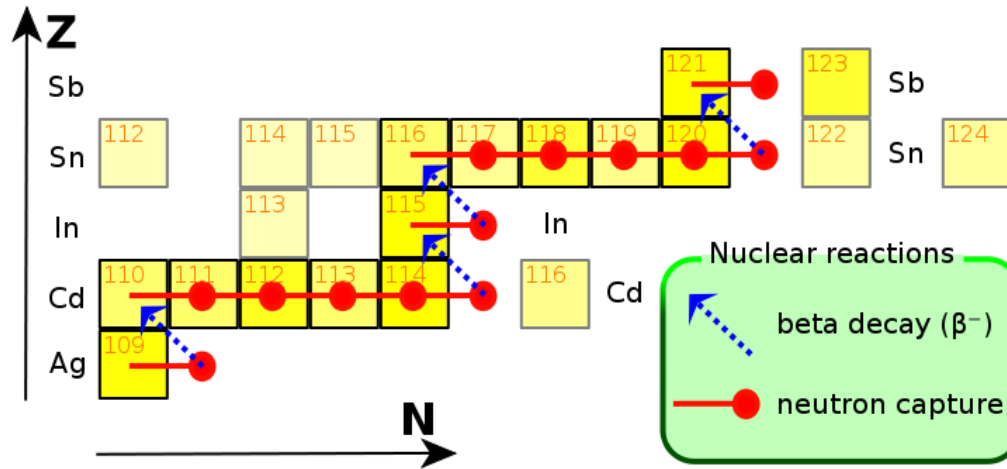


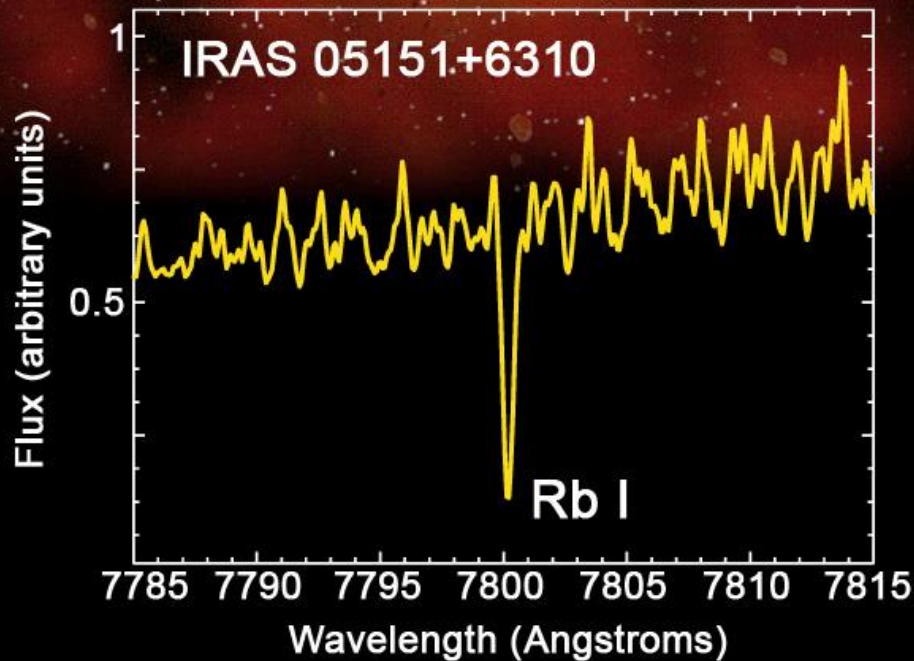
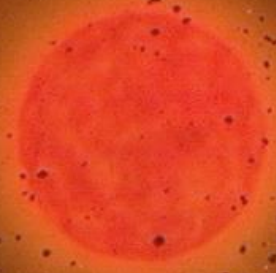
Karbon yanma reaksiyonları



Oksijen yanma reaksiyonları

S-süreci nükleosentezine örnekler:





TP-AGB evresindeki reaksiyon zincirleri sonucu bol miktarda nötron açığa çıkar. Demir çekirdek veya diğer ağır metaller s-süreci olarak adlandırılan yavaş nötron yakalama süreci ile demirden daha ağır olan elementlerin üretimini sağlarlar (örneğin **Rb, Sr, Y, Zr, Ba, La, Nd ve Tc**). Bu süreç ile en fazla Bizmut'a kadar olan elementler üretilebilir.

<http://www.ing.iac.es/PR/SH/SH2006/rb.html>