

Bölüm 3

Büyük Kütleli Yıldızların Sonu

3.1 Parlak Mavi Değişenler (ing. Luminous Blue Variable, LBV)

3.2 Wolf-Rayet Yıldızları (WR)

3.3 Süpernovalar

1.3.1 Sınıflandırma

1.3.2 Çekirdeği çöken süpernovalar

Büyük Kütleli Yıldızlar İçin Genel Evrim Şeması

$M > 85M_{\odot}$: O-Of-LBV-WN-WC-SN

$40M_{\odot} < M < 85M_{\odot}$: O-Of-WN-WC-SN

$25M_{\odot} < M < 40M_{\odot}$: O-RSG-WN-WC-SN

$20M_{\odot} < M < 25M_{\odot}$: O-RSG-WN-SN

$10M_{\odot} < M < 20M_{\odot}$: O-RSG-BSG-SN

Astronomlar büyüleyici güney yarıküre yıldızı Eta Carinae'yı en az 1600 den beri gözlemektedir. 1600 ile 1830'lu yıllar arasında, bu yıldızın ikinci kadirde olduğu kaydedildi. Halbuki daha önce, dördüncü kadirde olduğu kaydedilmişti.

1820 yada 1830 da, yıldız daha aktif hale gelmeye başlamıştı belki de!

1837 de Eta Carinae'nın parlaklığı aniden arttı, yirmi yıl boyunca da 0 ile 1 kadir arasında değişen kararsız bir parlaklığa sahipti. Bir noktada parlaklığı -1 kadire kadar çıktı. Bu dönemde Herschel Eta Carinae'yı düzensiz değişen yıldız olarak tanımladı.

1837 de Eta Carinae'nın eriştiği çarpıcı parlaklık, onun dünyadan yaklaşık 2300 pc uzaklıkta bulunan bir yıldız olması sebebiyle oldukça etkileyicidir.

1856 dan sonra, bu gizemli yıldız tekrar sönükleşmeye başladı ve günümüzde yaklaşık 8. kadirde bir yıldızdır.

Galaksimizde benzer bir davranış sergileyen bir diğer yıldız P Cygnidir.

3.1 Parlak Mavi Değişenler (LBVs)

Eta Carinae ve P Cyg ile benzer davranışa sahip olduğu bilinen yıldızların yani parlak mavi değişenlerin sayısı hem bizim galaksimizde hemde diğer galaksilerde oldukça azdır (yerel grupta yaklaşık 32).

Samanyolu'nun uydularından biri olan LMC'de bulunan **S Doradus (S Dor)** bu türden yıldızlara en iyi bilinen extragalaktik örnektir. Edwin Hubble ve Allan Sandage tarafından yakın galaksilerde benzer yıldızlar keşfedildi.

Bu türden yıldızlar bir kaç farklı şekilde adlandırılırlar: **S Dor Değişenleri**, **Hubble-Sandage Değişenleri** ve **Parlak Mavi Değişenler** olmak üzere.

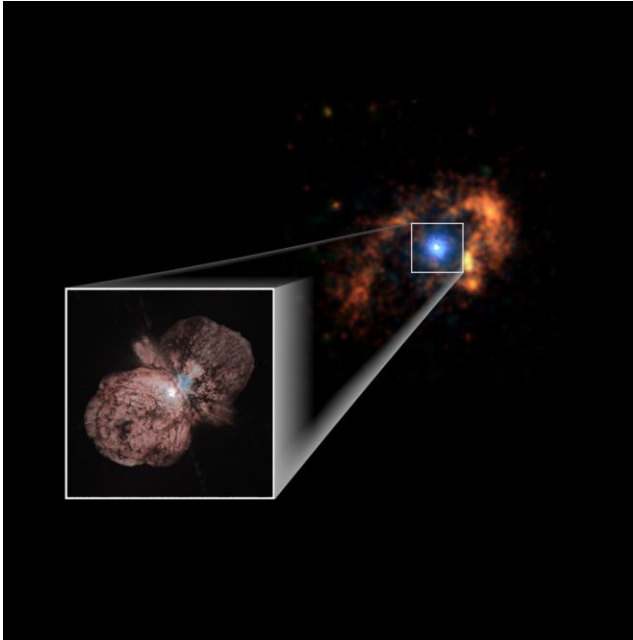
- karakteristik olarak, kısa yaşam sürelerine (40,000 yıl) sahiptir.
- H yanması ile WR olma arasındaki bir evrim durumudur.
- Evrimleşmiş, çok parlak, sıcak, kararsız, süperdevler:
 - Eta Carina ve P Cyg gibi dev püskürmeler,
veya
 - S Dor ve AG Car gibi düzensiz ışık değişimleri (püskürme kaynaklı değil)



