

YILDIZLARIN ÖLÜMÜ

Serdar Evren

Astronomiye Giriş II - 2015

-
- Yıldızlar nasıl ölür?
 - Yıldızlar uzun ve parlak yaşamalarının sonunda ne oluyor?
 - Yanıtlar kısmen bilgisayar modellerinde ve kısmen de gökyüzündeki görüntülerde aranarak, kuramın ve gözlemin ortak noktası bulunur.
 - Teleskobun 400 yıllık keşfinden beri hiç kimse yakın bir yıldızın ölümüne tanık olmadığından bu sorunun ayrıntılarını ortaya koymak oldukça zordur.
 - Şu sıralar yıldızların ölümlerine yakın (ve sonraki) zamanlarda nasıl davrandıklarını öngören kuramsal çalışmalara rehberlik edecek cisimlerin delilleri araştırılıyor.
 - En iyi modeller, yıldız evriminin son evresini yıldızın kütlesine dayandırır. Küçük kütleli yıldızları daha sakin bir son beklerken büyük kütleliler patlamalı bir son ile ölürlür. Farklı iki son arasındaki çizgide güneş kütlesinin 8 katı fark vardır.
-

-
- Samanyolu'ndaki tüm yıldızların %1'den fazlası bu kütleden daha büyük olduğundan, Güneş'imiz ve yıldızların büyük çoğunluğu küçük kütleli yıldız kategorisine girer.
 - Güneş'in ölümü apaçık çok yakın gerçekleşecek ve Güneş'in çekirdeği son zamanlarında oldukça sıcak ve yoğun olacaktır. Bu sırada çekirdeğinin birim hacmindeki ağırlık Yer üzerindeki 1 ton ağırlığa karşılık gelir.
 - Bu yüksek yoğunluklarda bile henüz çekirdekler arasındaki çarpışmalar yeterince sık değildir ve sıcaklığı yeni nükleer tepkimeleri ateşleyecek kadar 600 milyon K derecelere ulaşamaz.
 - Bundan dolayı da karbon daha ağır elementlerin hiç birine dönüşemez. Yoğunluk maksimum sıkışmaya ulaşmıştır. Sıcaklık yükselmeyi durdurur ve oksijen, demir, altın, uranyum ve diğer birçok element küçük kütleli yıldızlarda oluşamaz.
-

GEZEENİMİSİ BULUTSULAR

- Gezeenimsi bulutsular sıcak yıldızları çevreleyen daha çok dairesel şekilli gaz yapılarıdır. Gezeen benzeri disk yapılı görüntülerinden dolayı 18. yy' da William Herschel tarafından bu isim verilmiştir.
 - Merkezdeki yıldızdan çıkan ışınım etraftaki gaz zarfı uyartır ve parlak bir bulutsu olarak görünmesini sağlar. Zarfın atomları yıldızdan gelen moröte (UV) ışınımını soğurur ve görünür, kızılöte ve radyo ışık olarak yeniden salar.
 - Merkezdeki yıldızın etkin sıcaklığı UV akısından dolayı çok sıcaktır. Genelde 30 000 K' dir ve bazen 100 000 K' e ulaşır. Öte yandan, bu yıldızların ışınım gücü yüksek değildir (Güneş' ten biraz daha fazla ışınım salarlar). Bu durum, onların çok küçük yarıçaplara sahip olduğunu açıklar. Büyük çoğunluğu **beyaz cüce** olarak görünür.
-

-
- Bulutsuların kütlesi 0.1 ile 0.2 M_{\odot} arasında değişir. Gazın yoğunluğu çok dūřüktür (10-20 g/cm³). Yapılar içinde toz da görölmektedir. Zarf, saniyede bir kaç on km hızla genişler.
 - Bulutsunun gerçek boyutunu belirlemek çok zordur. Açısal boyutları nispeten kolay ölçölmesine rağmen, salt boyutlarını belirleyebilmek için önce uzaklıkların bilinmesi gereklidir.
 - Gezegenimsi bulutsunun gazı sürekli olarak yıldız tarafından desteklenmediğinden, genişlemenin yıldızlararası ortama yayılması 100 000 yıl sürer.
-

Gezezenimsi Bulutsular



Ring



Helix

Eskimo Bulutsusu

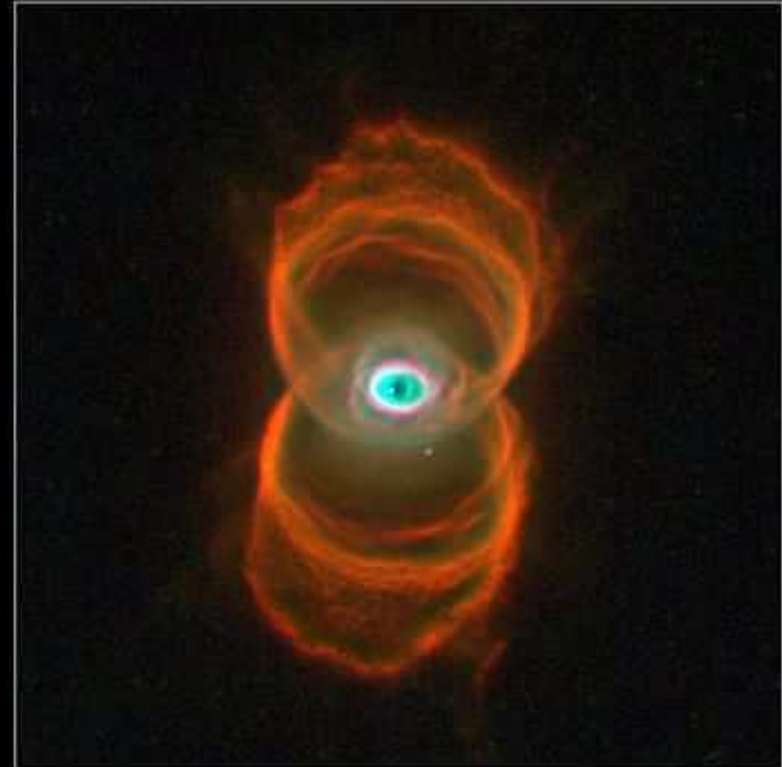


Yaş: 10000 yıl

Gezezenimsi Bulutsular



Cat's Eye



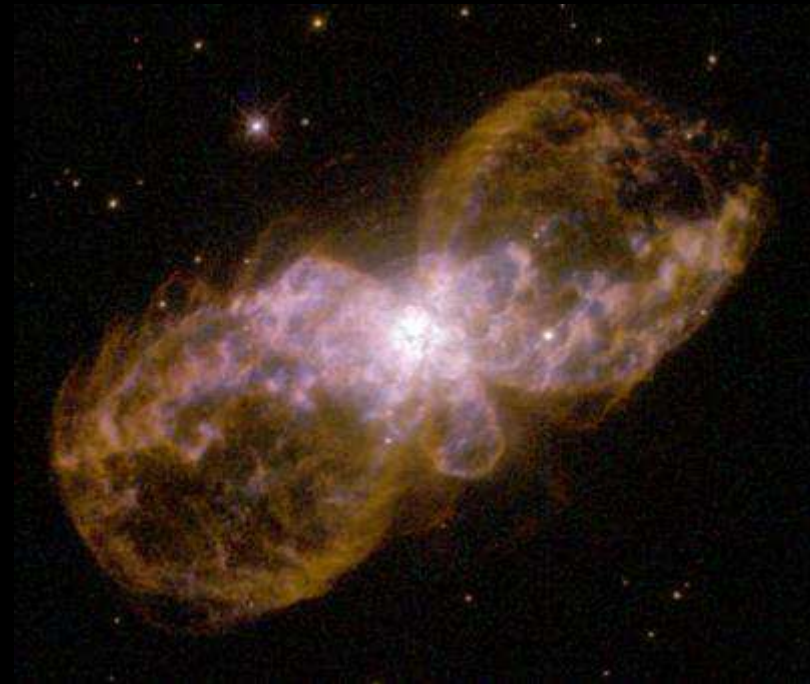
Hourglass Nebula · MyCn18
Hubble Space Telescope · WFPC2

PRC96.07 · ST ScI DPO · January 18, 1996 · R. Sahai and J. Trauger (JPL), WFPC2 Science Team, NASA

