

# Astrofiziksel Kara Delikler



Kadri Yakut  
08.03.2012

# TEŞEKKÜR

## Lisans

- Kara Delikler → Eser İş (2009-2010)
- Büyük Kütleli Kara Delikler → Birses Debir (2010-2011)
- Astrofiziksel Kara Deliklerin Kütlelerinin Belirlenmesi → Orhan Erece (2010-2011)
- Gravitasyonel Dalgalar ile Evrenin İncelenmesi → Damla Şahin, Nihal Karaaslan, Nihan Şafakyıldızı (2011-2012)

## Yüksek Lisans

- Kara Delikler ve Nötron Yıldızların Birleşmesi → Ersin Tokbay (2010-2012)
- Kara Deliklerde Enerji Taşınımı → İsmail Özbakır (2011-2013)

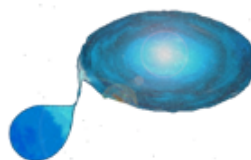
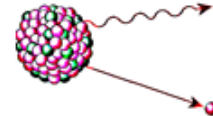
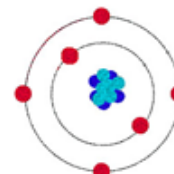

## Doktora

- Çok Büyük Kütleli Yıldızların Evrimi → Bülent Yaşarsoy (2009-2012)
- Gravitasyonel Dalga Kaynakları Olarak Çift Sistemler → Oğuzhan Köse (2009-2013)

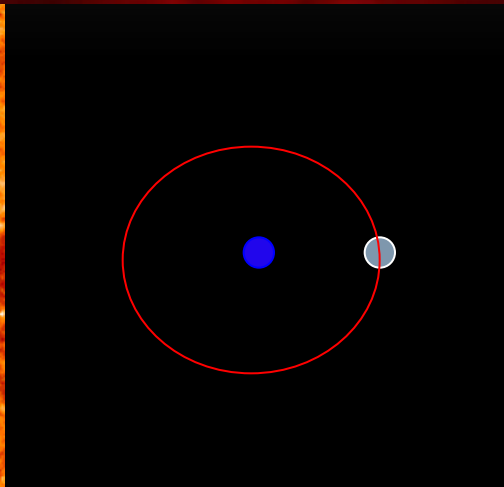
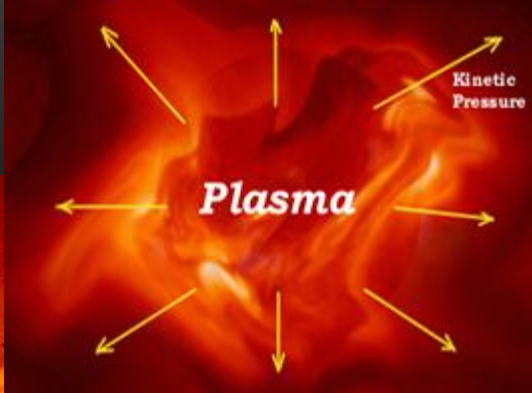
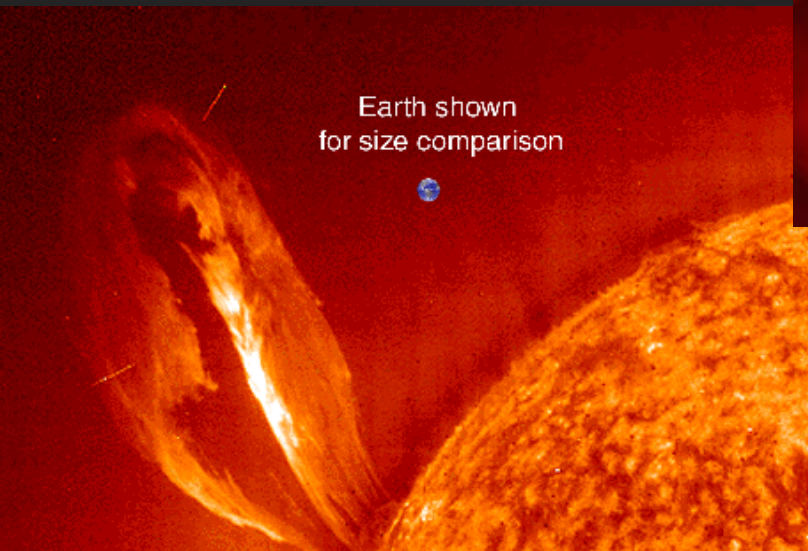
# KARA DELİK ? → YÜKSEK ENERJİLİ FİZİKSEL SÜREÇLER

- Madde?
- Doğanın temel fizik yasaları ve temel parçacıklar
- Çok büyük kütleli yıldızların evrimi
- Çok yoğun gök cisimleri
- Yoğun çift sistemlerin birleşmesi
- X-ışın çift sistemleri, diskli sistemler
- Galaksiler, galaksi merkezleri, kuasar, jetler
- GRB !
- Termodinamik, GR, KF+KAT, String,
- ...

# DOĞADAKİ TEMEL ETKİLEŞİMLER (KUVVETLER)

Etkileşim türü	Çekim	Zayıf	Elektromanvetik	Güçlü
Etkili olduğu alanlar	kütlesi olan nesnelere arasındaki etkilidir	Kuarklarda, leptonlarda, parçacık saçılmalarında	elektrik yüklü parçacıklar arasında etkilidir	Kuarkları birlikte tutar, kuarklarda ve gluonlarda etkili
Görelî kuvvet değeri	$10^{-41}$ birim	$10^{-16}$ birim	$10^{-3}$ birim	1 birim
Etki aralığı	çok büyük uzaklıklara dek etkili (sonsuz)	çok kısa uzaklıklarda etkili (0.001 fermi)	çok büyük uzaklıklara dek etkili (sonsuz)	çok kısa uzaklıklarda etkili (2 fermi)
Kuvvet taşıyan parçacık	graviton	W ve Z bozonları	foton	gluon
Örnekler				

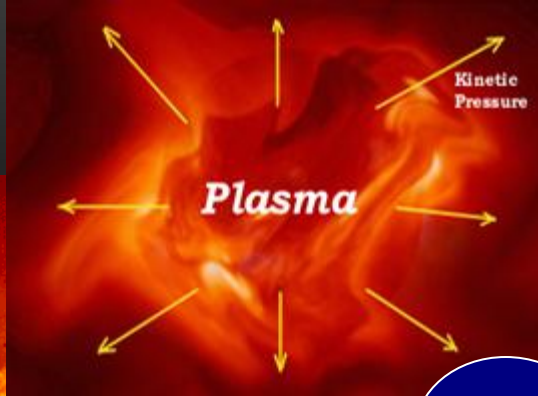
# M A D D E ?



