

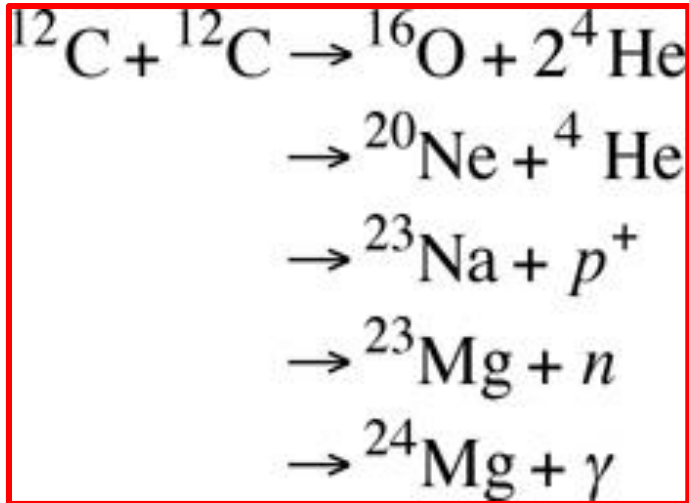
2.3.5 Kütle Kaybı ve AGB Evrimi

- AGB yıldızlarının hızlı bir şekilde kütle kaybettiikleri (hatta $\dot{M} \sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{yıl}$ a varan) bilinir.
- Bu yıldızların etkin sıcaklıkları 3000K ile oldukça düşüktür.
- Sonuç olarak, atılan maddede toz zerrecikleri oluşur.
- Silikat zerreciklerinin oksijence zengin bir çevrede oluşma eğiliminden ve grafit zerreciklerinin karbonca zengin bir çevrede oluşmasından dolayı, ISM nin kompozisyonu karbon ve oksijence zengin yıldızların göreceli sayısı ile ilişkili olabilir.
- Samanyolunda, büyük ve küçük Macellan bulutlarında gözlenen moröte sönümlenme eğrileri bu fikri desteklemektedir. Yani bu tür yıldızlardan olan kütle kaybı ISM yi zenginleştirmektedir.

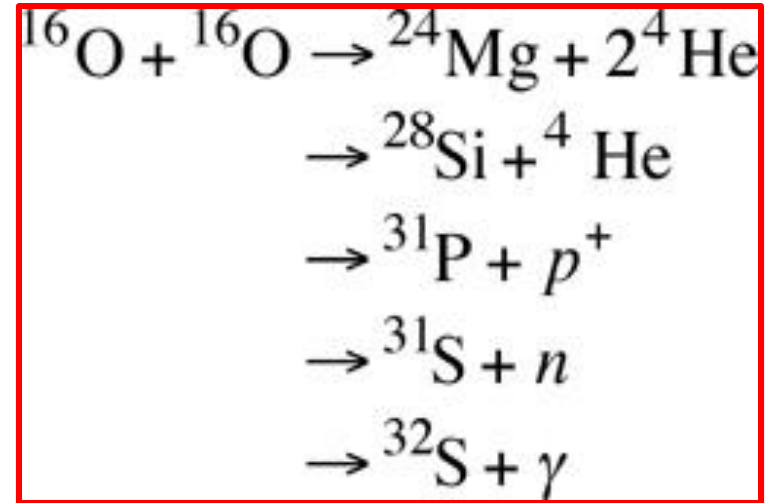
- **AGB yıldızlarının evriminin ileri aşamalarında ne olacağı, yıldızın kütlesine ve kütle kaybı miktarına bağlıdır.**
- Yıldızların evrimlerinin sonlarında iki temel gruba ayrıldıkları gözlenmektedir: $8M_{\odot}$ kütlesinin üzerinde ve altında kütleyle sahip sıfır yaş anakolu yıldızları. İki kütle grubu arasındaki farklılık, yıldızın çekirdeğinin ileri nükleer reaksiyonlar gerçekleştirip gerçekleştirmediği temeline dayanır.
- Başlangıç kütlesi $8M_{\odot}$ kütlesinin altında olan yıldızlar AGB boyunca evrimleşmeye devam ederken, helyum yakan kabuk çok daha fazla helyumu karbona ve onuda oksijene dönüştürür böylece karbon-oksijen çekirdeğinin kütlesi artar.
 - Aynı zamanda, çekirdek yavaşça büzülmeye devam eder böylece merkezi yoğunluğu artar.
 - Yıldızın kütlesine bağlı olarak, nötrinolardan kaynaklanan enerji kayıpları, bu evre boyunca merkezi sıcaklığı birazcık azaltabilir.
 - Her olayda, çekirdekteki yoğunluk oldukça büyük hale gelir.
 - Böylece dejenere elektron basıncı baskın olmaya başlar.

- Kütleleri $4M_{\odot}$ ten daha küçük olan ZAMS yıldızları için, karbon-oksijen çekirdek nükleer reaksiyonları başlatmak için hiç bir zaman yeteri kadar büyük ve sıcak olamaz.
- Diğer taraftan, eğer $4M_{\odot}$ ve $8M_{\odot}$ arasındaki yıldızlar için kütle kaybının önemli katkısı ihmal edilmişse, teori C-O çekirdeğin yeteri kadar büyük bir kütleye (bu öyle bir kütle ki, dejenere elektron basıncından gelen bir katkı olsa bile yıldız hidrostatik dengede kalamaz) ulaşabileceğini desteklemeli.
 - Bu durumun sonucu yıkıcı bir çekirdek çöküşüdür. Tamamen dejenere bir çekirdek için maksimum kütle limiti olan $1.4M_{\odot}$ Chandrasekhar limiti olarak bilinir. **Peki ya ötesi?**
- Ancak, daha önce bahsedildiği gibi, AGB yıldızlarının gözlemleri aşırı derecede büyük kütle kaybı oranlarına sahip olduklarını göstermektedir.

- Bu kütle kaybı oranları AGB yıldızlarının evrim hesaplamalarına dahil edildiğinde, daha önce bahsedilen yıkıcı çekirdek çöküşü meydana gelmez. Tersine, $4M_{\odot}$ ve $8M_{\odot}$ arasındaki yıldızlar için, kütle kaybı yıkıcı çekirdek çökmesini engeller.
- Bu yıldızlar çökmek yerine, çekirdeklerinde ilave nükleosentez süreçleri gerçekleştirirler, böylece çekirdeğin oksijen, neon, magnezyum (ONeMg) kompozisyonu ve kütleleri Chandrasekhar limitinin altında kalır. Bu kompozisyonu üretebilen nükleer reaksiyonlar;

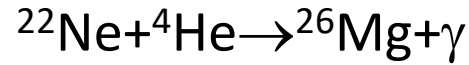
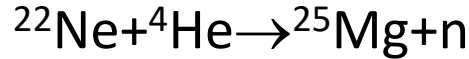