Gezezenimsi Bulutsular



Glowing Eye



Two-lobed

Gezenimsi Bulutsular



Dumbbell

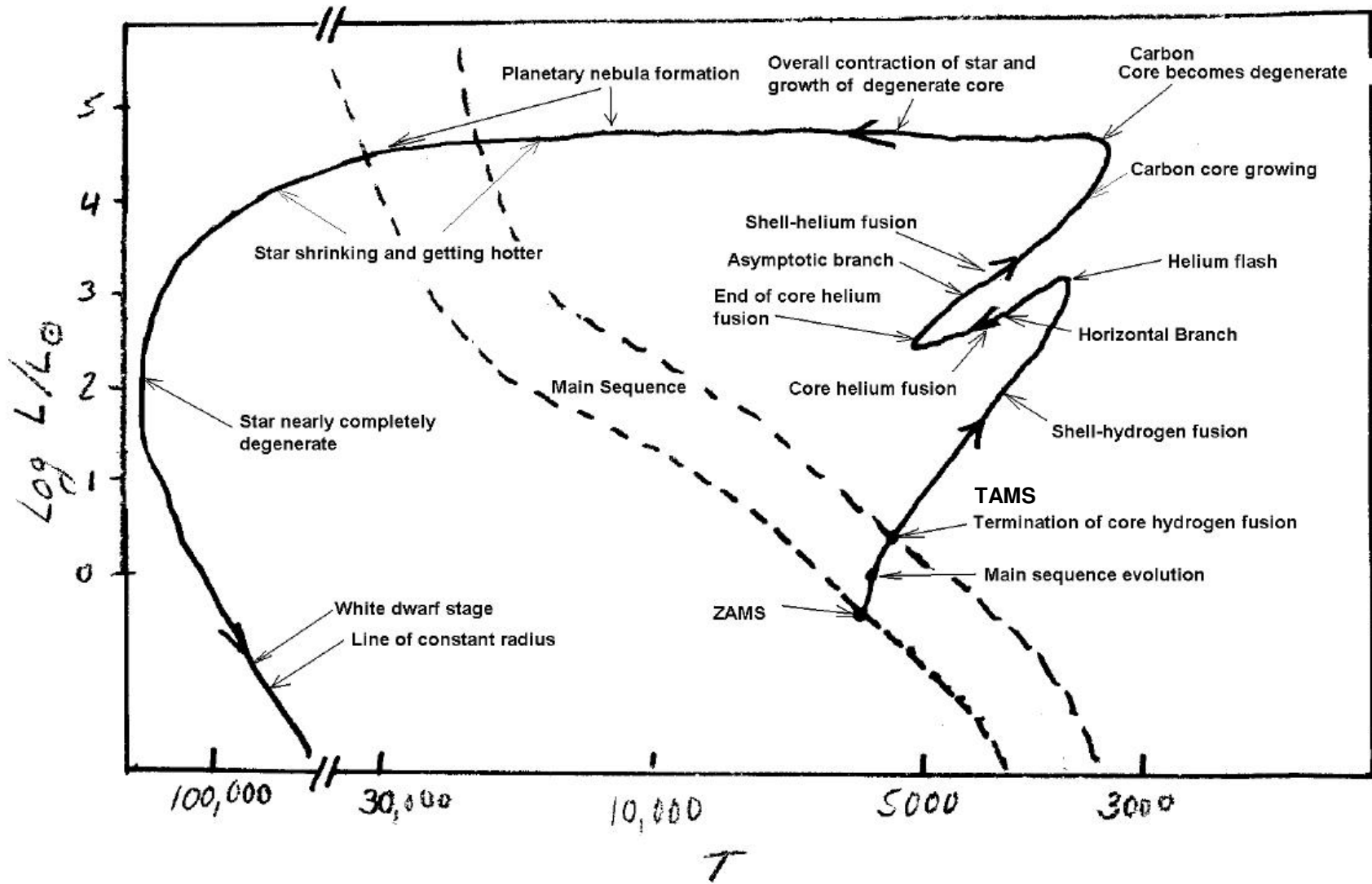
M27 © IAC/RGO/Malin

Photo from Isaac Newton Telescope plates by David Malin

BEYAZ CÜCELER

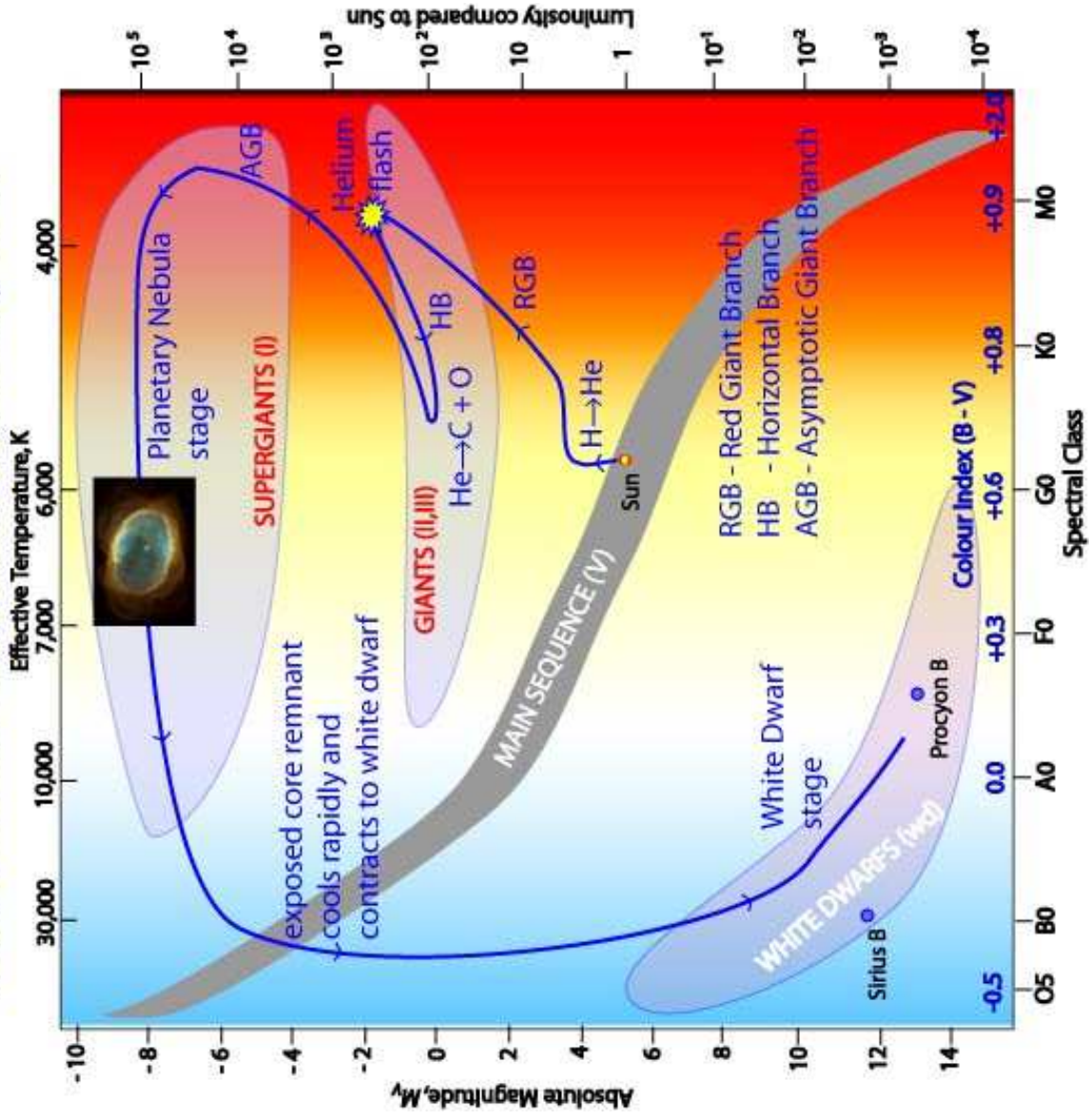
- Fizikçiler güneş sisteminde gözlenen yoğunluklardan daha yoğun bir maddenin fiziksel oluşumunun olasılığını yirminci yüzyılın başlarına kadar düşünemediler.
- 1920'li yıllarda kuantum mekaniği maddenin daha iyi anlaşılmasını sağladı. Atomlarda, elektronlar çekirdeğe elektrostatik kuvvetlerle bağlı olarak bulunuyorlardı ve sürekli hareket halinde olan bu elektronlar, maddenin daha fazla sıkışmasını önleyecek basınç üretiyorlardı. Yasaklanma ilkesine göre, temel bir hücre içinde iki parçacıktan daha fazlası yer alamazdı. Bütün hücreler elektronlarla dolu olduğunda, madde yozlaşmış olarak kabul edilir ve yoğunluk cm^3 ' de 1 tona ulaşabilirdi. Yozlaşmış madde, temel hücrelerinin çoğu boş olan maddeye göre daha sıkidır.
- Büyük kütleli bir gökcisminin çekim kuvveti, kendi maddesini elektronları yoğunlaşmış bir duruma sıkıştırabilir. Bu durum "**beyaz cüce**" olarak adlandırılan yıldızlarda görülür. Yıldızı çekimsel kuvvetlere karşı dengede tutacak olan kuvvetler, anakol yıldızlarında görülen ısısal hareketler değil, yozlaşmış elektronların uyguladığı basınçtır. Bu yüzden, bir beyaz cücenin içi gaz durumunda değil, yavaşça soğuyan dev bir kristaldir.

-
- Beyaz cüceler için bir kuram geliştiren Subrahmanyam Chandrasekhar, kütlelerin $1.4 M_{\odot}$ 'den daha büyük olamayacağını önermiştir (Chandrasekhar limiti). Bu değerin üstünde, elektronlar ışık hızına yakın hızlara sahip olurlar ve çekim kuvvetini dengeleyecek yeterince yüksek basınca sahip olamazlardı.
 - 40 Eridani B'nin bulunmasıyla, astronomlar yüzey sıcaklığı yüksek (17 000 K) ve ışınım gücü de çok düşük olan bir yıldız saptamışlardı. Bu durum, 40 Eridani B'nin yarıçapının çok küçük olacağını (Yer boyutlarında) gösteriyordu.
 - Bu tür cisimlerin varlığı hızla onaylandı ve 1917'de iki yeni örnek daha bulundu: Bunlardan biri Sirius B'dir (gökyüzündeki en parlak yıldız Sirius A'nın bileşeni).
-

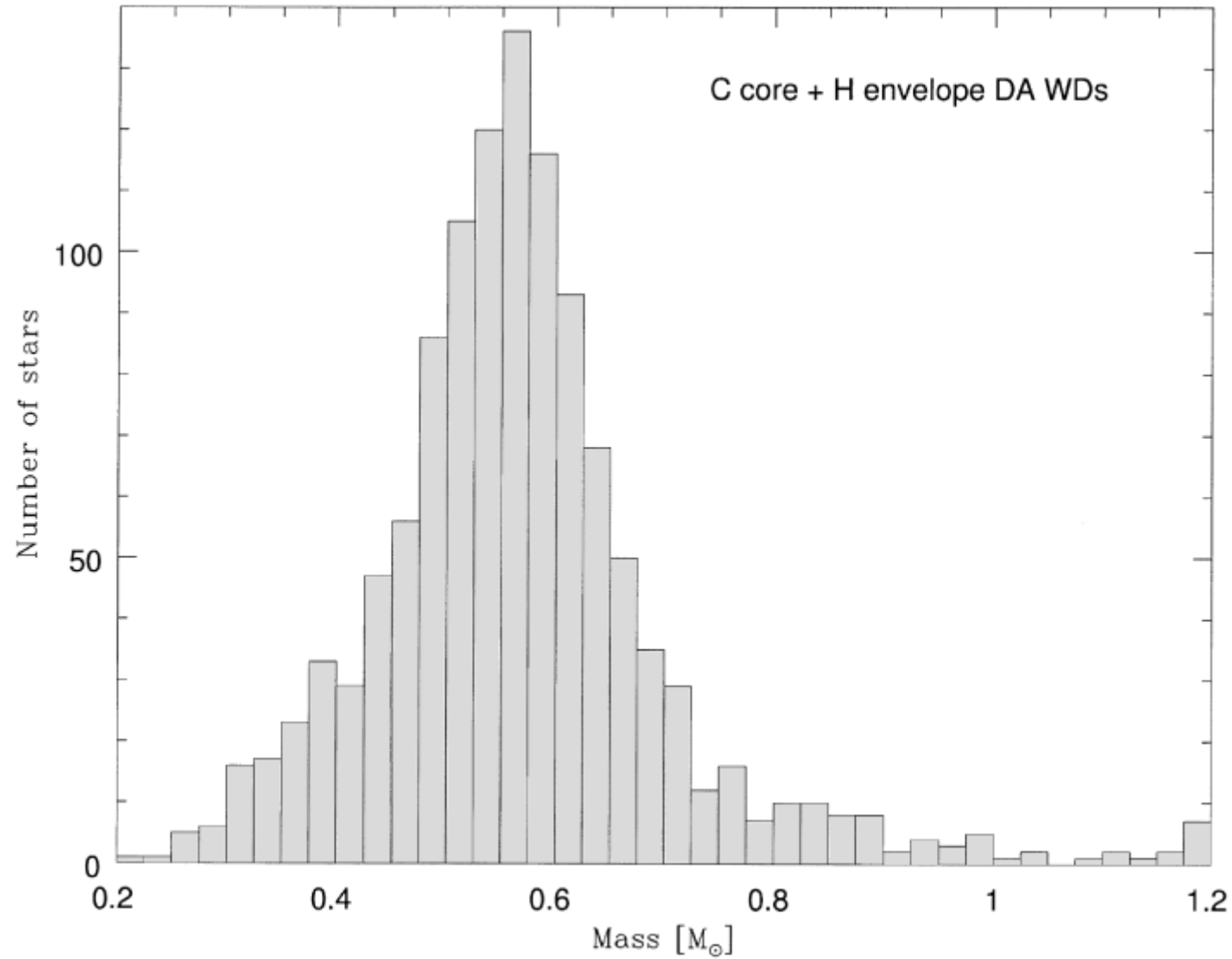


Güneş benzeri bir yıldızın evrim yolu

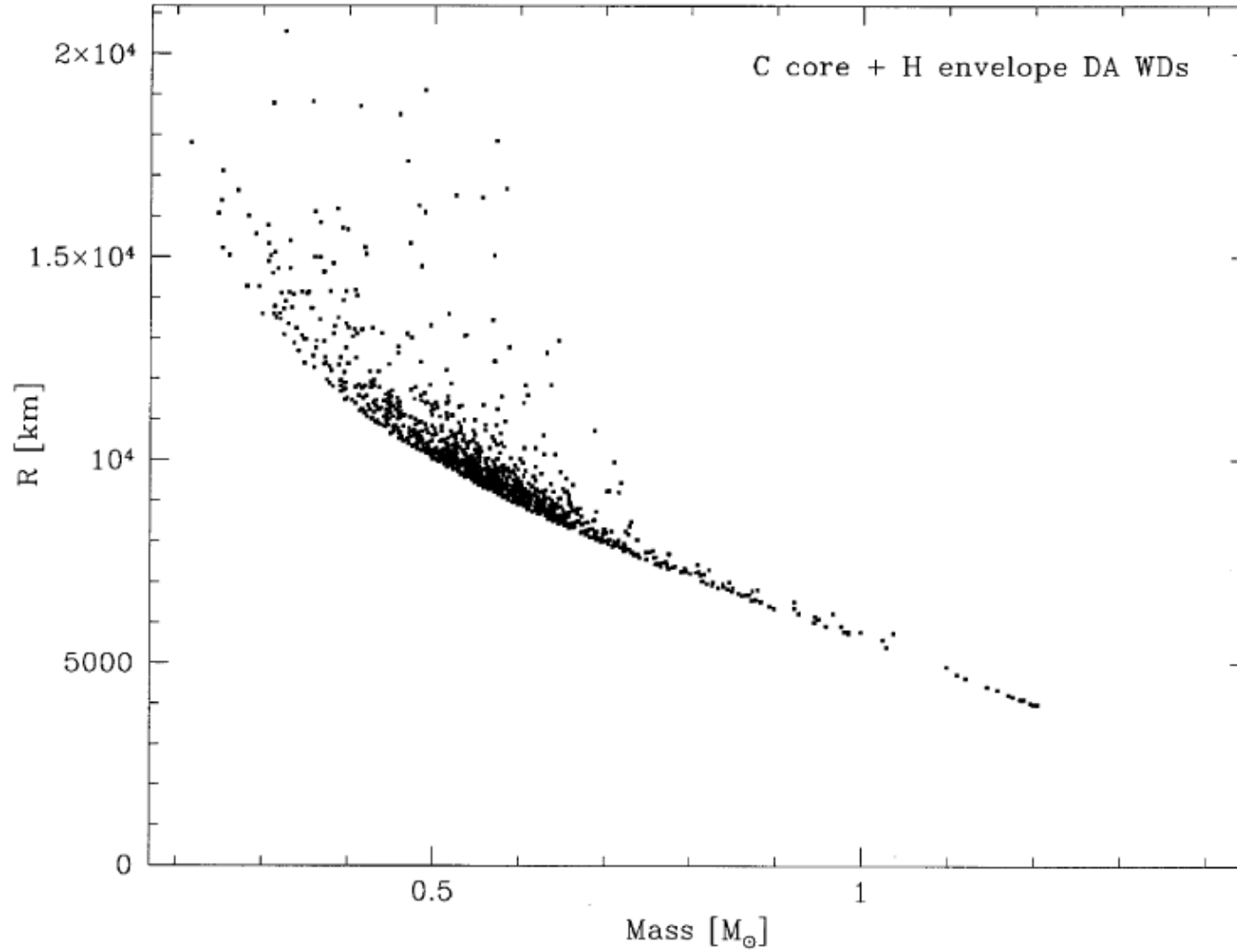
Sun's Post-Main Sequence Evolutionary Track



Beyaz cücelerin kütle dağılımı



Beyaz cücelerin kütle-yarıçap ilişkisi



Beyaz Cücelerin Sınıflaması

D: Degenerate (yozlaşmış) anlamında kullanılır.

D sınıfının alt tayf türleri: DA, DB, DC, DO, DQ, DX ve DZ.

Bu sınıflama dış katmanlarında görülen kimyasal yapıya göre yapılır.

Örneğin: Sirius B (DA2), Procyon B (DA4),

DA: hidrojen zengin dış katman veya atmosfer, kuvvetli Balmer çizgileri.

DB: helyumca zengin atmosfer, nötr helyum. He I çizgileri.

DO: helyumca zengin atmosfer, iyonlaşmış helyum. He II çizgileri.

DQ: karbonca zengin atmosfer, atomik ve moleküler karbon çizgileri.

DZ: metalce zengin atmosfer, metal çizgileri.