# M A D D E ?

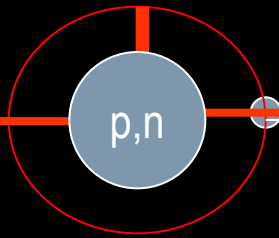


u,u,d

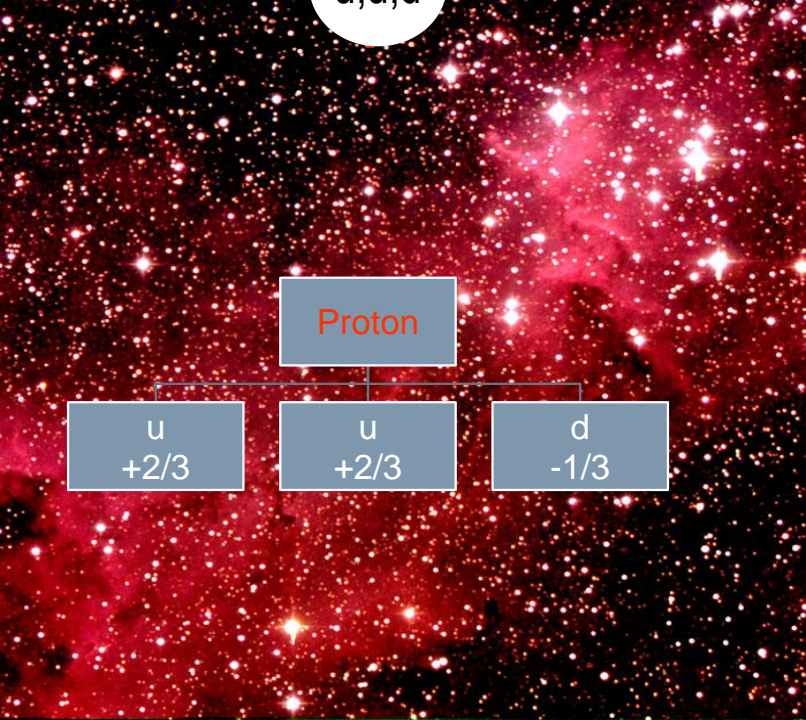


Fermionlar: e,p,n  
Bozonlar: foton, nötrino

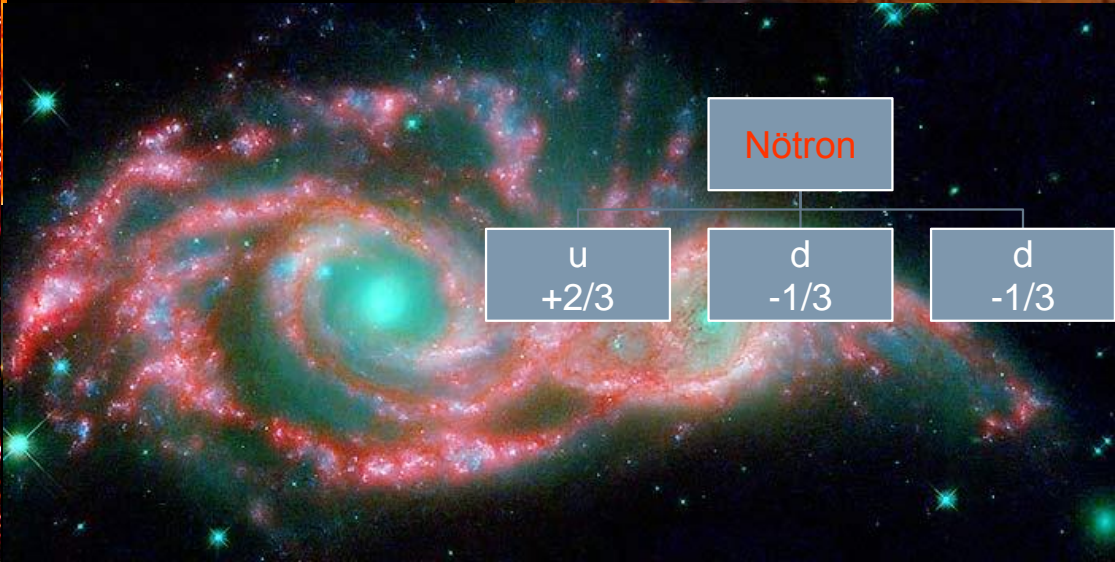
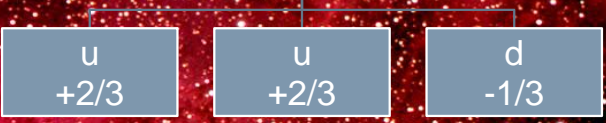
elektron



u,d,d



Proton



Nötron



# GÖZLENEN ELEMENTLER....

Yıldız merkezinde oluşan birçok element (Karbon, Oksijen, ....) daha sonra yıldız ölümü(!) ile yıldızlararası ortama bırakılır/atılır.

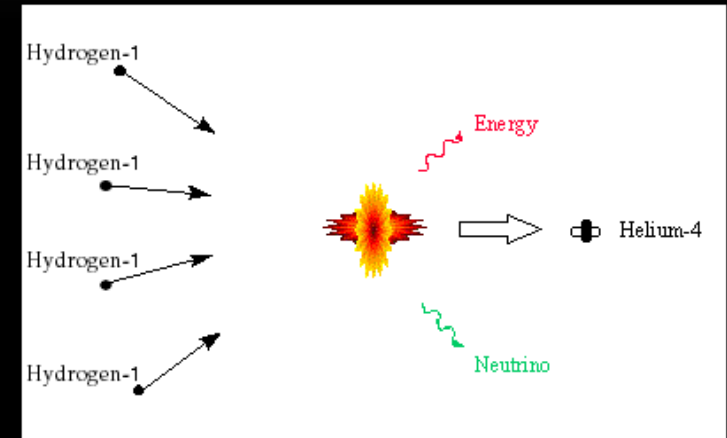
4 Hidrojen  $\rightarrow$  Helyum + ...

Karbon + Karbon  $\rightarrow$  Magnezyum + ...

Karbon + Karbon  $\rightarrow$  Oksijen + 2 Helyum

Oksijen + Oksijen  $\rightarrow$  Silisyum + Helyum

Silisyum + ...  $\rightarrow$  Demir + ...



**Not:** Tepkimeler farklı yıldız kütlelerinde farklı biçimde olur.

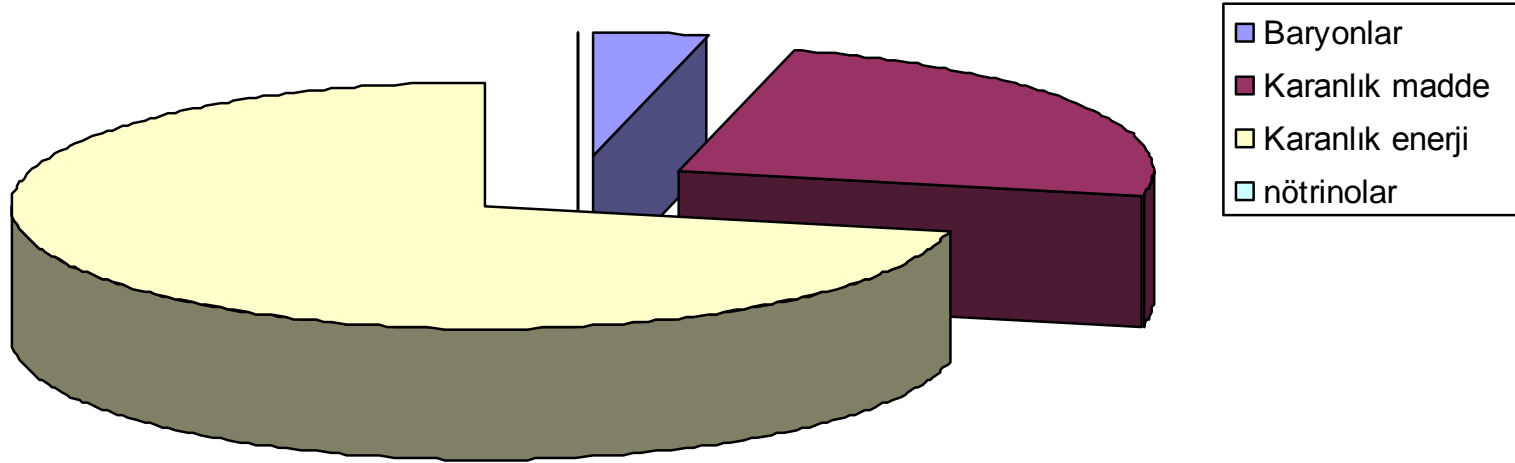
# Yeni gözlemlerin ışığında evrenin kütlece dağılımı

