

Görünmeyeni Anlamak – I Kara Delikler

Emrah Kalemci
Sabancı Üniversitesi



Kara Delik Nedir?

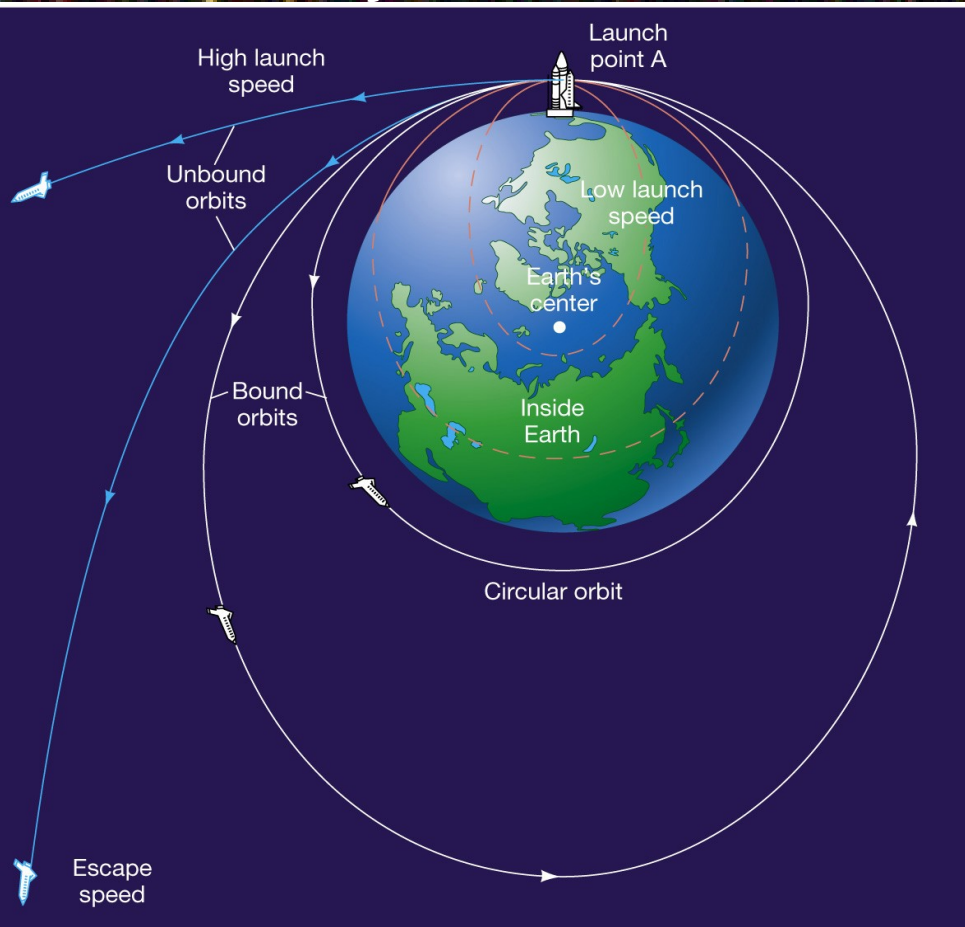
- Einstein'ın Genel Görelilik Teorisine göre kara delik, bir olay ufku (event horizon) ile sarmalanmış ve uzay zamanın içeri doğru sonsuza kadar kıvrıldığı tekilliktir.
- Daha basit tanımlarsak, yüzeyinden ışığın bile kaçamadığı yüksek yerçekimine sahip nesneler.
- Özelliklerinin bir kısmını anlamak 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 yerçekiminden etkilenir.

Kaçış Hızı

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

m = fırlatılan kütle, M = yüzeyinden atılan kütle

G = Kütleçekim sabiti



Kaçış hızı kütlenin karekökü ile artar, yarıçapın karekökü ile azalır.

Atılan yöne veya fırlatılan cismin kütlesine bağlı değildir!

Kaçış hızları tablosu:

Ay : 2.4 km/s

Dünya: 11.2 km/s

Güneş: 617.5 km/s

Kaçış hızı = ışık hızı ?