DC: yukarıdaki türlerden birini bile kuvvetli tayf çizgisi olarak göstermeyenler

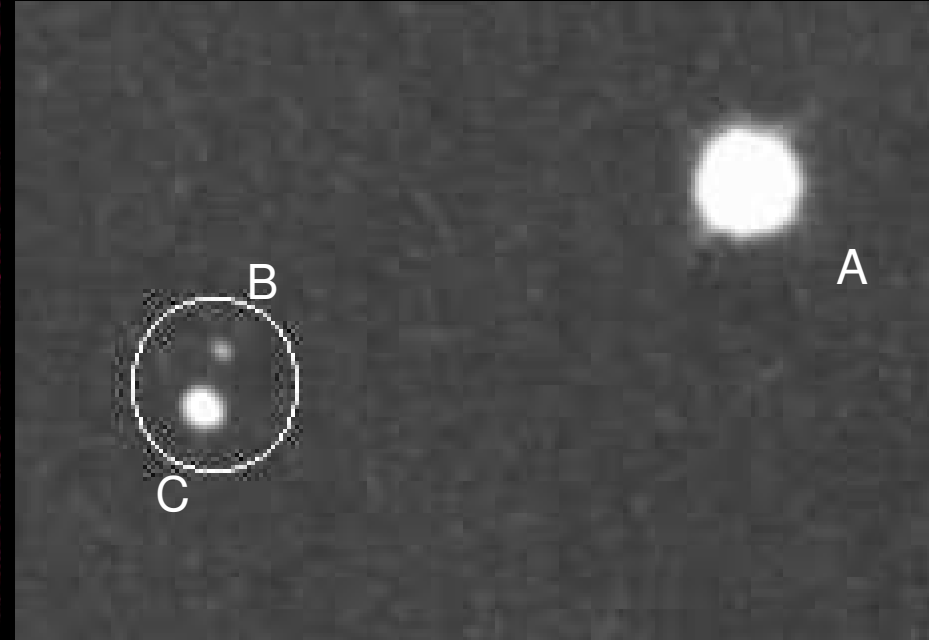
DX: yukarıdaki sınıflardan birine bile dahil olmayan tayf çizgileri gösterenler.

Sirius'un beyaz cüce bileşeni



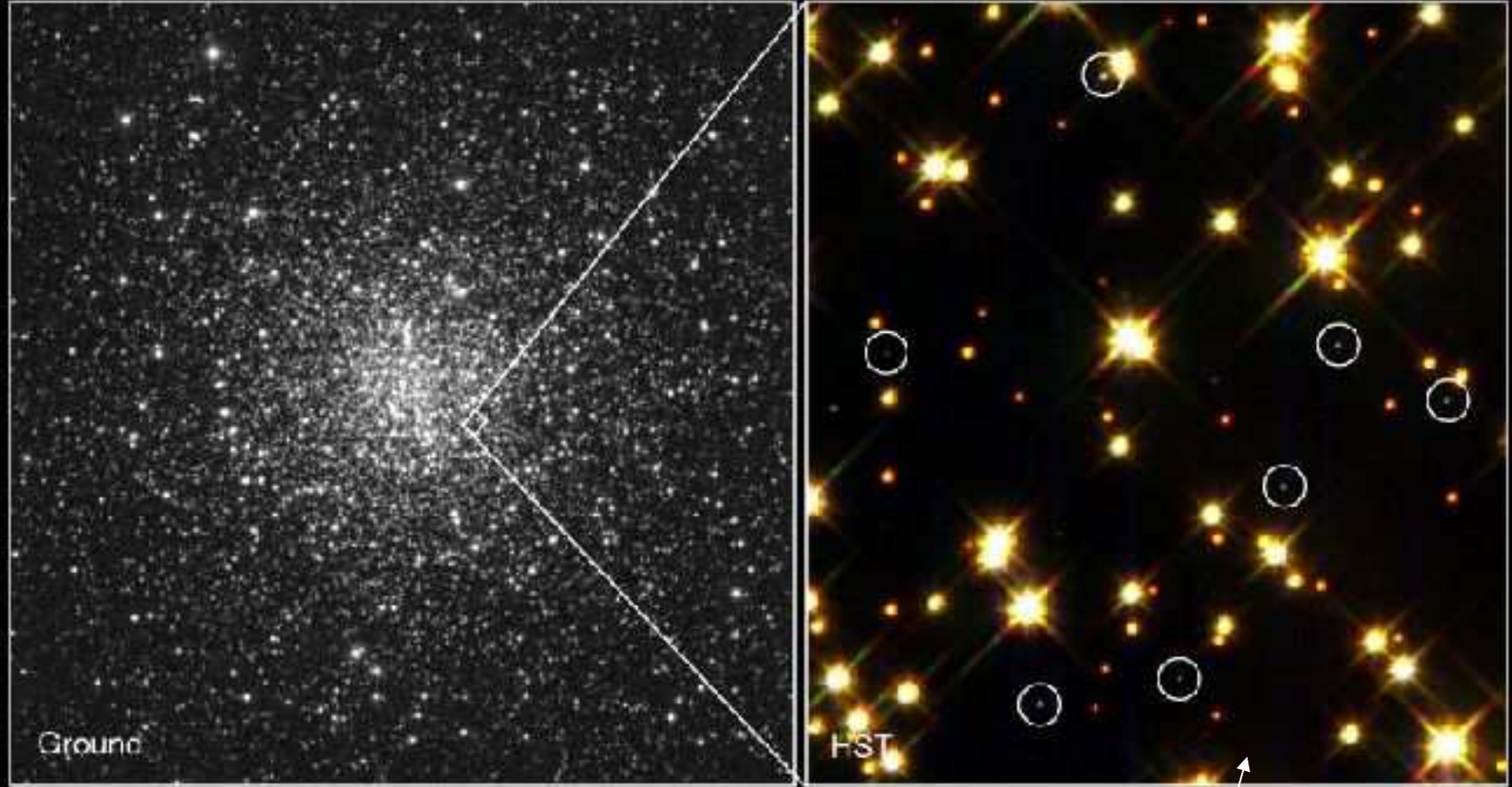
<http://chandra.harvard.edu/photo/2000/0065/index.html>

40 Eridani üçlü yıldız sistemidir.
A bileşeni turuncu-kırmızı K cücesidir.
B bileşeni bir beyaz cüce ve C bileşeni
ise kırmızı bir flare yıldızdır



<http://www.solstation.com/stars/40erida3.htm>

Küresel küme 47 Tuc'daki soğumakta olan beyaz cüceler



White Dwarf Stars in M4

PRC95-32 · ST ScI OPO · August 28, 1995 · H. Bond (ST ScI), NASA

HST · WFPC2

<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap000910.html>

NGC 2440: Yeni bir beyaz cücenin etrafındaki koza



<http://antwarp.gsfc.nasa.gov/apod/ap000730.html>

M2-9: Bir Kelebek Bulutsunun kanatları



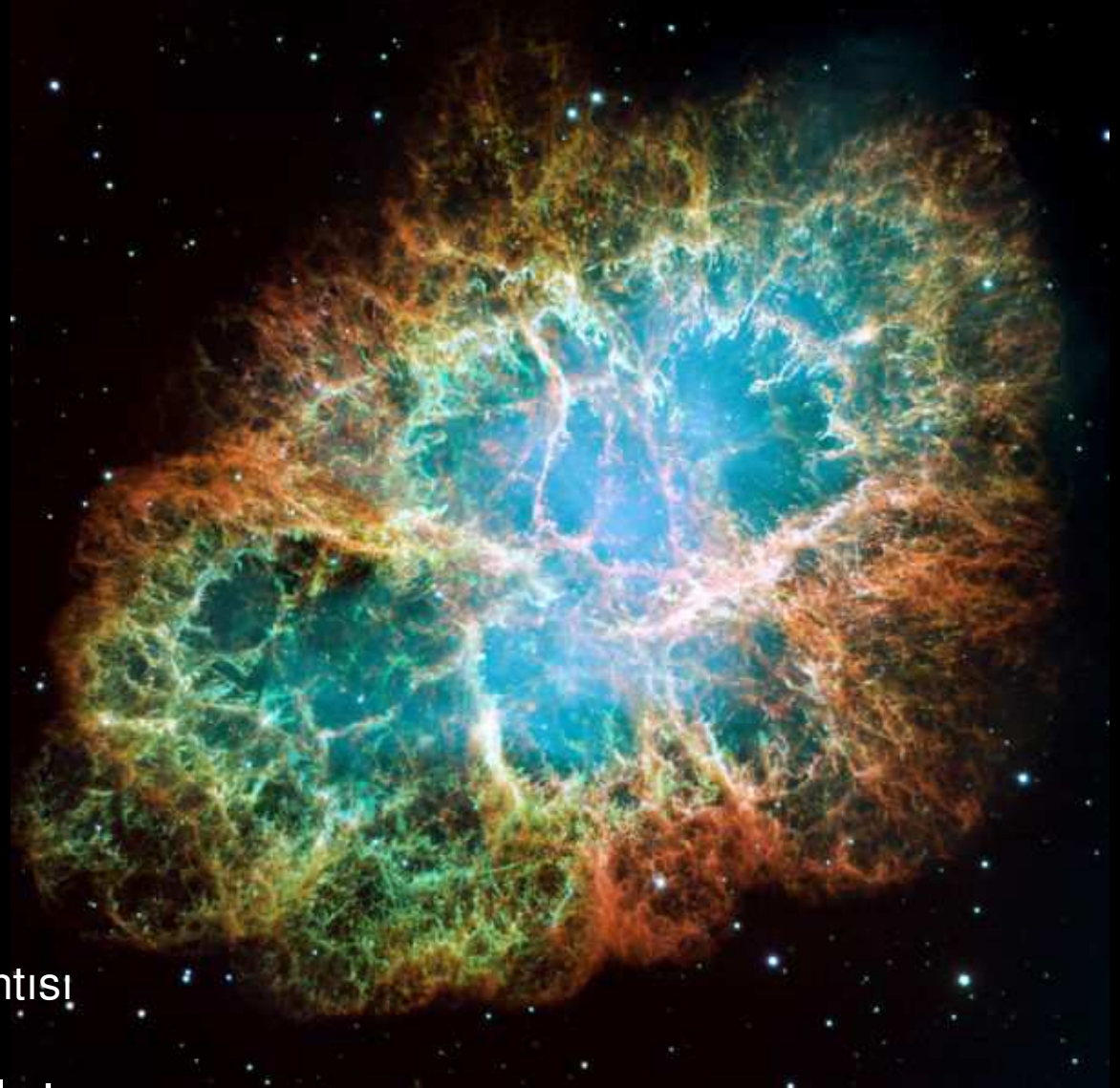
<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap050612.html>

SÜPERNOVALAR



- “**Süpernova**”, bir yıldızda bulunan tüm maddenin uzaya yayıldığı patlama olayıdır. Bazı yıldızların evriminin son basamağını işaret eder. Böyle bir olay gökadamızda otuz yılda bir olur. Gökadamızdaki birçok süpernova patlaması yıldızlararası toz yüzünden saptanamaz.
- Eski Çinliler’in kayıtlarına göre Temmuz 1054’de Taurus takımyıldızında bir süpernova gözlenmiştir (Crab Bulutsusu). Daha sonraki iki süpernova kaydı 1572’de Tycho Brahe ve 1604’de Johannes Kepler tarafından yapılmıştır. Çoğunlukla daha önceden varlığı bilinmeyen yıldız, patlama anında yaklaşık 15^m parlar.

