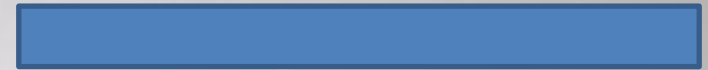
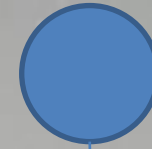


# Supermasywne czarne dziury

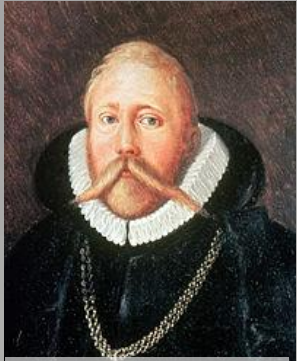


Jakie informacje możemy zdobyć upuszczając kulkę na Ziemię?

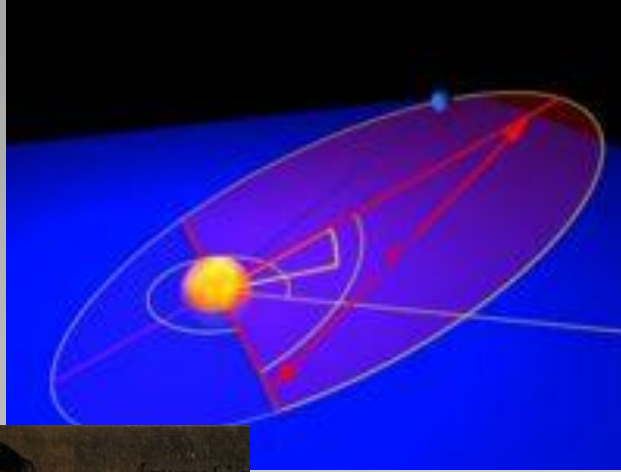
- pole grawitacyjne
- kształt, rozmiar
- skład chemiczny tarczy
- opory ruchu
- masa obiektu
- sprężystość
- odległość
- temperatura, zmiany t.
- pole magnetyczne
- budowa wewnętrzna tarczy