- Güneş'imizi ele alalım. Kütlesini hiç değiştirmeden yarıçapını 4 kat indirirsek yüzeyinden kaçmak için gereken hız iki katına çıkar.
- Ya kütleyi 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	6×10^{24} kg	6400 km	9 mm
Güneş	2×10^{30} kg	700,000 km	3 km
Nötron yıldızı	3×10^{30} kg	15 km	4.5 km
Samanyolu merkezi	3 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 çevresindeki maddenin hareketine özel bir etkisi yoktur, Newton dinamiği yeterlidir.
- Kara deliğe yaklaşıncı işler değişir, ancak 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 olduğu 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 kuantum 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.



Yıldız Evrimi

- Yıldızlar enerjilerini hafif elementleri nükleer füzyon yolu ile ağır elementlere çevirerek sağlarlar, ve bu şekilde muazzam kütle çekimine karşı koyarlar.
- Demir bu şekilde üretilebilen en ağır elementtir. Enerji üretemeyen yıldız söner, kendi ağırlığı altında çöker.

Yıldızların sonu

- Bu çökme iki şekilde durabilir:
 - Hafif yıldızlar için (mesela Güneş) elektronlar birbirine çok yaklaşıncaya kuvantum kuvvetleri ile (beyaz cüce)
 - Orta ağırlıkta yıldızlar için, önce elektronlar ve protonlar birleşerek nötronları oluşturur, nötronlar birbirine yaklaşıncaya kuvantum kuvvetleri yıldızı bir arada tutar (nötron yıldızları)

Kara delikler!

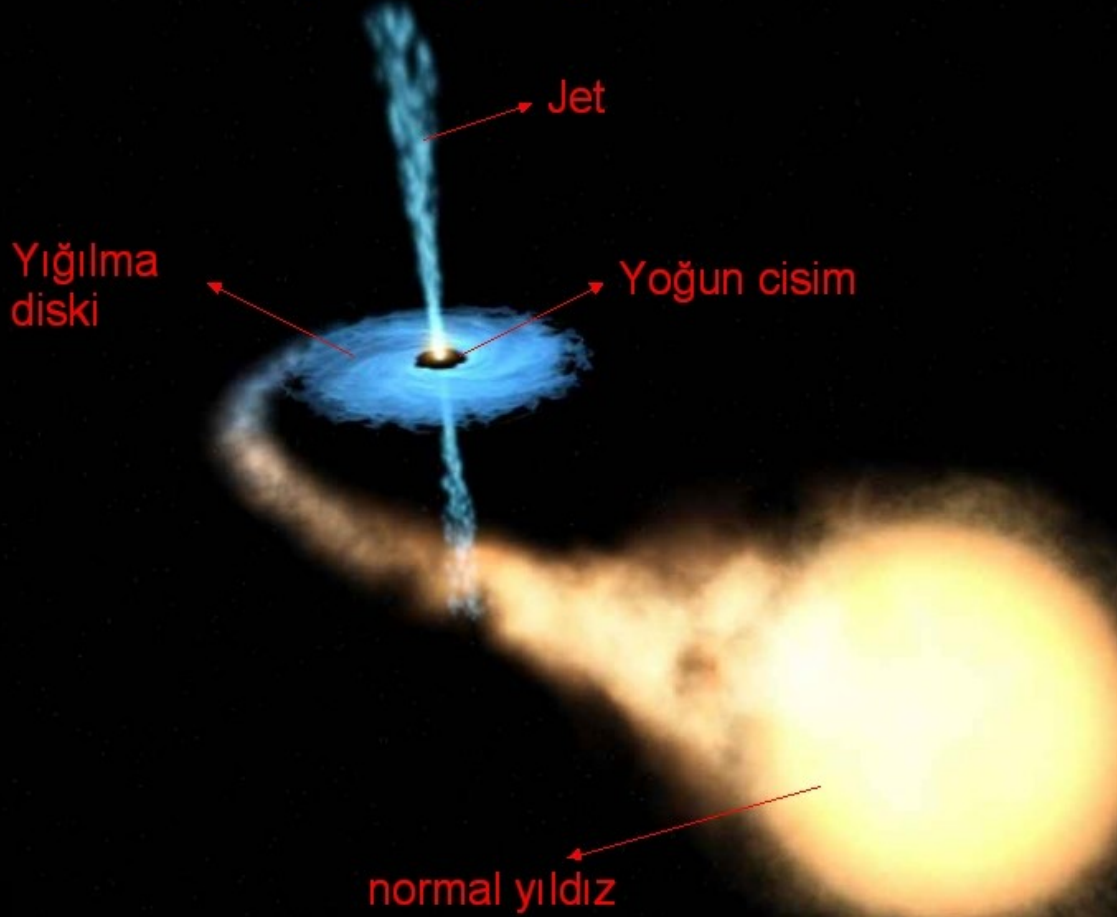
- Daha ağır yıldızları hiçbir şey tutamaz ve süpernova sonrası kara delik haline gelirler.