Süpernova Kalıntıları

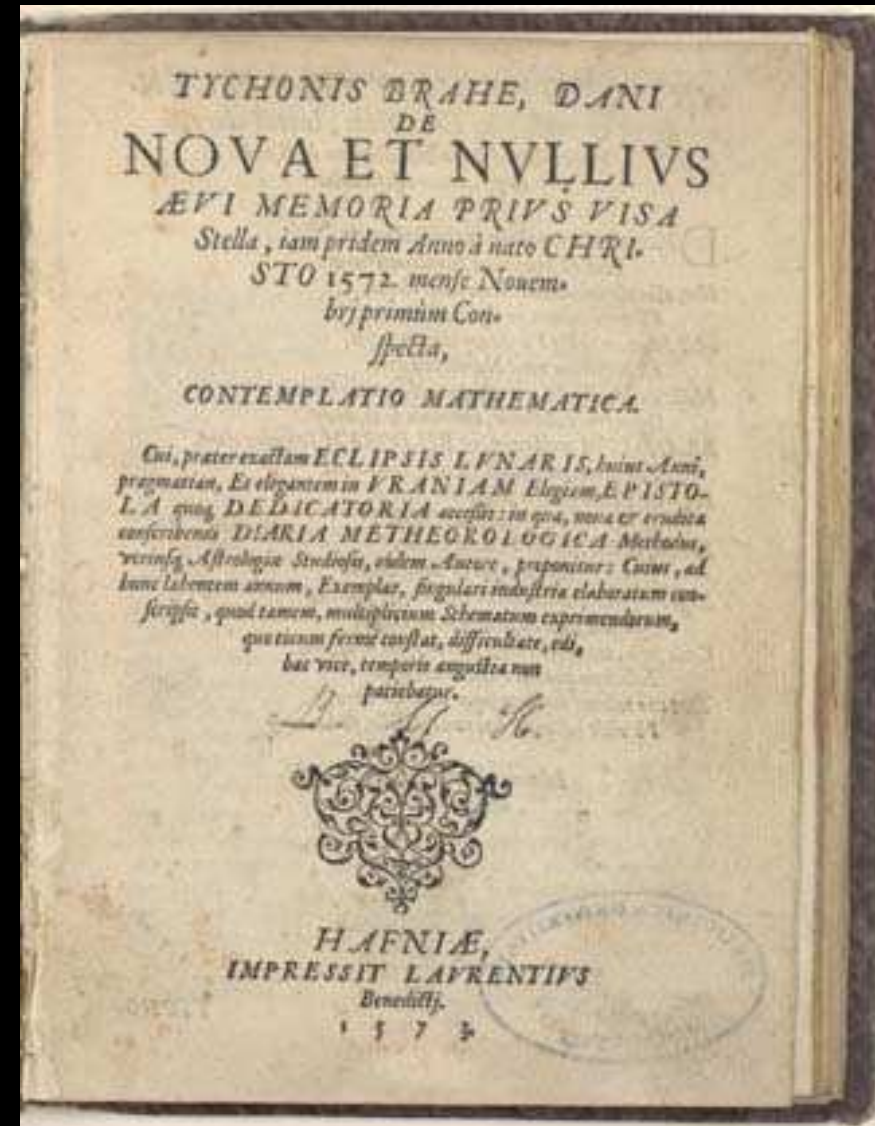
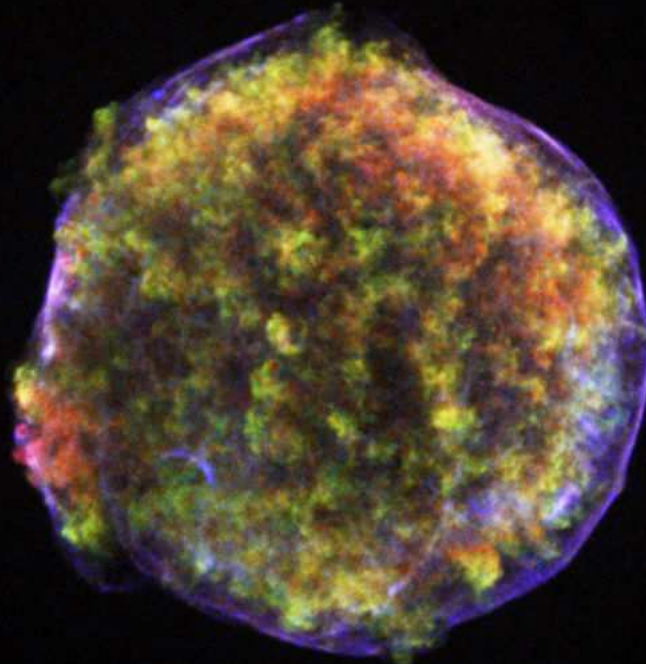


Yaklaşık 1000 yıl önce
patlamış bir yıldızın kalıntısı

Yengeç (Crab) Bulutsusu

Tycho Brahe'nin 11 Kasım 1572'de
Cassiopeia takımyıldızında
gördüğü süpernova

SN 1572 veya **Tycho's Nova**

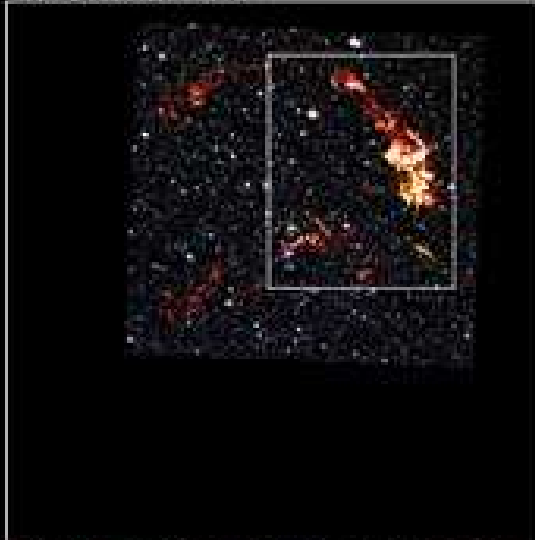


Kepler Süpernova Kalıntısı

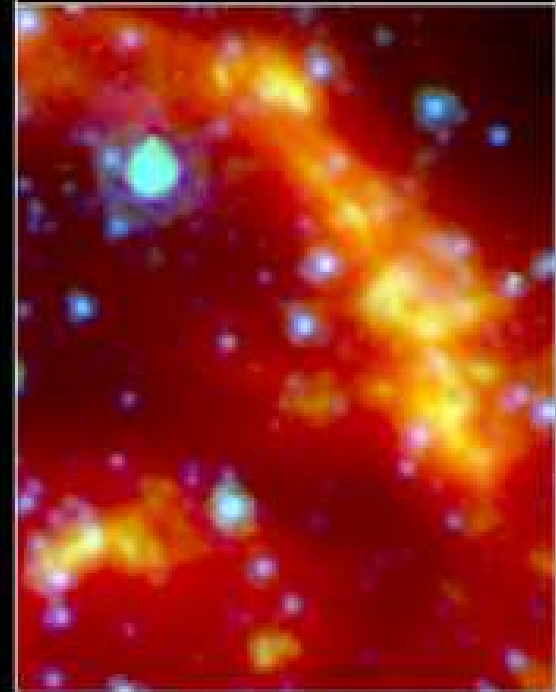
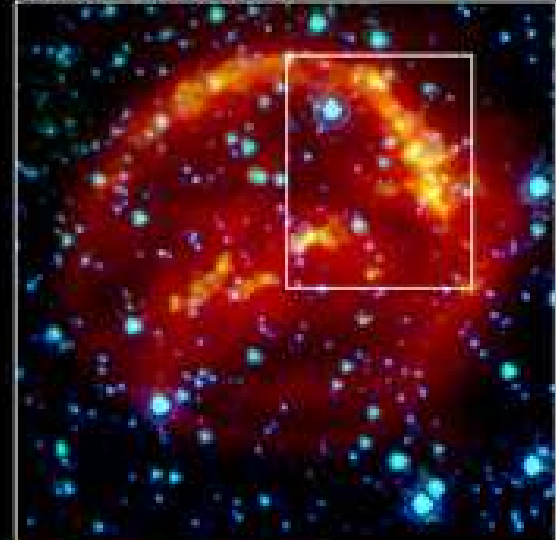
CHANDRA X-RAY



HUBBLE OPTICAL

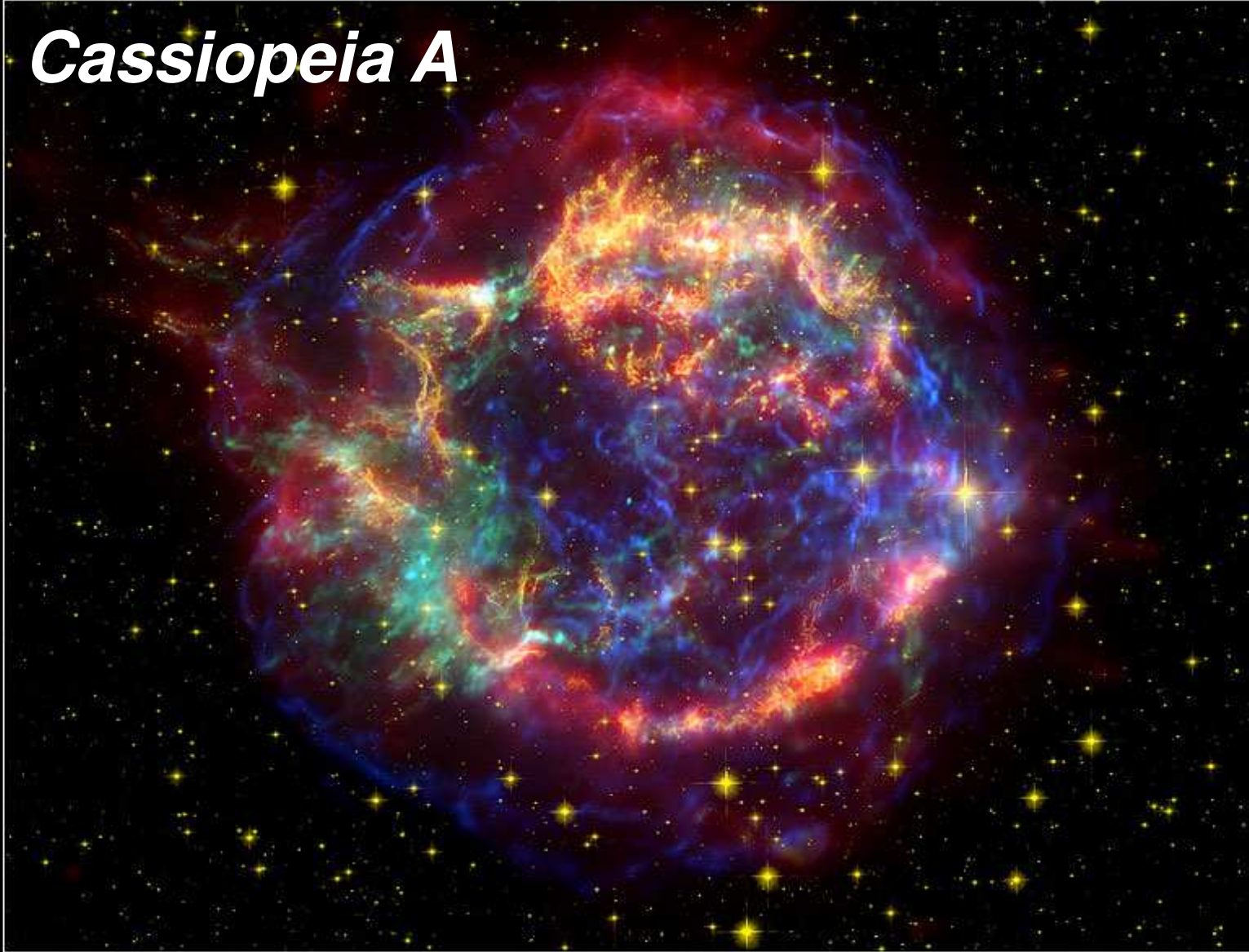


SPITZER INFRARED



http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler/more.html#kepler_comp_2

Cassiopeia A



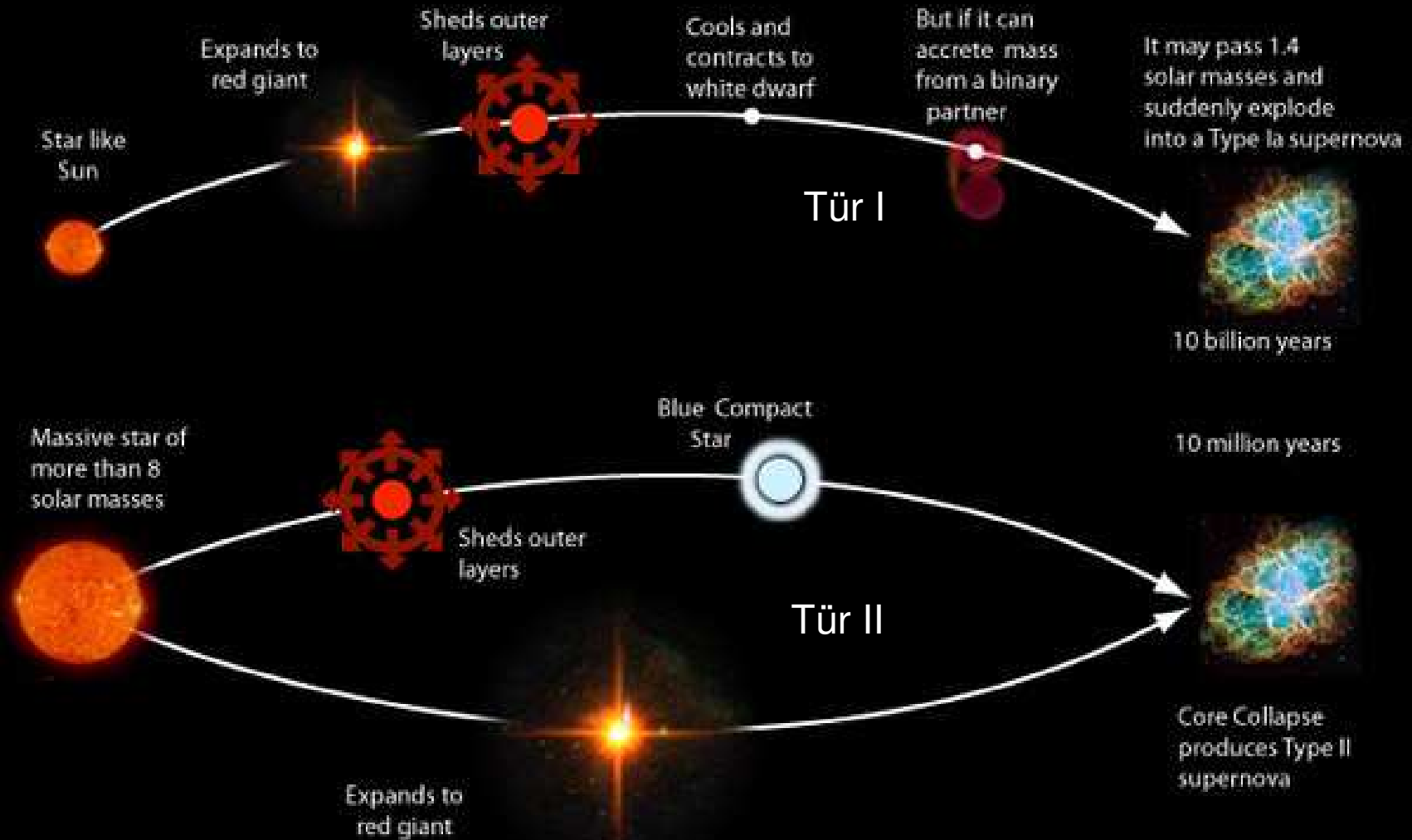
Cassiopeia A Supernova Remnant

NASA / JPL-Caltech / O. Krause (Steward Observatory)