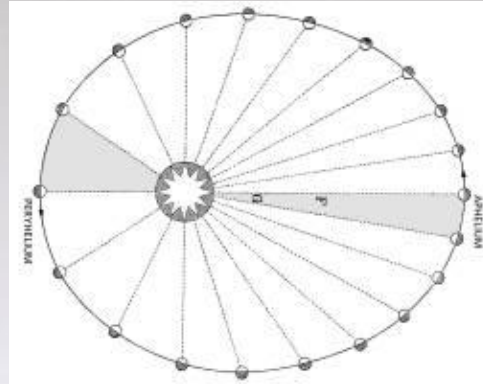
# Zrozumieć grawitację



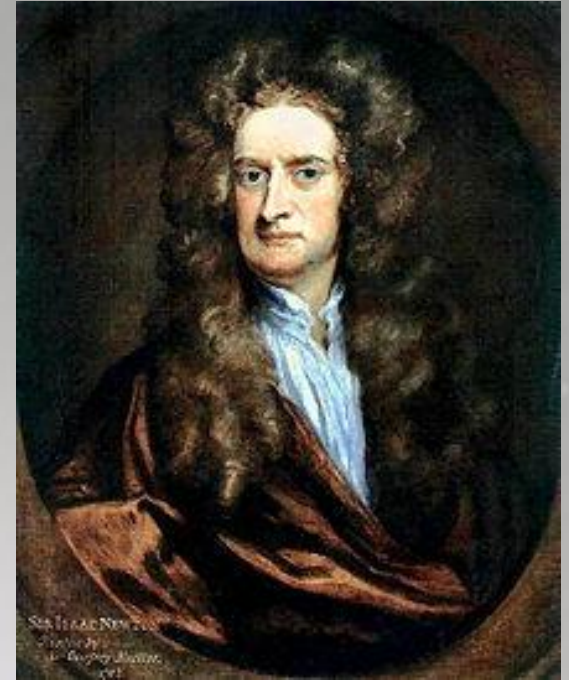
Tycho Brahe



Jan Kepler



$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$



Isaac Newton

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

# Zrozumieć grawitację



1676 Ole Rømer dokonuje pomiaru prędkości światła

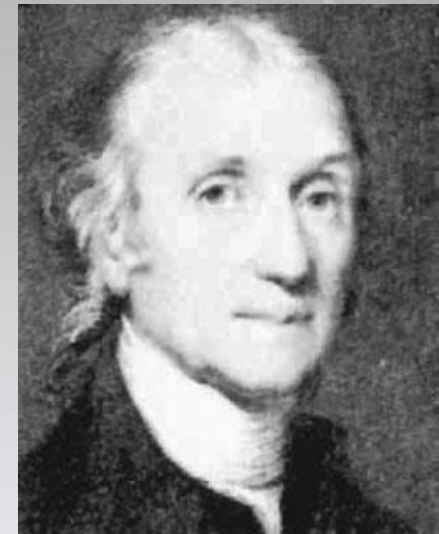
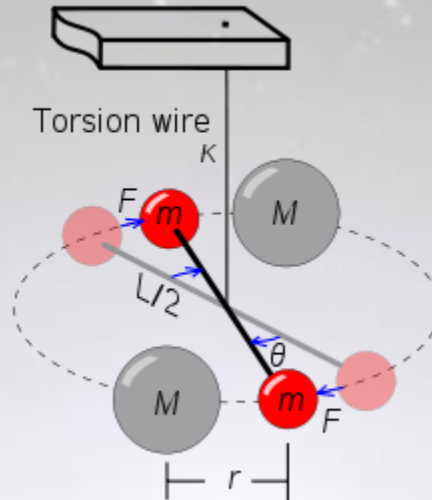
Michell skonstruował wagę skręceń, która trafiła do Henry'ego Cavendisha



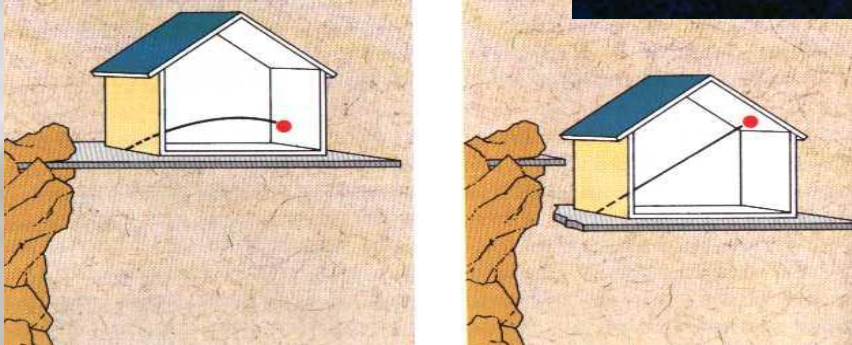
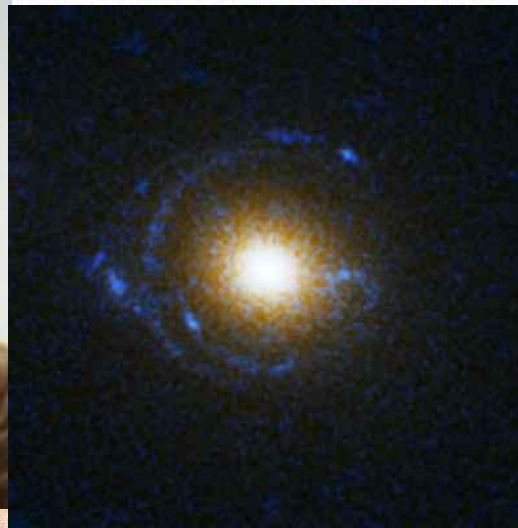
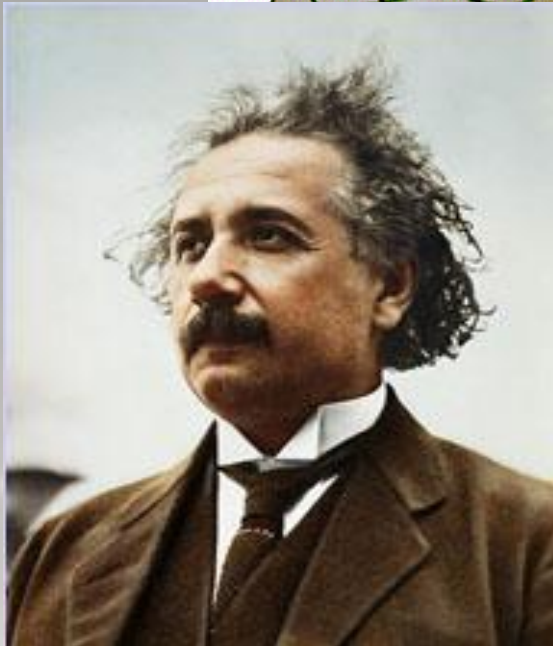
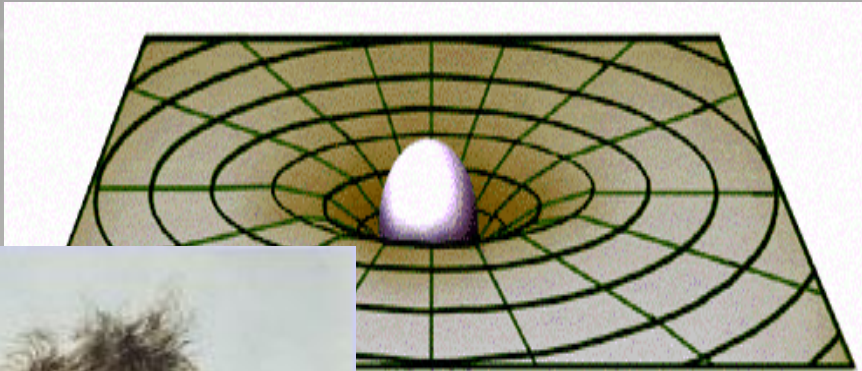
1784 John Michell