Eta Carinae

Bipolar yapısı ekvatoryal diskinin varlığına delil teşkil eder. Bakış doğrultusu boyunca bir çok farklı hız kaydedilmesine rağmen, doppler ölçümlerinden, loblarının dışarı doğru 650 km/s hızla genişlediği bulundu. Genişleyen lobların içi oyuk fakat kabuktaki materyal H_2 , CH ve OH gibi moleküller içeriyor. C ve O ini önemli ölçüde tüketmiş, He ve N bakımından zengin. Bu destekliyor ki, atılan materyal CNO çevrimiyle nükleer olarak işlenmiş. Kütle kayıp oranı $10^{-3}M_{\odot}$ /yıl mertebesinde, ancak Great Eruption nın 20 yılı boyunca $(1/3)M_{\odot}$ kütlesinde bir materyal atıldı.

- Durgun halde Eta Carinae'nın ışınım gücü $5 \times 10^6 L_{\odot}$ yakın iken, büyük püskürme boyunca ışınım gücü yaklaşık $2 \times 10^7 L_{\odot}$ idi.
- Merkezi yıldızının etkin sıcaklığının kabaca 30,000K olduğu tahmin ediliyor.

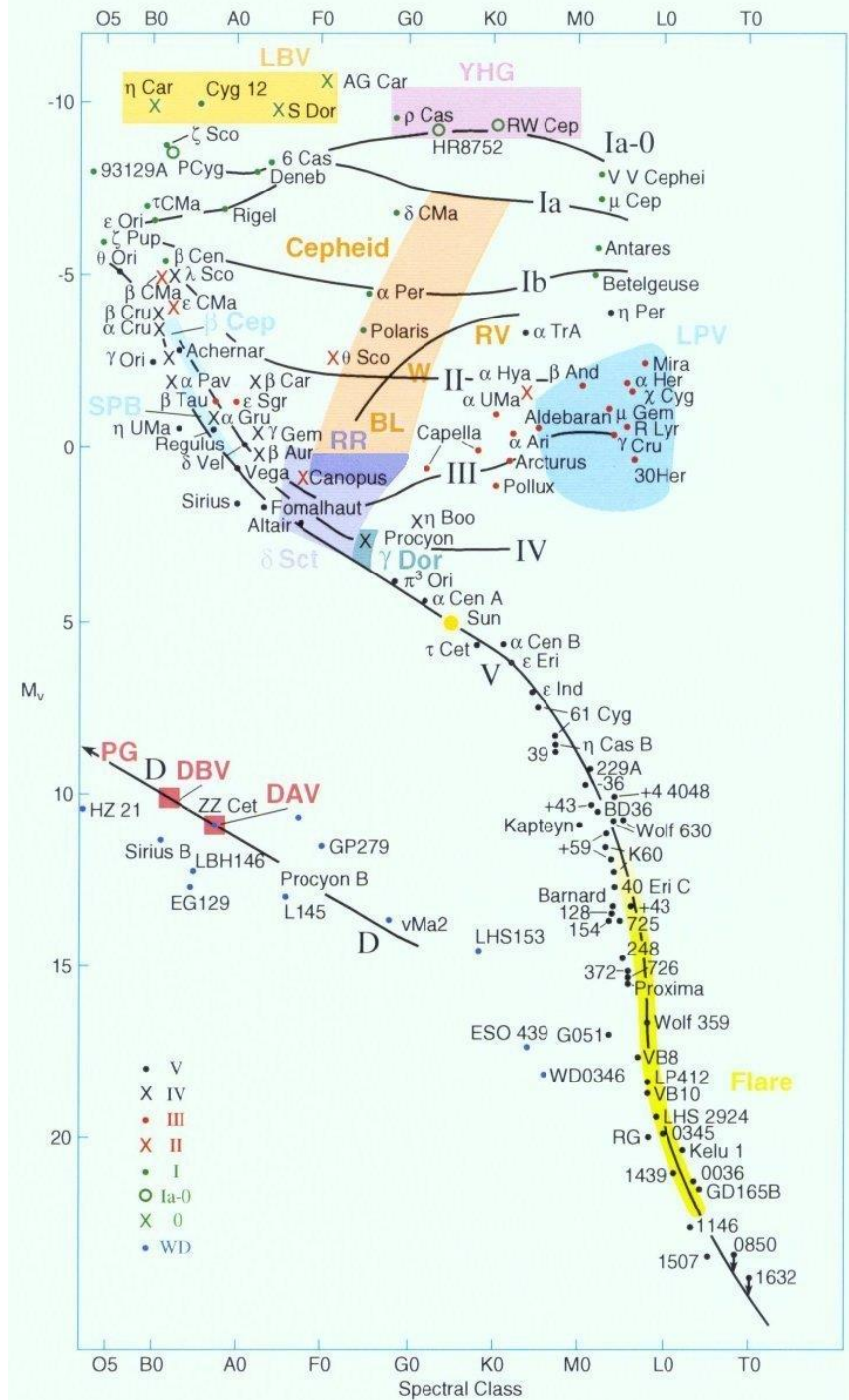


- Eta Carinae'nın görsel parlaklığı şu an yaklaşık 8 kadir civarında ve yüksek sıcaklığından dolayı ışınımının çoğunu UV bölgede salıyor. UV radyasyonun çoğu, 200K dan 1000K a kadar uzanan sıcaklıklarda elektromanyetik tayfın IR bölgesindeki toz zerrecikleri tarafından saçılıyor, soğruluyor ve yeniden salınıyor.

Bir değişen yıldız türü olarak LBV'ler, $10^6 L_{\odot}$ in üstünde ışınım güçleri ile 15000-30000K arasında yüksek etkin sıcaklıklara sahip olma eğilimindedirler.