ssc2005-14c

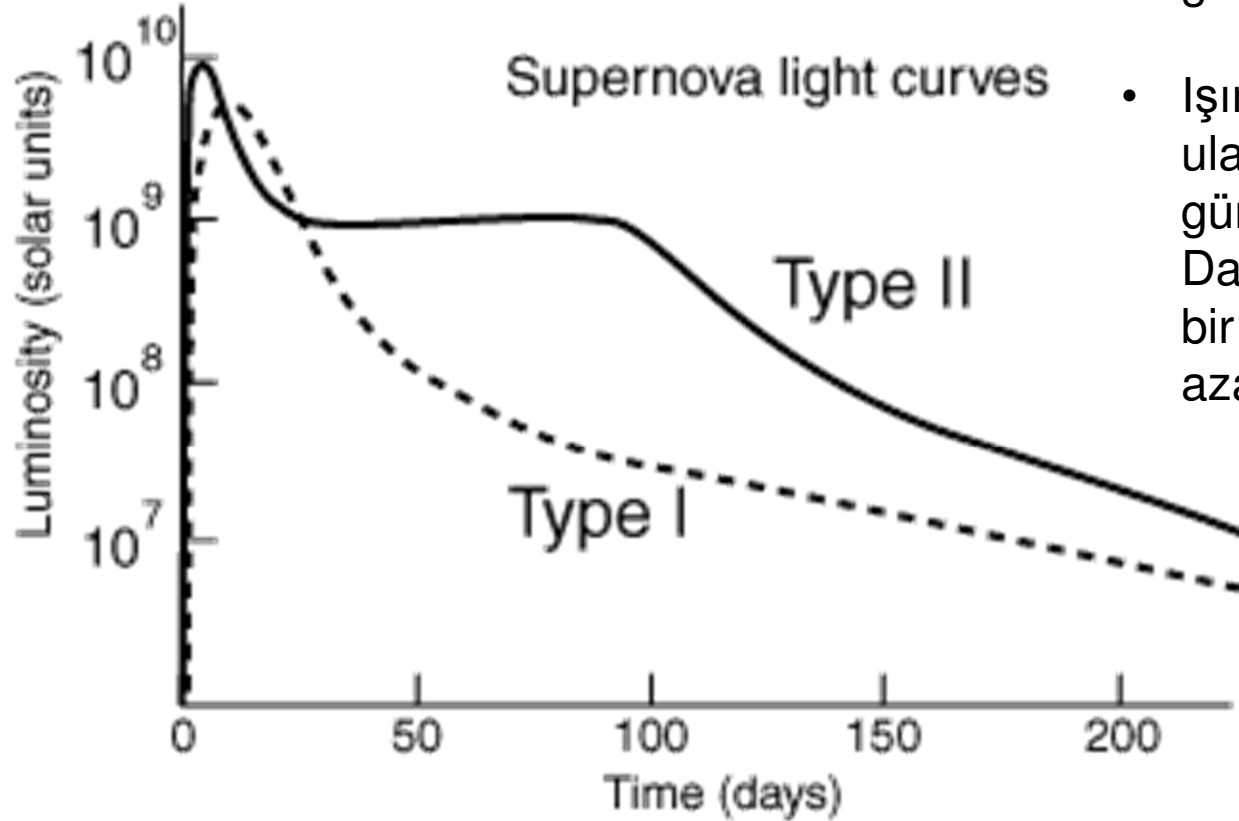
Çok genç bir süpernova kalıntısıdır. 300 yıl önce patladığı sanılan bu kalıntı, gamma-ışınları, X-ışınları, radyo dalgaları ve görünür ışıkta salma yapmaktadır.

Tür I ve Tür II süpernovaların oluşum şeması



-
- Bir yıldızın evrimi onun kütlesine ve kimyasal yapısına bağlıdır. İki tür süpernova vardır:
 - Tür I süpernovalar, ağır elementlerce fakir (Öbek II yıldızları) nispeten küçük kütleli yaşlı yıldızların patlamasından kaynaklanır.
 - Tür II süpernovalar, büyük kütleli genç yıldızların patlamasıdır. Bunlar ağır elementlerce zengin Öbek I yıldızlarıdır.
-

Süpernova ışık eğrileri



Adapted from Chaisson & McMillan

- Tür I süpernovalar maksimum ışıkta Tür II süpernovalardan yaklaşık üç kat daha fazla ışınım gücüne sahiptirler.
- Işınım gücü, maksimuma ulaştıktan sonra ilk bir kaç gün içinde 3-4 kadir azalır. Daha sonra, ışınım gücü bir kaç ay üssel olarak azalır.

-
- Patlamanın ilk anı içinde serbest kalan enerji 10^{44} joule'dür. Bu inanılmaz enerji Güneş' in 9 milyar yıl içinde yaydığı toplam ışınımına karşılık gelir.
 - Patlamada fırlatılan madde Tür I süpernovalarda hidrojen zayıf, Tür II'lerde hidrojen zengindir. Türe bağlı olarak $1-10 M_{\odot}$ kütlelerinde gaz açığa çıkarılırlar. Bu kütle, süpernova öncesi toplam kütleyle karşılık gelir.
 - Yani, patlamadan sonra geriye hiç bir şey kalmıyor. Ancak, biliyoruz ki 1968 yılında pulsarlar (hızlı dönen nötron yıldızları) bulunduğundan beri, patlamadan sonra geriye çok yoğun bir cisim kalmaktadır. Bir yıldızın çekirdeği olan bu cisim, birbirine değen nötronlardan oluşmuştur.
-

VEIL SÜPERNOVA KALINTISI

8 000 yıl önce patladığı sanılıyor



http://www.astropix.com/HTML/E_SUM_N/VEIL.HTM

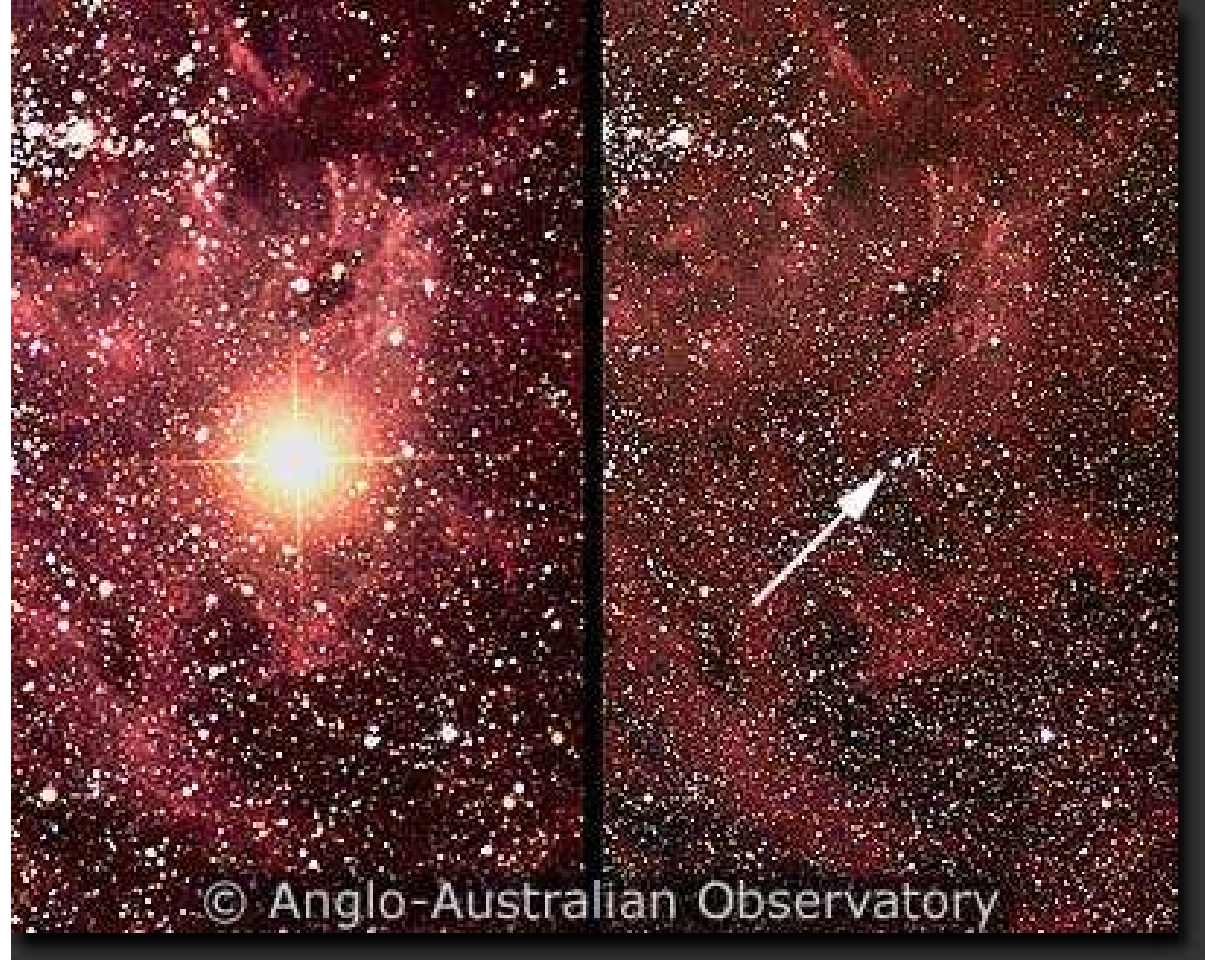
-
- Süpernova patlaması modeline göre $10 M_{\odot}$ ' lik yıldızın yaşamı boyunca geçirdiği nükleer tepkimeler sonunda karşılaşılan olay, demirin foto ayrışmasıdır.
 - Süpernova öncesi yıldız soğan gibi katmanlı bir yapıya sahiptir. Hidrojenden oluşan yüzey katmanından sonra alt katmanlara inildikçe daha ağır elementlerle karşılaşırız. Bu katmanlar yıldızın yaşamı boyunca farklı nükleosentez evrelerinin ürünleridir.
 - Daha ağır elementlerin oluşmasına izin veren tepkimeler artan sıcaklıklarda ortaya çıkar. Bu yüzden yıldızın merkezinde demir ve atomik kütleleri 50 ve 60 arasında değişen çekirdeklerin karışımı bulunur. Bu elementler en yüksek bağlanma nükleer enerjisine (yaklaşık 8.7 megaelektron volt/nükleon) sahiptir. Merkezi sıcaklık 5 milyar K' e ulaştığı zaman, madde ve ışınım dengede kalır.
-

-
- Gamma-ışın fotonları (γ) çekirdekleri ayırarak ve nötronları (n) oluşturacak yeterli enerjiye sahiptir. Dolayısıyla aşağıdaki reaksiyonlar oluşur:
 - $\gamma + {}^{56}\text{Ni} \rightarrow 14 {}^4\text{He}$
 - $\gamma + {}^{54}\text{Fe} \rightarrow 13 {}^4\text{He} + 2n$
 - $\gamma + {}^{56}\text{Fe} \rightarrow 13 {}^4\text{He} + 4n$
 - Bu foto ayrışma işlemlerinin herbiri gazdan 100 MeV' luk enerji alır. Böylece yıldızın merkezindeki ısısal ve hidrostatik denge bozulur ve yıldız çöker.
 - Serbest kalan çekimsel enerji, alfa parçacıkları foto ayrışma yapıncaya kadar sıcaklığı artırır. Nükleosentez işlemlerin tüm ürünleri bir anda yok olur. Artık gaz serbest nötronlar, protonlar ve elektronlardan oluşmuştur.
 - Elektronlar kinetik enerjilerindeki büyük artışa maruz kalmadan sıkıştırılmazlar. Elektronların enerjisi hızla, bir protonu bir nötrona dönüştürecek olan enerjiden daha büyük olur. Bu noktada elektronlar, protonlar tarafından soğurulmaktadır.
 - Gaz basıncının önemli bir kesrini oluşturan bileşenlerden biri yok olunca, yıldızın çekirdeği büyük bir hızla çöker. Sonuçta çökme, nötronlar arasındaki itici nükleer kuvvetler harekete geçtiği zaman durur. Artık, yıldız **nötron yıldızı**dır. Çökme başladıktan sonra, birkaç dakika içinde bu konuma gelir ve üstündeki tüm katmanları büyük bir patlamayla uzaya bırakır.
-

SÜPERNOVA: SN 1987A

Yılın ilk süpernovası olduğu için 1987A olarak adlandırılan bu süpernova, bizden 170 000 ışık yılı uzakta uydu gökadamız Büyük Magellan Bulutu'nda, yıldızlararası tozun olmadığı bir doğrultuda patlamıştır.

Süpernovanın ilk görüntüsü 23 Şubat 2007'de alınmıştır. Süpernova, 30 Doradus yıldız oluşum bölgesinin kenarında $6^m.5$ parlaklıkta görünmüştür.