1790 Pierre Simon de Laplace:

**światło ma naturę korpuskularną więc może nie opuścić odpowiednio masywnego obiektu**



1797-98 Cavendish wyznacza stałą grawitacji  
 $6.754 \times 10^{-11} \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$   
(obecnie:  $6.67428 \times 10^{-11} \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$ )



OTW została ogłoszona w 1915.

## Podstawowa idea względności:

nie możemy mówić o takich wielkościach jak prędkość i przyspieszenie bez zdefiniowania układu odniesienia

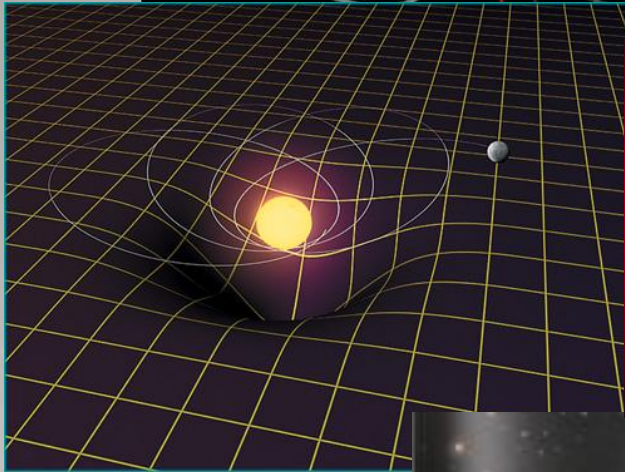
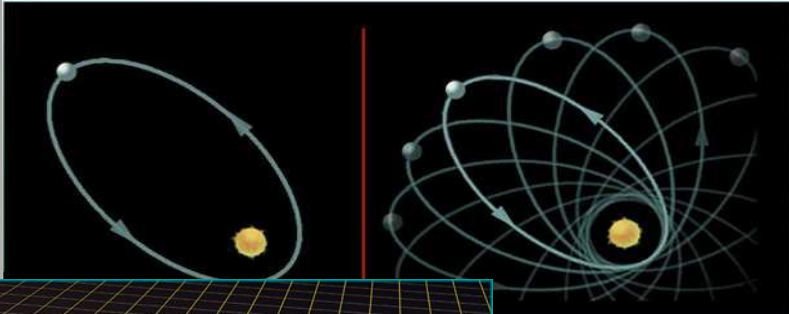
## Podstawowe założenie:

sformułować prawa fizyczne i opis ruchu tak aby miały identyczną postać matematyczną bez względu na używany do opisu układ odniesienia

