



Beyaz cüceler
Nötron yıldızları
Kara delikler

Emrah Kalemci
Sabancı Üniversitesi

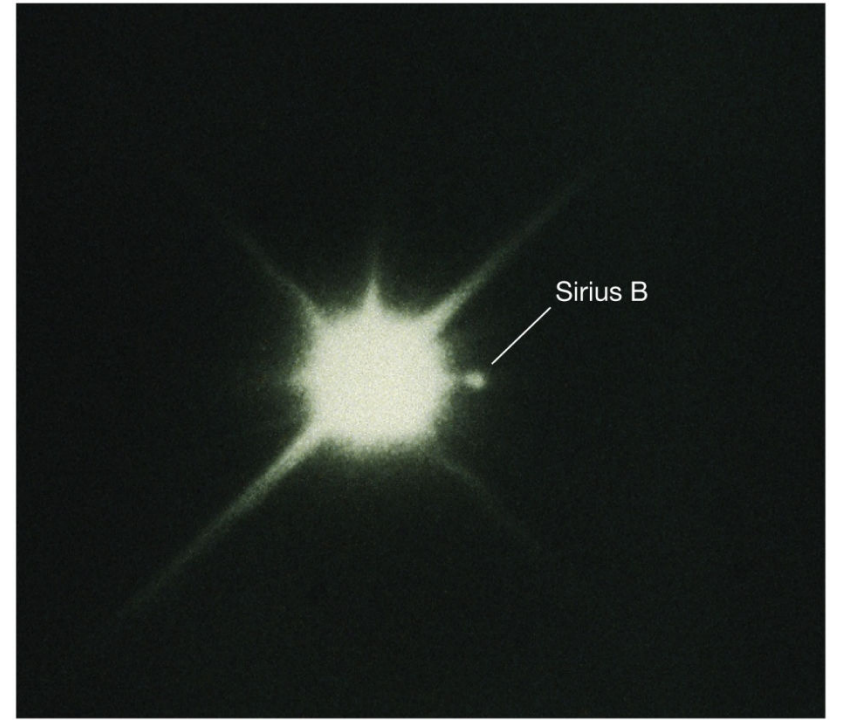
Giriş

- Küçük yıldızların evrimlerinin sonu: Beyaz Cüce
- Büyük yıldızların evrimlerinin sonu
 - Süpernova patlamaları
 - Nötron yıldızları
 - Kara delikler

Beyaz Cüce

- Düşük kütleli yıldızlar evrimlerinin sonlarında merkezlerinde oluşan karbonu daha ağır elementlere çeviremezler.
- Merkezlerinin çökmesini dejenere elektronların Fermi basıncı önler.
- Merkezdeki yoğunluk
~1000kg/cm² .
- Çapları ~13000 km (Dünya büyüklüğünde)
- Doğdukları sıcaklık
~100 milyon derece. Madde akışı yoksa zamanla soğurlar ve gözden kaybolurlar.

Sirius A ve beyaz
Cüce Sirius B.



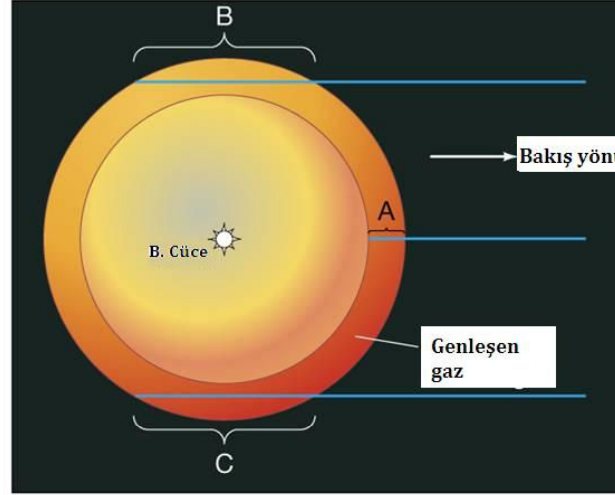
Güneşimiz ve Beyaz Cüce hali



Beyaz cüce ve gezegenimsi bulutsu

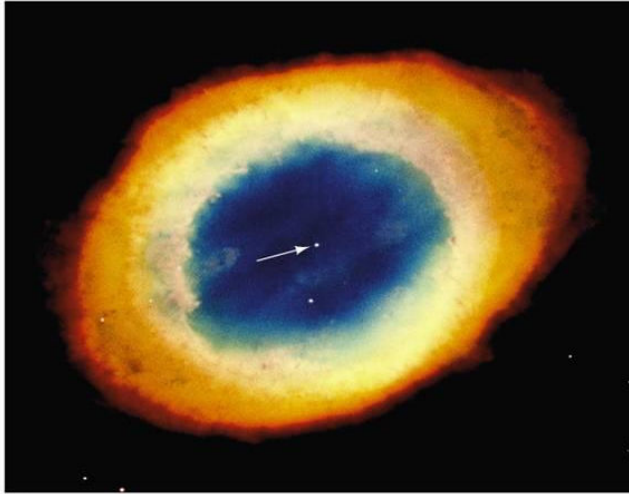


(a)



(b)

Ömrünün sonundaki yıldızın dış katmanları genişerek gezegenimsi bulutsuları oluştururlar.



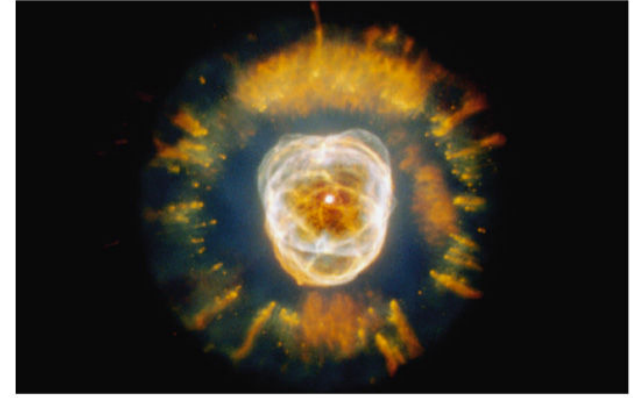
(c)

- a) Abell 39 gezegenimsi bulutsusu.
- b) Genişleyen kabuğun daha büyük bir kısmını gördüğümüz için kenarları parlaktır.
- c) Yüzük bulutsusu. Bu bulutsu hakikaten yüzük şeklindedir.



Gezegensimsi bulutsular

- Pek güzeldirler, çöken yıldız ve çevrelerine bağı olarak çok değişik şekiller alabilirler.
- 10000 yıl kadar gözlenebilirler.
- Sonra geriye kalan sadece beyaz cücedir.



(a)



(b)



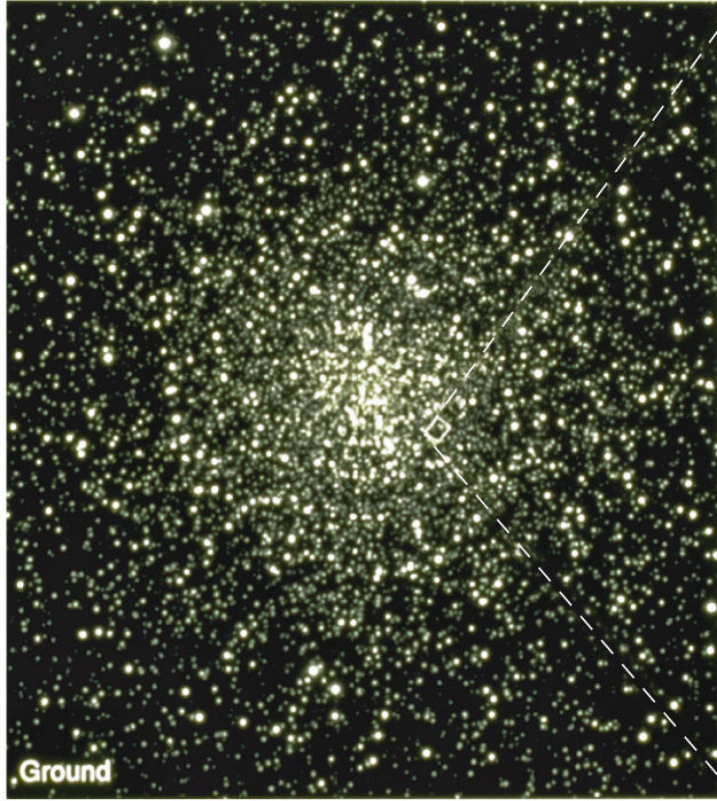
(c)



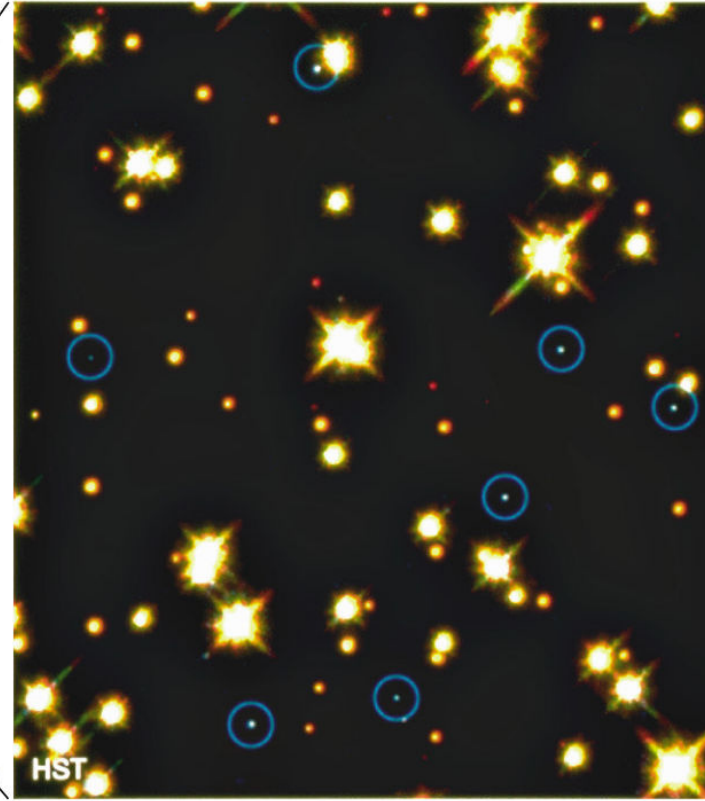
Beyaz Cüce Devam...