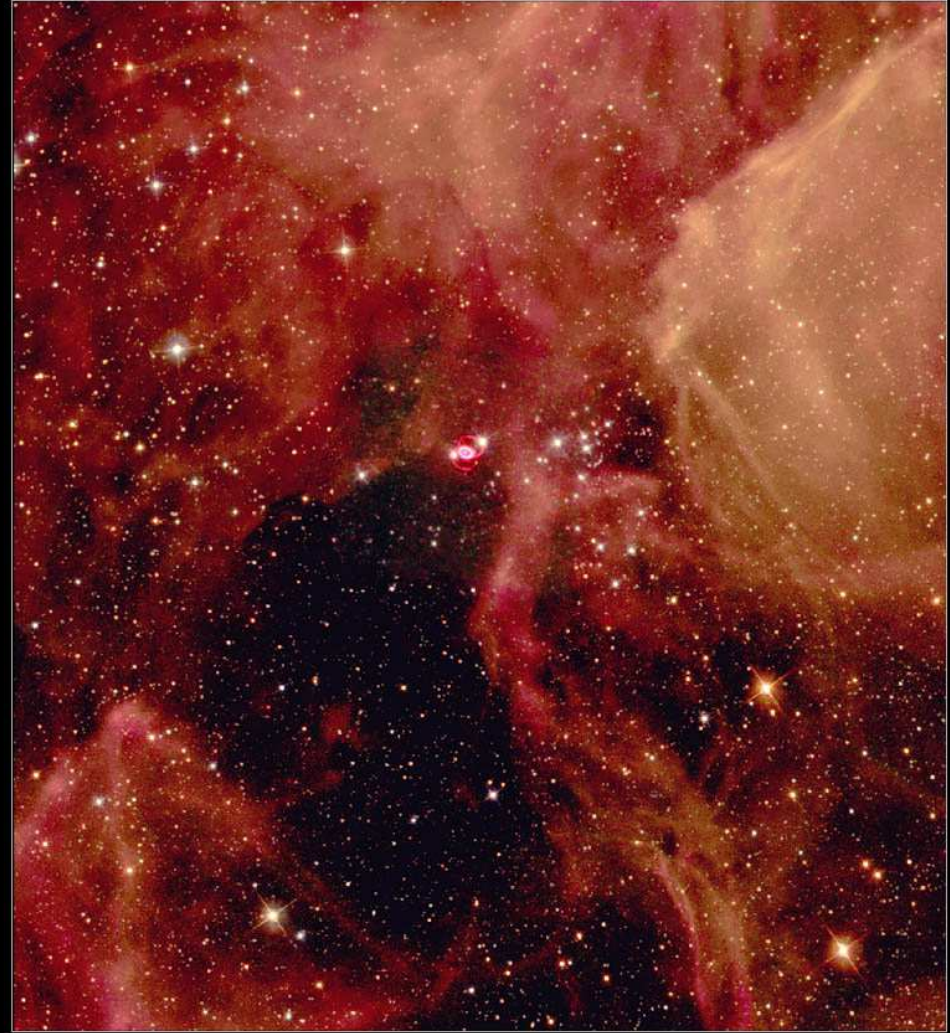
■ Süpernovanın Yer'den yapılan tayf çalışmaları hidrojen ve helyumun ve saniyede 30 000 km hızla yayılan gaz ortamının varlığını ortaya koyuyordu.

■ Bu da bize patlamanın Tür II süpernova patlaması olduğunu söylüyordu.

■ Patlamanın kesin yeri Sanduleak -69 202 yıldızının yeri ile çakışmaktadır. Bu yıldız B3 I tayf türünden bir mavi süperdevdir ve son yüzyıl içinde hiç bir aktivite göstermemiştir.

■ $20 M_{\odot}$ kütleli bu yıldız Güneş'ten 100 000 kat daha ışınım güçlüdür. Yüzey sıcaklığından (16 000 K) ve ışınım gücünden çıkarılan sonuca göre çapı, $43 R_{\odot}$ 'dir.

Supernova 1987A

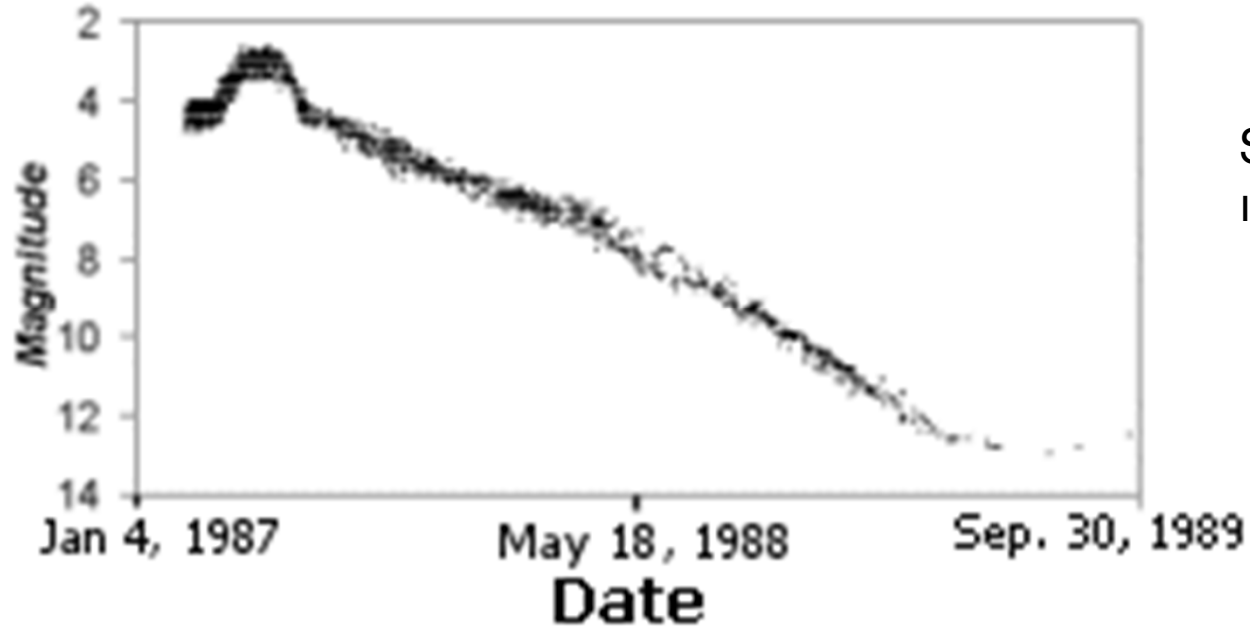


Hubble
Heritage



SN 1987A

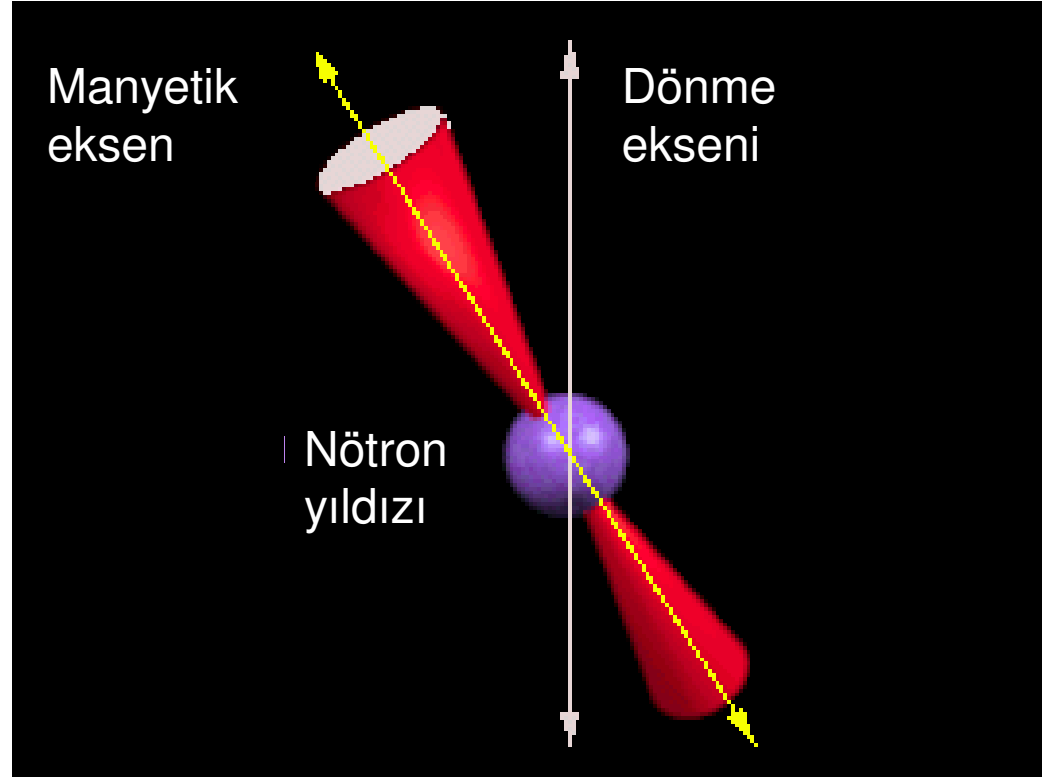
- Kırmızı süperdev yerine mavi süperdev olması astrofizikçileri çok şaşırtmıştır. Genelde bu tür patlamalar kırmızı süperdev yıldızlardan beklenir.
- Bu ikilem, kimyasal yapıları başlangıçta ağır elementlerce zayıf olan büyük kütleli yıldızların evrimiyle çözülmüştür.



SN 1987A
ışık eğrisi

NÖTRON YIDIZLARI VE ATARCALAR (PULSAR)

- 1934 yılı başlarında, kuramcılar kuantum mekaniğini kullanarak bir nötron yıldızının olabileceğini öngördüler.
- Çekim çok kuvvetli olursa, elektronlar atomik çekirdeklerin içine doğru itilir, protonlar nötrona dönüşür. Nötronlar tamamen yozlaştığında, iç basınç çökmeyi durdurur.



- Nötron yıldızı bir beyaz cücenin uç örneğidir. Yaklaşık aynı kütleli bir nötron yıldızı daha küçük bir yarıçapa sahiptir (~15 km). Dolayısıyla yoğunluk daha fazladır (10^9 ton/cm³). Bir nötron yıldızının sıcaklığı yaklaşık 10 milyon derecedir.
- Fakat, çok küçük boyutu yüzünden, böyle bir cismi optik olarak kaydetmek olanaksızdır. Bir nötron yıldızının kütlesi $3 M_{\odot}$ 'i aşamaz. Bu değer üstünde, çekim yozlaşmış nötron basıncına karşı gelir ve sonuçta yalnız kara delik olur.

Crab Atarcası

“var”

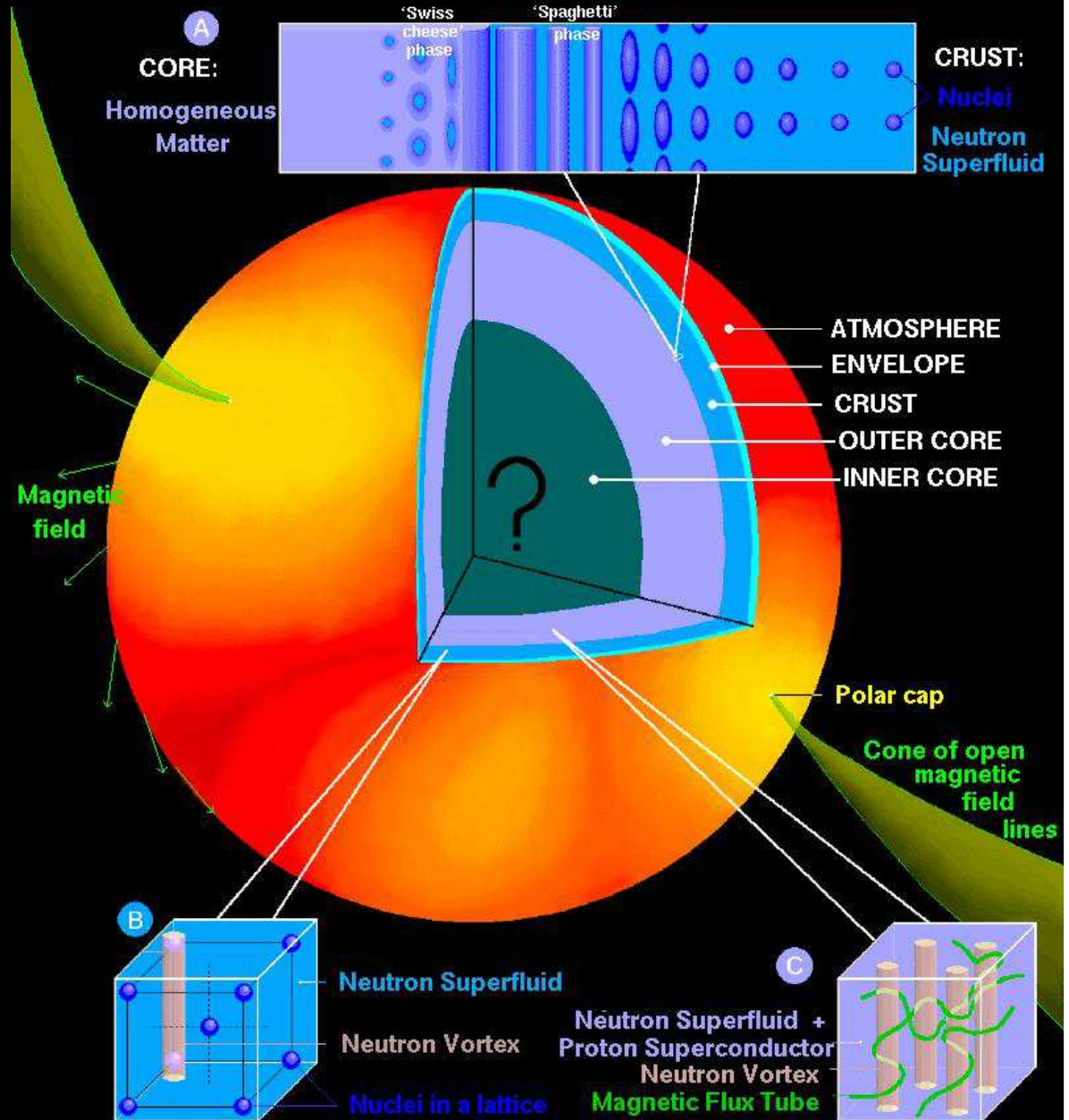
“yok”