Karbon yanma reaksiyonları



Oksijen yanma reaksiyonları

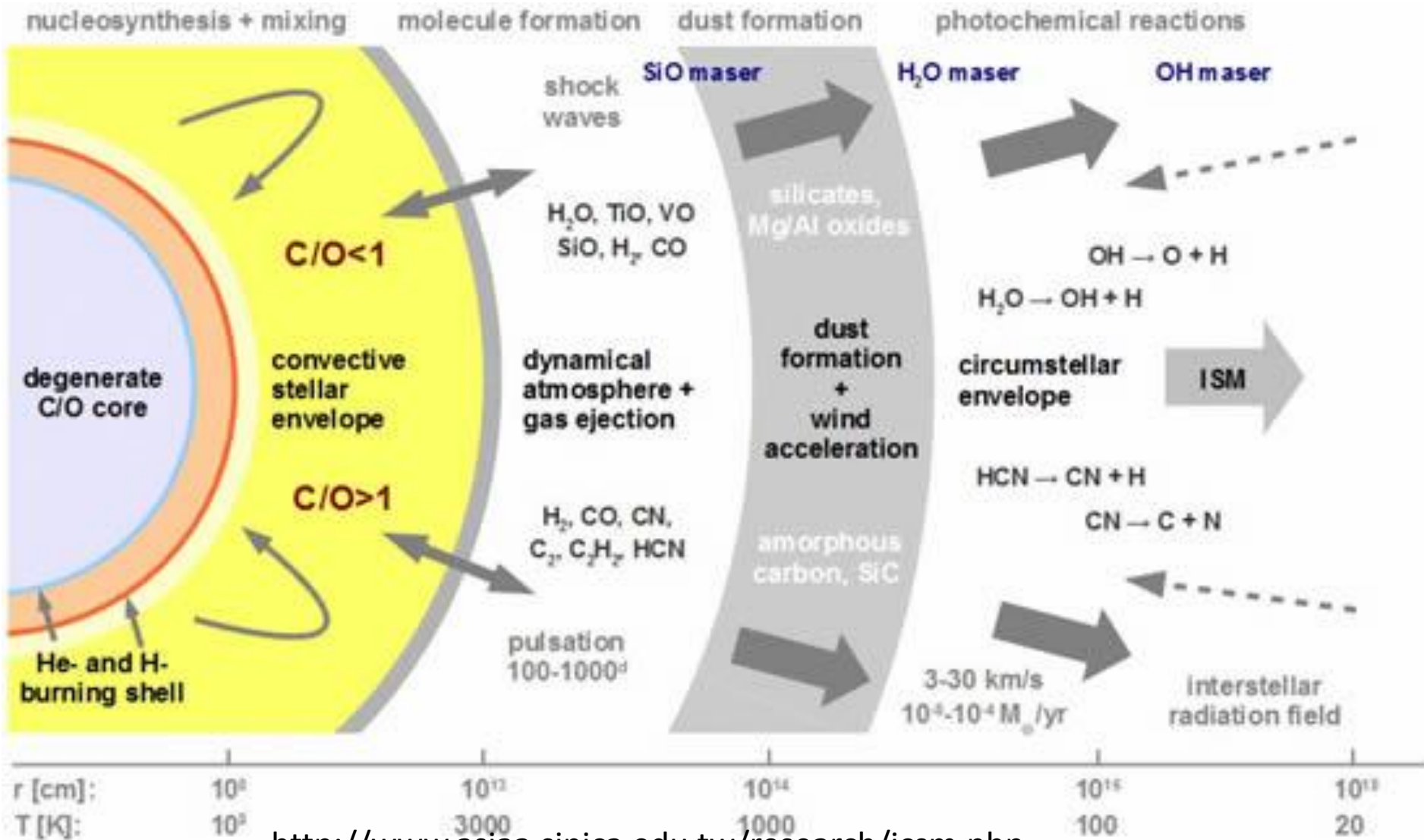
Ek olarak,



gibi reaksiyonlar da bu çekirdeklerin kompozisyonlarını etkileyebilirler.

- AGB evriminin son safhalarında, $\dot{M} \sim 10^{-4} M_{\odot}/\text{yıl}$ oranında kütle kaybına sebep olan bir süper rüzgar gelişir.
- Kütle kayıp oranlarının kabuk parlamaları, zarf pulsasyonları yada diğer mekanizmalara sebep olup olmadığı net olmamasına karşın, gözlenen bu yüksek kütle kayıp oranların OH/IR kaynakları olarak bilinen cisimlerinin varlığından sorumlu olduğu görünüyor.
- OH/IR kaynaklarının, enerjilerini elektromanyetik tayfın kırmızı öte bölgesinde salan optikçe kalın toz bulutlarında gizlenmiş yıldızlar olduğu görülüyor.
- OH/IR kaynaklarının OH kısmı, bu kaynaklarda mazer emisyonlarıyla gözlenebilen OH moleküllerinden gelmektedir.

AGB yıldızı ve onu çevreleyen kabuğun şematik yapısı



2.3.6 AGB Sonrası

- OH/IR kaynağının etrafındaki bulut genişlemeye devam ettiğinde, kademeli olarak optikçe ince hale gelir, böylece karakteristik olarak bir F veya G süperdev tayfına sahip merkezi yıldız açığa çıkar.
- 1 ve $5M_{\odot}$ kütleli yıldızların evriminde bu noktada, evrim yolları TP-AGB kısmından ayrılarak ve HR diyagramının karşısına yatay olarak giderek mavi tarafa döner, evrimin bu safhası AGB sonrası (post-AGB) olarak bilinir.

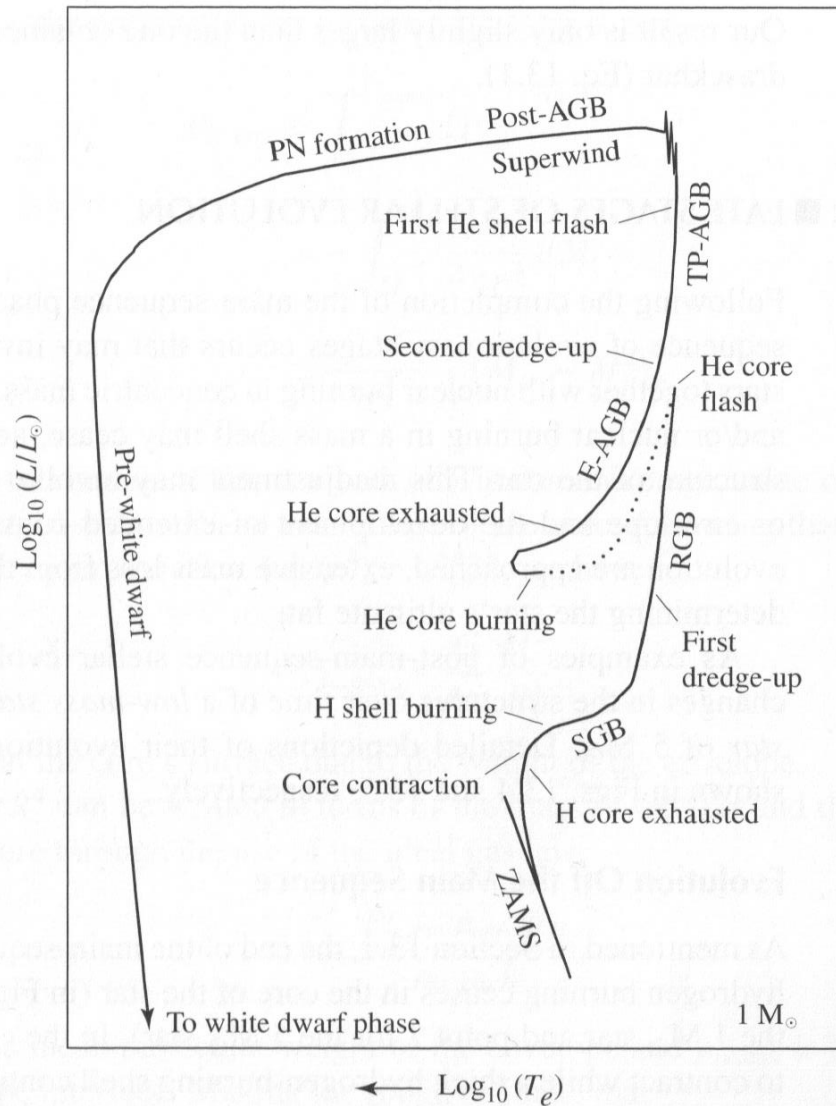


FIGURE 13.4 A schematic diagram of the evolution of a low-mass star of $1 M_{\odot}$ from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The dotted phase of evolution represents rapid evolution following the helium core flash. The various phases of evolution are 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.