Baryonlar ~ % 4

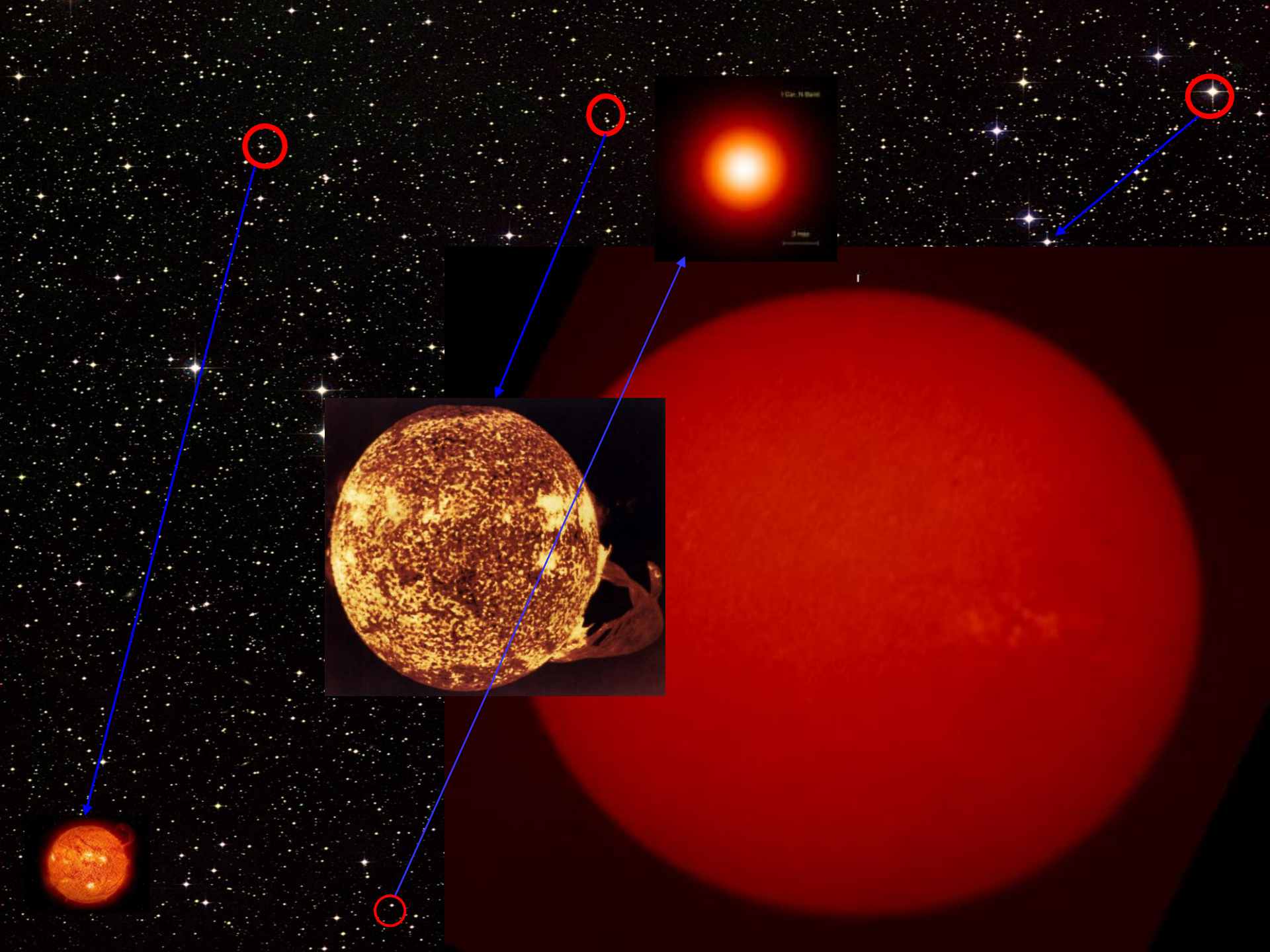
Karanlık madde ~% 23

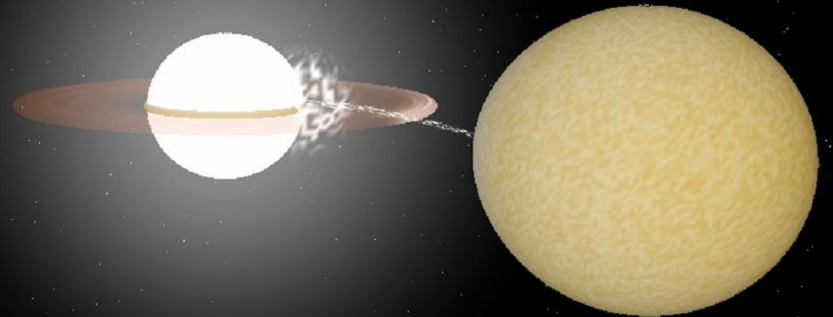
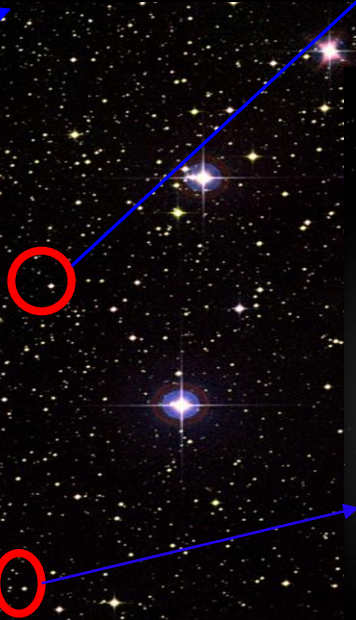
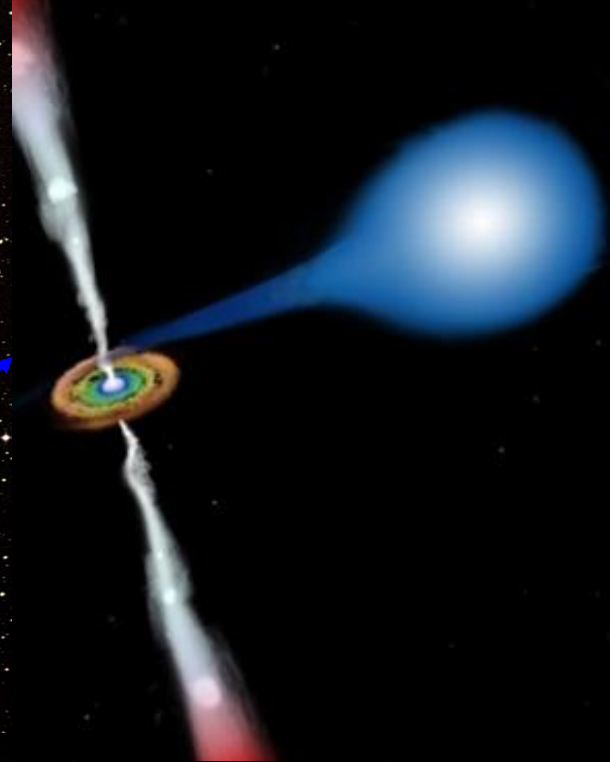
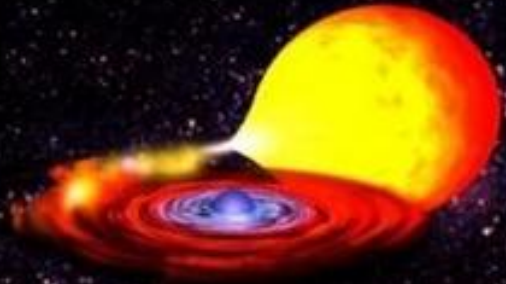
Karanlık enerji ~ % 73

Nötrinolar (kütleli) ~ % 0.1

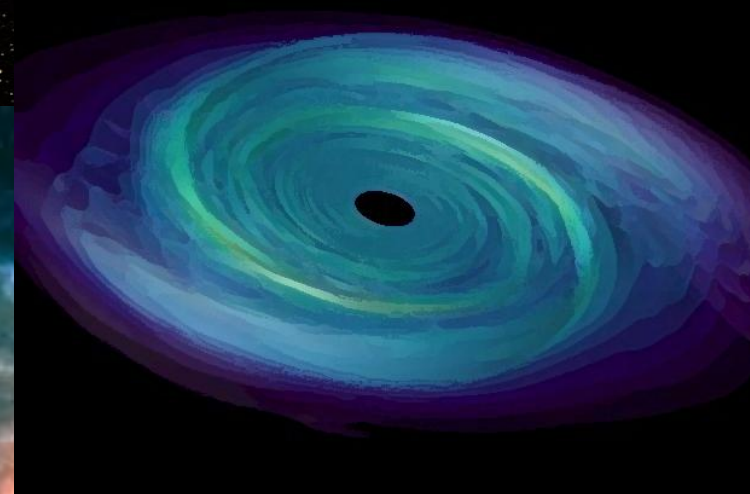
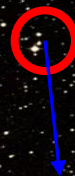








© Mark A. Garlick / space-art.co.uk



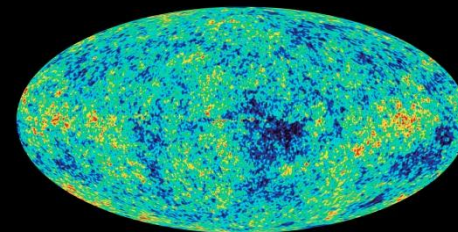
Gezegeler, uydular, ...

Yıldız kümeleri, yıldızlar,  
yıldızlararası ortam, ölü yıldızlar,

Galaksiler

Galaksi kümeleri

Süper galaksi kümeleri



Küçük kütleli yıldızlar



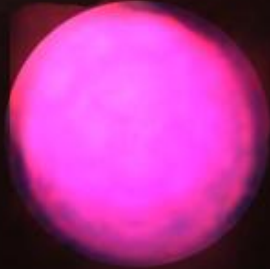
Beyaz cüce

Orta/Büyük  
kütleli yıldızlar



Nötron yıldızı

Büyük/Çok büyük  
kütleli yıldızlar

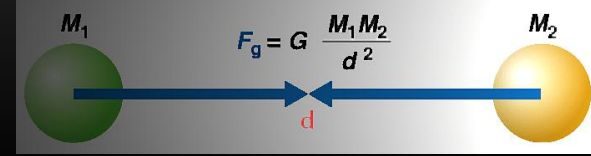


Karadelik

YILDIZLARIN EVRİMİ / SONU

# KARA DELİKLER: TARİHÇE (1)

- Evrensel çekim yasası tanımlanıyor → I. Newton (1687)



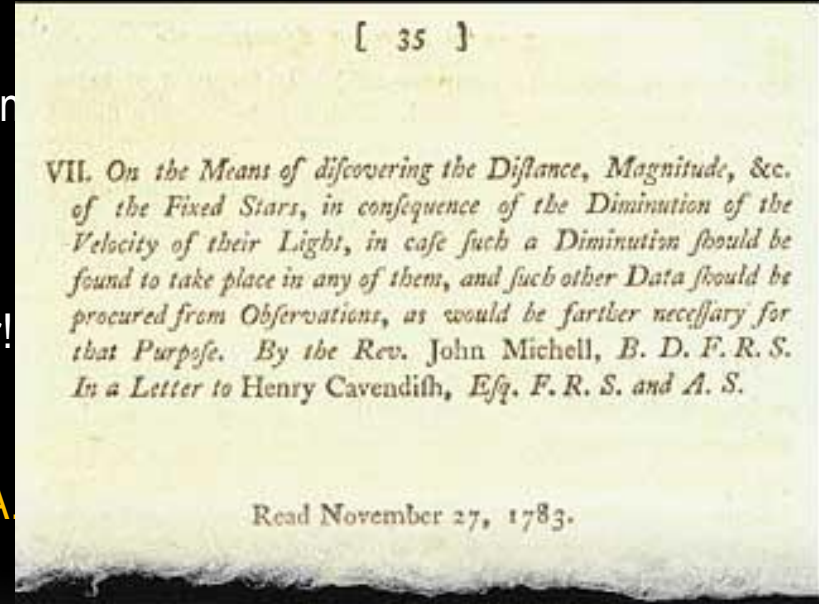
- Bazı objeler için ışık hızından daha hızlı kurtulma hızları olabilir? → J. Michell (1783-85)

- Kara deliklerin olabilirliği, büyük kütleli yıldızların olabileceği! → P. Laplace (1795-96)

- Madde hareketi (çekim) geometriyi değiştirebilir!