-
- Bu çok yoğun yıldızların iki önemli özelliği, onların hızlı dönmesi ve kuvvetli manyetik alanlarıdır.
 - Yıldızların büyük çoğunluğu yavaş olmak üzere, hepsi döner. Yıldız çöktükçe dönme hızı artar. Bu yüzden bir nötron yıldızı saniyede bir çok kez dönebilir. Buna benzer olarak Yer' de de olduğu gibi tüm yıldızların zayıf bir manyetik alanı vardır. Yıldız çöktükçe, alan şiddeti artar, çünkü manyetik alan daha küçük yüzey üzerinde yoğunlaşmaktadır. Nötron yıldızları 10^{12} G' a eşit manyetik alan şiddetine sahiptir. Bu iki özellik nötron yıldızlarının bir pulsar olarak saptanmasını sağlar.
 - İlk pulsar CP 1919 (anlamı Cambridge Pulsar, sağ açıklığı 19h 19m) 1968 yılında Cambridge Üniversitesi' nin Mullard Radyo Atronomi Rasathanesi radyo astronomları tarafından bulunmuştur. Bu pulsar çok düzenli zaman aralıklarında değişen yeğinlikte radyo pulsları salan bir cisim olarak görölmüştür. Dönemi 1.33730113 saniyedir.
 - Bu olayın açıklaması için şu yorum getirilmiştir: Pulsar, belki de manyetik alan çizgileri manyetik eksen boyunca elektronları ivmelendiren bir nötron yıldızıdır. Bu alan çizgileri, yıldızla dönen radyo dalgalarının ışın salmasına neden olur ve ışık, bakış doğrultumuzla çakıştığı anda bir deniz feneri gibi görülür ve puls vermiş olur.
-

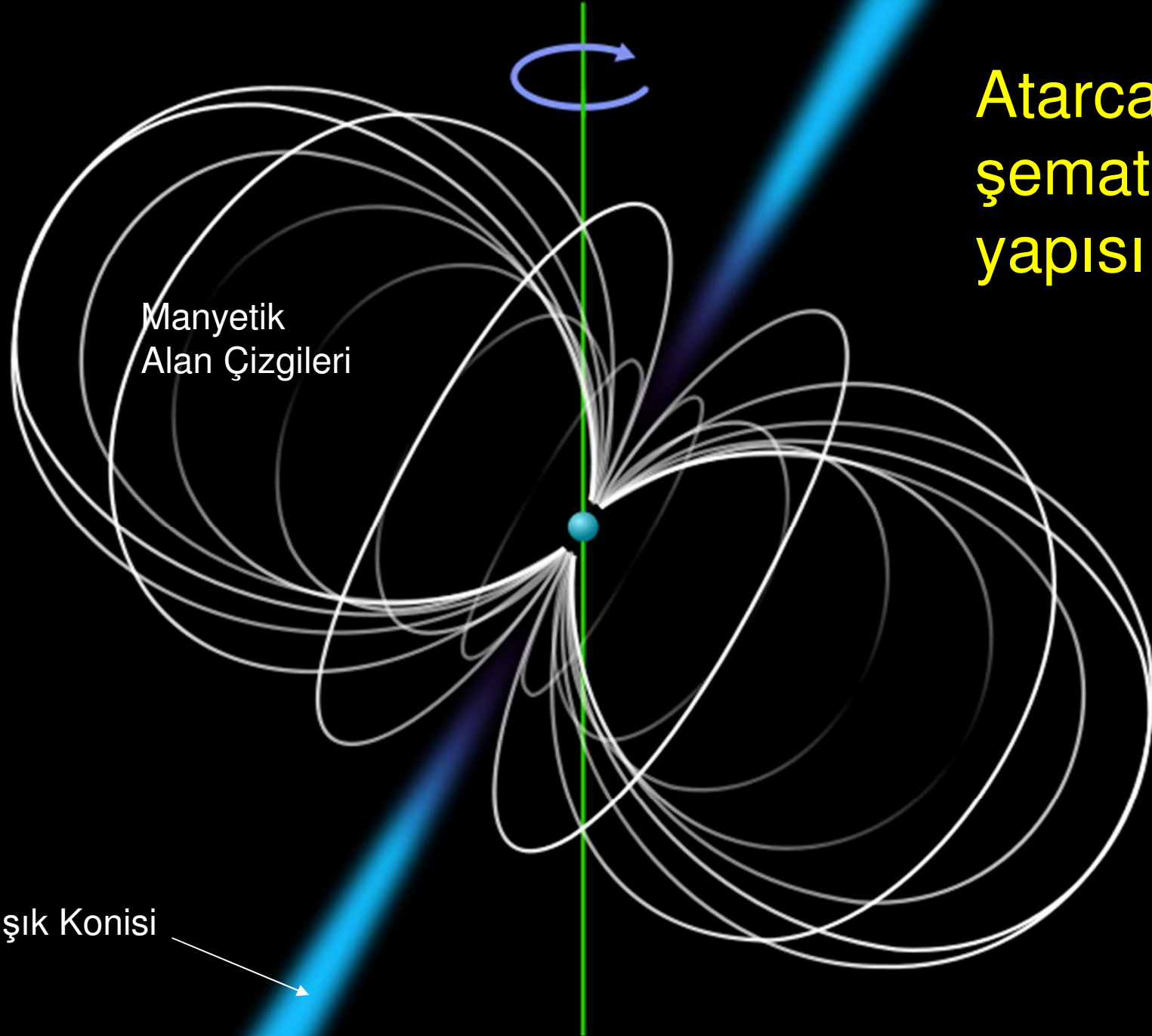
Bir nötron yıldızının yüzeyi ve iç yapısı

- Çok kuvvetli çekim yüzünden, fotosfer yalnız 10 km kalınlığındadır. Maddenin özellikleri burada, sıcaklık (10^7 K) ve manyetik alandan çok etkilenir.
- Dış kabuk, ~1 km kalınlığındadır; yozlaşmış relativistik elektronlar denizidir.
- İç kabuk, ~4 km kalınlığındadır. Nötronlar atomik çekirdeğin dışında varlığını hissettirir. Yani, madde elektronlar ve nötronlar denizinde gömülmüş kristal formda bulunur.
- Akışkan nötronca zengin bölge, ~10 km kalınlığındadır. Yıldızın en önemli katmanıdır. Çok büyük basınç etkisi altındadır. Süper akışkan yapıya sahiptir. Yani viskozite sıfıra yakındır.
- Katı çekirdek, ~1 km kalınlığındadır. Yoğunluk 5×10^{14} g/cm³ olduğundan çok kuramsal bir kavramdır. Pratikte burada maddenin olası hiçbir hali bulunmamaktadır.

A NEUTRON STAR: SURFACE and INTERIOR



Atarcanın şematik yapısı



Manyetik
Alan Çizgileri

Işık Konisi

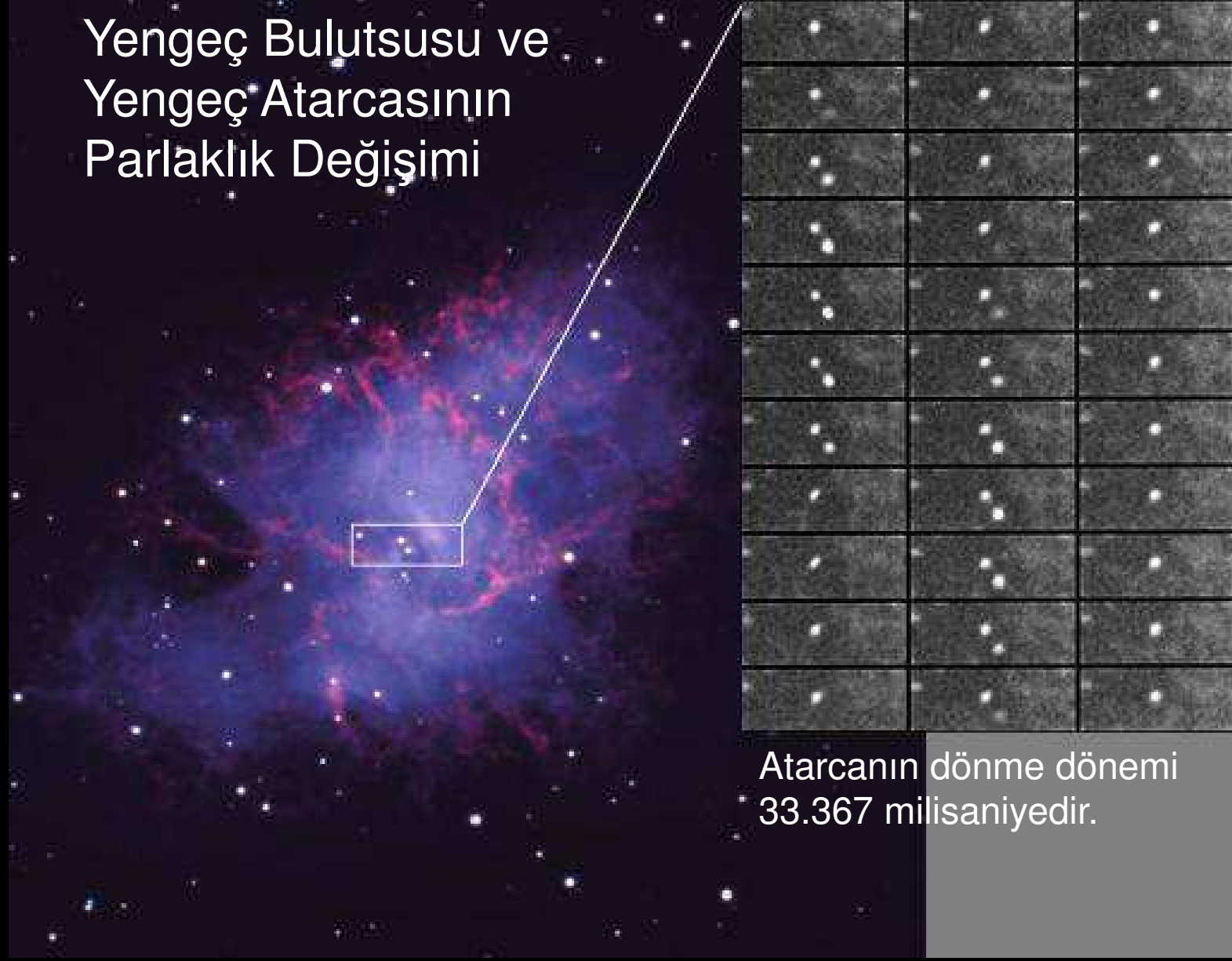
Crab Bulutsusu
gerçekten içinde Crab
Pulsarı PSR 0532' yi
bulundurur (PSR, pulsar
anlamına gelen
kısaltmadır).

Saniyede 33 kere döner.

Bir pulsarın dönme hızı
zamanla azalır. Bundan
dolayı, genç pulsarlar
yaşlılardan daha hızlı
dönerler.

YENGEÇ ATARCASI (CRAB PULSARI)

Yengeç Bulutsusu ve Yengeç Atarcasının Parlaklık Deęiřimi



Atarcanın dönme dönemi
33.367 milisaniyedir.

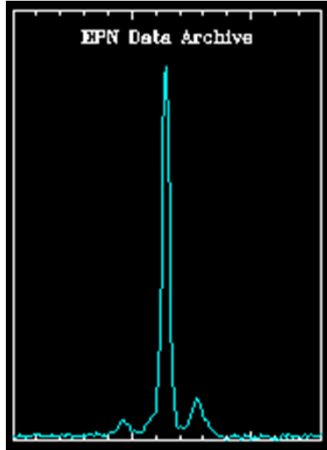
VELA Atarcası



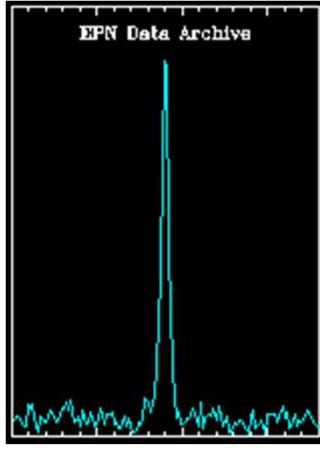
http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Vela_Pulsar_jet.jpg

Gökyüzündeki en parlak atarcalardan gelen sesler

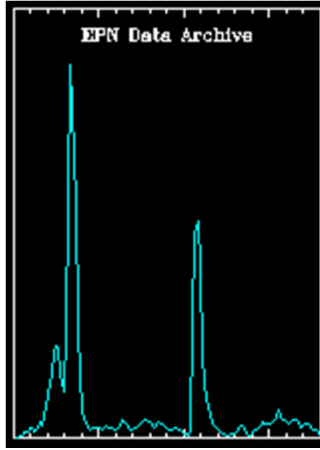
Dünyadaki en büyük radyo teleskoplardan bazıları kullanılarak kaydedilmiştir.