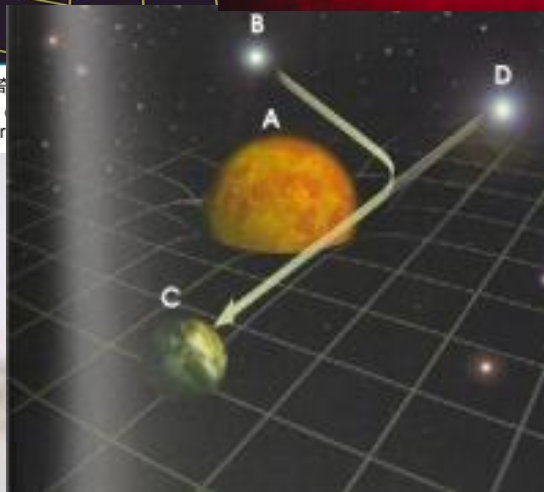
## Podstawowy wniosek:

siła grawitacji wynika z lokalnej geometrii czasoprzestrzeni (każda masa jest źródłem zakrzywienia otaczającej ją czasoprzestrzeni)

**MERCURY'S ORBIT**



廣義相對論準確預測及計算出水星軌道進動的奇  
General Relativity accurately predicted and  
anomalous precession of the orbit of Mercur



1. Ruch peryhelium ciała obiegającego dużą masę

2. spowolnienie zegarów w poruszających się układach

3. istnienie fal grawitacyjnych (niepotwierdzone bezpośrednio)

4. zakrzywienie promieni świetlnych przy przechodzeniu w pobliżu dużej masy (pierwszy wniosek OTW, który został potwierdzony przez obserwacje)

5. Istnienie czarnych dziur

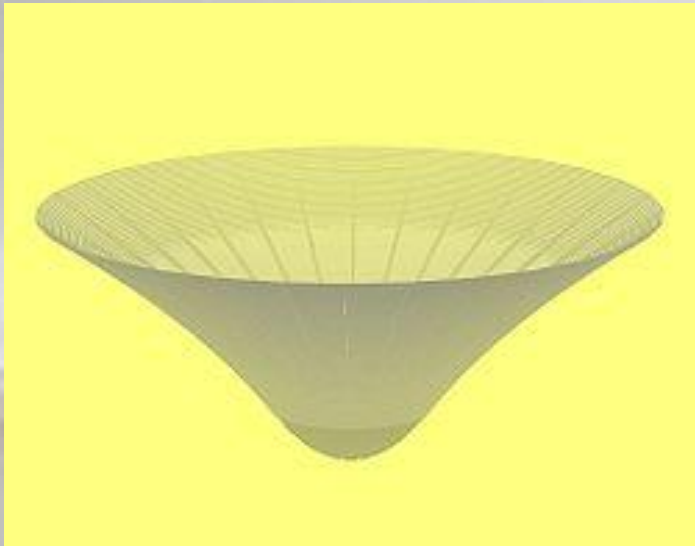


Karl Schwarzschild

Schwarzschild jako jeden z pierwszych podaje nietrywialne rozwiązanie równania Einsteina.

Rozwiązanie dotyczy sferyczniesymetrycznych obiektów, nierotujących i bez ładunku elektrycznego.

Obiekty takie są scharakteryzowane jedynie przez masę i są otoczone horyzontem zdarzeń.