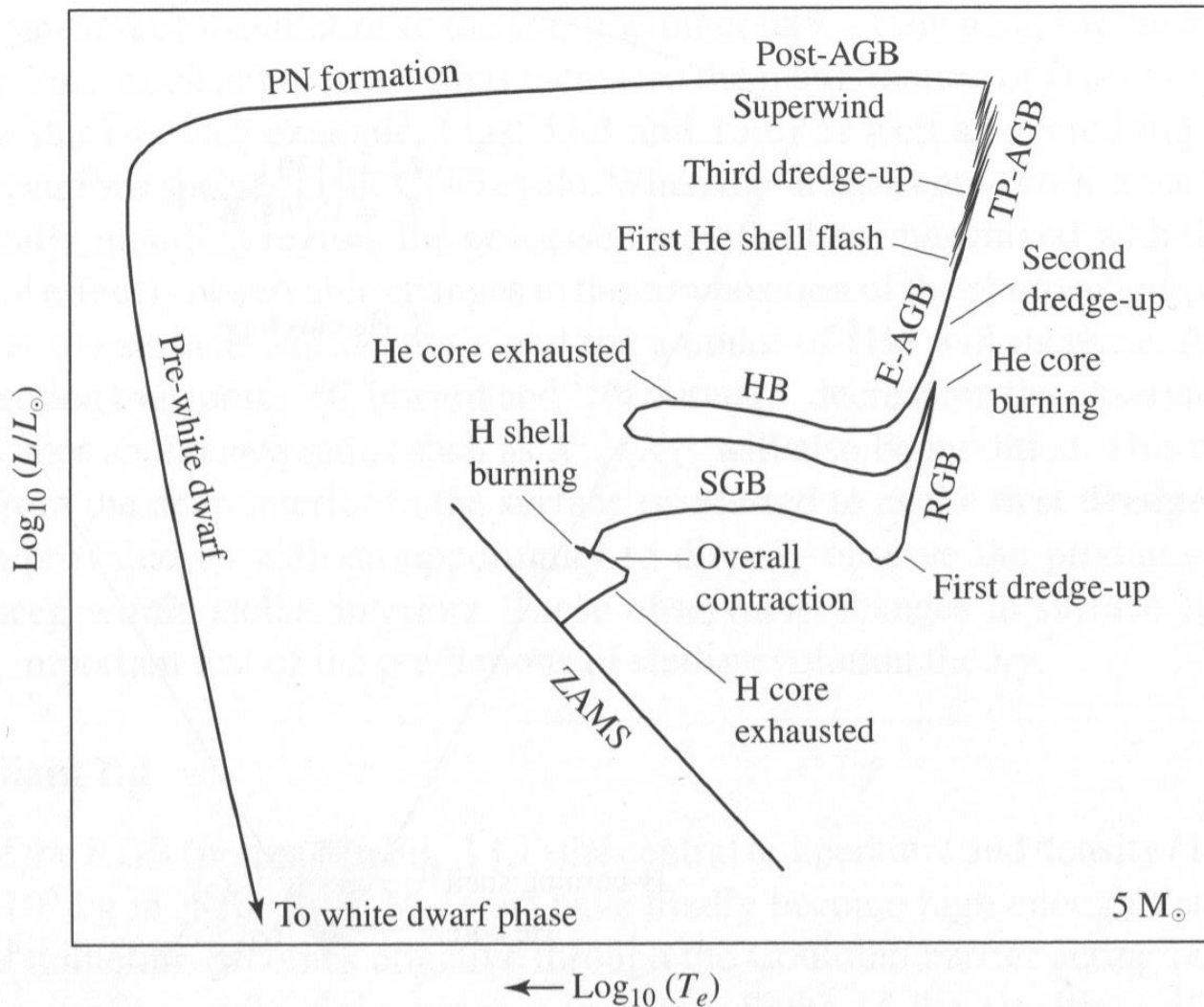


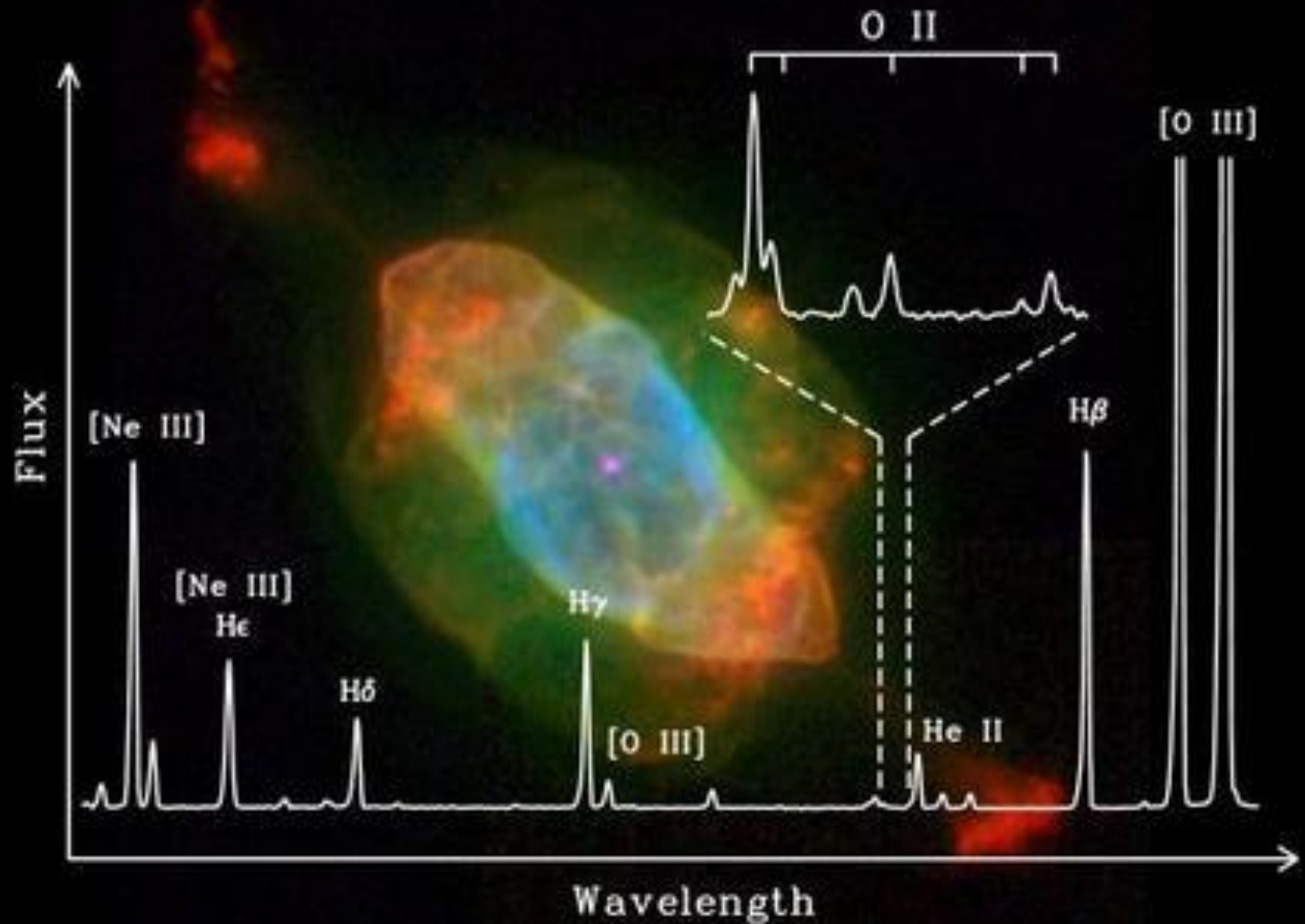
FIGURE 13.5 A schematic diagram of the evolution of an intermediate-mass star of $5 M_{\odot}$ from the zero-age main sequence to the formation of a white dwarf star (see Section 16.1). The diagram is labeled according to Fig. 13.4 with the addition of the Horizontal Branch (HB).