Nasıl bulacağız?

- Yüzeyinde ışığın gelmediği tek 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 ışıma X ışınlarında olur.

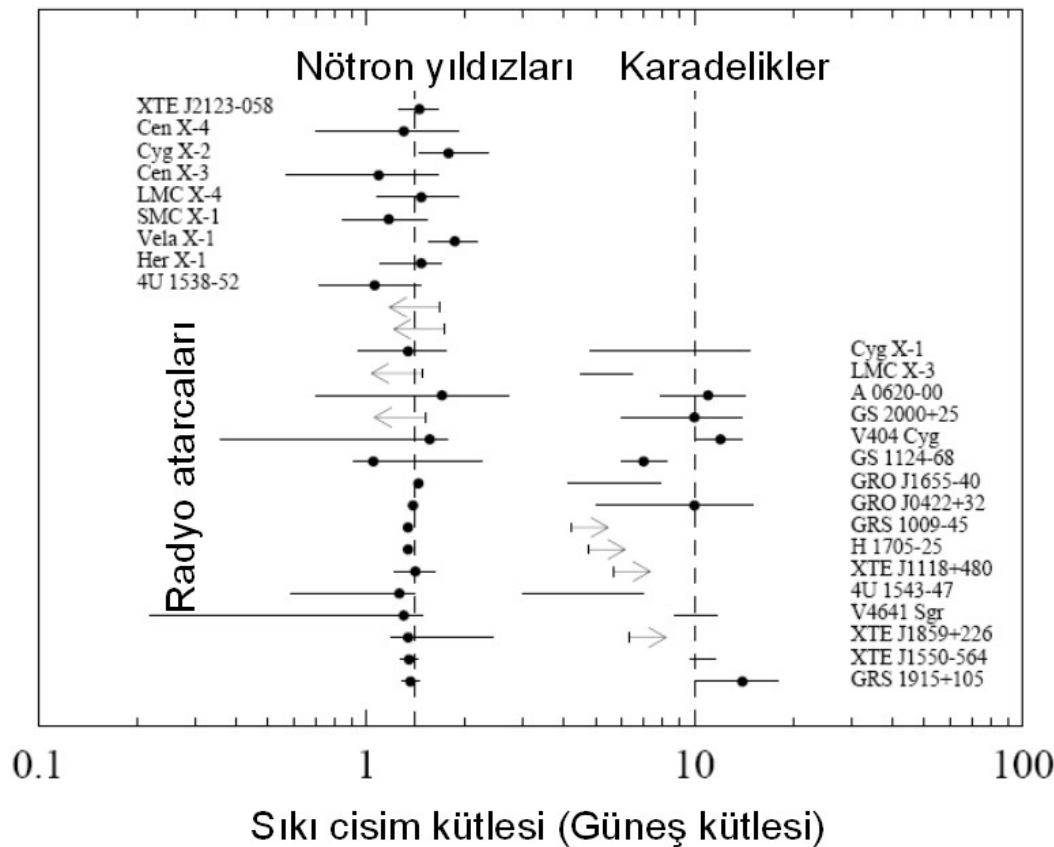
Kara delik çiftleri Gökada'mızı X-ışınlarında tarayarak ortaya çıkarılır.