- Uzay-zaman eğriliği, genel görelilik kuramı → A. Einstein (1915)

- Genel görelilik kuramı kullanılarak kara deliklerin matematiksel olarak ifade edildi ve kara deliklerin yarıçapı tanımlandı → K. Schwarzschild (1915)



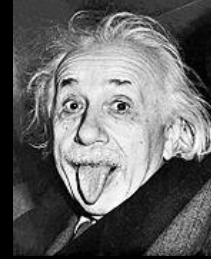
# KARA DELİKLER TARİHÇE (2)

- Küresel, yüklü dönmeyen kara delik modeli yapıldı → H. Reissner and G. Nordström (1918)
- Sıkışık gök cisimlerinden «Beyaz Cüce» modellendi ( $M \propto 1/R$ ) → S. Chandrasekhar (1931)
- Atomun etrafında dolanan elektronları yörüngeden koparırsak çok yoğun maddeler elde edebiliriz. Nötron yıldızları... → W. Baade & F. Zwicky (1934)
- Yıldızların çökmesi ile olabilecek ilk kuramsal kara delik modeli → R. Openheimer & H. Snyder (1939)
- Kara delik kavramı ilk kez kullanıldı → J. Wheeler (1964)
- İlk nötron yıldızı gözlemlendi → J. Bell (1964)
- Kara delik modeli geliştirildi → S. Hawking (1970)
- Kara deliklere ilişkin dört yasa (0,1,2,3) → J. Bardeen, B. Carter, ve S. Hawking (1972)
- Kara deliklerin termodinamiği → J. Bekenstein (1972)
- İlk kara delik adayı gözlemlendi: Cygnus X – 1 → (1970), .....



# ÇEKİM'İN KISA TARİHİ

- .... → Aristoteles fiziği → Newton fiziği (N) → Einstein fiziği (M) → Sicim (SG) → ....



Çekim ve kuantum fiziği ayrı ayrı oldukça başarılı açıklamalarda bulunmuşlardır.

**Çok büyük ölçekler + çok küçük ölçekler :**

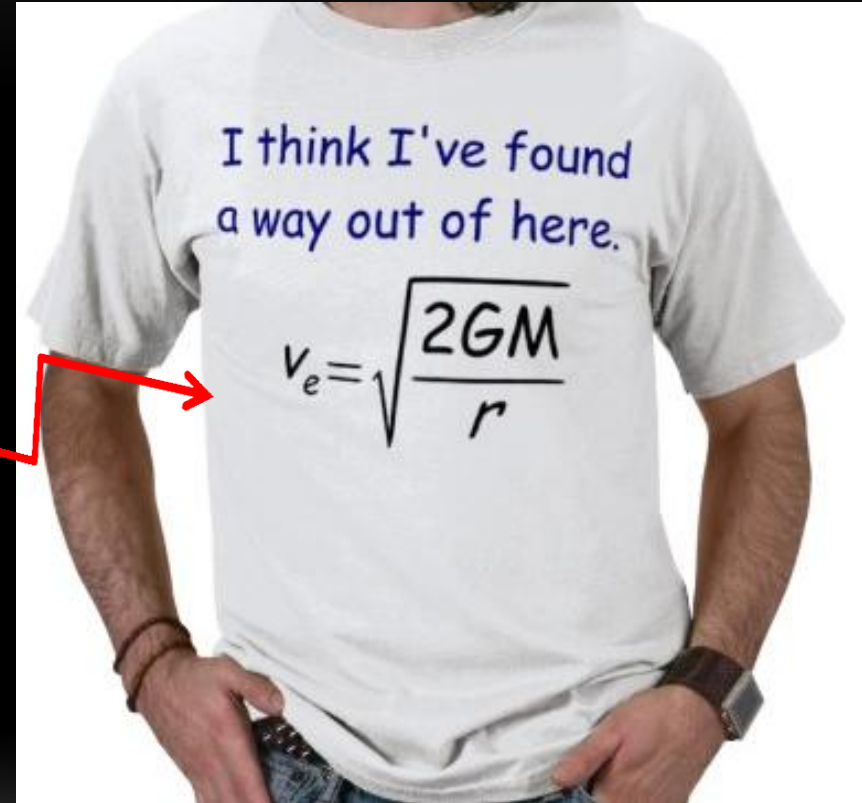
Genel görelilik ve kuantum kuramı aynı anda doğru değil !!!

String → Süperstring kuramı → TOE



# NEWTON MEKANİĞİ -- KURTULMA HIZI

$$F = \frac{GmM}{r^2}$$



- **Yer** → ~ 11 km/s
- **Ay** → ~ 2.4 km/s
- **Bir yıldız (Güneş)** → ~ 618 km/s
- **Beyaz cüce** → ~ 5500 km/s
- **Nötron yıldızı** → ~ 110.000 km/s
- **Kara delik** → ~ 299.792 km/s

# CİN ALİ'NİN TOP/FOTON DENEYİ

$$\rho \sim 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

Bir yıldız



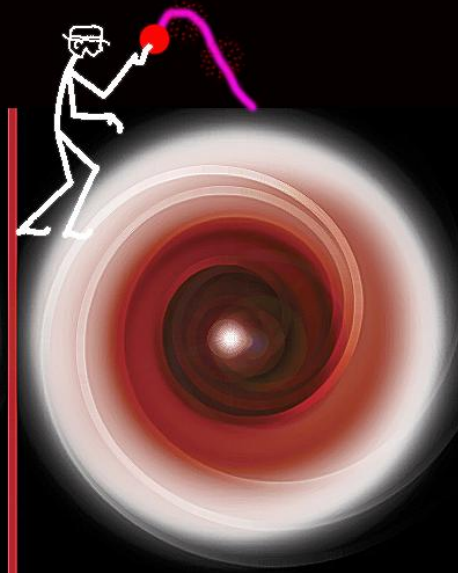
$$\rho \sim 10^9 \text{ kg m}^{-3}$$

Beyaz cüce



$$\rho \sim 10^{17} \text{ kg m}^{-3}$$

Nötron yıldızı



$$\rho \sim 10^{19} \text{ kg m}^{-3} !!$$

Kara delik

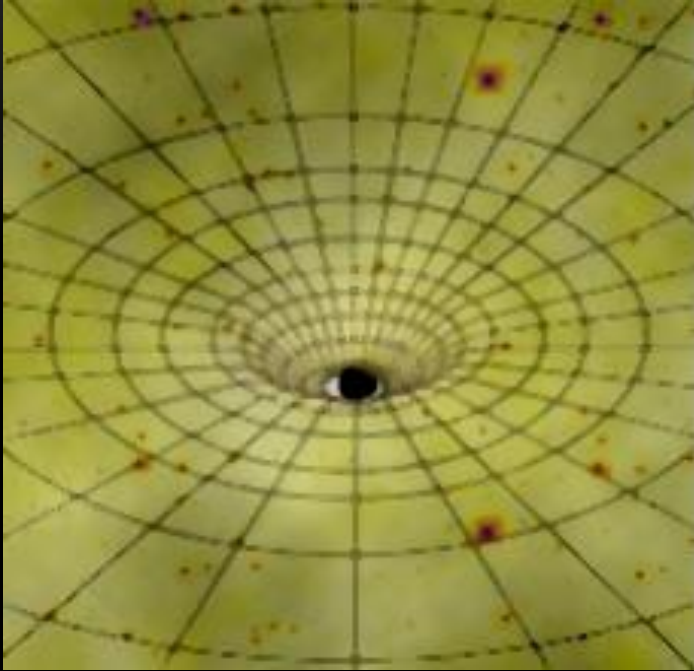


# KARA DELİK NEDİR ?

→ HİÇ KİMSE KARA DELİK GÖR(E)MEMİŞTİR

- Çok büyük kütleli bir yıldızın çökmesi sonucu arda kalan *çok çok büyük* çekim alanına sahip **bir cisim**dir. Çekim, ışığı tuzaklayacak derecede büyüktür...
- Genel görelilik kuramındaki bir **matematiksel çözümdür**. Bu çözümdede uzay-zamanın çok eğrili ve ışığın salınmadığı bir çözümdür. Kara delik bir **denklemdir**.
- Kara delik, çok güçlü çekimin hakim olduğu bir **uzay bölgesi**.
- Kara delikler evren ile **iletişim kurmayan objelerdir (!)**.