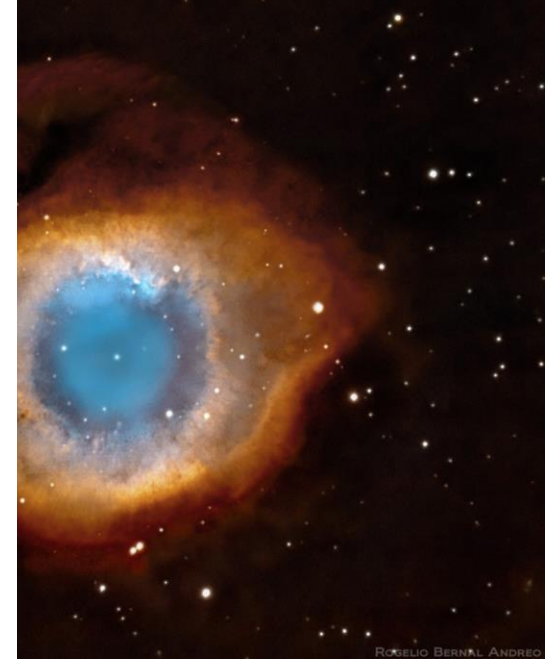
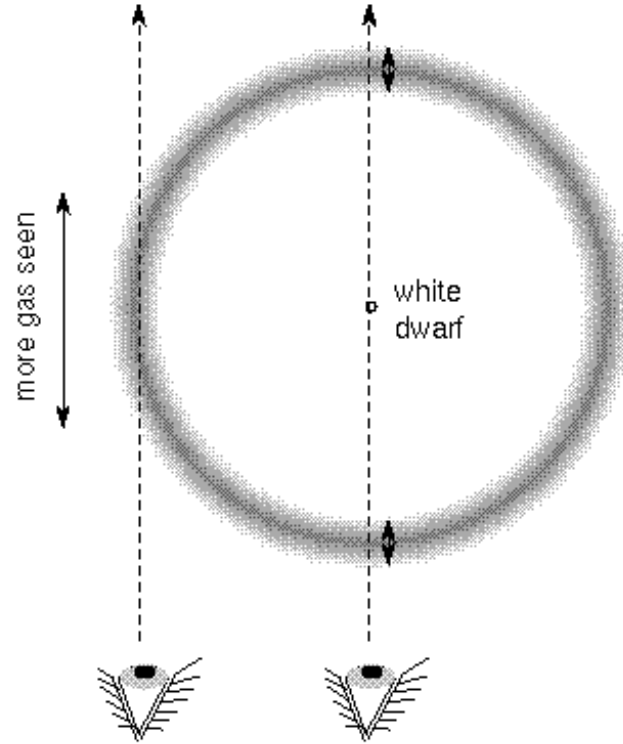
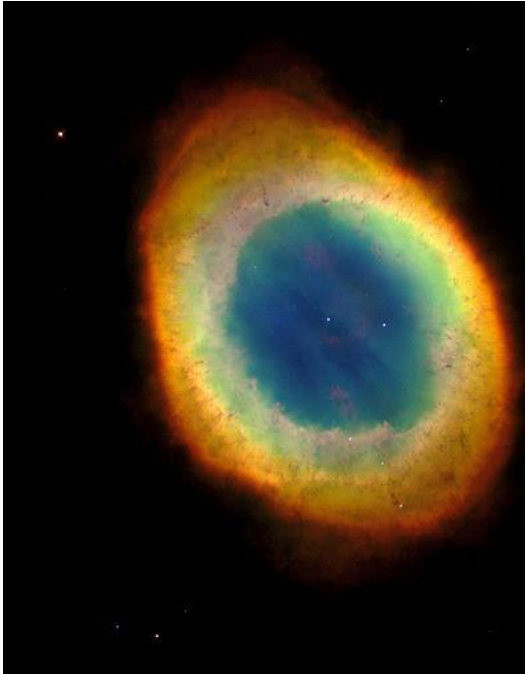
- Kütle kaybının son evresi boyunca, yıldız zarfının kalanı atılır, nükleer reaksiyonlarla üretilen küller açığa çıkar. Onların üzerinde kalan çok ince bir materyal katmanı ile, hidrojen ve helyum yakan kabuklar söndürülür ve yıldızın ışınım gücü hızlı bir şekilde azalır.
- Ortaya çıkan merkezdeki sıcak cisim, artık bir beyaz cüce olmak için soğuyacak.
- Esasında bir beyaz cüce, yaşlı bir kırmızı devin dejenere olmuş C-O çekirdeğidir (veya daha büyük kütleli yıldızlar için ONeMg çekirdeği) ve hidrojen ve helyum artıklarından oluşan ince bir tabaka ile çevrelenmiştir.
- Bu önemli yıldız türü, başlangıç anakol kütlesi $8M_{\odot}$ den daha küçük yıldızların evrimlerinin son ürünleridir.

2.3 Gezegenimsi Bulutsular

- Genel olarak, bir beyaz cüce çevresindeki genişleyen gaz kabuğa gezegenimsi bulutsu adı verilir.
- Bir gezegenimsi bulutsu, sahip olduğu güzel görüntüyü sıcak ve çok yoğun merkezi yıldızdan salınan moröte ışığa borçludur. Moröte fotonlar, bulutsudaki gaz tarafından soğurulurlar. Böylece atomlar uyarılır ve iyonize olur. Elektronlar daha düşük enerji seviyelerine geçtiklerinde, elektromanyetik tayfın görünür bölgesinde dalgaboylarına sahip fotonlar salınırlar. Sonuç olarak, bulut görünür ışıkta korlaşmış gibi gözükür.
- Bir çok gezegenimsi bulutsunun **mavimtrak-yeşil** renkleri 500.68 ve 495.89 nm dalgaboylarına sahip [OIII] yasak çizgisinden ve **kırmızımsı** rengi, iyonize hidrojen ve nitrojenden kaynaklanıyor.