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!**
 - Kütle ölçülemiyorsa:
 - Yüzey ışıınımı yok +
 - Periyodik ışıınım yok +
 - Nötron yıldızlarına özgü patlamalar yok +
 - Gama/radyo ışıınımı var → **kara delik adayı!**

Gökadamızda bilinen kara delikler



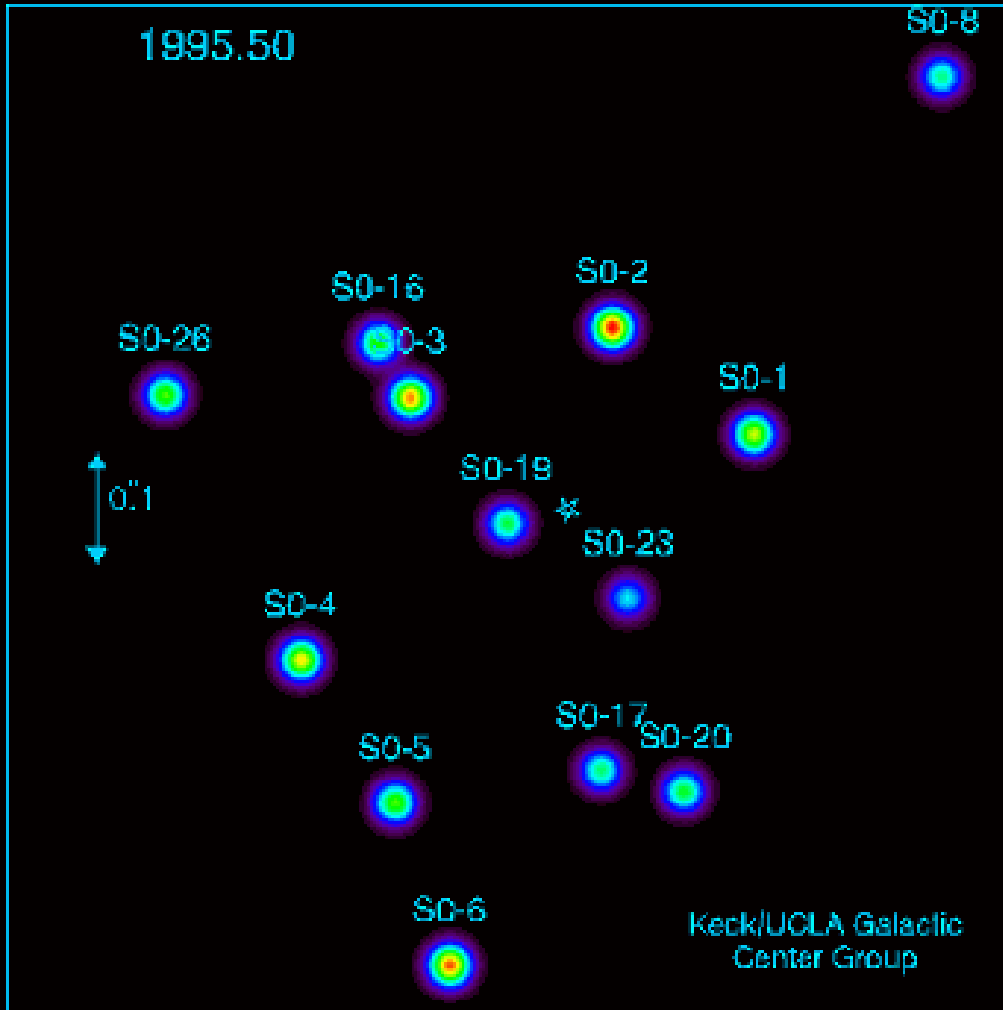
18 kütlesi bilinen
kara delik,

25 kütlesi
bilinmeyen
kara delik adayı
var.

Dev kara delikler

- Güneş kütleli kara delikler dışında bir de milyonlarca, hatta milyarlarca güneş kütleli kara delikler de, gene kütle çekimine bağlı çökme ile gökada merkezlerinde oluşuyorlar.
- Şu anki teoriler tüm gökada merkezlerinde dev kara delikler olduğunu destekliyor. Samanyolu'nda da var!