# KARA DELİKLERİN GEOMETRİSİ (M, Q, J)

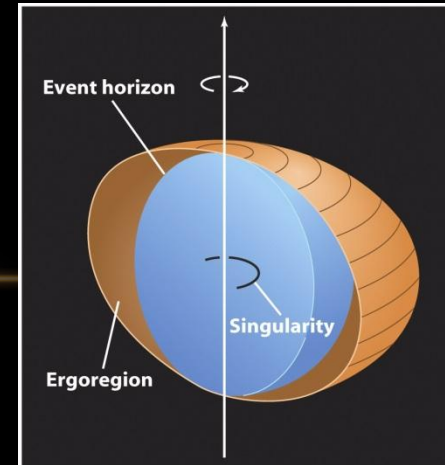


Foton küre  
Olay ufku  
Tekillik

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) dt^2 + \frac{dr^2}{1 - \frac{2GM}{c^2 r}} + r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

$$R = \frac{2GM}{c^2}$$

$$R_{\text{karadelik}} \sim 3 M \text{ (km)}$$



# KARA DELİK TÜRLERİ (M)

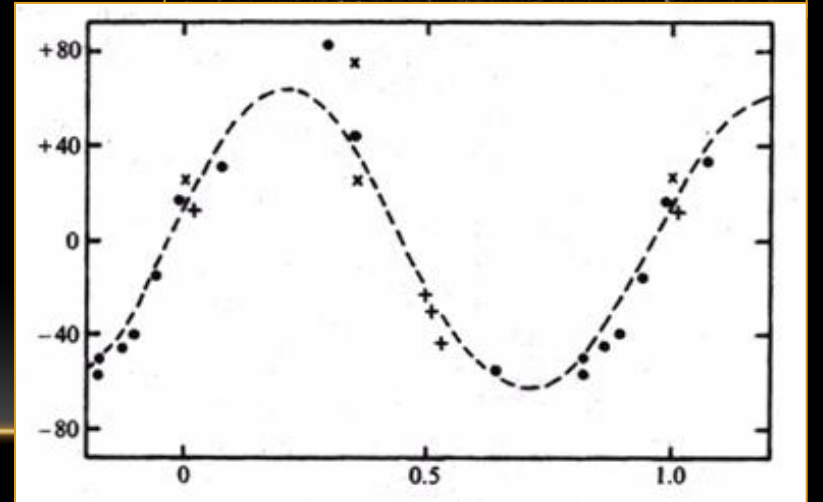
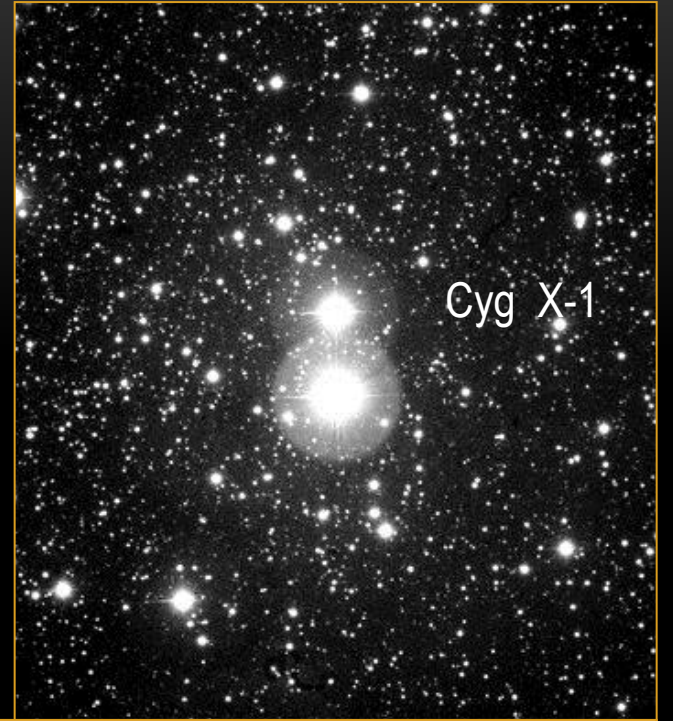
- İlkel (!) kara delikler
- Yıldız kütleli kara delikler
- Orta kütleli kara delikler
- Çok büyük kütleli kara delikler
- Mikro kara delikler (!)

# KARA DELİK TÜRLERİ (M)

- İlkel (!) kara delikler
- Yıldız kütleli kara delikler
- Orta kütleli kara delikler
- Çok büyük kütleli kara delikler

# KARA DELİK TÜRLERİ (M)

- İlkel (!) kara delikler
- Yıldız kütleli kara delikler
- Orta kütleli kara delikler
- Çok büyük kütleli kara delikler



# KARA DELİK TÜRLERİ (M)

- İlkel (!) kara delikler
- Yıldız kütleli kara delikler
- Orta kütleli kara delikler
- Çok büyük kütleli kara delikler

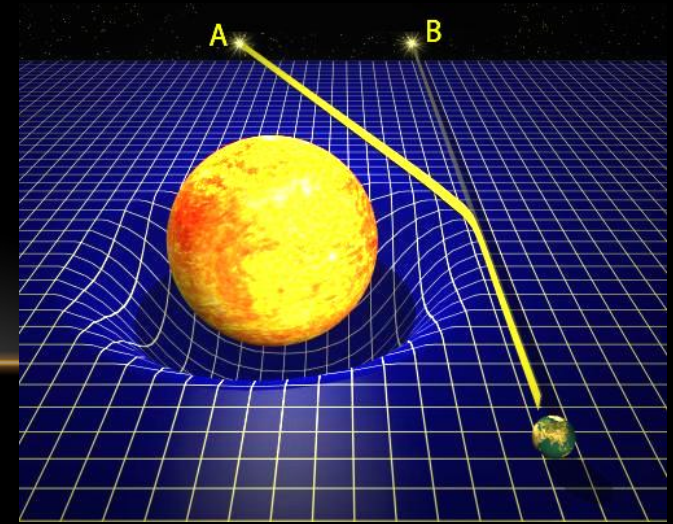
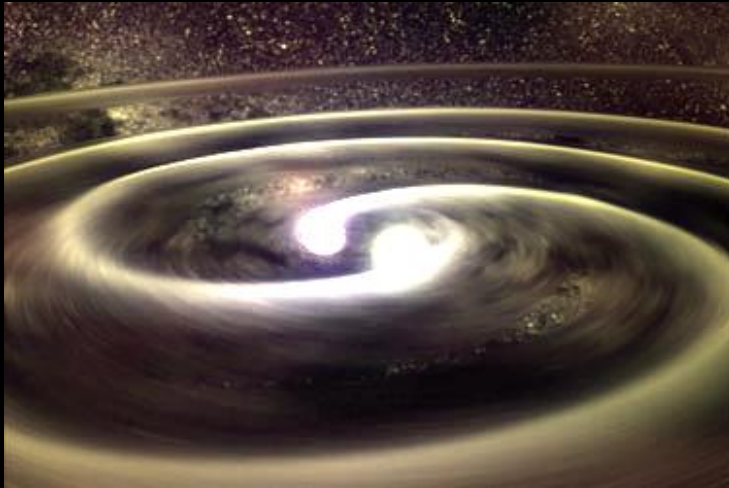
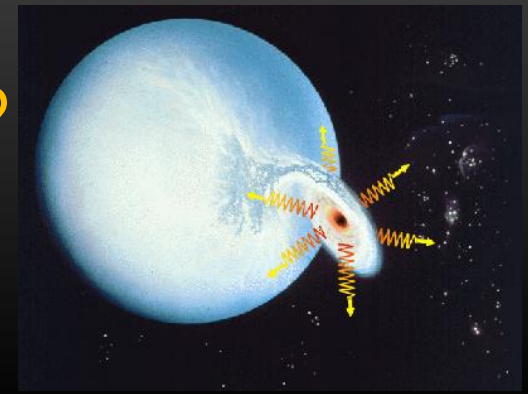


# KARA DELİK TÜRLERİ (M)

- İlkel (!) kara delikler
- Yıldız kütleli kara delikler
- Orta kütleli kara delikler
- Çok büyük kütleli kara delikler

# KARA DELİKLER NASIL TESPİT EDİLİR?

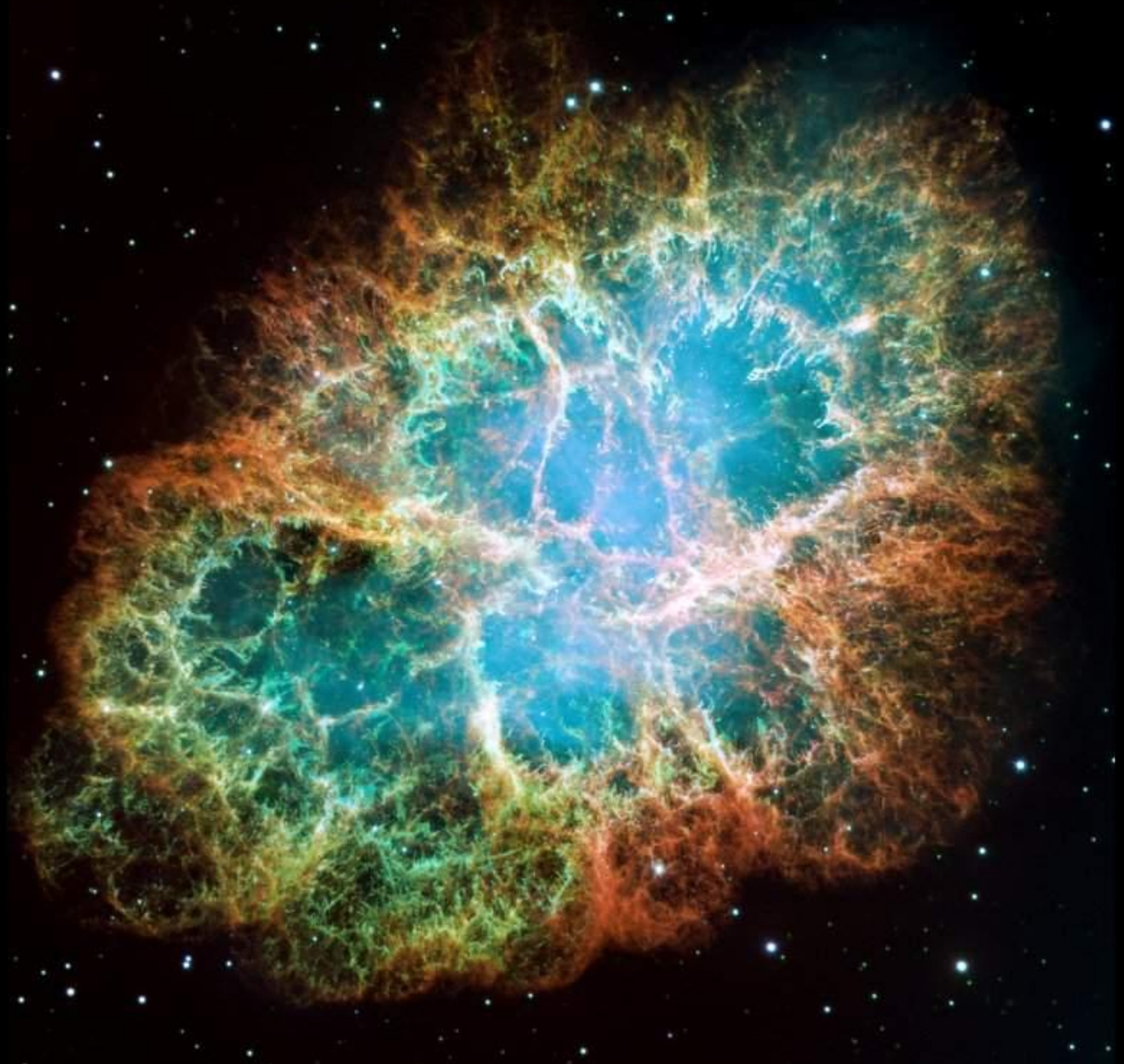
- X-ışın gözlemleri
- Yörünge hareketi ile görünmeyen nesnelerin özelliklerini belirleme
- Çekimsel merceklenme
- GW
- ...