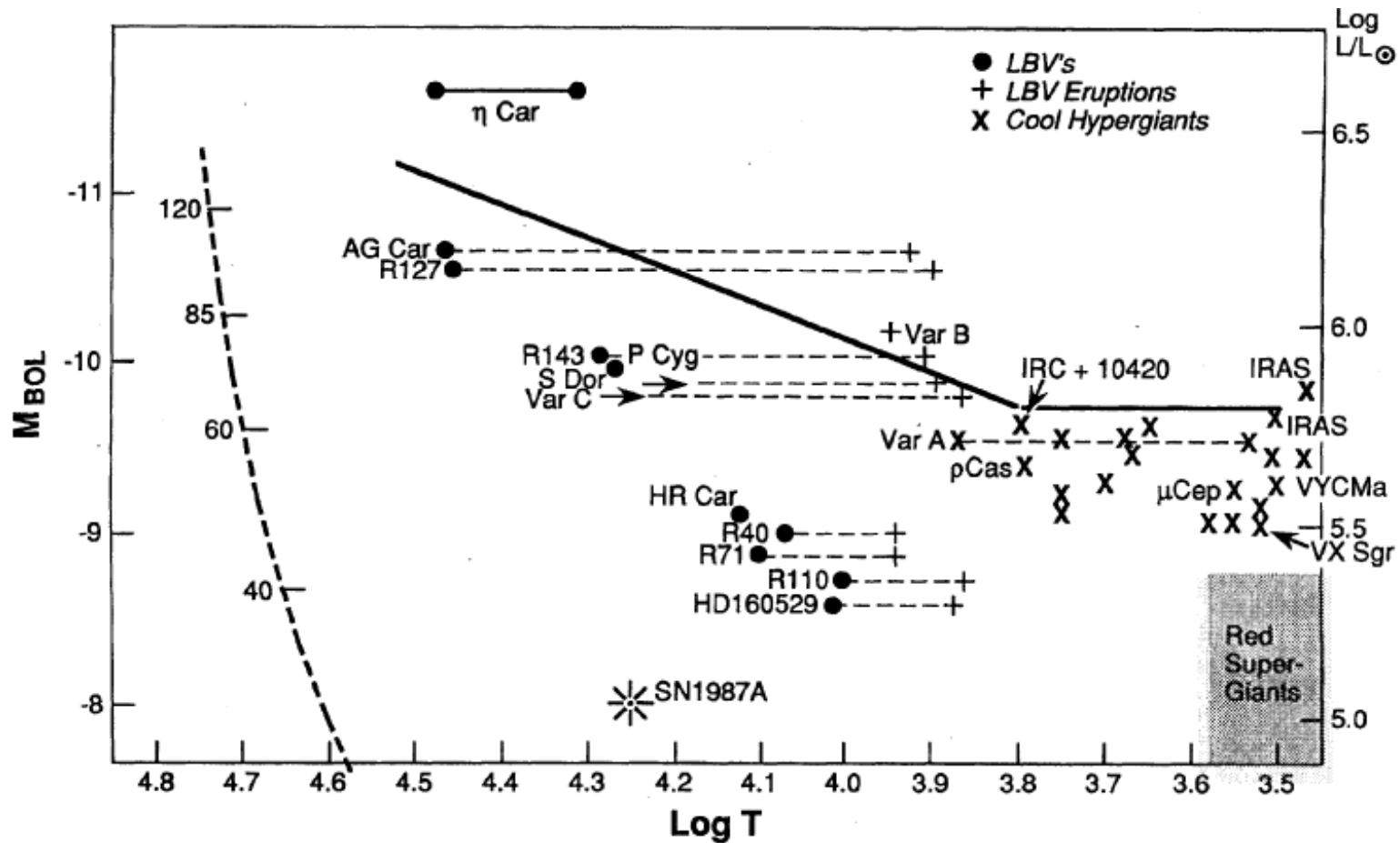
Bu durum, LBV lerin H-R diyagramında sol üst köşeye yerleştirilmesine sebebiyet verir.

Atmosferlerinin ve atık maddelerinin kimyasal kompozisyonu, **LVB** lerin evrimleşmiş anakol sonrası yıldız olduğunu ortaya koymaktadır.



- LBV lerin davranışını açıklamak için, onların değişimini ve kütle kaybını içeren çeşitli mekanizmalar öne sürüldü. Bu mekanizmalardan biri;
 - Anakolun üst sınırı Eddington ışınım gücü limitine çok yakındır. Bu bölgede, ışınım basıncından kaynaklanan kuvvet, yıldızın yüzey katmanlarındaki çekim kuvvetine eşit olabilir veya onu aşabilir. *Klasik Eddington limiti*, opasitenin tümünün saçılan serbest elektronlardan kaynakladığını (yani iyonize gaz için sabit) varsayar.
 - Opasitenin sıcaklığa bağlı bir bileşeni olduğu, modifiye edilmiş bir Eddington limiti R. Humphreys ve K. Davidson tarafından önerildi. Onlar opasite terimini yıldızın H-R diyagramında sağa doğru evrimleşme durumu için modifiye ettiler. Buna göre, **sıcaklık azaldığında ve opasite arttığında, Eddington ışınım gücü yıldızın gerçek ışınım gücünün altına düşer** böylece ışınım basıncı çekime galip gelir ve zarftan kütle kaybı gerçekleşir.

Humphreys-Davidson Işınım Gücü Limiti



Humphreys & Davidson 1994

FIG. 9—A schematic HR diagram for the most luminous stars. The dashed lines represent the LBV transitions from quiescence (●) and to the eruption (+) stage. The most luminous cool hypergiants are also plotted. The empirical upper luminosity boundary is shown as a solid line.