Samanyolu'nun merkezi



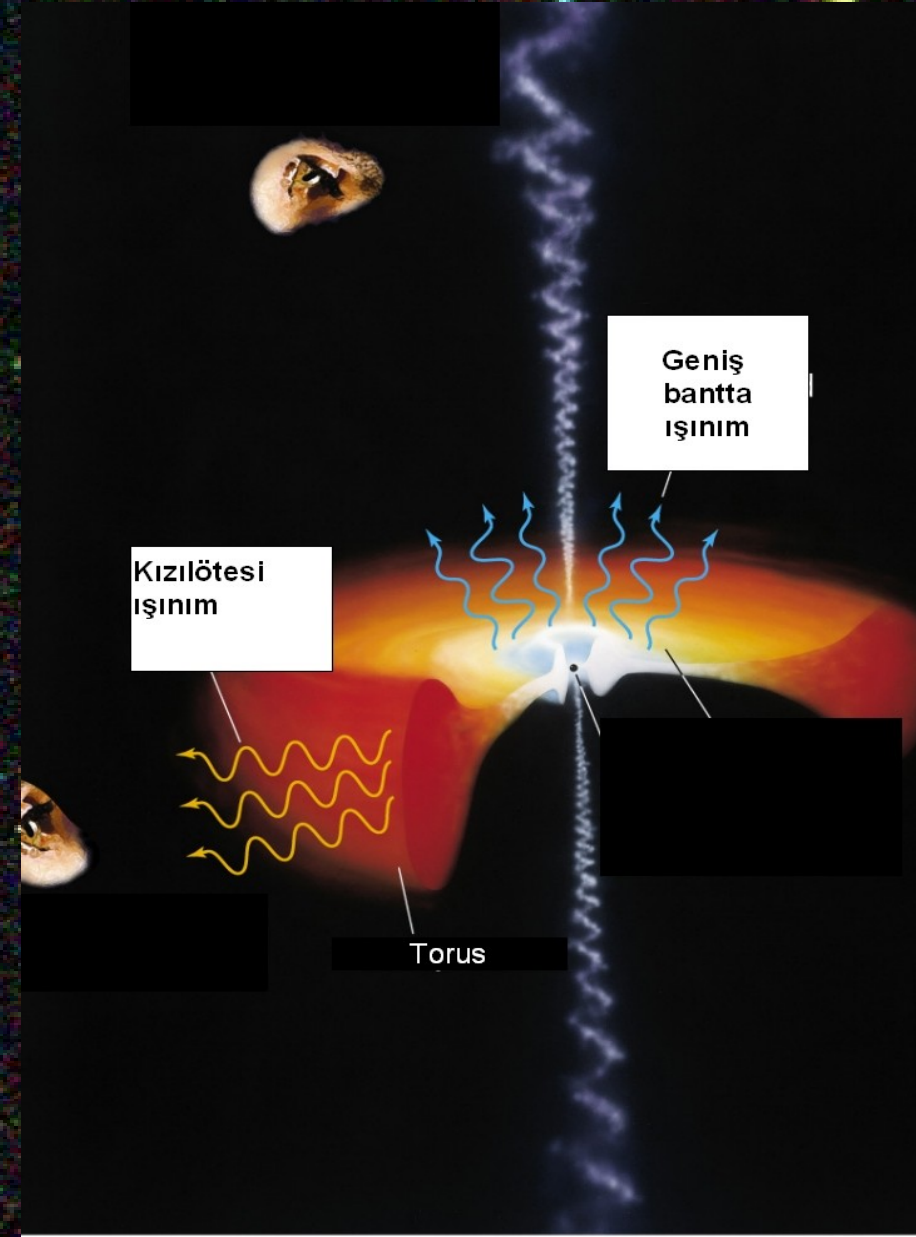
Kızılötesi ile yapılan gözlemler sonucu Gökada merkezindeki yıldızların 3 Milyon Güneş kütleli tek bir merkez etrafında döndüğü biliniyor!

Radyo gözlemleri sonucu o merkezin küçük olması gerektiği biliniyor:

KARA DELİK!