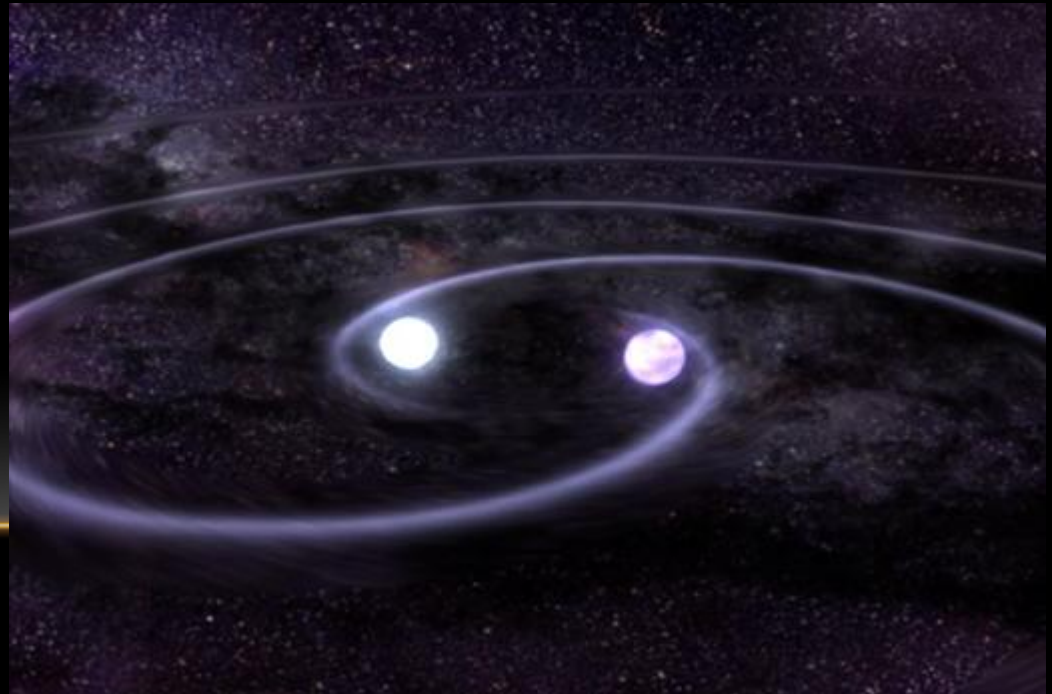
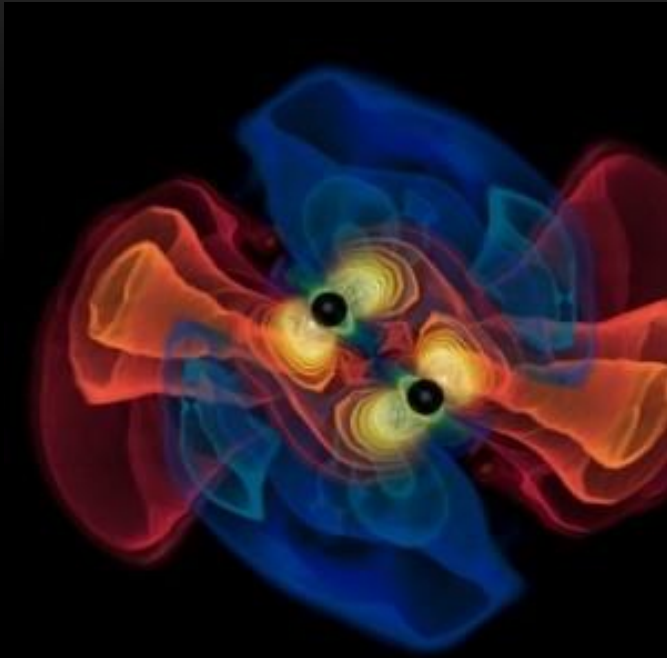
KARADELİKLERİN

DOĞUMU









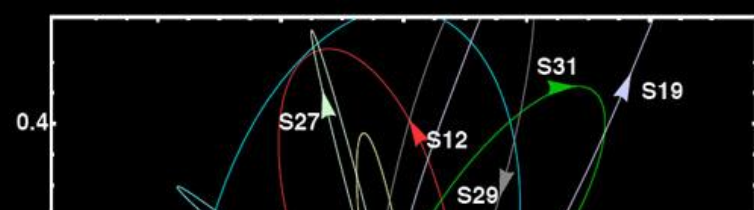
# SAMANYOLU : GÖRSEL





# SAMANYOLU : X-IŞIN





## MEASURING DISTANCE AND PROPERTIES OF THE MILKY WAY'S CENTRAL SUPERMASSIVE BLACK HOLE WITH STELLAR ORBITS

A. M. GHEZ,<sup>1,2</sup> S. SALIM,<sup>1,3</sup> N. N. WEINBERG,<sup>4,5</sup> J. R. LU,<sup>1</sup> T. DO,<sup>1</sup> J. K. DUNN,<sup>1</sup> K. MATTHEWS,<sup>4</sup> M. R. MORRIS,<sup>1</sup>  
S. YELDA,<sup>1</sup> E. E. BECKLIN,<sup>1</sup> T. KREMENEK,<sup>1</sup> M. MILOSAVLJEVIC,<sup>6</sup> AND J. NAIMAN<sup>1,7</sup>

*Received 2008 June 17; accepted 2008 August 20*

### ABSTRACT

We report new precision measurements of the properties of our Galaxy's supermassive black hole. Based on astrometric (1995–2007) and radial velocity (RV; 2000–2007) measurements from the W. M. Keck 10 m telescopes, a fully unconstrained Keplerian orbit for the short-period star S0-2 provides values for the distance ( $R_0$ ) of  $8.0 \pm 0.6$  kpc, the enclosed mass ( $M_{\text{bh}}$ ) of  $4.1 \pm 0.6 \times 10^6 M_\odot$ , and the black hole's RV, which is consistent with zero with  $30 \text{ km s}^{-1}$  uncertainty. If the black hole is assumed to be at rest with respect to the Galaxy (e.g., has no massive companion to induce motion), we can further constrain the fit, obtaining  $R_0 = 8.4 \pm 0.4$  kpc and  $M_{\text{bh}} = 4.5 \pm 0.4 \times 10^6 M_\odot$ . More complex models constrain the extended dark mass distribution to be less than  $3\text{--}4 \times 10^5 M_\odot$  within  $0.01 \text{ pc}$ ,  $\sim 100$  times higher than predictions from stellar and stellar remnant models. For all models, we identify transient astrometric shifts from source confusion (up to 5 times the astrometric error) and the assumptions regarding the black hole's radial motion as previously unrecognized limitations on orbital accuracy and the usefulness of fainter stars. Future astrometric and RV observations will remedy these effects. Our estimates of  $R_0$  and the Galaxy's local rotation speed, which it is derived from combining  $R_0$  with the apparent proper motion of Sgr A\*, ( $\theta_0 = 229 \pm 18 \text{ km s}^{-1}$ ), are compatible with measurements made using other methods. The increased black hole mass found in this study, compared to that determined using projected mass estimators, implies a longer period for the innermost stable orbit, longer resonant relaxation timescales for stars in the vicinity of the black hole and a better agreement with the  $M_{\text{bh}}\text{-}\sigma$  relation.