HUBBLE küresel kümelerde kabuğunu atmış yüzlerce beyaz cüce bulmuştur. Bu da kümelerin yaşları nedeni ile beklenir.

Tüm beyaz cüceler Karbon ve oksijenden oluşmaz, çok küçük yıldızla karbon oluşmadan çökerek Helyum beyaz cüceleri oluşturabilir. Benzeri bir şekilde güneşten daha ağır yıldızlar da Neon-oksijen beyaz cüceleri oluşturabilir.

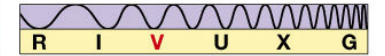


(a)



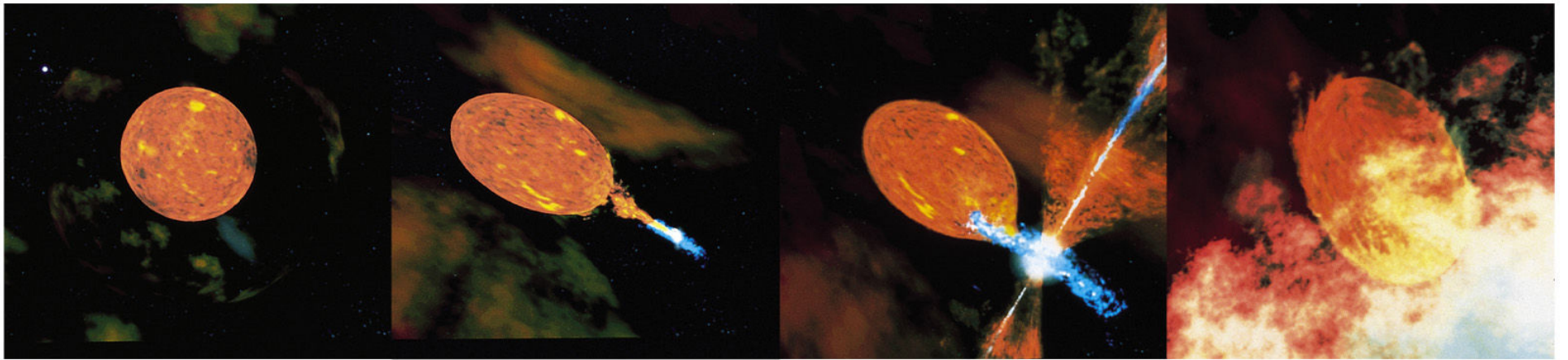
(b)

Hubble'ın
bulduğu
beyaz cüceler.



Nova

- Eğer beyaz cüce başka bir yıldızın etrafında dönüyorsa, normal yıldızdan beyaz cüceye madde aktarımı olur.
- Yüzeydeki madde çok ısındığında füzyon tepkimesi nova adını verdiğimiz patlamalara yol açar.



(a)

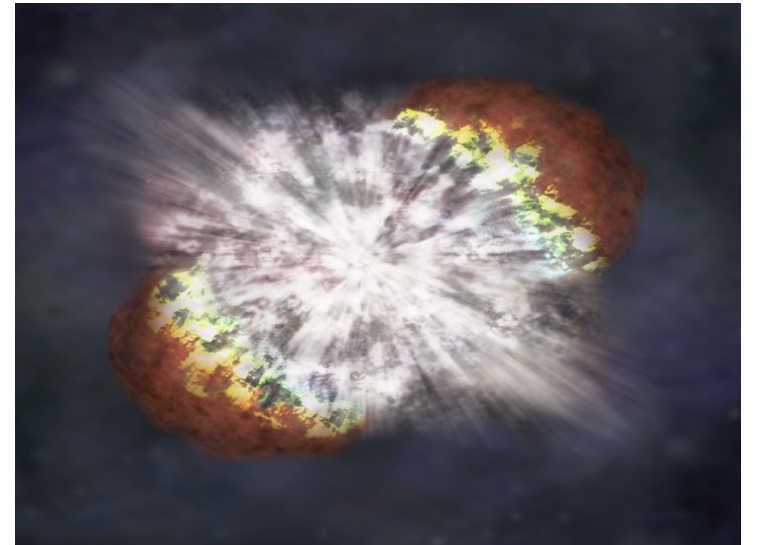
(b)

(c)

(d)

Süpernova patlamaları

- ~12 Güneş kütlelerinden büyük yıldızların evriminin sonunda elektron dejenere basıncı çökmeyi durduramaz.
- Yüksek sıcaklığın oluşturduğu fotonlar demir atomlarını elektronlara ve protonlara ayırır, ve bunlar çökme altında birleşerek nötronları oluşturur.
- Bu sırada nötrino adı verilen çok küçük parçacıklar oluşur ve sistemden kaçar. Bu çökmeyi daha da hızlandırır.
- Nötronlar birbirine çok yaklaşınca dejenere nötron basıncı çökmeyi durdurur ve materyali geri fırlatarak şok dalgaları oluşturur.
- Şok dalgalarının yarattığı patlamaya tip 2 süpernova denir.
- Tip 1 patlama oluşumu da benzerdir, fakat çökmeyi başlatan ikincil yıldızdan aldığı madde altında ağırlaşan bir beyaz cücedir.
- Bir çok ağır element süpernova patlamalarının ilk saniyelerinde üretilir.