Etkin dev kara delikler

- Dev kara deliklere de madde akışı olabilir! O zaman bunlar X- ve kızılötesi bandında çok kuvvetli ışıma yaparlar ve etkin gökada merkezleri olarak adlandırılırlar.
- Optik teleskoplarla baktığımızda normal bir gökada görüntüsü seyrederken, radyo, X-ışını ve kızılötesi teleskoplarla bakıldığında çok değişik bir tablo sergilerler!



Cen A

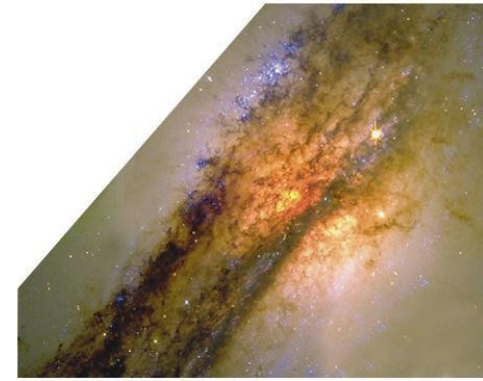
Optik (c),
X-ray (b)

Optik+ X-ışını + radyo (a)

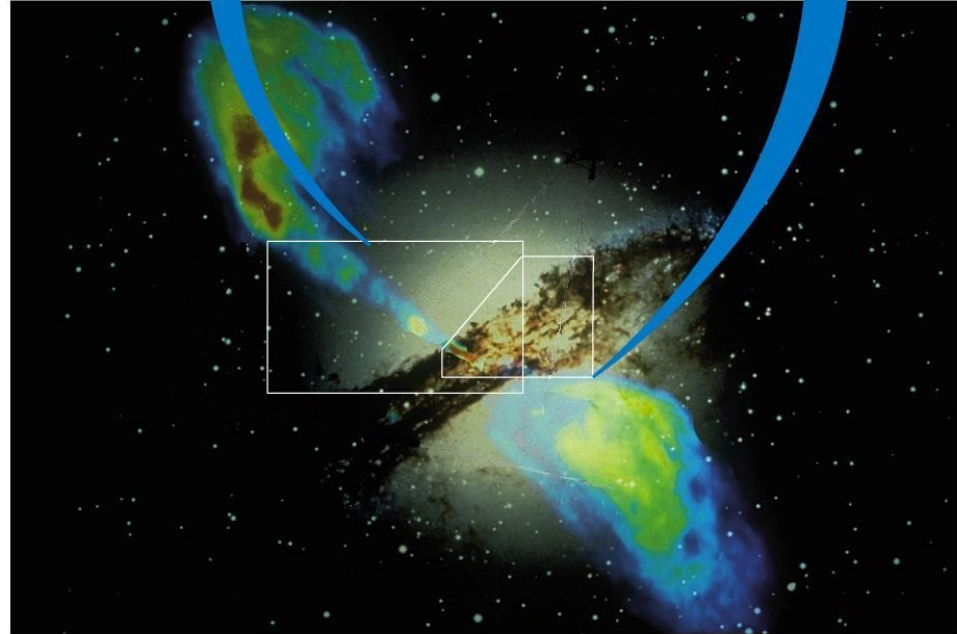
JET!!!



(b)

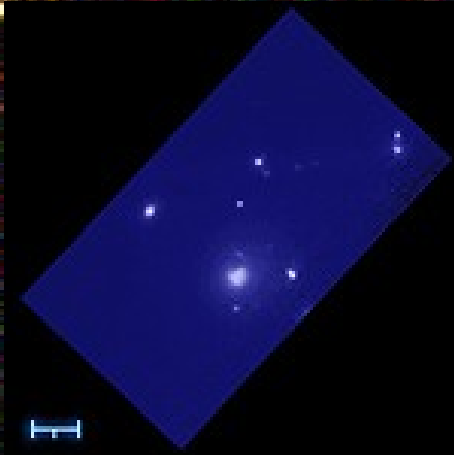


(c)