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

Promień Schwarzschilda

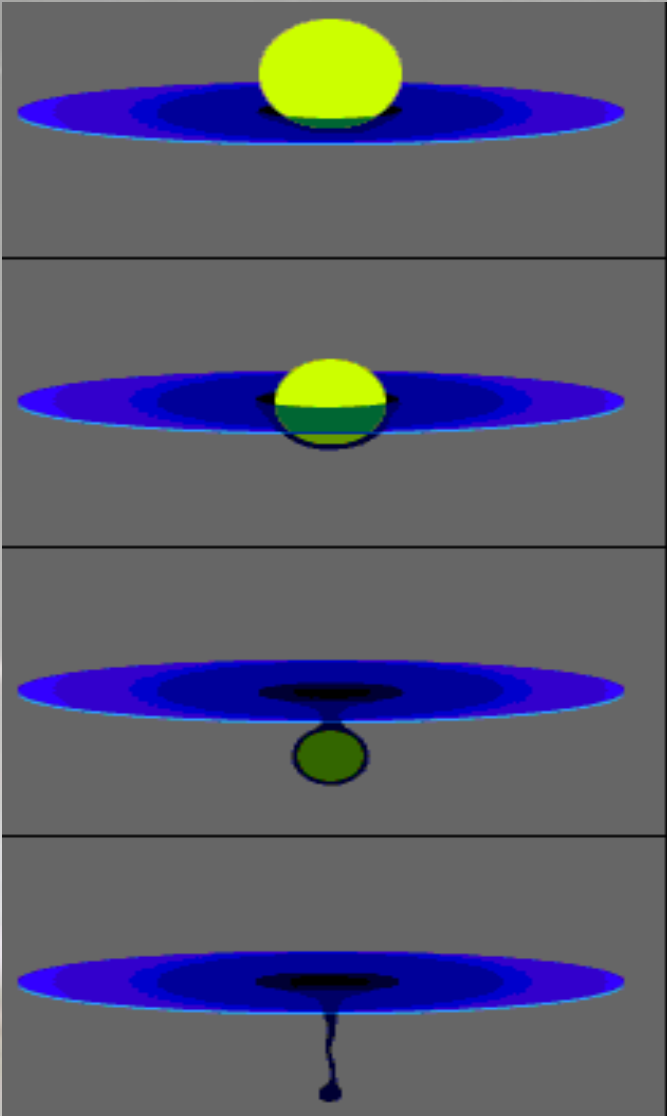


Johannes Droste



Dawid Hilbert

# Czarna dziura



Horyzont zdarzeń to nie jest osobliwość!