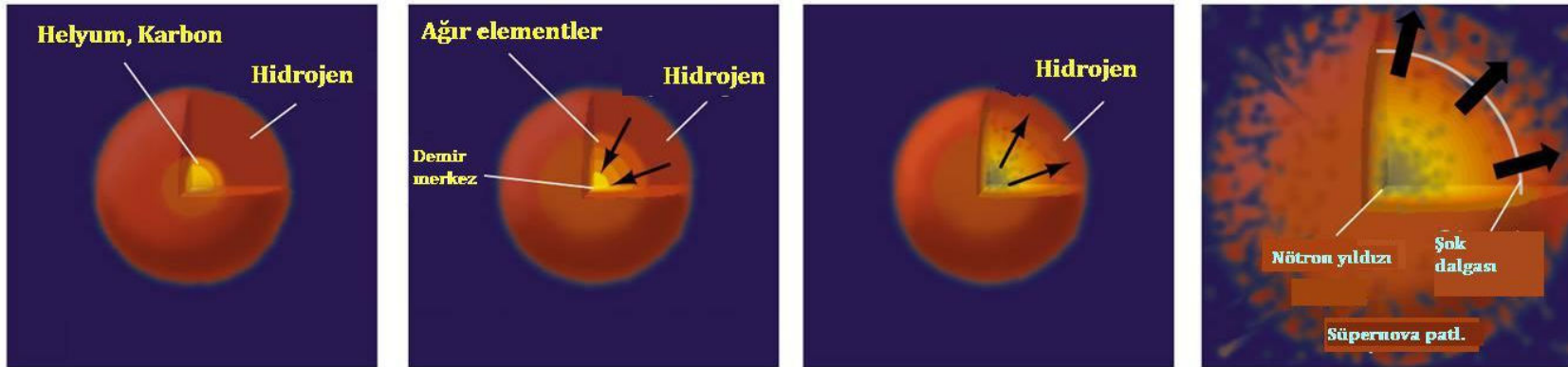
Süpernova patlamaları

(a) Tip 1 süpernova

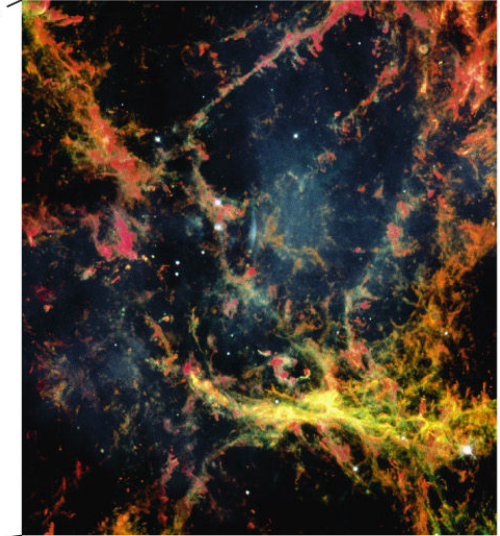


Zaman

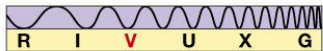
(b) Tip 2 süpernova



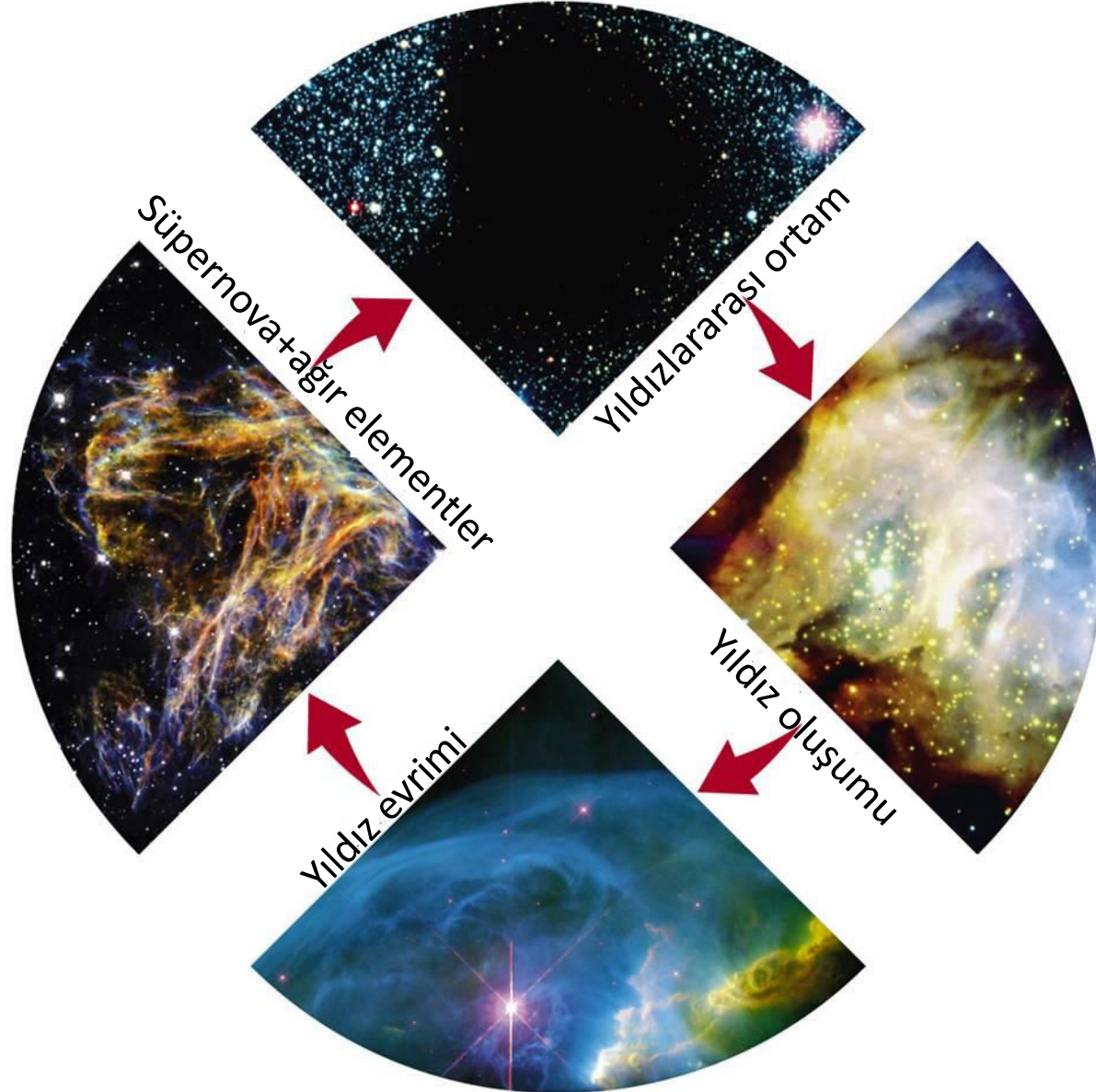
Geriye kalan 1: Süpernova kalıntısı



1054'te Çin astronomların da
Kaydettiği Yengeç süpernova
kalıntısı



Yıldız evrimi döngüsü



Tip 2 süpernova'dan geriye kalan: nötron yıldızı

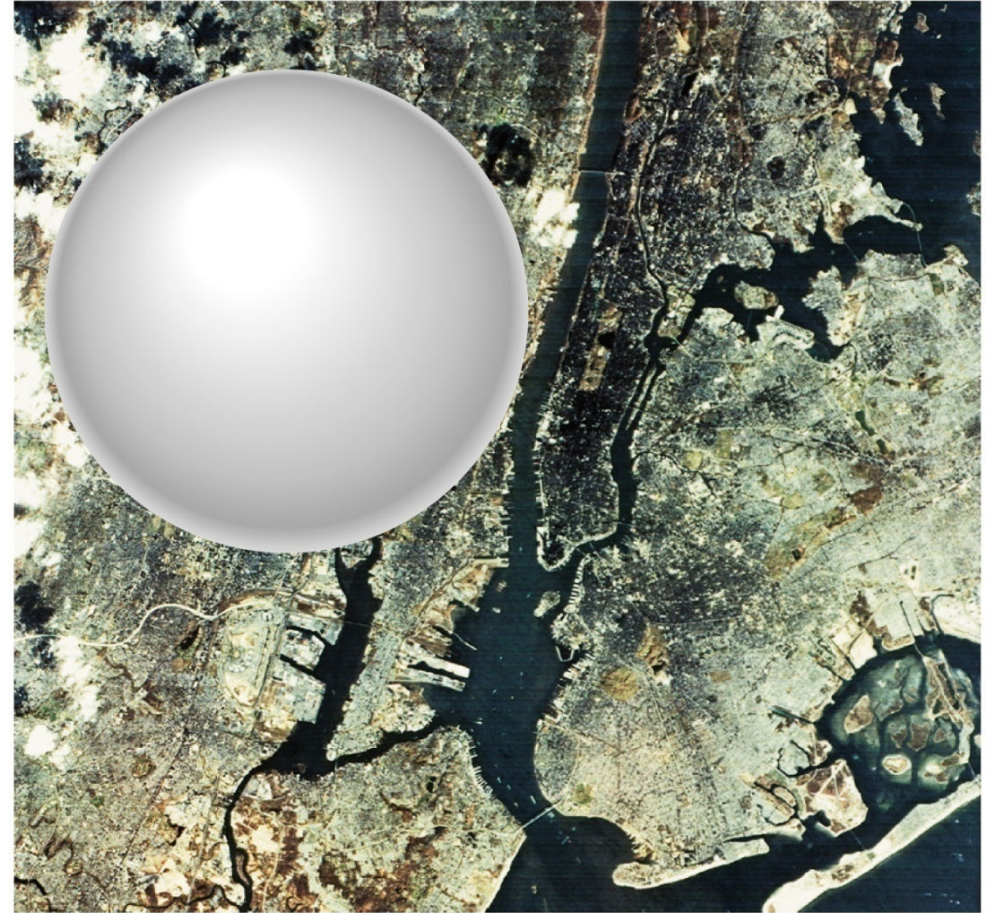
Nötron yıldızı sadece 10-15 km çapındadır ama ağırlığı 1-3 güneş kütlesidir.

Yoğunluğu 5×10^{11} kg/m³

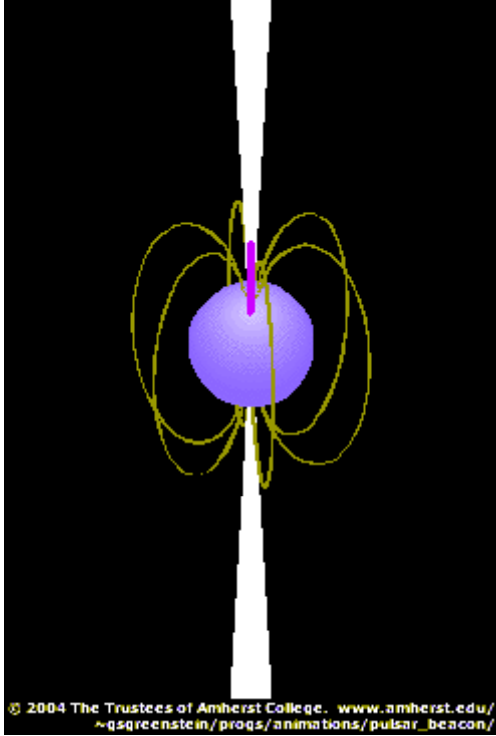
Dünya üzerinde 100 kg gelen birisi
nötron yıldızı üzerinde 1.3 katrilyon kilo
gelirdi.

Açısal momentum yıldız çökerken
Korunduğu için nötron yıldızları
Çok hızlı dönerler (1-500 Hz)

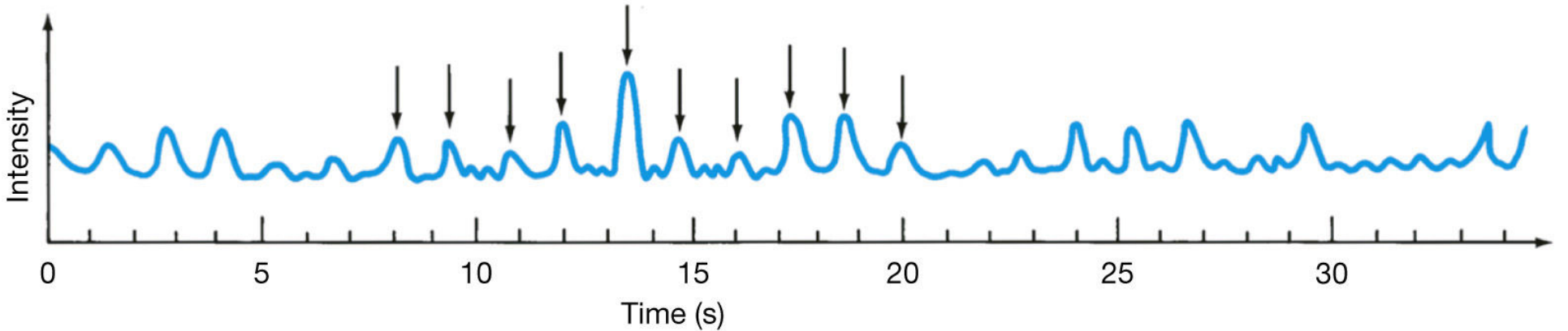
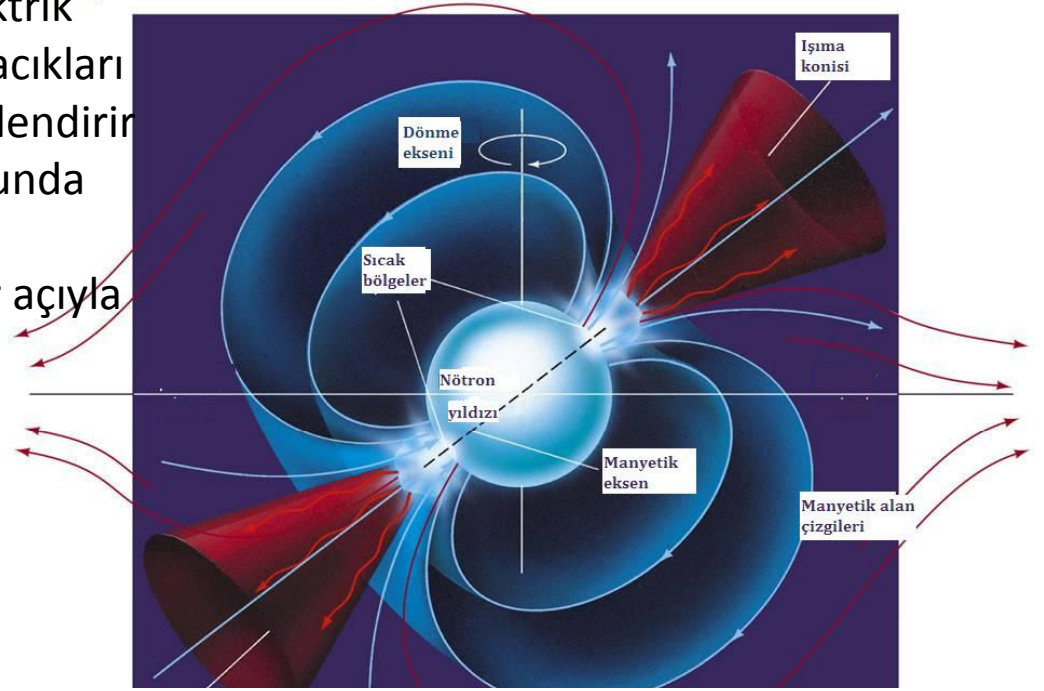
Gene çökme sırasında manyetik alan da
Çok yükselir.