Büyük Kütleli Yıldızlar İçin Genel Evrim Şeması

$M > 85M_{\odot}$: O-Of-LBV-WN-WC-SN

$40M_{\odot} < M < 85M_{\odot}$: O-Of-WN-WC-SN

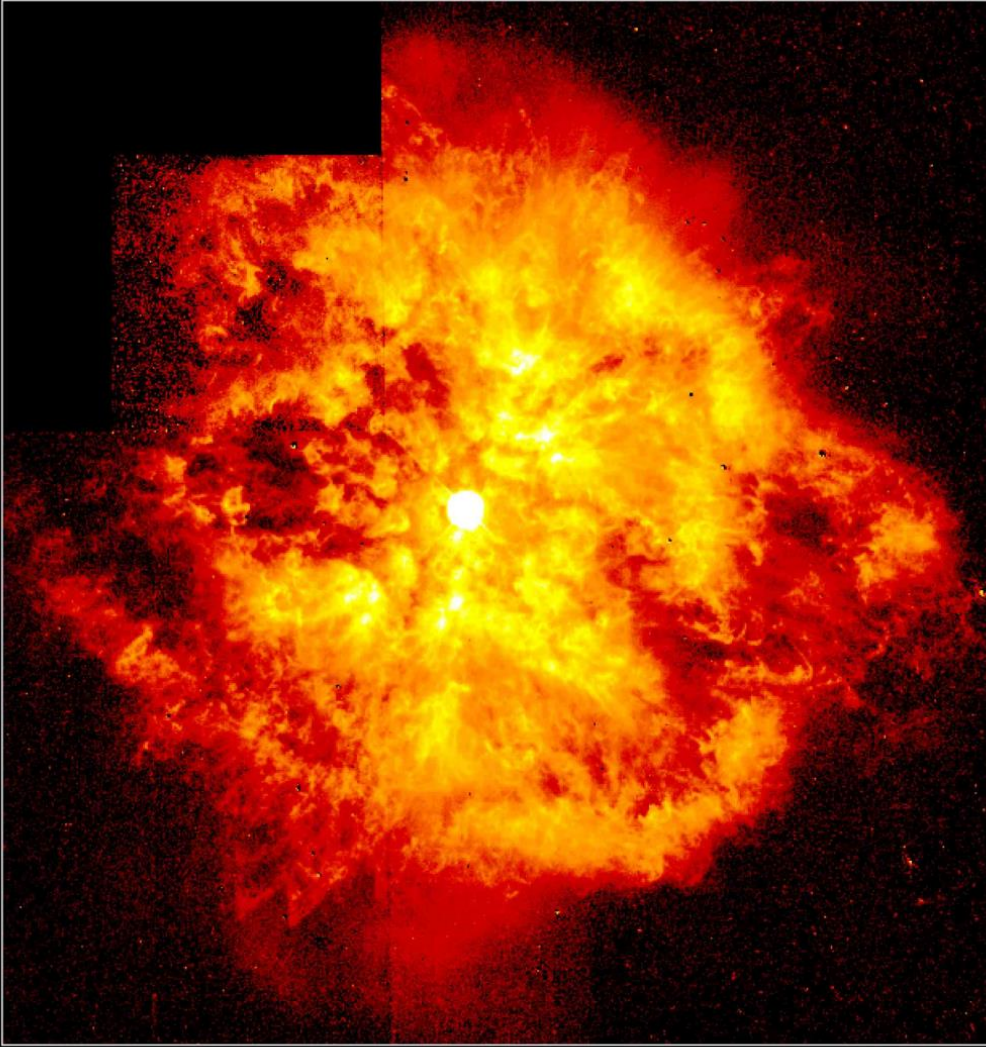
$25M_{\odot} < M < 40M_{\odot}$: O-RSG-WN-WC-SN