*Istnieje górne ograniczenie na masę białego karła*

Subrahmanyan Chandrasekhar



*Odpowiednio masywna gwiazda może ulec kolapsowi grawitacyjnemu*

Hartland Snyder i  
Robert Oppenheimer

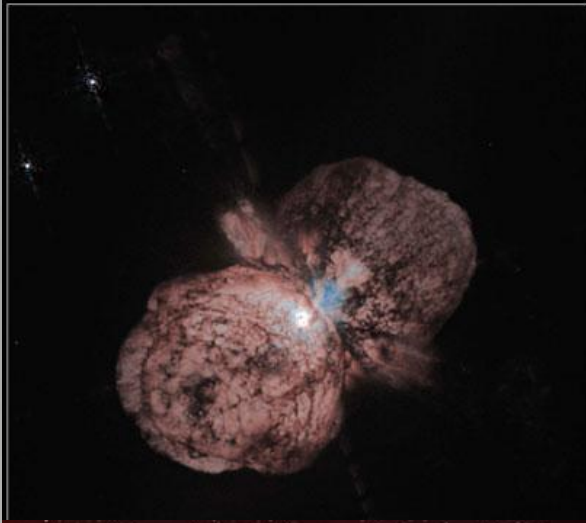


*Czarna dziura*

John Archibald Wheeler

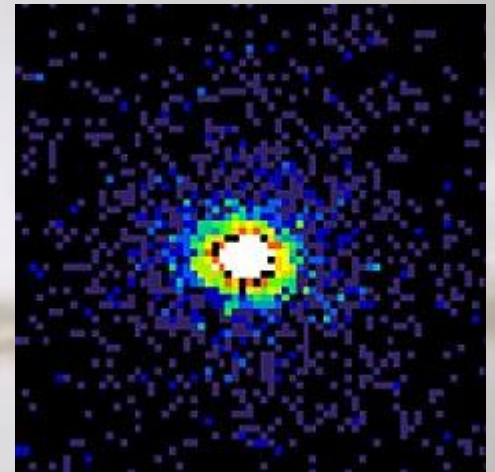
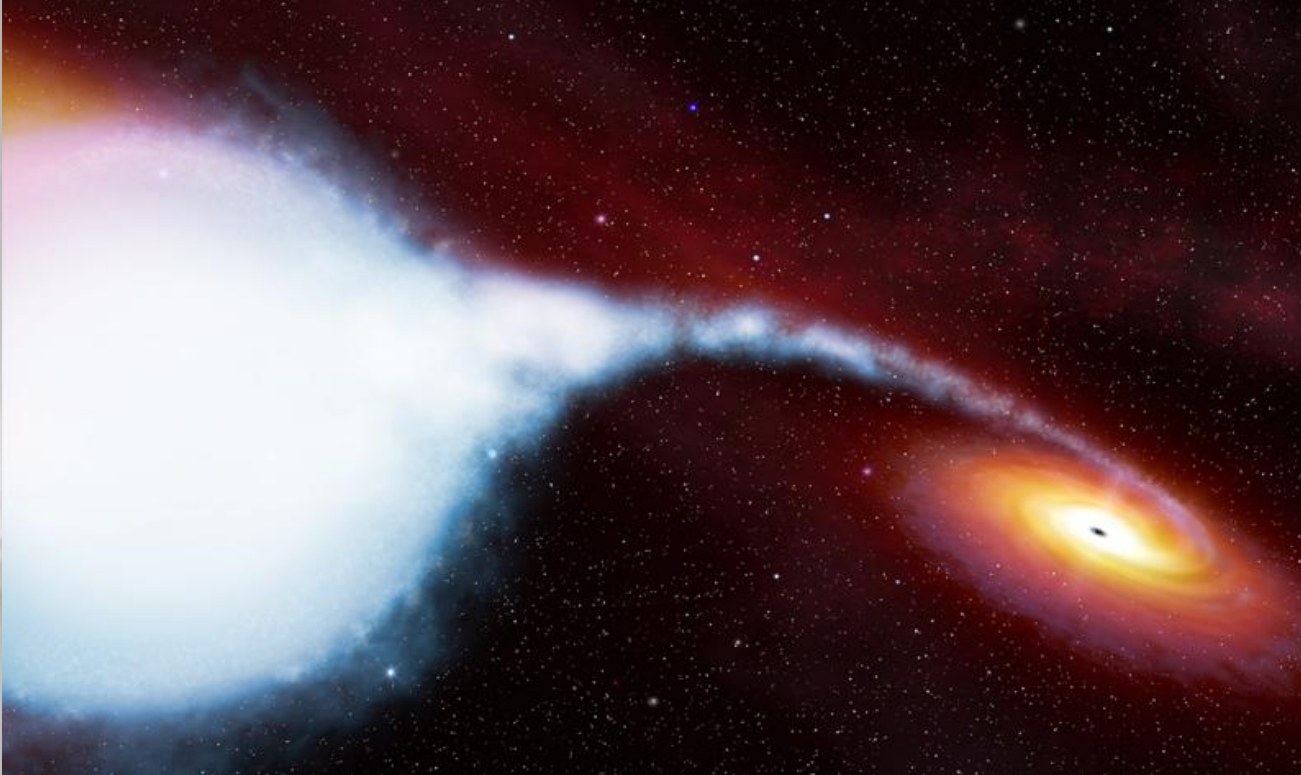


## Gwiazdowe czarne dziury



Gwiazda neutronowa o masie przekraczającej ok.  $2.1 M_{\odot}$  przestaje być stabilna i może zapaść się do czarnej dziury

Dowody na istnienie gwiazdowych czarnych dziur znajdujemy zwykle w układach podwójnych tzw. X-ray binaries