Atarcalar

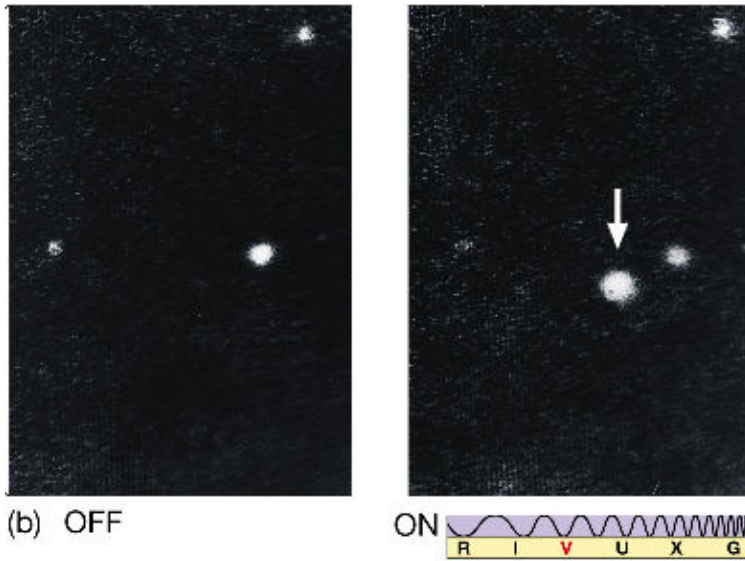


Manyetik ve elektrik alan yapısı parçacıkları kutuplarda ivmelendirir ve bunun sonucunda manyetik eksen yönünde, dar bir açıyla ışınım olur.

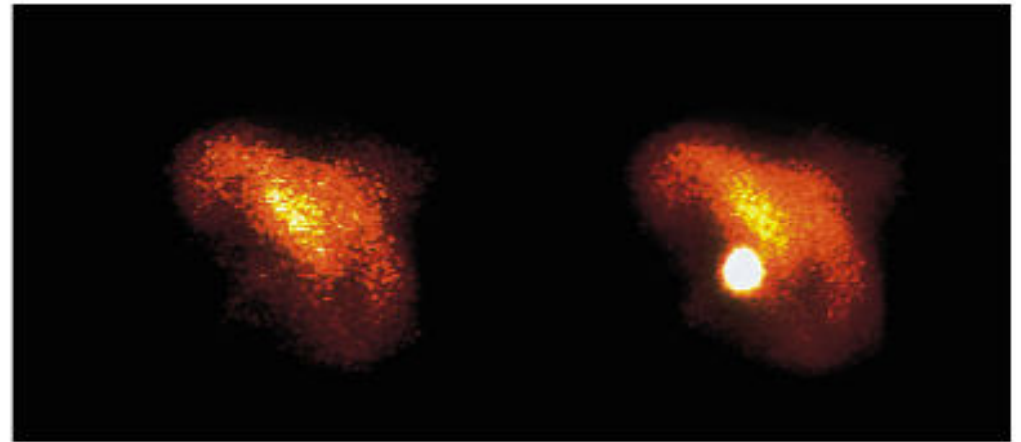


Atarcalar - devam

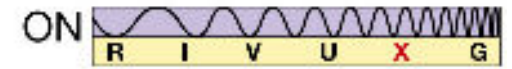
- Çok geniş bantta (radyo – gama ışınları) ışımaya yaparlar



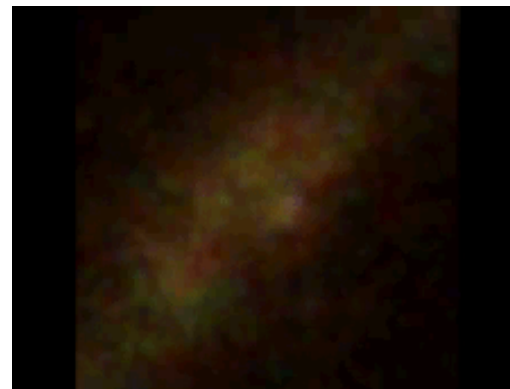
Crab, görünür bölge.