$20M_{\odot} < M < 25M_{\odot}$: O-RSG-WN-SN

$10M_{\odot} < M < 20M_{\odot}$: O-RSG-BSG-SN

3.2 Wolf-Rayet Yıldızları (WR)

- Wolf-Rayet yıldızları LBV ler ile yakından ilişkilidir. Günümüzde, galaksimizde 220 den fazla WR olduğu biliniyor ancak tahmini sayıları 1000-2000 arasında. Yaklaşık yarısı çift yıldız.
- Güçlü salma çizgileri ile birlikte, WR yıldızları çok sıcaklardır (25,000-100,000K).
- Dahası bu yıldızlar, 800-3000 km/s arasında hızlara sahip rüzgarlarla yılda $10^{-5}M_{\odot}$ i aşan miktarlarda kütle kaybetmektedirler.
- WR yıldızlarının çoğunun tipik olarak 300 km/s hızlarla (ekvatoryal dönme hızı) dönmekte olduklarına dair güçlü deliller vardır.
- LBV ler $85M_{\odot}$ kütleli (yada daha büyük kütleli) yıldızlar olmalarına karşın, WR yıldızları $20M_{\odot}$ kadar küçük ata kütlelere sahip olabilirler.
- WR yıldızları LBV ler gibi çarpıcı değişimler göstermezler.



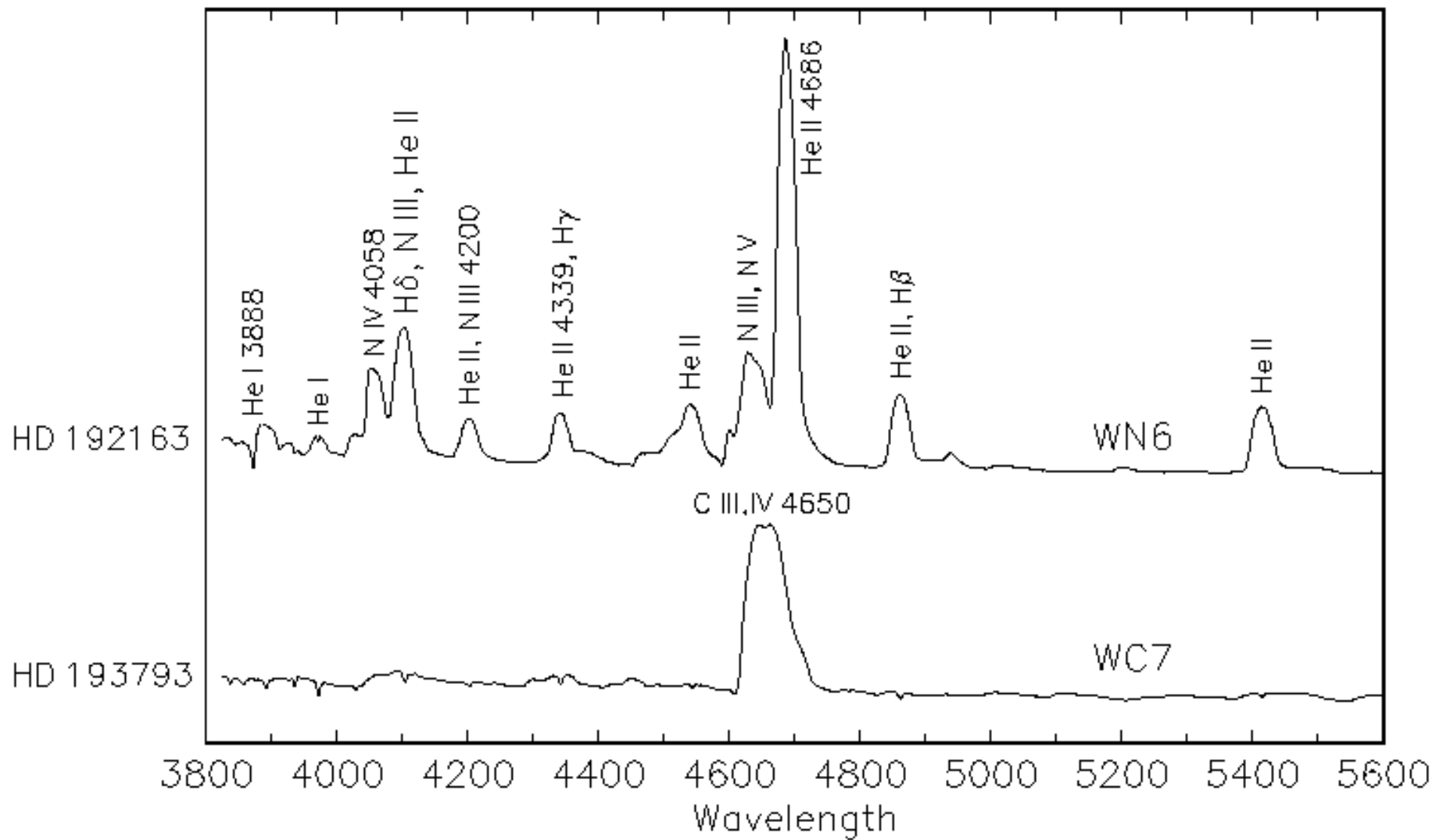
Nebula M1-67 around Star WR224
Hubble Space Telescope • WFPC2