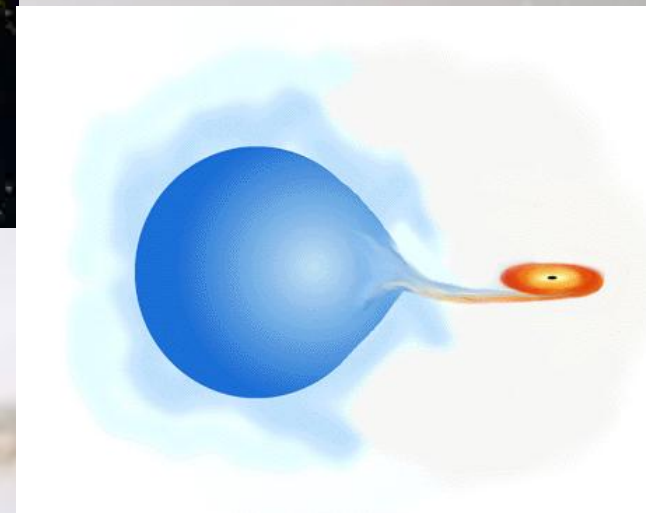


# Gwiazdowe czarne dziury (M33 X-7)



**Układ podwójny:**

**czarna dziura  $16 M_{\odot}$   
niebieski nadolbrzym  $70 M_{\odot}$**



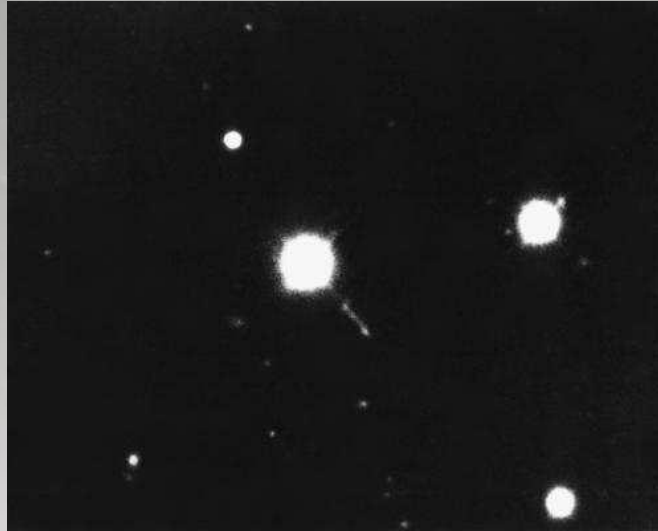
Kitt Peak: NOAO/AURA/NSF/T.A.Rector; Gemini: AURA/Gemini Obs./SDSU/J.Orosz et al.;  
HST: NASA/STScI/SDSU/J.Orosz et al.; Chandra: NASA/CXC/CfA/P.Plucinsky et al.

## Supermasywne czarne dziury

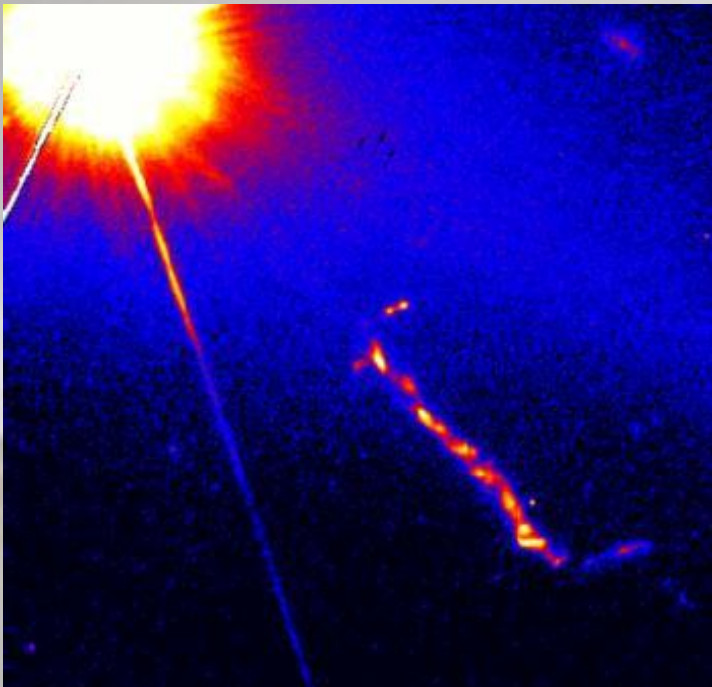
1963 r. Maarten Schmidt odkrywa nowy obiekt

*quasi-stellar radio source* (kwazar)

3C 273 (273. obiekt Trzeciego Katalogu Radioźródeł Uniwersytetu w Cambridge)



Maarten Schmidt



- bardzo duże przesunięcie ku czerwieni (odległy o 3 mld lat św.)
- najjaśniejszy kwazar na niebie ( $12.9^m$ )
- zmienność radiowa rzędu 10-20 miesięcy
- emitowana energia jest porównywalna z energią całej galaktyki, a pochodzi z obszaru o rozmiarze Układu Słonecznego