(c) OFF

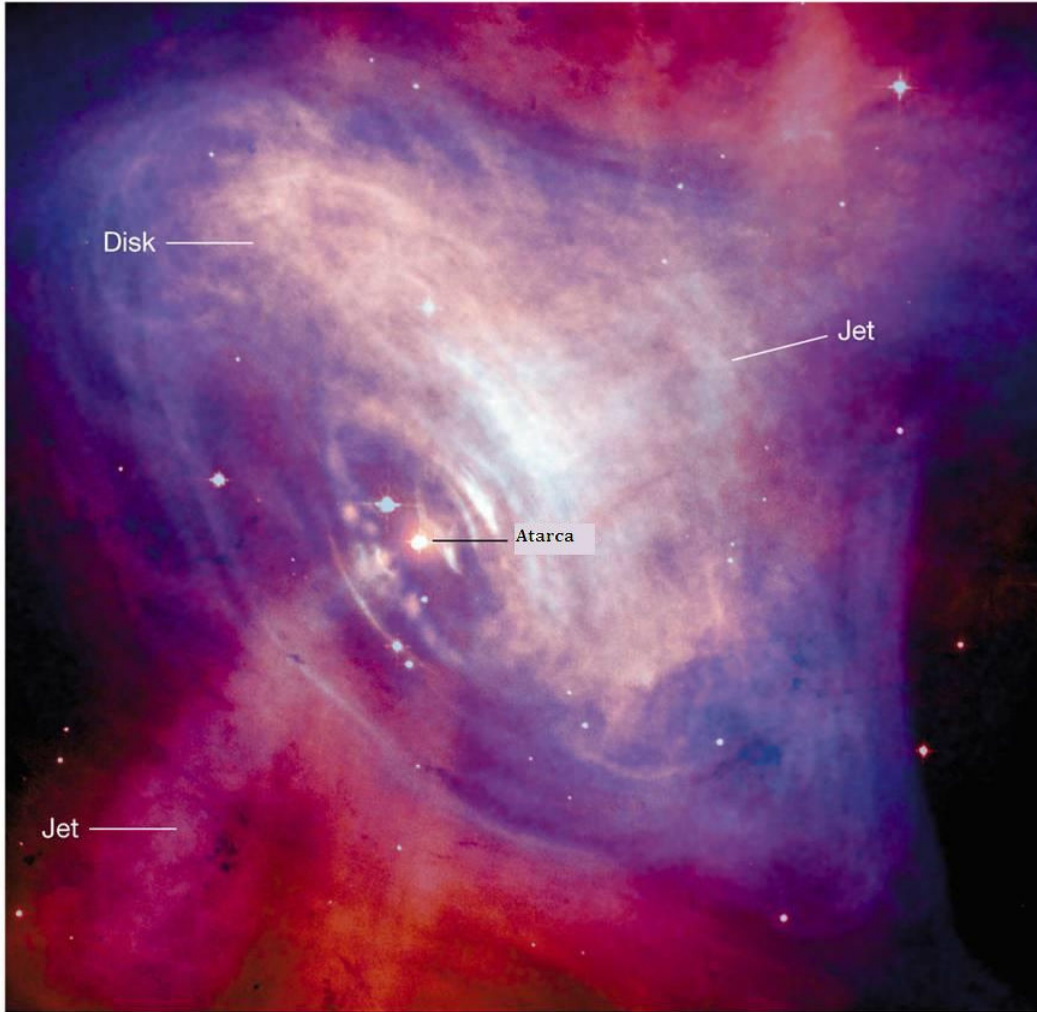


Crab, x ışınları

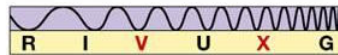


Vela, gama ışınları

Atarcalar ve çevresi

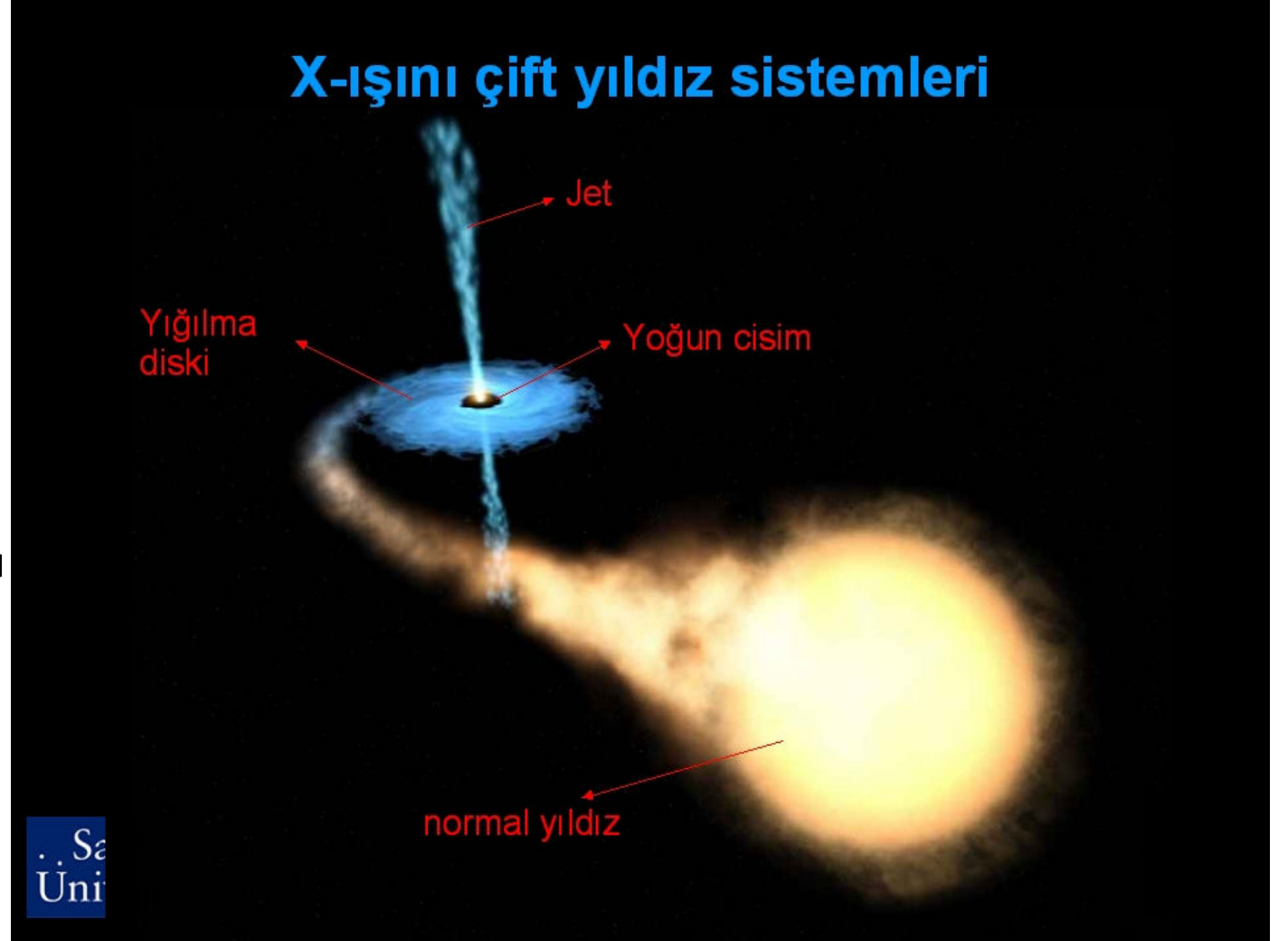


Çok karmaşık yapıya sahip olabilirler. Atarcalar çevrelerine saldıkları enerji ile atarca rüzgar bulutsuları, disk ve jet yapıları oluşturabilirler.

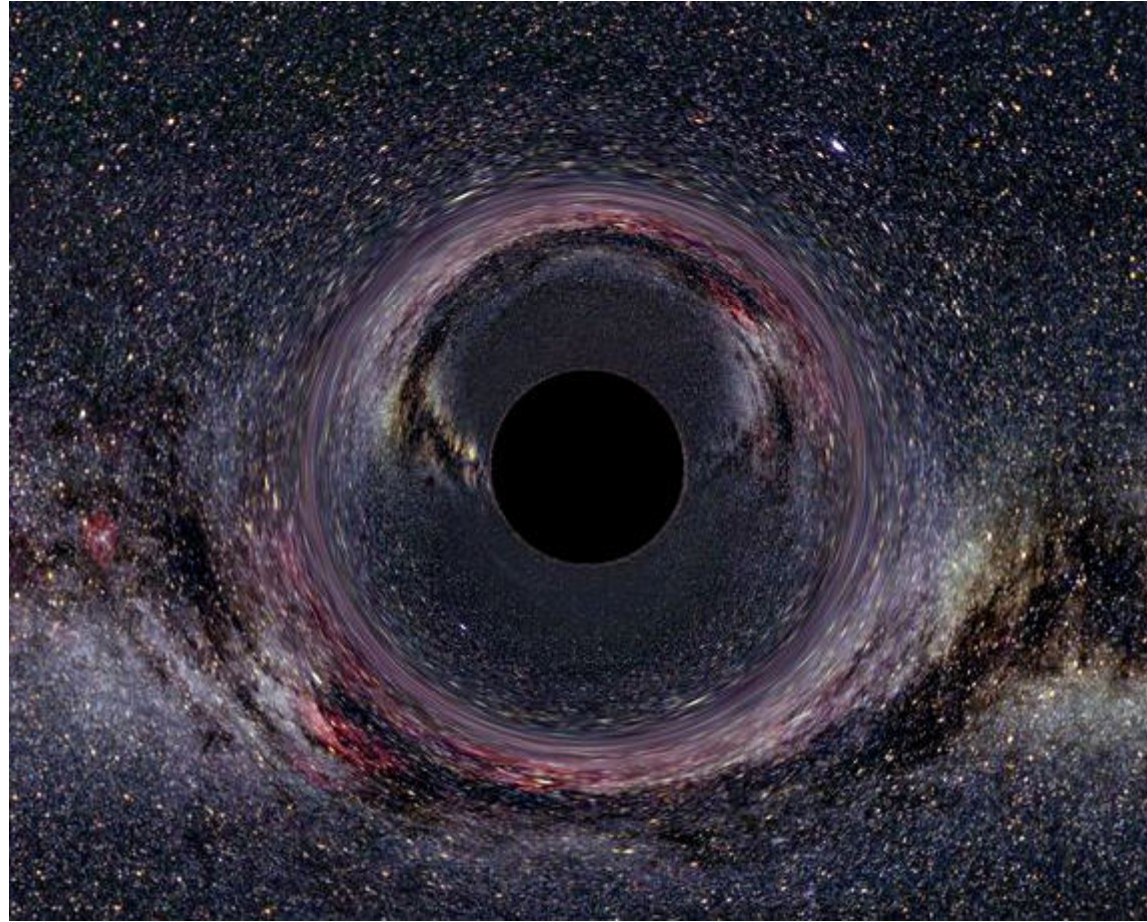


Hızlanan nötron yıldızları

Normalde nötron yıldızları döndükçe enerji kaybeder ve yavaşlarlar. Ama başka bir yıldızın çevresinde dönüyorlarsa gelen madde akışı yüzünden hızlanıp milisaniye atarcaları oluştururlar.



Daha da ağır yıldızlar çöktüğünde ne olur?

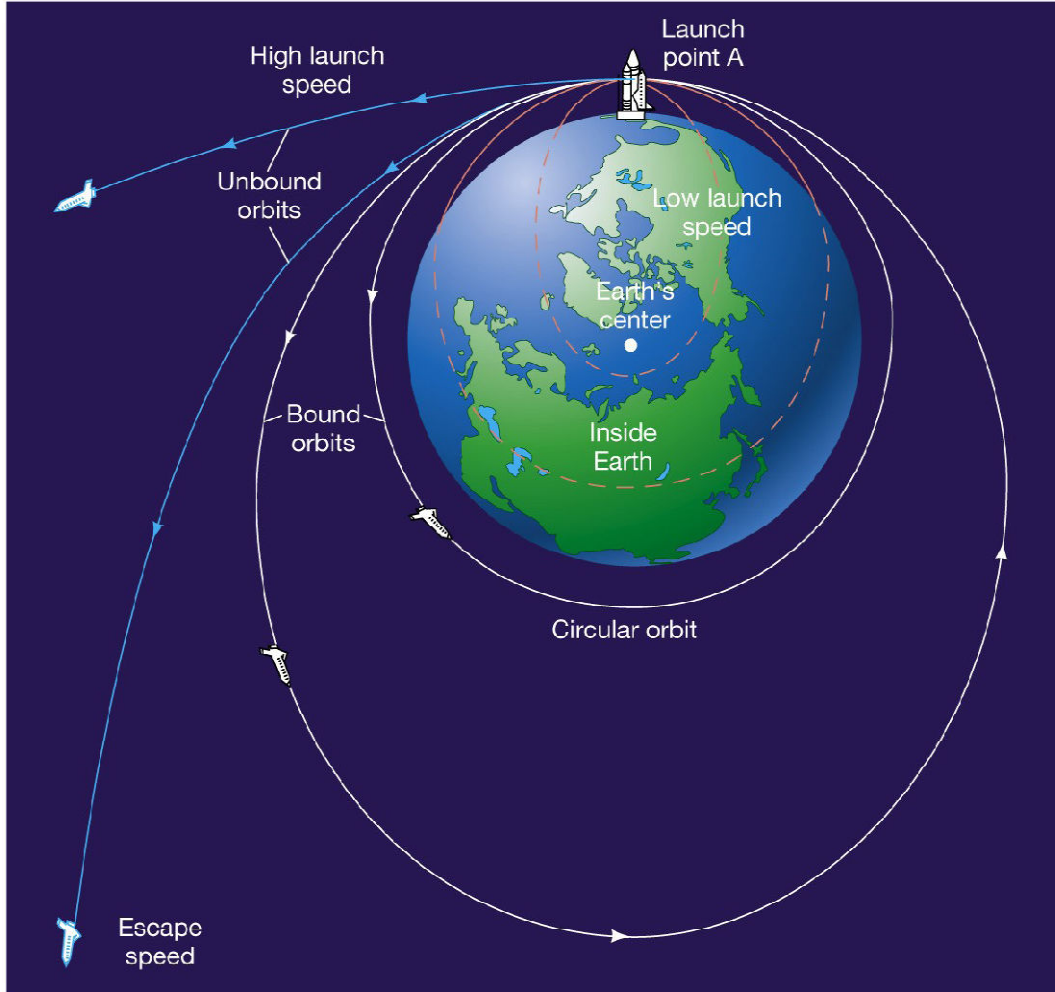


Kara Delik Nedir?

- Einstein'in Genel Görelilik Teorisine göre kara delik, bir olay ufku (event horizon) ile sarmalanmış ve uzay zamanın içeri doğru sonsuza kadar kıvrıldığı tekilliktir.
- Özelliklerinin bir kısmını anlamak için genel göreliliğe gerek yok:
 - Newton dinamiği (kaçış hızı)
 - Özel görelilik (evrende hiç bir şey ışık hızından hızlı hareket edemez)
 - Işık da normal madde gibi kütleçekimden etkilenir.

Kaçış Hızı

$$\bullet \frac{1}{2} mv^2 = GMm/R, v_{\text{kaçış}} = \sqrt{2 GM/R}$$



Kaçış hızı kütlenin karekökü ile artar, kaçılan yüzeyin yarıçapının karekökü ile azalır.