WR 224 yıldızının
etrafındaki M1-67
nebulası.

Yıldızın,
Teff~36000K, R~10Rgüneş,
M~9Mgüneş,
dM/dt~10^{-4.95} Mgüneş/yıl
v_∞~710 km/s
d=3350 pc ve Yay
takımyıldızı bölgesinde
(Marchenko et al. 2010)

WR yıldızlarını diğer yıldızlardan ayıran sıradışı tayflarıdır. Tayflarında hem baskın bir özellik olarak genişlemiş salma çizgileri görülür hem de kompozisyonları aşıkardır. Buna göre 3 sınıfa ayrılırlar:WN, WC, WO olmak üzere.

- **WN:** Tayflarında baskın olan salmalar **He** ve **N** iken C, O ve H salma çizgileri de gözlenebilir.
- **WC:** Tayflarında baskın olan salmalar **He** ve **C** dur. N ve H de belirgin bir eksiklik vardır.
- **WO:** WN ve WC den daha nadirlerdir. Tayflarında yüksek dereceden iyonize olmuş türlerden gelen katkı ile güçlü **O** çizgileri görülür.



WN ve WC, atmosferlerindeki türlerin iyonizasyon derecesi temelinde alttürlerle ayrılırlar.

Örneğin;

- WN2 türü bir yıldızda He II, N IV ve O VI'nın tayf çizgileri gözlenirken,
- WN9 türü bir yıldızda daha düşük dereceden iyonize olmuş türlere ilişkin çizgiler gözlenir.
- Erken ve Geç WN lerdende bahsedilir.
 - WNE yıldızları WN2-WN5,
 - WNL yıldızları WN6-WN11 yıldızlarıdır.
- WC ler içinde durum benzerken,
 - WCE ler WC4-WC6,
 - WCL ler WC7-WC9 arasındaki yıldızları içerir.

- WC, WN ve WO ların kompozisyonlarındaki bu acayip trend bu yıldızlardaki kütle kaybının direk sonucu olarak bilinir.
- WN yıldızları, hidrojenin baskın olduğu zarflarının tamamını kaybederek, çekirdekte nükleer reaksiyonlarla sentezlenen materyali ortaya çıkarmışlardır. Yıldızın merkezindeki konveksiyon, CNO ile işlenmiş materyali yüzeye getirmiştir.
- Dahası kütle kaybı CNO ile işlenmiş materyalin üçlü alfa süreciyle üretilen helyum yakan materyale maruz kalarak atılması ile sonuçlanır. Yıldız yeteri kadar uzun yaşarsa kütle kaybı, üçlü alfa süreci külünün oksijen bileşeni dışında, kademeli olarak yıldızın herşeyini kaybetmesine sebep olur.
- LBV ve WR yıldızlarına ek olarak, H-R diyagramının üst kısmı BSG, RSG ve Of yıldızlarında bulundurulur.

- Çok büyük kütleli yıldızların (1 güneş kütleli 1 milyon yıldıza karşı yalnızca 1 tane 100 güneş kütleli yıldız mevcut) oldukça nadir olmalarına karşın, yıldızlararası ortamın kimyasal evrimi ve dinamiğinde oldukça etkin rol oynarlar.
- Büyük kütleli yıldızların rüzgarları sayesinde ISM de depolanan aşırı miktarda kinetik enerji ISM nin kinematiği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.