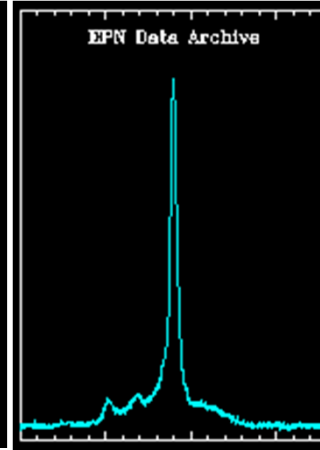
PSR B0329
saniyede 1.4 tur



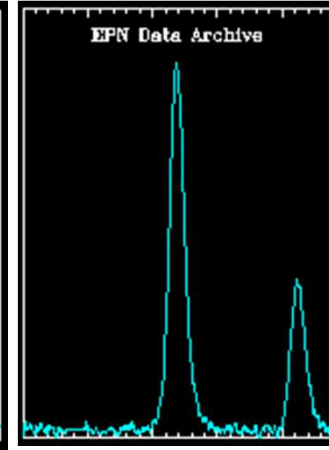
Vela Pulsar
saniyede 11 tur



Crab Pulsar
saniyede 33 tur



PSR J0437
saniyede 174 tur



PSR J0437
saniyede 716 tur



KARA DELİKLER

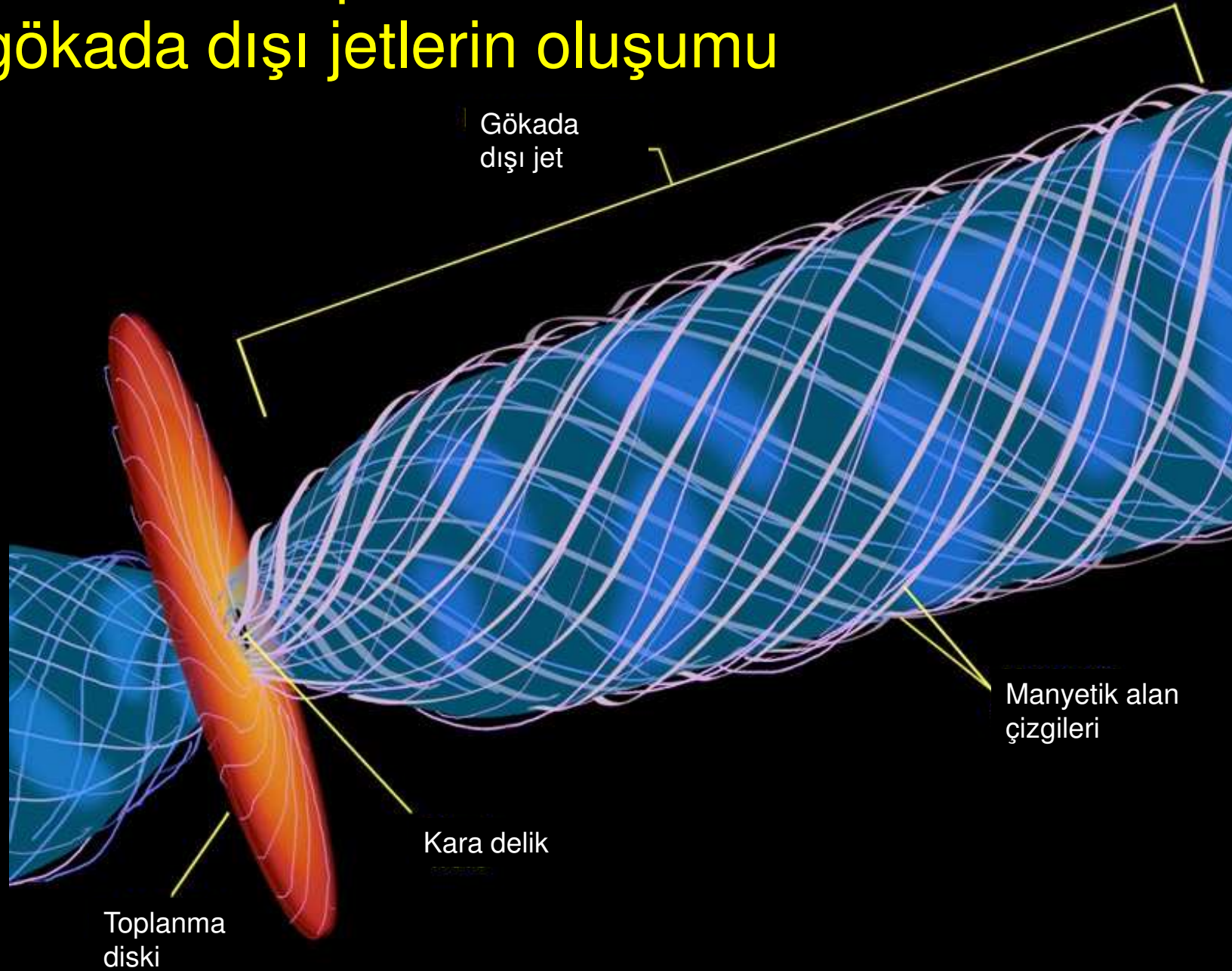
Hidrojen ve helyum gibi termonükleer yakıtın tamamı yıldızın çekirdeğinde tüketildiği zaman, çekirdek çekimsel büzölmeye uğrar ve yıldızın evrimi çok yoğun sıkışık bir cismin oluşumuyla son bulur. Beyaz cüceler ve nötron yıldızları bu tür cisimlere örnektir.

Fakat, beyaz cücelerın kütleleri $1.44 M_{\odot}$ 'i, nötron yıldızların kütleleri ise $3 M_{\odot}$ 'i aşamaz. Daha büyük kütleler için, çekimsel büzölme elektronların veya yozlaşmış nötronların itme kuvvetlerinden dolayı daha uzun süre sıkışmaya devam edemez. Fakat, madde kendi üstündeki ezilmeyi sürdürerek "**kara deliğı**" oluşturur.

Çekimsel çökmenin final evresi olan kara delik, içinden hiç bir şeyin (ne parçacık ne ışık) kaçamadığı derin bir kuyu ile karakterize edilir. Kara deliğin kuyusu içine düşen tüm madde gözlenebilir evren içinde gözlenemez duruma gelir.

Astronomlar bu kavramla, 1960'lı yıllarda çok enerjik olayların gözlenmeye başlanmasıyla ilgilenir oldular. Bu çok enerjik olaylar, yıldızlar bazında incelenirse X-ışın çiftleri, gökada dışı kaynaklar bazında araştırılırsa aktif gökada çekirdekleri ve kuazarlar olmalıdır.

Kara delik toplanma diskinden gökada dışı jetlerin oluşumu



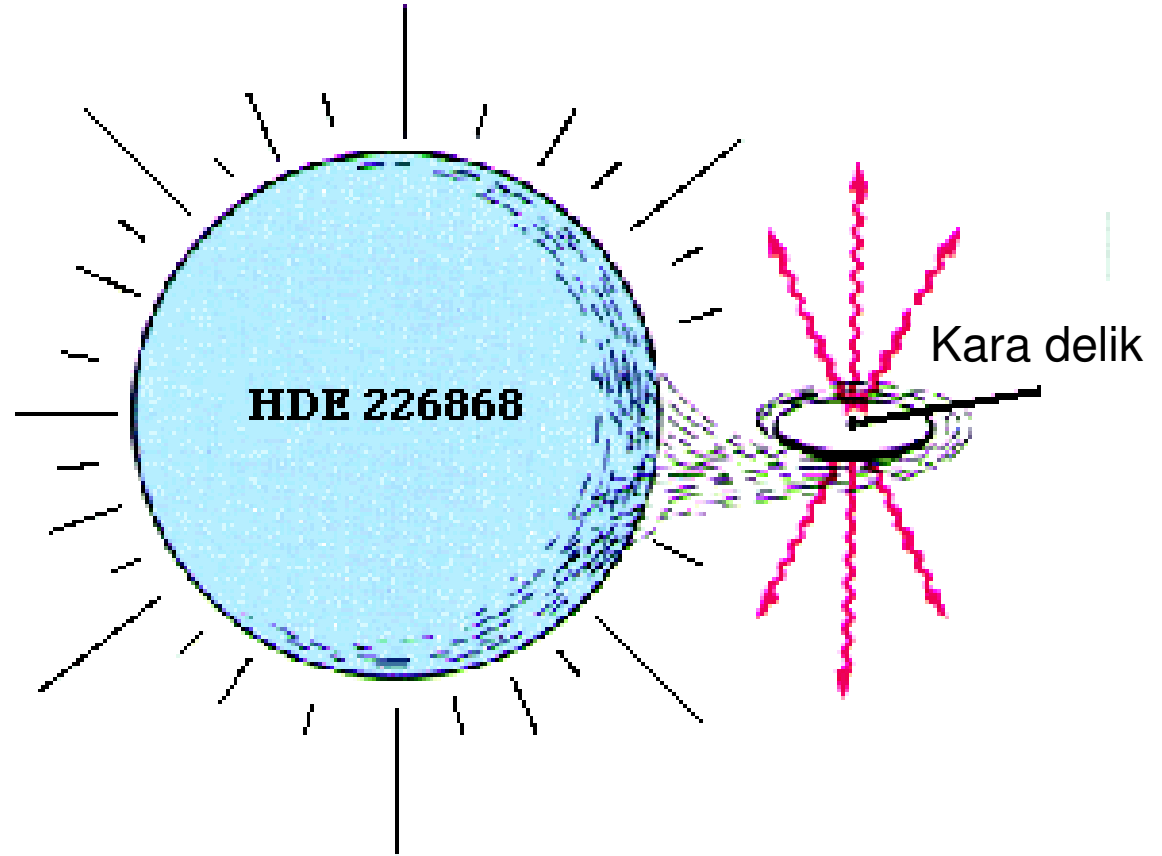
**Kara delik etrafındaki toplanma diski.
Gazın sürtünmesi çok büyük ısı üretir. Isınan gaz X-ışın salar.**



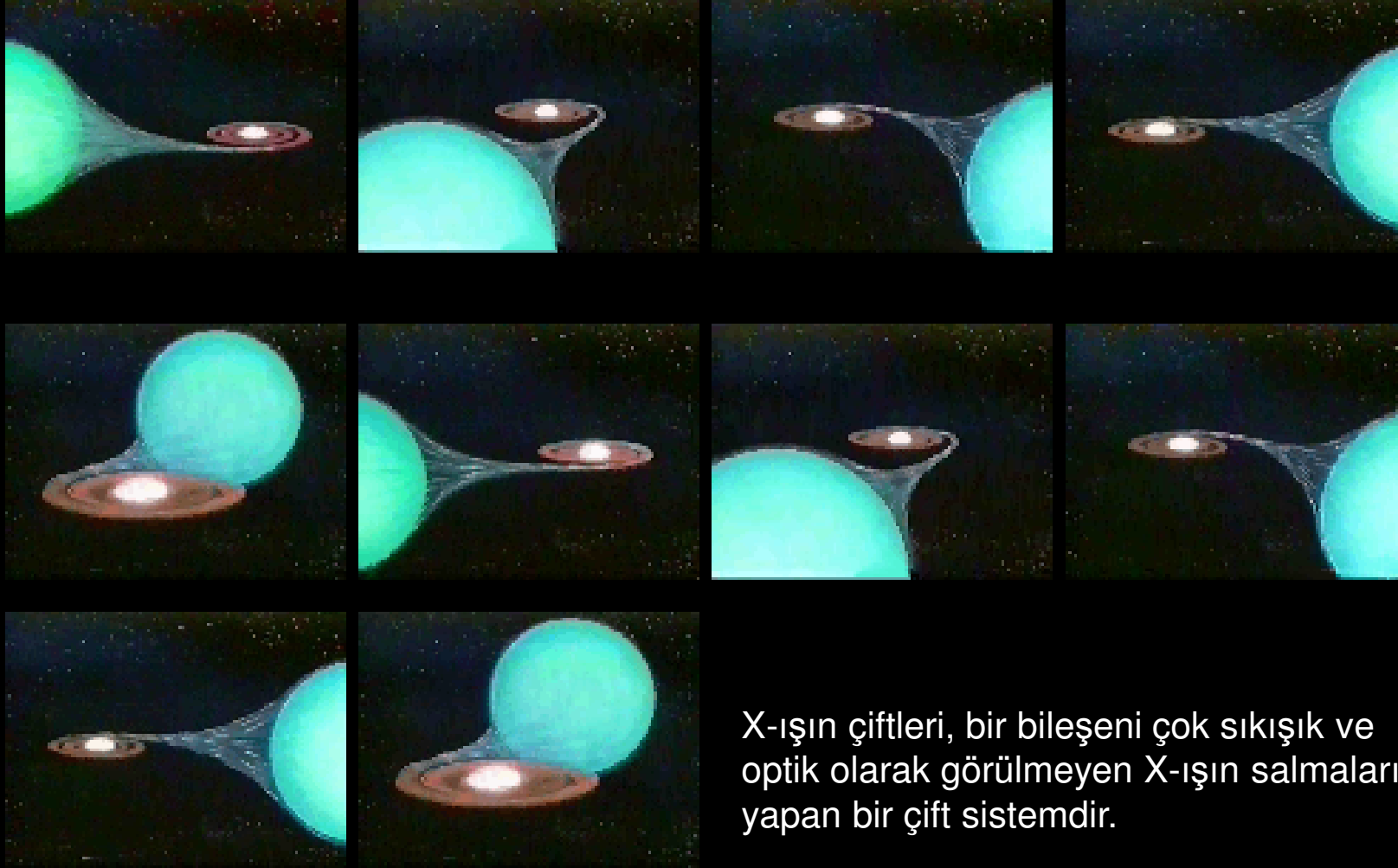
<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:BlackHole.jpg>

HDE 226868-Cygnus X-1 sistemi

- Bizim gökadamız içindeki en parlak X-ışın kaynaklarından biridir.
- Kaynak, optik olarak görülebilen HDE 226868 nolu $20 M_{\odot}$ 'lik mavi bir dev yıldızla ilişkilidir. Bu yıldız $10 M_{\odot}$ lik görünmeyen bir bileşene sahiptir.



X-ışın çift yıldızı



X-ışın çiftleri, bir bileşeni çok sıkışık ve optik olarak görülmeyen X-ışın salmaları yapan bir çift sistemdir.

Bölüm sonu