NGC 7009





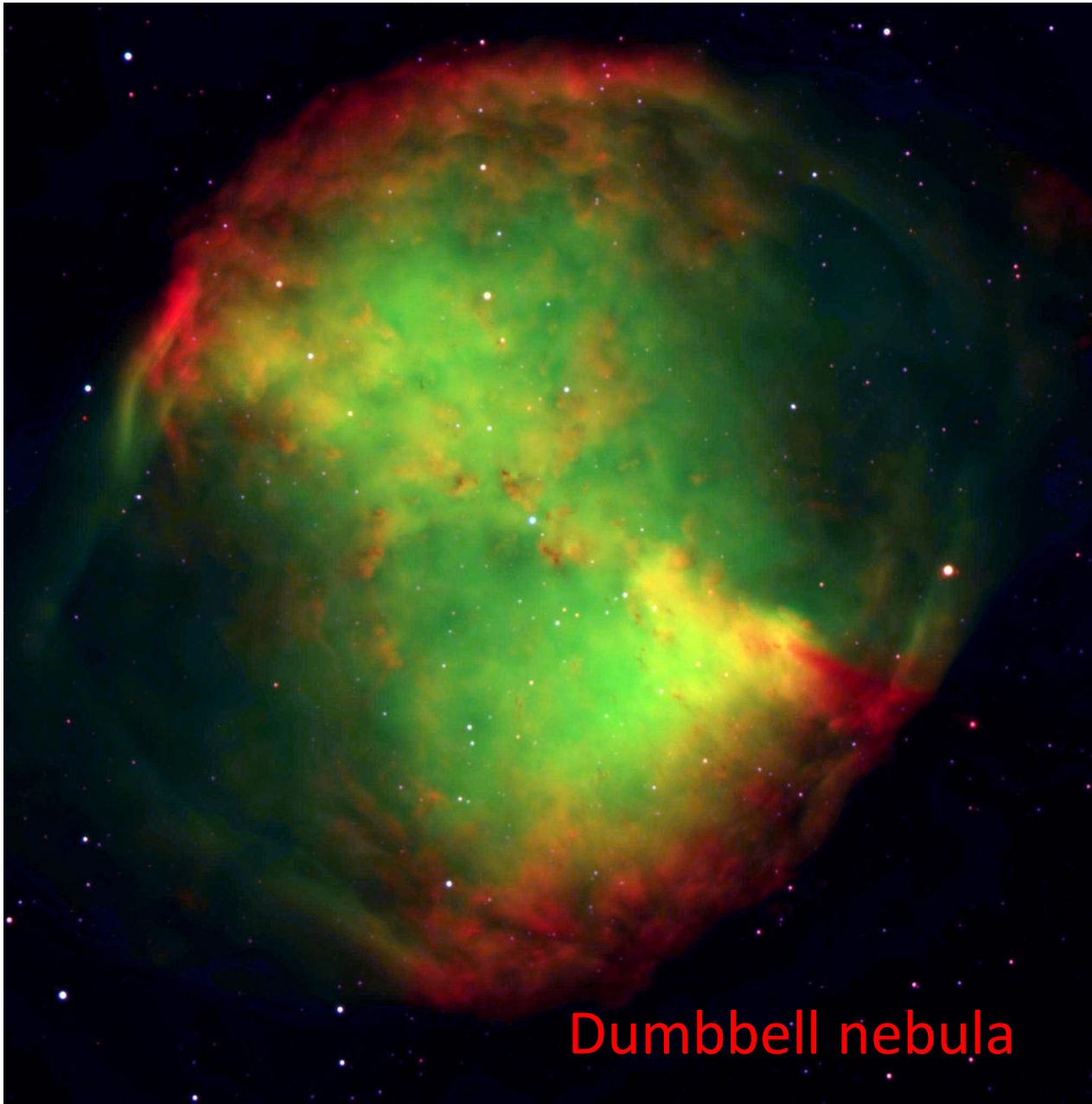
The “soap bubble effect” for spherical shells of gas. More gas is seen along the line of sight at the edges of the shell, so shell appears more transparent when looking through the center.

Ring bulutsusu (lyrae tk) ve Helix bulutsusu (Aquarius tk) gibi ilk görülen gezegenimsi bulutsular halkaya benzer.

Ek Bilgi:

- Aslında, gezegenimsi bulutsuların genişleyen küresel kabuklar olduğu düşünülüyordu: çünkü genişleyen küresel kabuğun kenarı boyunca bakıldığında, kabuğun merkezi boyunca bakıldığından daha fazla materyal görülüyor. Sabun baloncukları aynı sebeple halkaya benzerler.

- Hubble uzay teleskobu gibi teleskoplarla gezegenimsi bulutsuların yüksek çözünürlüklü görüntülerinin elde edilmesiyle ve farklı kısımlarının dikkatlice analiz edilmesiyle, gezegenimsi bulutsuların küresel bir ebeveyn TP-AGB yıldızından umulanın ötesinde bir kompleksliğe sahip olduğu farkedildi.
- Bazı gezegenimsilerin, örneğin Helix nebula, yüzüğümsü bir yapıya sahip oldukları görülüyor. Bu tür bir yapı, açısal momentumun varlığından dolayı yıldızın ekvatoru boyunca dışarı atılan gazdan ve görüş açımızın yıldızın dönme ekseninin aşağısında olmasından kaynaklanmaktadır.
- Şaşırtıcı yapıların varlığı; “değişen görüş açıları, materyalin yıldız yüzeyinden çoklu kütle atımları, bir yada daha fazla bileşen yıldızın varlığı ve manyetik alanlar” gibi sebeplere dayandırılmaktadır.