Atılan yöne, ya da fırlatılan cismin kütlesine bağlı değildir.

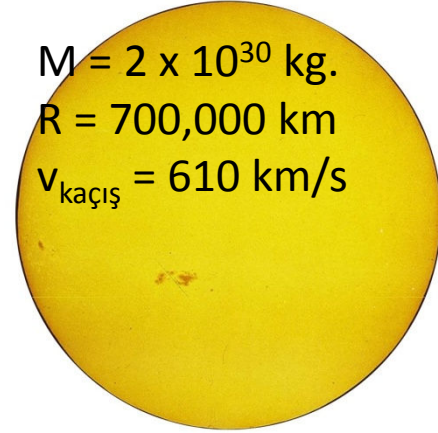
Kaçış hızları tablosu:

Ay : 8640 km/saat

Dünya: 40320 km/saat

Güneş: 2.2 milyon km/saat

Kaçış hızı = ışık hızı ?



$M = 2 \times 10^{30}$ kg.
 $R = 175,000$ km
 $v_{\text{kaçış}} = 1220$ km/s



$M = 2 \times 10^{30}$ kg.
 $R = 3$ km
 $v_{\text{kaçış}} = 300,000$ km/s

- Güneş'in kütlesini sabit tutup yarıçapını 3 km ye kadar indirirsek? O zaman kaçış hızı ışık hızı olur, yani yarıçapı bu limitten de aşağı çekersek ışık bile yüzeyden kaçamaz. Al sana kara delik!
- Limit yarıçapa Schwarzschild yarıçapı denir $R_s = 2 GM/c^2$.
- Bu yarıçap kara deliğin olay ufkunu belirler.

Kütle / yarıçap

Cisim	Kütle	Yarıçap	Schwarzschild yarıçapı
Emrah	100 kg	1 m	$1.25 \cdot 10^{-23}$ cm
Dünya	$6 \cdot 10^{24}$ kg	6400 km	9 mm
Güneş	$2 \cdot 10^{30}$ kg	700,000 km	3 km
Nötron yıldızı	$3 \cdot 10^{30}$ kg	15 km	4.5 km
Samanyolu merkezi	4 milyon güneş kütlesi	-	9 milyon km (60 AU)
M 87 Gökadası merkezi	3 milyar güneş kütlesi	-	9 milyar km (60,000 AU)

- Herşey kara delik olabilir, yeter ki Schwarzschild yarıçapı kadar sıkıştırılsın!!

Kara Delikler ve Çevresi

- Kara delikten yeterince uzakta ($>100 R_s$) kara deliğin çevredeki maddenin hareketine özel bir etkisi yoktur, Newton dinamiği yeterlidir.
- Kara deliğe yaklaşınca işler değişir, genel görelilik teorisi kullanılarak kara deliklerin çevresinde olan bitenleri anlayabiliriz
- Kara delikler genel anlamda basit cisimlerdir, kütle, dönme (spin) ve yük bir kara deliği tamamen tanımlamaya yeter (**Kara deliklerin saçı yoktur**). Bunun bir anlamı da kara delik oluştuğu anda öncesi hakkındaki tüm bilgiler de yok olur!

Evrende kara delik var mı?

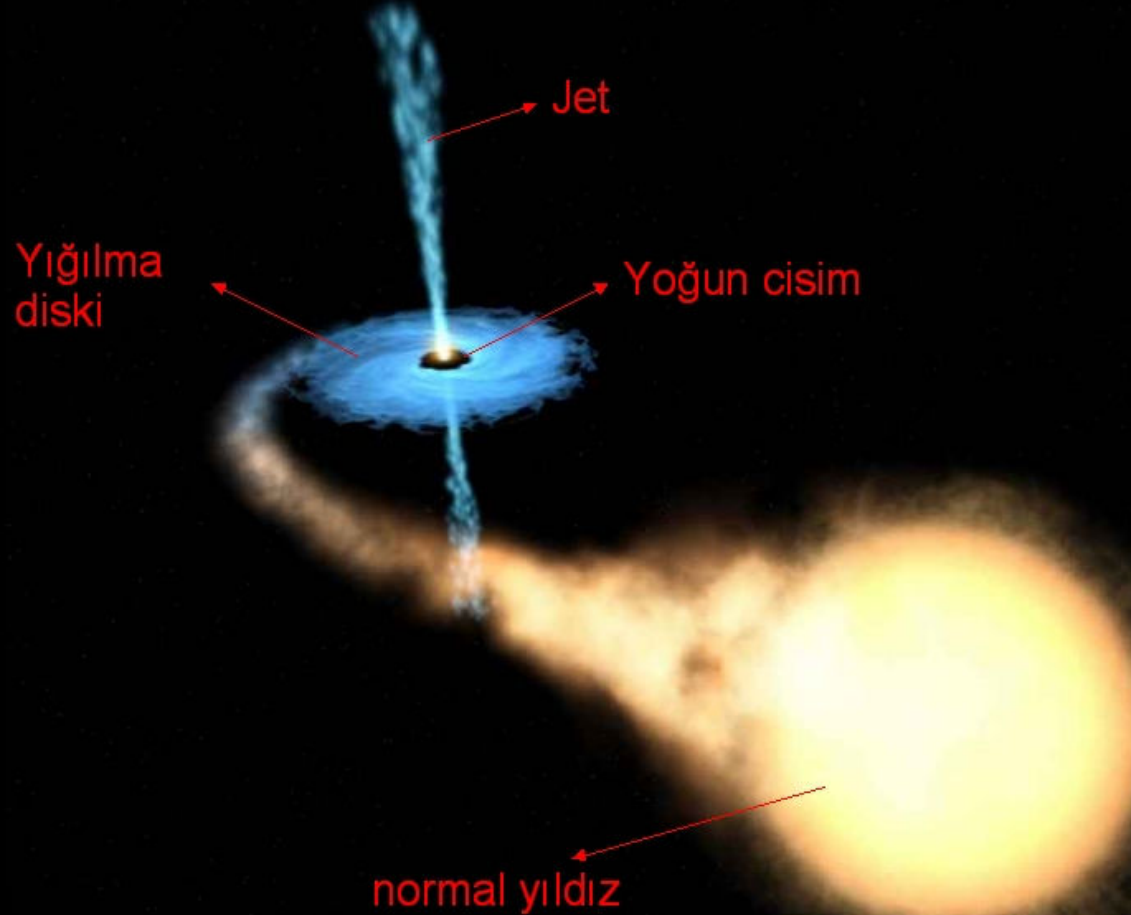
- Teorik olarak mümkün gözükse de pratikte kara delik yaratmak öyle kolay bir iş değil. Mesela Dünya'nın kara delik olması için yarıçapının 9 mm, dolayısıyla yoğunluğunun da $8 \times 10^{38} \text{ kg/m}^3$ olması gerekir!
- Önce elektromanyetik kuvvetler, sonra kuvantum kuvvetler maddenin sıkışmasına engel olurlar.
- Laboratuvarlarda bu kuvvetleri elde edemeyiz* ama evrende bunun yolu var: **Kütleçekime bağlı çökme.**

*Yeni nesil hızlandırıcılarda bazı teorilere göre çok küçük kütleli mikro-karadeliklerin oluşabilmesi mümkündür.

Nasıl bulacağız?

- Yüzeyinden ışık gelmeyen kara delikleri bulmak imkansıza yakın olurdu. Neyse ki gökadamızdaki yıldızların çoğu çiftler halinde bulunuyor.
- Yıldızlardan birisi kara delik haline geldiğinde diğerinden madde akışı olabilir.

X-ışını çift yıldız sistemleri



Kara deliğin çok yakınında kütle çekim kuvveti çok büyük olduğundan maddenin enerjisi artar, sürtünmeyle ısıya dönüşür ve ışımaya başlar.

Sıcaklık milyar dereceye çıktığından ışınlar X ışınlarında olur.

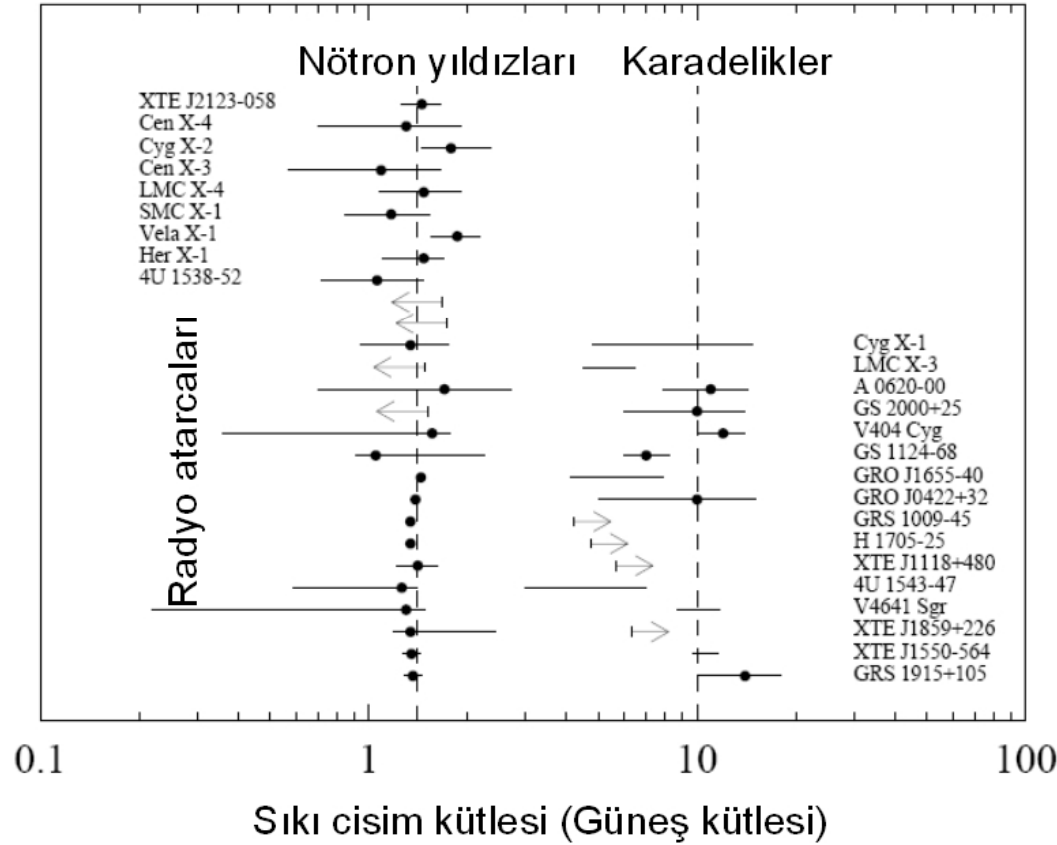
Kara delik çiftleri Gökada'mızı X-ışınlarında tarayarak ortaya çıkarılır.