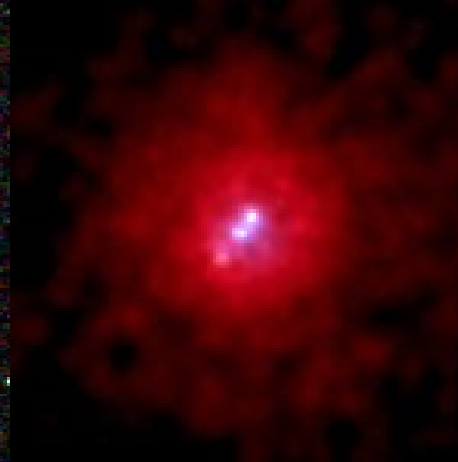


(a)

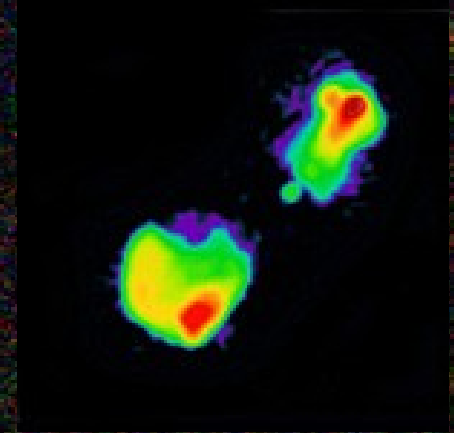
Yine bir etkin gökada merkezi 3C 295



Optik



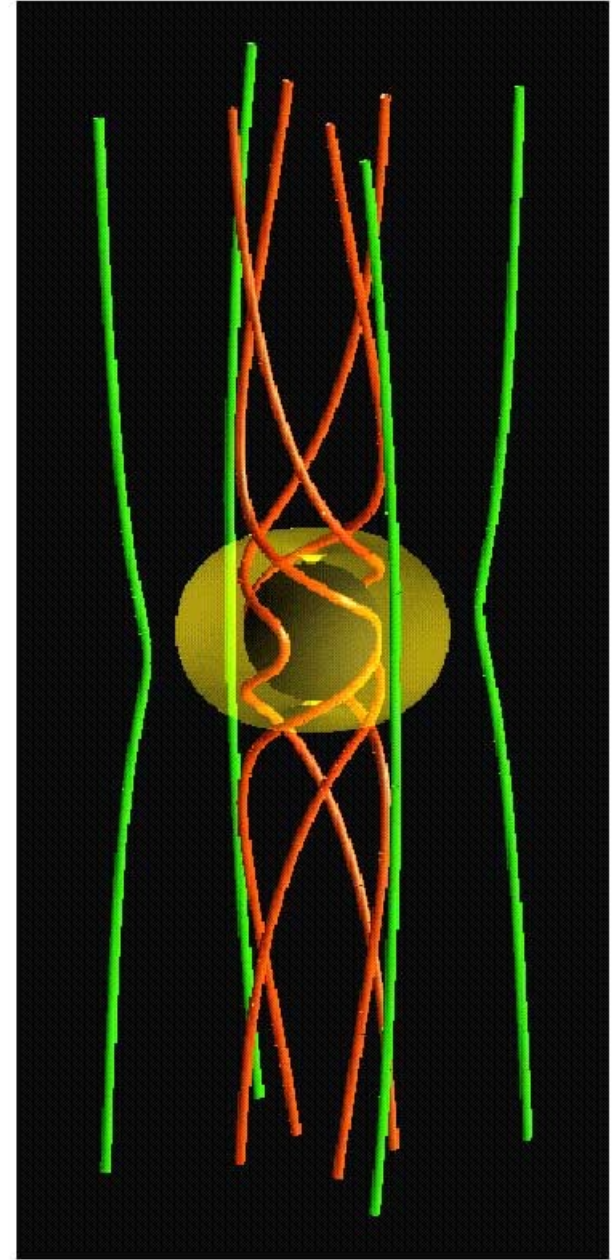
X-ışını



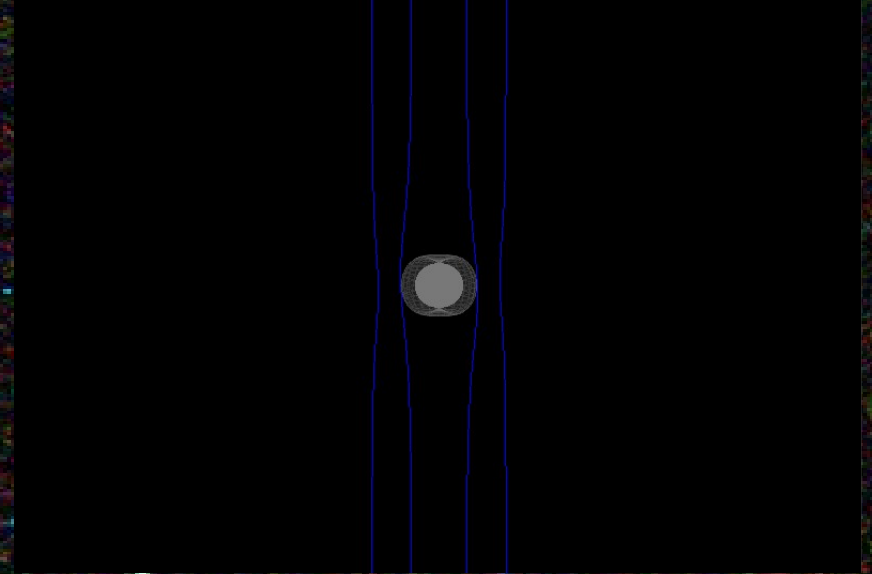
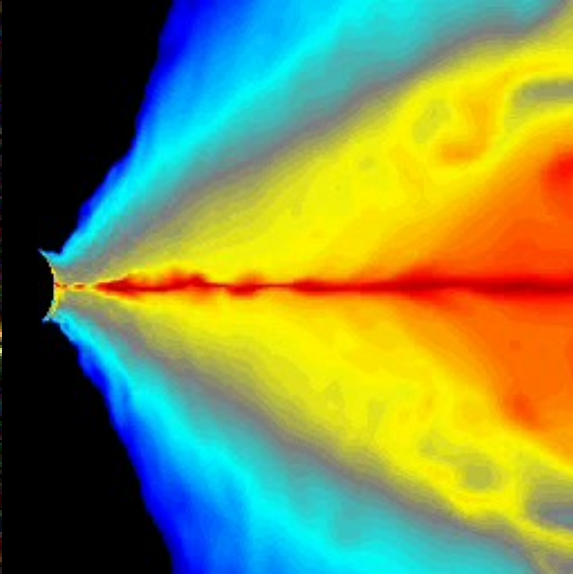
radyo

JETLER!

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



JET modellemesi



Kara delikler bizi yer mi?

- Dev kara deliklerin ışıması için maddenin oraya akması gerekiyor.
 - Ne kadar madde gerekiyor?
 - Az! 1 milyar güneş kütleli tipik bir gökada merkezinin görünür parlaklığı için 10 senede 1 güneş kütlesi maddeyi yutması yeterli. Bu da kara deliklerim çok yavaş büyüdüğünü gösteriyor.
 - Nasıl beslenirler?
 - Gökada çarpışmalarıyla

Gökada çarpışmaları

T = 260 Myr



Kara deliğe yaklaşabilseydik ne olurdu?

Bir gemi kara deliğin olay ufkuna doğru yaklaşsın. Bir gözlemci de uzaktan gemiyi seyretsin ve gemiden gelen sinyali analiz etsin. Ne görürlerdi?

Geminin içindeki gözlemciye göre:

Dışarıdaki nesneler geminin hızına ve yönüne bağlı olarak kırmızıya ya da maviye kayabilirler.

Gemidekiler olay ufkundan geçerken özel bir şey hissetmezler (inanılmaz çekim kuvveti dışında!) ve dışarıyı seyredebilirler.

Gemiyi seyreden gözlemciye göre:

gemide zaman yavaşlar
gemi olay ufkuna yaklaştıkça yavaşlar ve sönükleşir. Gemiden gelen 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 incelenmektedir!
- Bilim adamlarına laboratuvarlarda oluşturulamayacak koşullar (kütleçekim, sıcaklık) sunarak ortaya atılan teorileri test etmemize yardımcı olurlar.