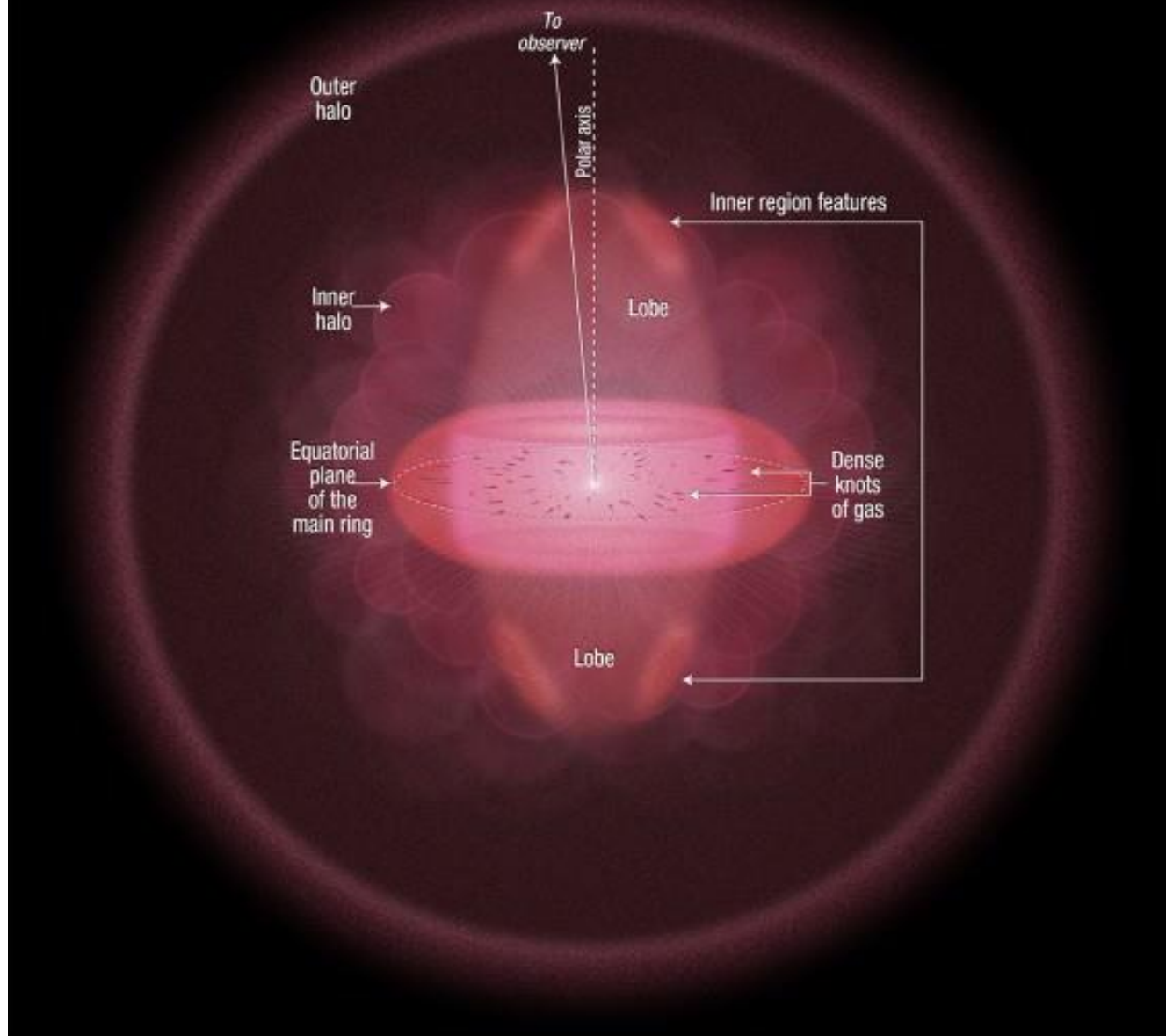


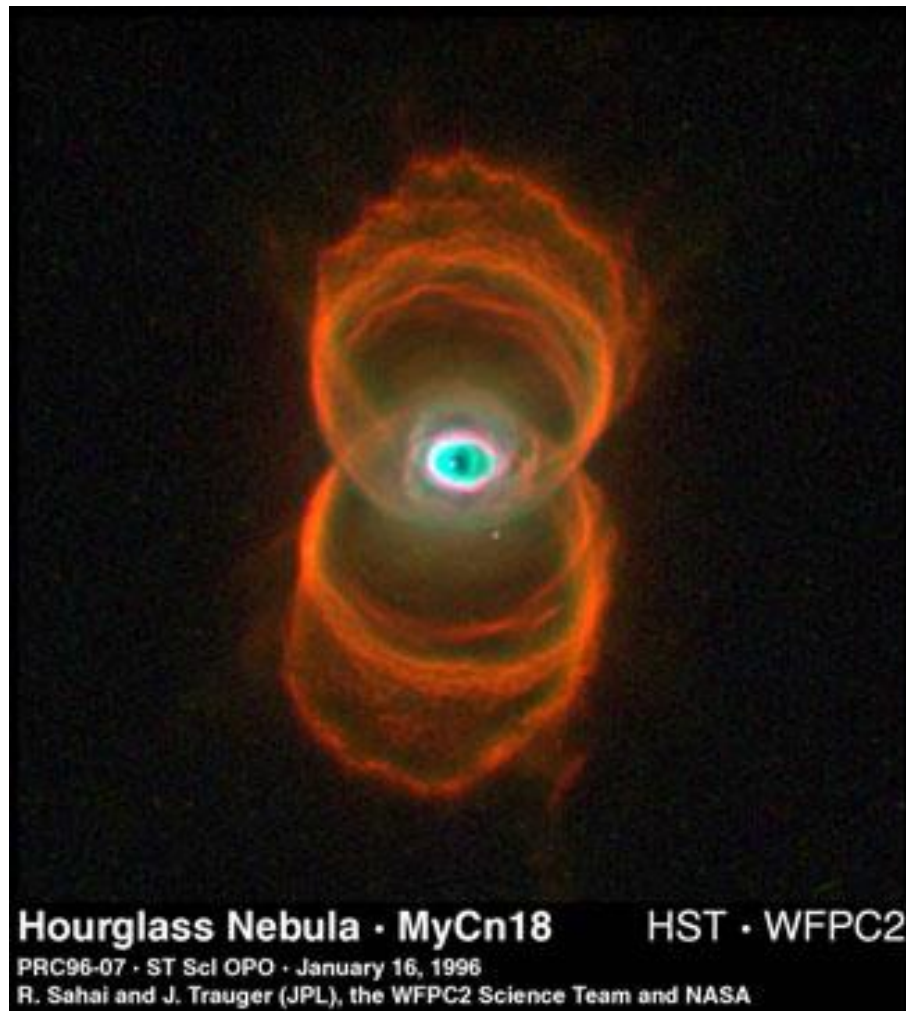
Dumbbell nebula

Ek Bilgi:

- Tıpkı Dumbell, Hourglass (Kum Saati) ve Eskimo bulutsularında olduğu gibi çoğu iki kutuplu çıkışlara sahiptir. Bu bulutsuların kutupları ile bakış doğrultumuz arasındaki açının farklı konumlanması bu farklılıklara sebep olmaktadır.
- Bu bulutsuları oluşturan yıldızlar kırmızı dev evresindeyken muhtemelen ekvatoryal halkalara ve disklere sahiptirler. İçten dışa doğru halka veya diske dik şekilde madde dışarı atılıyordu. Kum saati bulutsusunun (bir sonraki yansıda) iki halkası yıldızın kutuplarına merkezlenmiş olup bakış doğrultumuzla yaklaşık 60° civarında eğime sahiptir. Üstteki halka bize doğru yaklaşırken alttaki halka bizden uzaklaşmaktadır.
- Yüzük bulutsusunun da aslında iki kutuplu olabileceğine ilişkin deliller vardır. Ekvator civarında torus (veya simit) şeklinde yapılar, kutuplarda ise silindirik yapılar içermektedir. Bakış doğrultumuz tam kutuplardan birine baktığından onu sadece basit bir halka olarak görüyoruz. Gerçek şeklini ise Hubble videosundan izleyebilirsiniz:
https://media.stsci.edu/uploads/video_file/video_attachment/3069/STSci-H-v1313a-1280x720.mp4
- Helix bulutsusu da muhtemelen birbirlerine dik olan iki diskten oluşmaktadır.