*Subject headings:* black hole physics — Galaxy: center — Galaxy: kinematics and dynamics — infrared: stars — techniques: high angular resolution

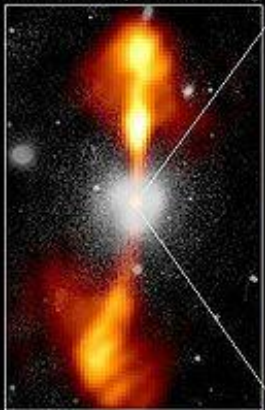
# NGC 4261

- Kara delik kütlesi:  $10^9$  Güneş kütlesi
- Diskin kütlesi  $10^5$  Güneş kütlesi

## Core of Galaxy NGC 4261

Hubble Space Telescope  
Wide Field / Planetary Camera

Ground-Based Optical/Radio Image

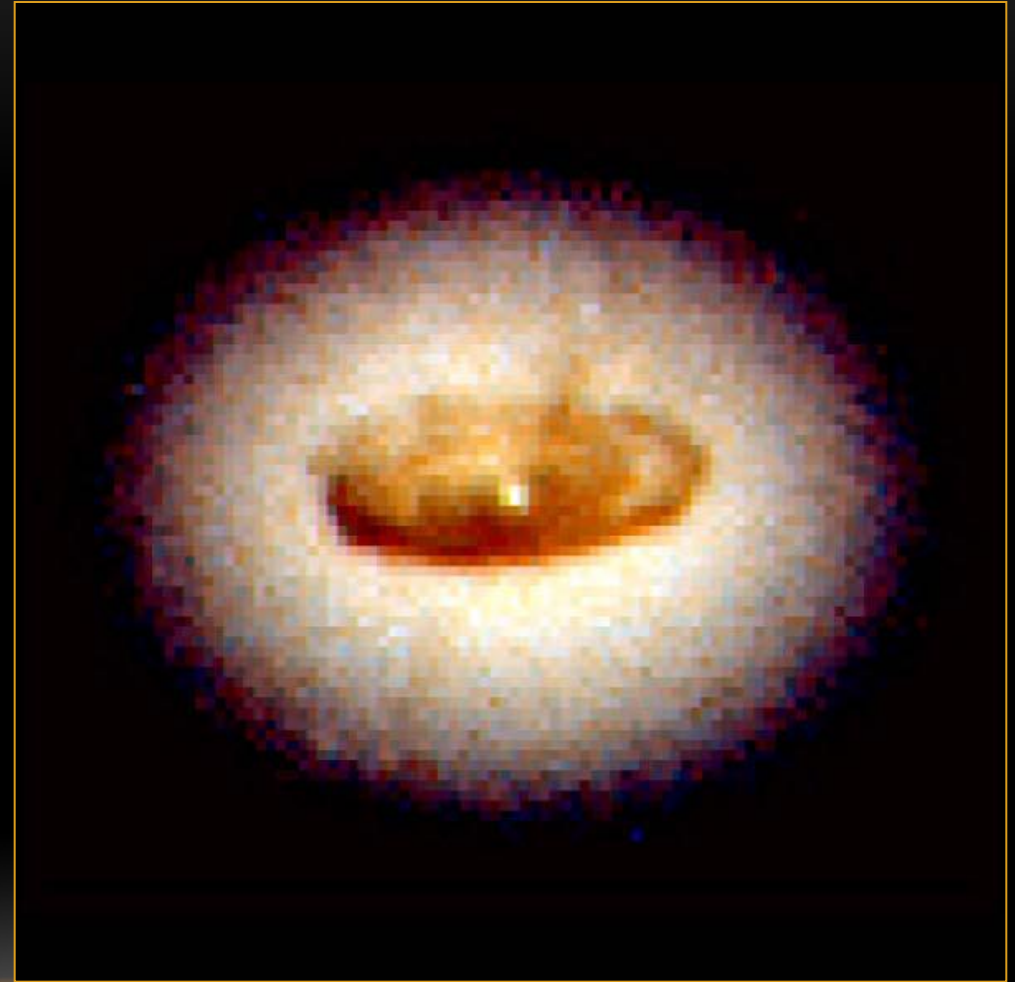


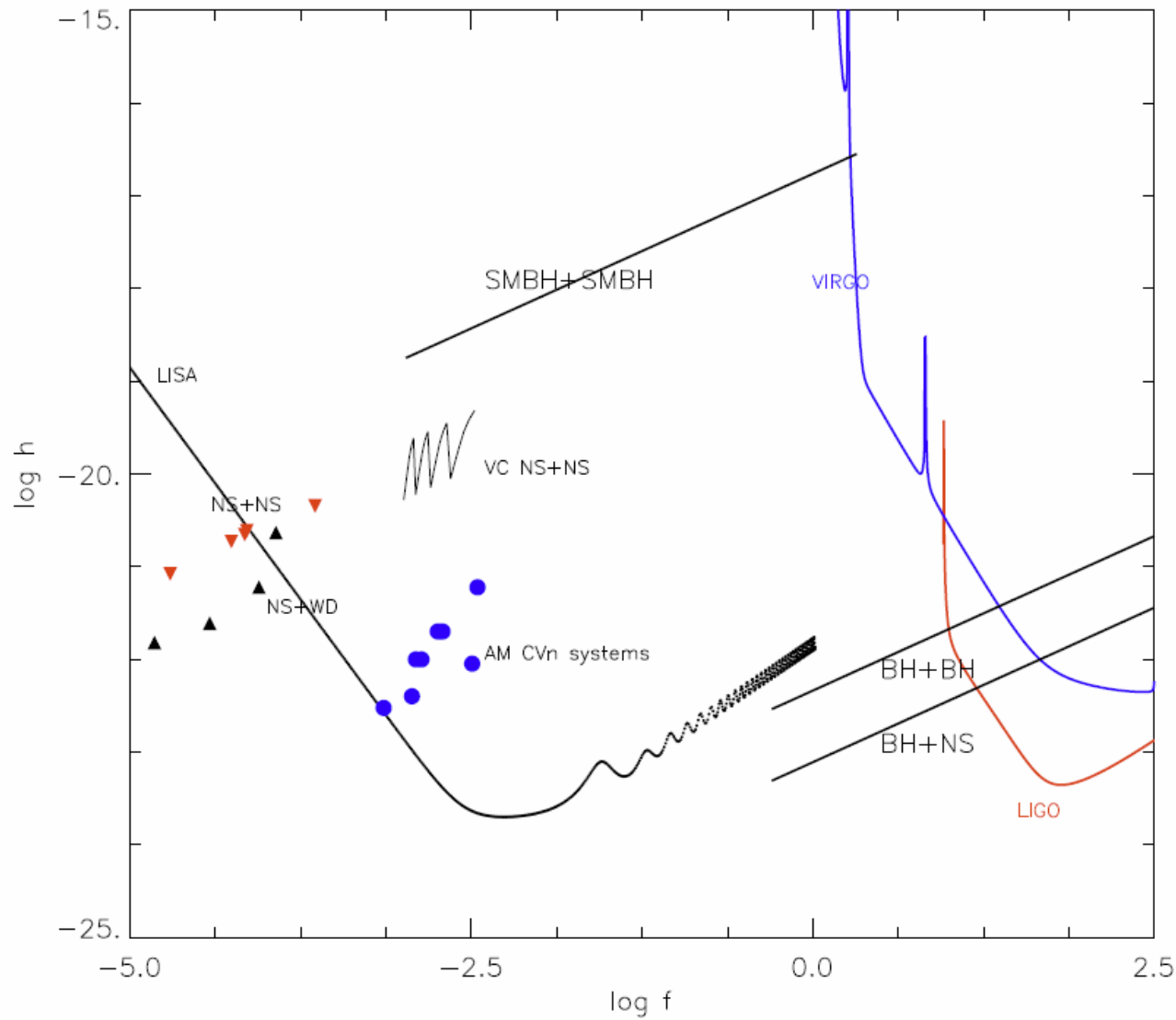
380 Arc Seconds  
88,000 LIGHTYEARS

HST Image of a Gas and Dust Disk



17 Arc Seconds  
400 LIGHTYEARS





**Figure 1.** Evolution of some binaries and sensitivities of ground based (LIGO, VIRGO) and space based (LISA) detectors in frequency ( $f$ ) vs. GW amplitude ( $h$ ) diagram.