Kaynakların çoğu geçicidir, yenilerini bulmak için uzay her an taranır.

X-ışını çift yıldız sistemleri

- Tüm X-ışını yayan çift yıldız sistemleri kara delik değildir. Bir kısmında nötron yıldızı da bulunabilir. Ama nötron yıldızları 3 Güneş kütesinden daha ağır olmazlar!
 - $M > 3 M_{\odot}$ **Kara delik!**
 - Kütesi ölçülemiyor:
 - Yüzey ışıınımı yok +
 - Periyodik ışıınım yok +
 - Gama/radyo ışıınımı var → **kara delik adayı!**

Gökadamızda bilinen kara delikler



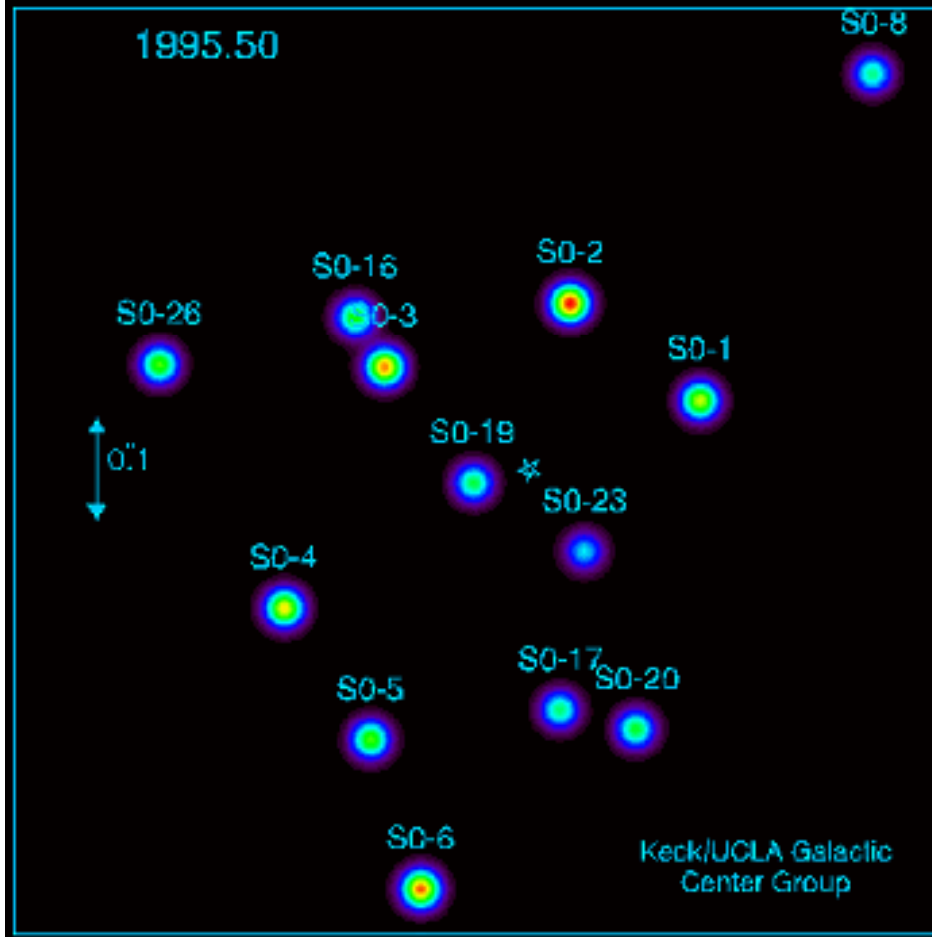
18 kütlesi bilinen
kara delik,

25 kütlesi
bilinmeyen
kara delik adayı
var.

Dev kara delikler!

- Güneş kütleli kara delikler dışında, milyonlarca, hatta milyarlarca güneş kütleli kara delikler kütle çekimine bağlı çökme ile gökada merkezlerinde bulunurlar.
- Şu anki gözlemler ve modeller tüm gökada merkezlerinde kara delikler olduğunu destekliyor.
- Samanyolu'nda da var!

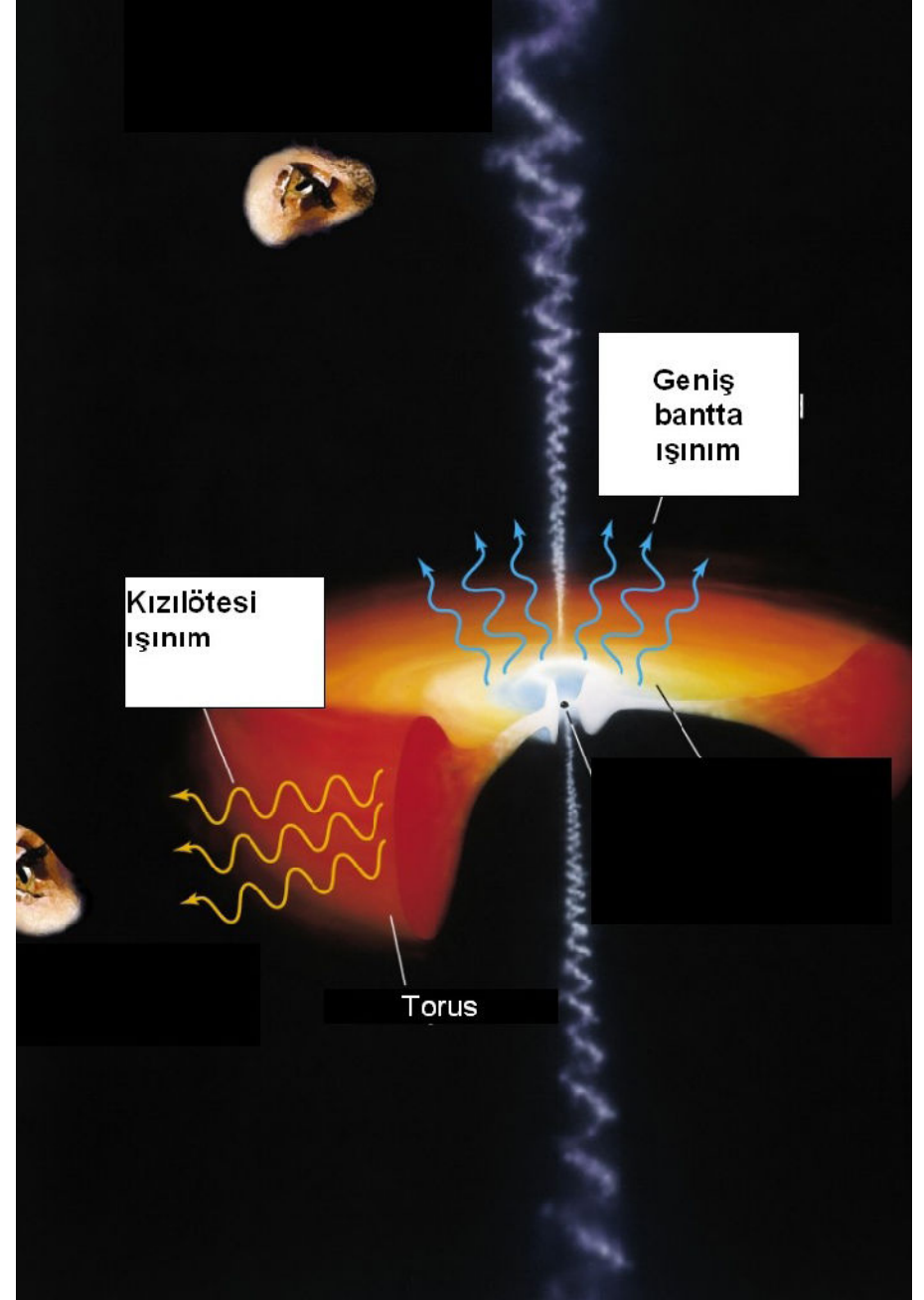
Samanyolu'nun merkezi



- Kızılötesi ile yapılan gözlemler sonucu Gökada merkezindeki yıldızların 4 Milyon güneş kütleli tek bir merkez etrafında döndüğü biliniyor.
- Radyo gözlemleri o merkezin çok küçük olması gerektiğini gösteriyor:
- KARA DELİK!

Etkin dev kara delikler

- Dev kara deliklere de madde akışı olabilir. Kızılötesi ve X ışınlarında kuvvetli.
- Optik teleskoplarla normal, radyo, X-ışını ve kızılötesi teleskoplarla çok değişik bir görüntü sergilerler.