Structure of the Ring Nebula

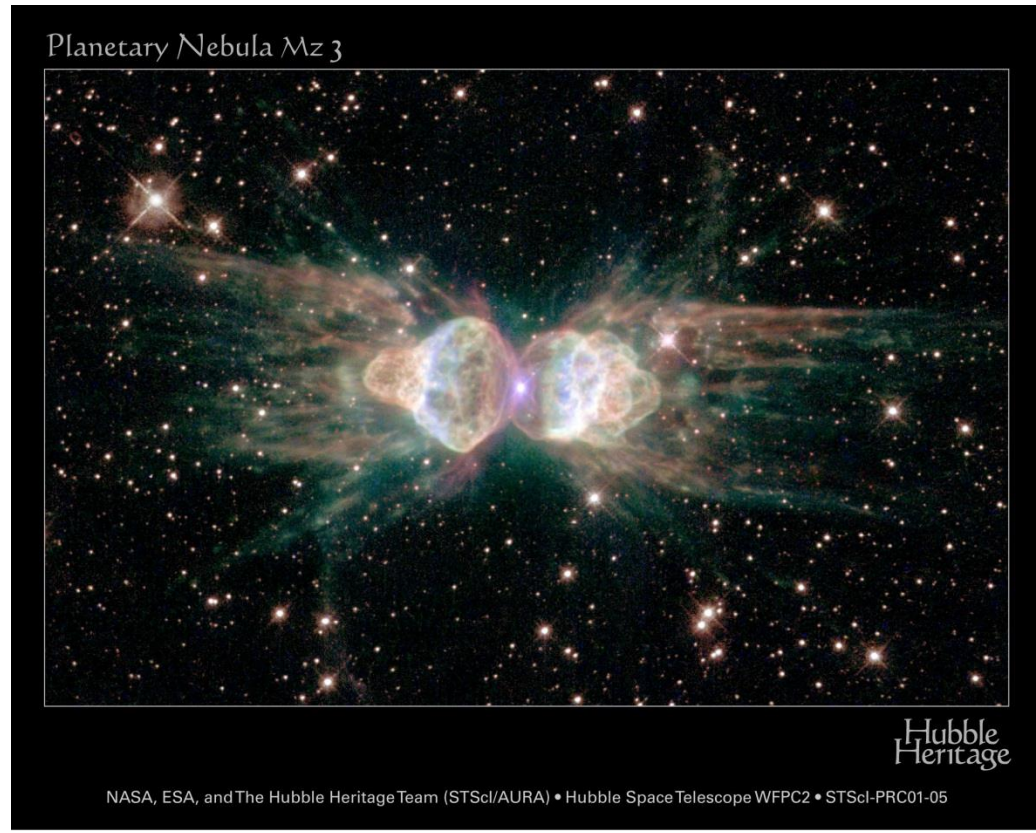
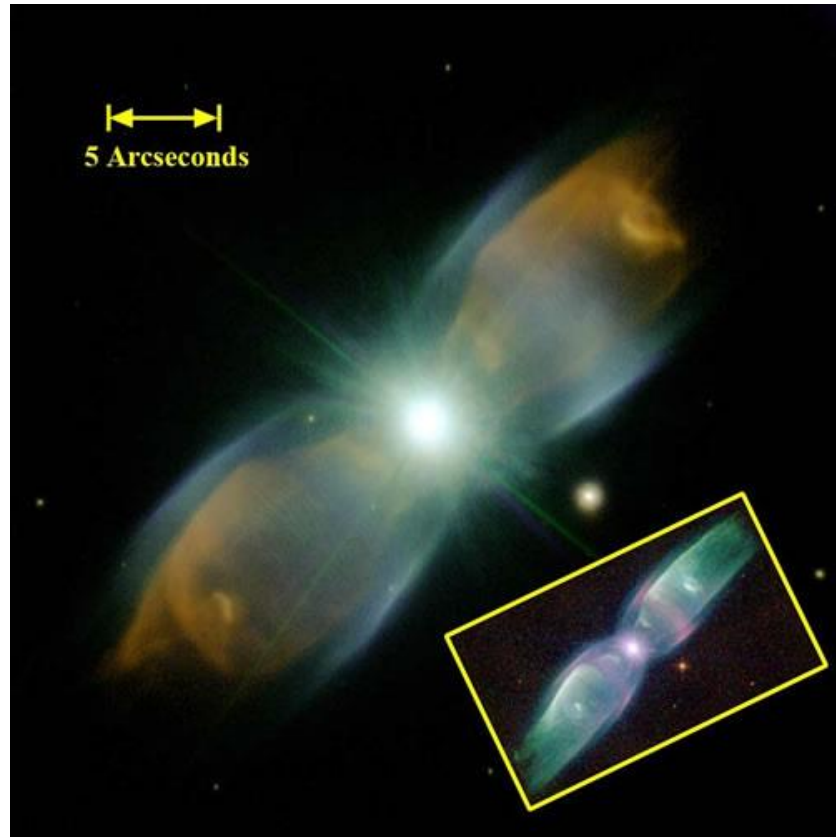






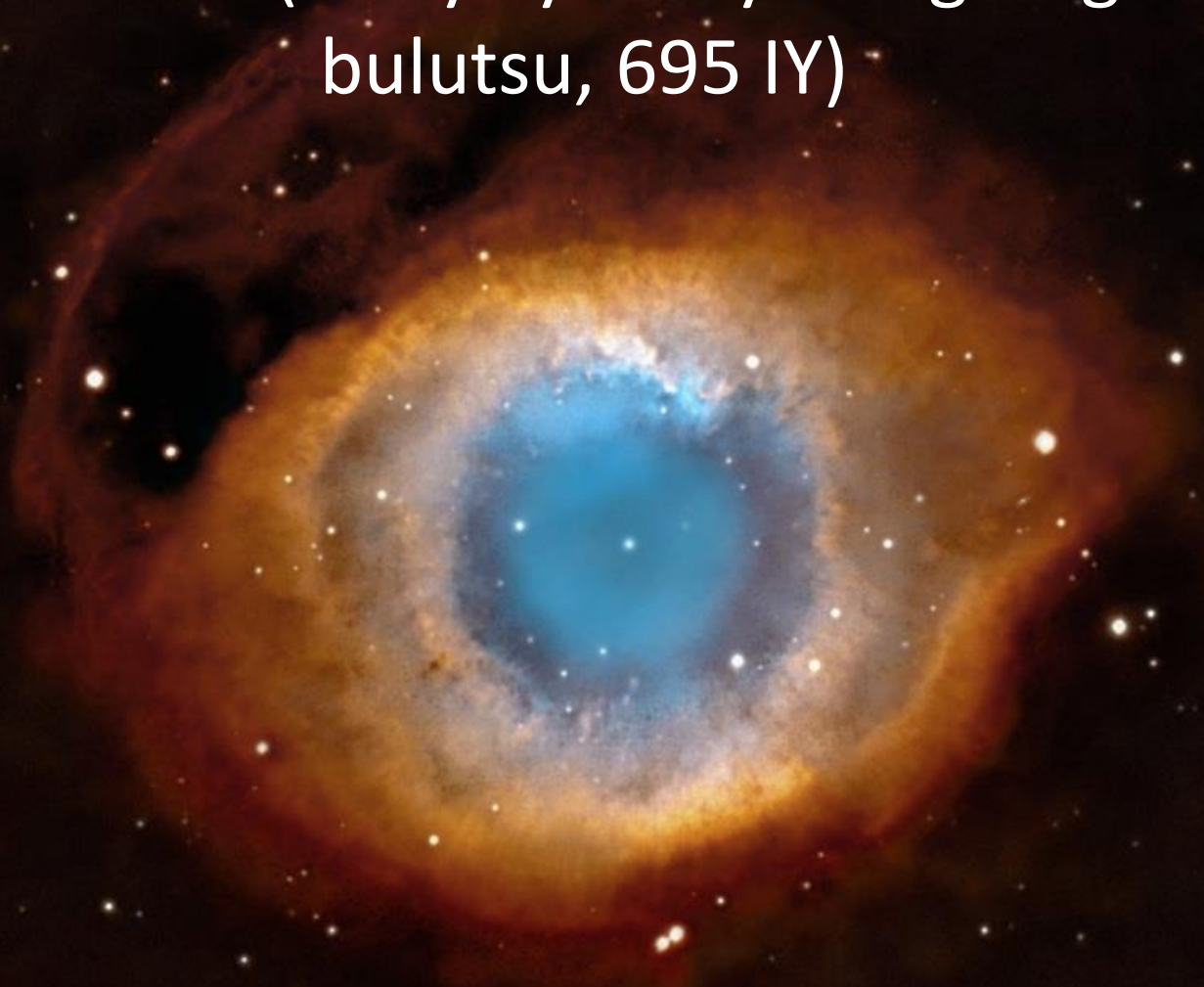
Yıldız katmanlarını bir seri küresel pulslarla yaklaşık 1500 yılda ayrılmış. Ayrıca yüksek hızlı gaz jetleri ve birbirlerine doğru farklı hızlarla ilerleyen gazların şok dalgaları var.