# GALAKTİK MERKEZLİ KARA DELİKLEİN BİRLEŞMESİ

## Swift-detected Active Black Holes in Merging Galaxies



UGC 06527



NGC 7319



NGC 1142



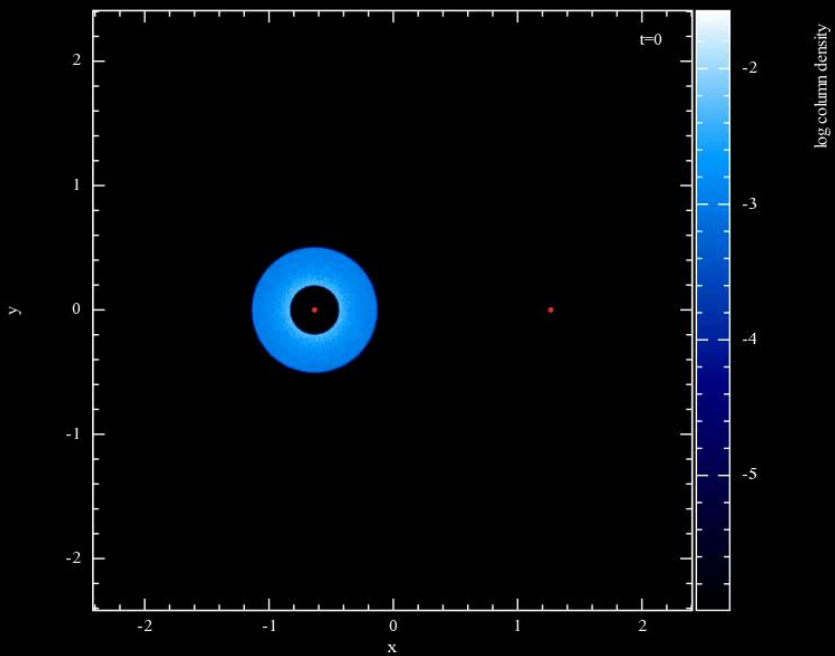
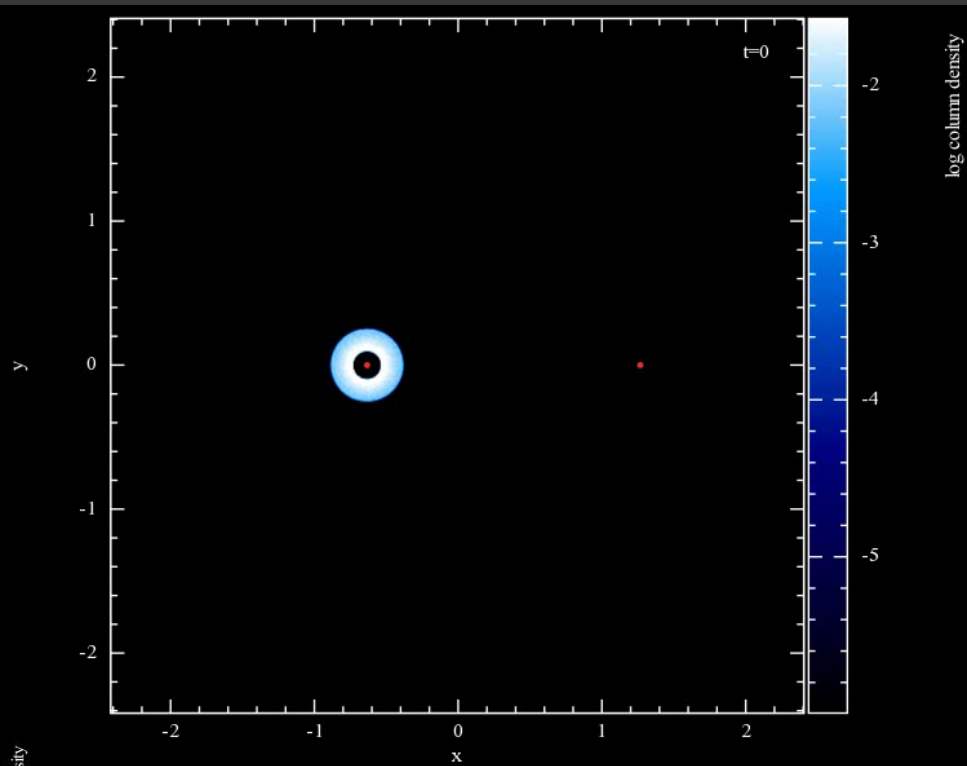
NGC 3227



MCG 0212050



NGC 2992



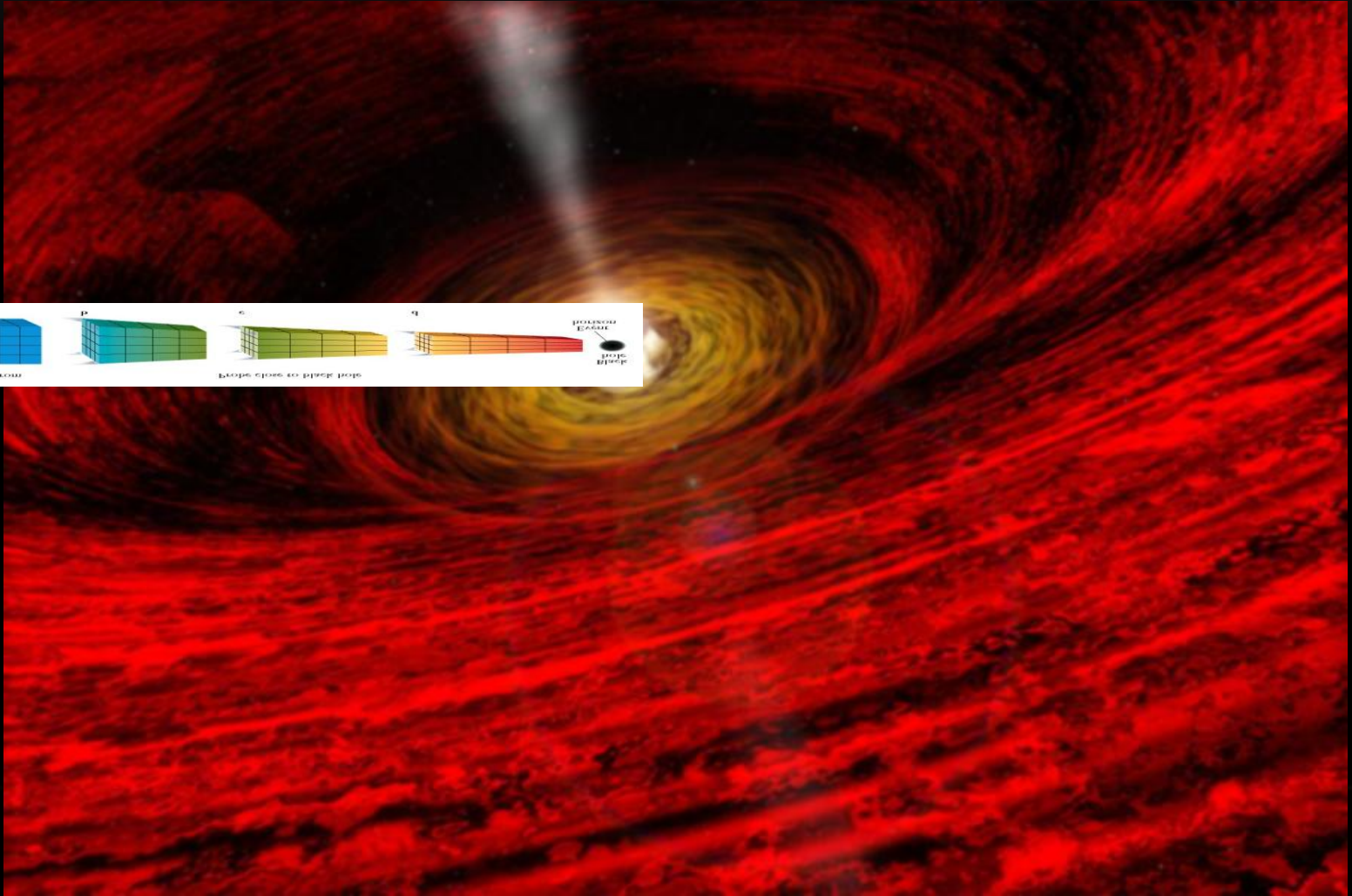
SORU : KARA DELİKLER KOMŞULUĞUNDAKİ  
HERŞEYİ YUTAR MI?

*Evet*

*Hayır*



# SORU : KARA DELİĞE DÜŞEN MADDEYE NE OLUR?

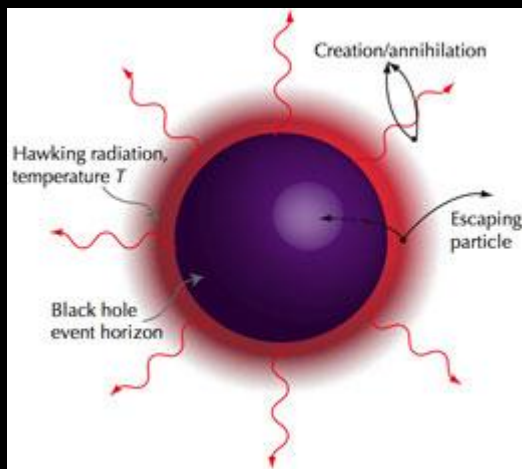




# SORU : KARA DELİKLER ZAMANLA YOK OLUR MU?

- Parçacık/antiparçacık + kuantum tünelleme
  - $E = h\nu = hc/\lambda = hc^3/2GM$
  - $E=kT$
- $T \sim 6 \times 10^{-8} / M \text{ K}$

$$t_{ev} = \frac{5120\pi G^2 M_0^3}{\hbar c^4}$$



# SORU : KARA DELİKLER KAÇ BOYUTLUDUR?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 8
- 10
- 11
- 12

SORU : KARA DELİKLERDEN GEÇİP BEYAZ  
DELİKLER ARACILIĞI İLE GEÇİŞLER MÜMKÜN MÜ?



# SORU : EVRENDE KAÇ TANE KARA DELİK VARDIR?

- İlkel kara delikler  $x$
- Yıldız kara delikleri  $y$
- Galaktik merkezli kara delikler  $z$

SİZİN SORULARINIZ ?