Cen A

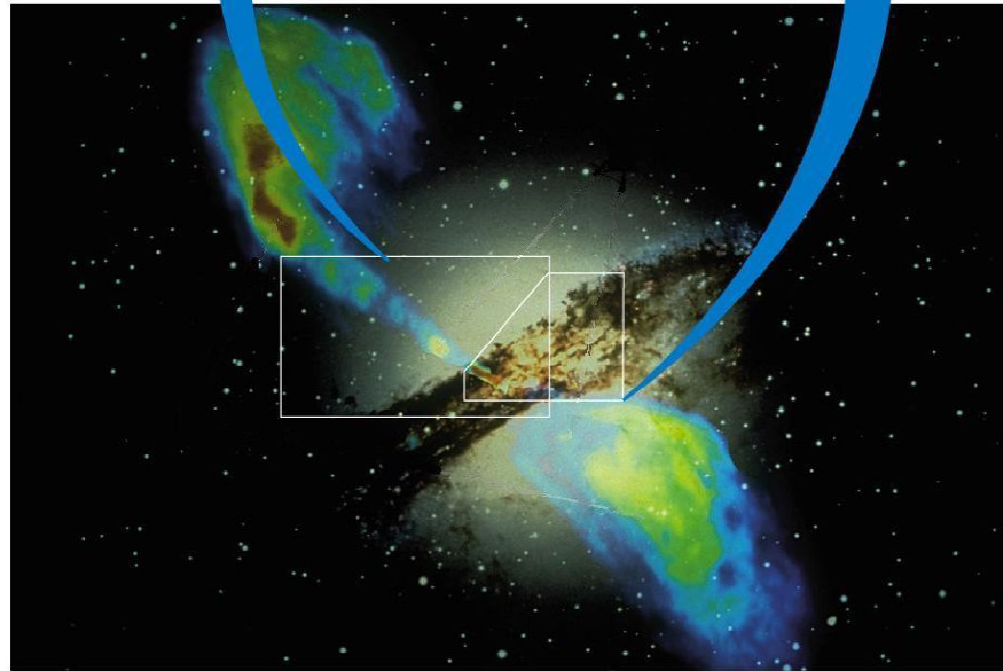
- (b) X-ray
- (c) Optik
- (a) optik+ x-ışını + radyo



(b)

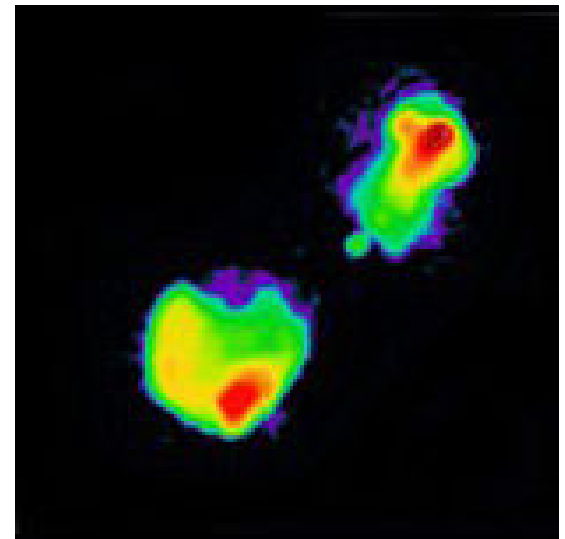
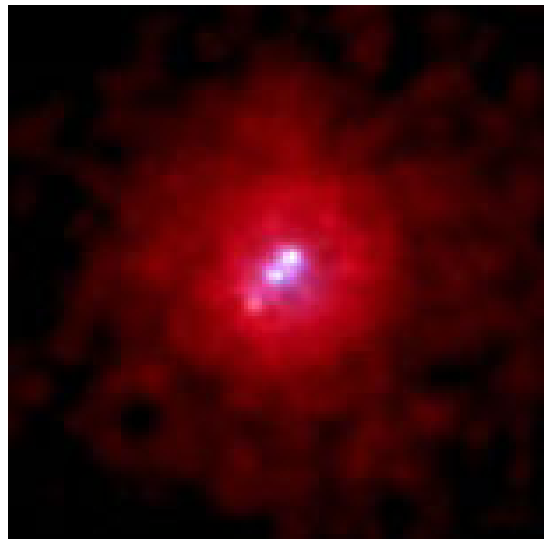
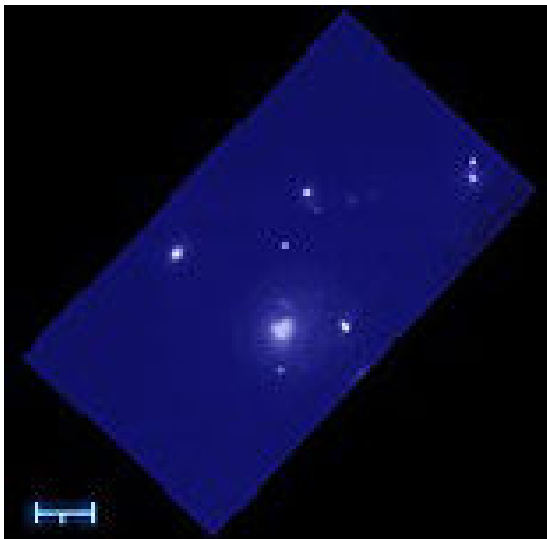


(c)



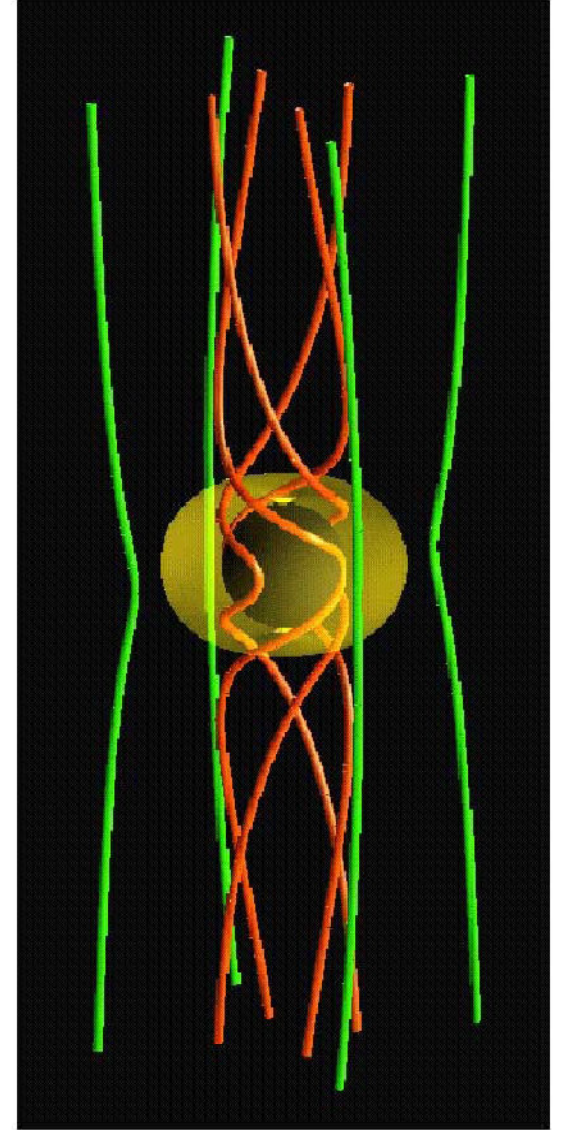
(a)

3C 295

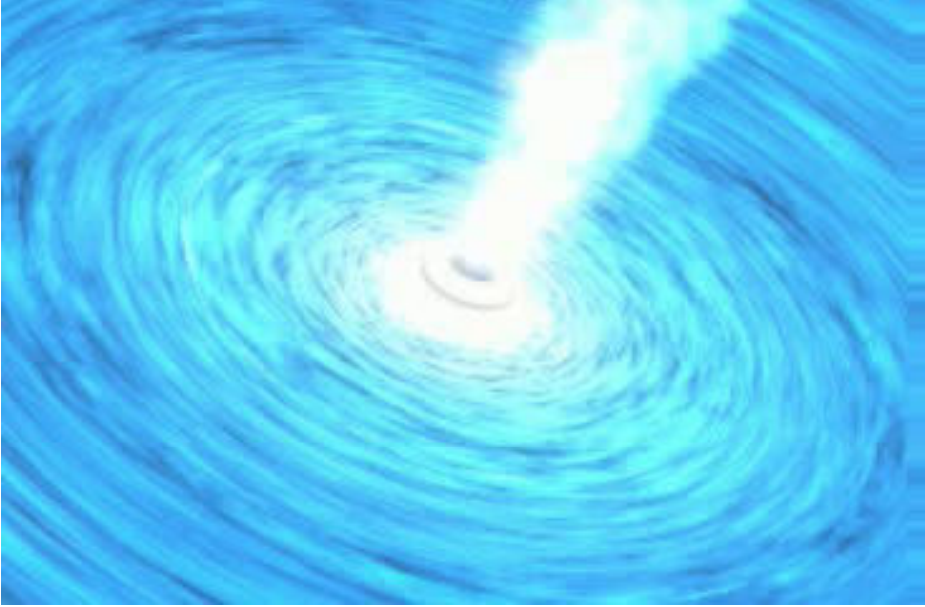


JETLER

- Karadeliklerin bir başka ilginç yanı, maddeyi çektiği gibi fırlatadabilmesi!
- Manyetik alan çizgilerinin diskin ya da kara deliğin dönüşüyle bir yay gibi gerilerek maddeyi fırlattığı düşünülüyor.



Jet örneđi



Kara delikler bizi yer mi?

- Dev kara deliklerin ışması için maddenin deliğe akması gerekir.
 - Ne kadar madde?
 - Az. 1 milyar güneş kütleli tipik bir gökada merkezinin görünür parlaklığı için 10 senede 1 güneş kütleli maddeyi yutması yeterli. Pek hızlı bir büyüme değil.
 - Nasıl beslenirler
 - Gökada çarpışmalarıyla.

Gökada çarpışmaları



Kara deliğe yaklaşabilsek ne olurdu?

Bir gemi içindeki gözlemci ile olay ufkuna doğru yola çıksın, bir gözlemci de dışarıdan gemiyi seyretsin:

- İçteki gözlemci:
- İnanılmaz bir kütle çekim kuvveti dışında her şey normaldir.
- Gemi olay ufkundan geçerken özel bir şey hissedilmez.
- Dışarıyı seyredebilirler.
- Dışarıdaki gözlemci:
- Gemide zaman yavaşlar
- Gemi olay ufkuna yaklaştıkça yavaşlar ve sönükleşir.
- Gemiden gelen tüm sinyaller kırmızıya kayar.
- Gemi hiçbir zaman olay ufkuna ulaşamaz ve sönükleşerek gözden kaybolur.

Sonuç

- Kara delikler sadece genel görelilik teorisinin matematiksel uzantıları değildir, evrende vardır ve bizler tarafından incelenirler.
- Bilim adamlarına laboratuvarlarda oluşturulamayacak koşullar (kütleçekim, sıcaklık) sunarak ortaya atılan teorileri test etmemize yardımcı olurlar.