Kedi gözü bulutsusu (NGC 6543), Draco bölgesinde, uzaklığı 900 pc, yüksek hızlı jetler, şok dalgaları



İki kelebek gezegenimsi bulutsu örneği
M2-9 (solda, bipolar PN, 800 pc, Ophiucus),
Menzel 3 (sağda, karınca bulutsusu, outflow hızı
1000km/s)

Helix Nebula (Dünya'ya en yakın gezegenimsi bulutsu, 695 İY)

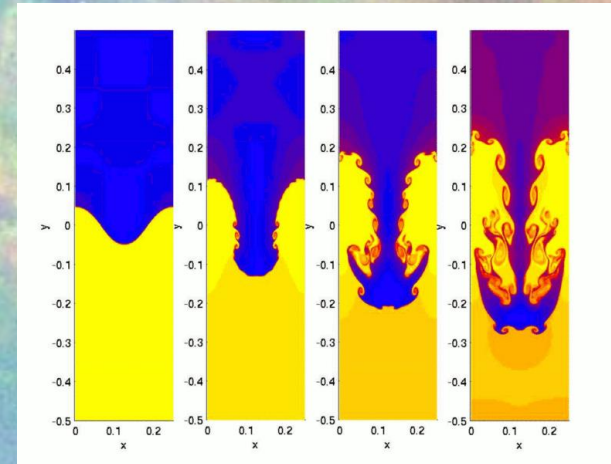


- Daha küçük ölçeklerde önemli detaylar karşımıza çıkmaktadır.

Kuyruklu yıldızimsı düğümler **(ing. Cometary knots)** **(ilk olarak Helix nebulada)**

- Kuyruklu yıldızimsı düğümler, helix nebuladaki merkezi yıldızdan radyal doğrultuda dışarı doğru noktalanmışlardır. Materyalin bu küçük kümeleri, yıldıza bakan tarafta parlak uçlu karanlık çekirdeklere sahiptir.

- Yıldızın bakan tarafları parlak olan toz katkılı soğuk ve nötr gaz küreleri.
- Kütleleri $\sim 10^{25} - 10^{26}$ g (sadece toz), toplamda $\sim 10^{27} - 10^{28}$ g
- Boyutları yaklaşık 100 AB
- En iyi senaryo: Rayleigh-Taylor Kararsızlığı.



Helix Nebuladaki Kuyruklu yıldızimsı düğümlerin 20 000 den fazla oldukları tahmin ediliyor.

(Merkezi yıldız resimde gözüküyor.)

A Nebular Knot Formation Scenario

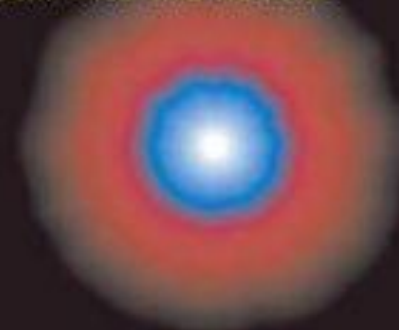
The star becomes a red giant.



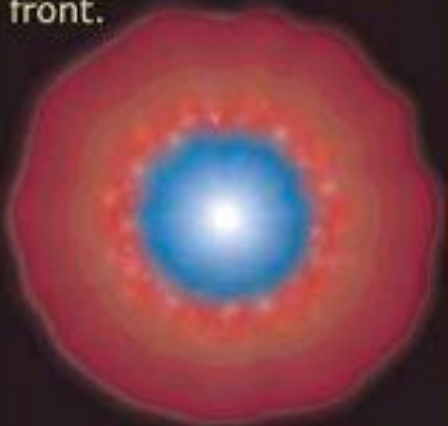
The star ejects shells of gas and dust.



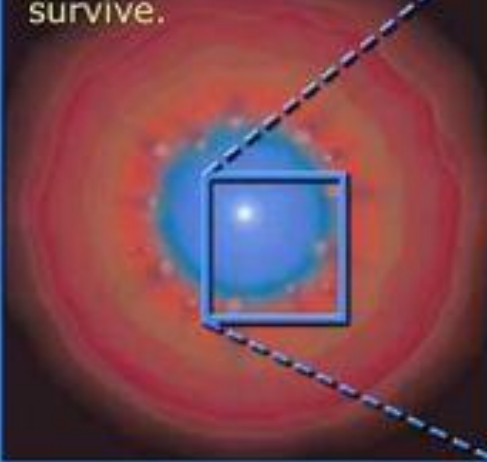
An ionization front propagates outward from the star into the nebula.



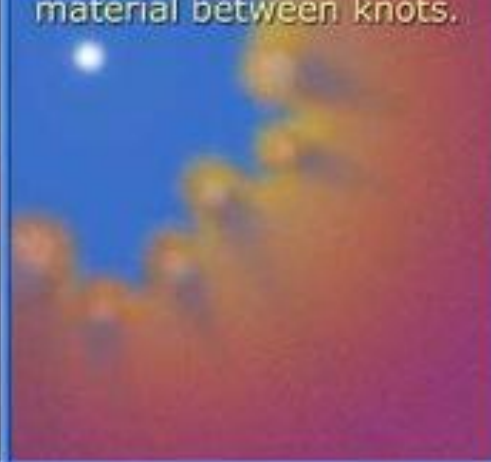
Knots form at ionization front.



Only the densest knots survive.



Starlight erodes away material between knots.



- Gezegensimsilerin, tayf çizgilerinin Doppler kaymasıyla ölçülen genişleme hızları, gazın tipik olarak 10-30 km/s arasında hızlarla merkezi yıldızdan dışarı doğru hareket ettiğini göstermektedir.
- Bu durum, 0.3 pc civarında karakteristik uzaklık ölçekleriyle birleştirildiğinde, gezegensimsi bulutsuların tahmin edilen yaşları 10 000 yıl mertebesinde dir.
- Yaklaşık 50 000 yıl sonra, bir gezegensimsi bulutsu dağılarak ISM ye karışacaktır. Bir yıldızın yaşam süresi ile kıyaslandığında, gezegensimsi bulutsu atımı safhası fazla sürmemektedir.

- Kısa yaşam sürelerine karşın, Samanyolu'nda bilinen **1500** gezegenimsi bulutsu vardır.
- Tüm galaksiyi dünyadan gözleyemediğimiz gerçeğini gözönüne alınırsa, gezegenimsi bulutsuların sayısının **15000** e yakın olduğu tahmin ediliyor.
- Ortalama olarak her gezegenimsi bulutsu $0.5M_{\odot}$ kütleli bir materyal içeriyorsa, bu süreçle ISM yılda yaklaşık bir güneş kütlesi kadar zenginleşmiş olacak.