# Supermasywne czarne dziury



Centrum Drogi Mlecznej

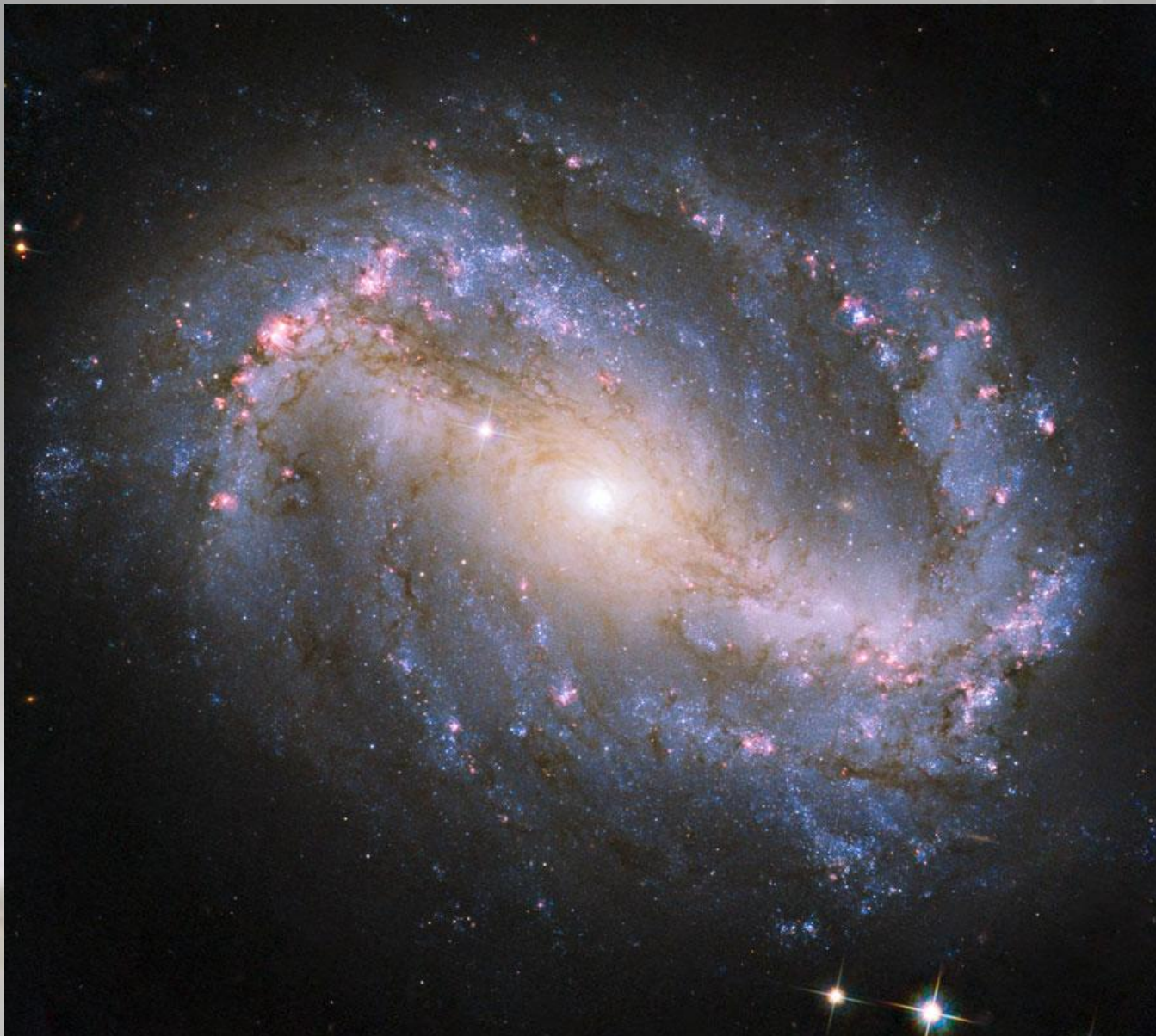
Supermasywne czarne dziury –  
masy od kilkuset tysięcy  
do kilku miliardów  $M_{\odot}$

Obserwowane są w centrach  
galaktyk



Galaktyka M104 (Sombrero)

*Supermasywne czarne dziury*



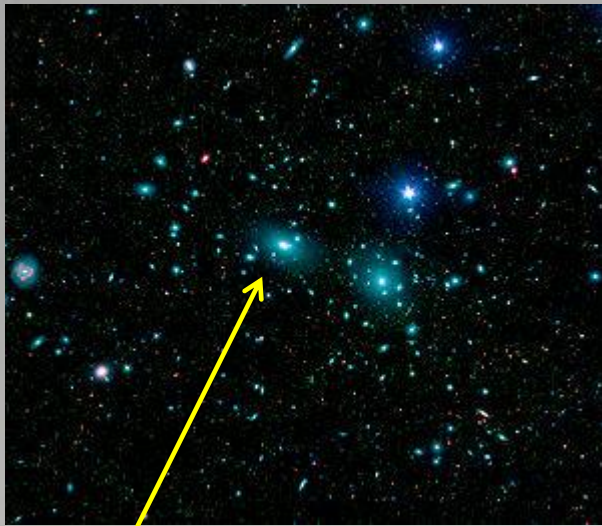
NGC 6217

NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team

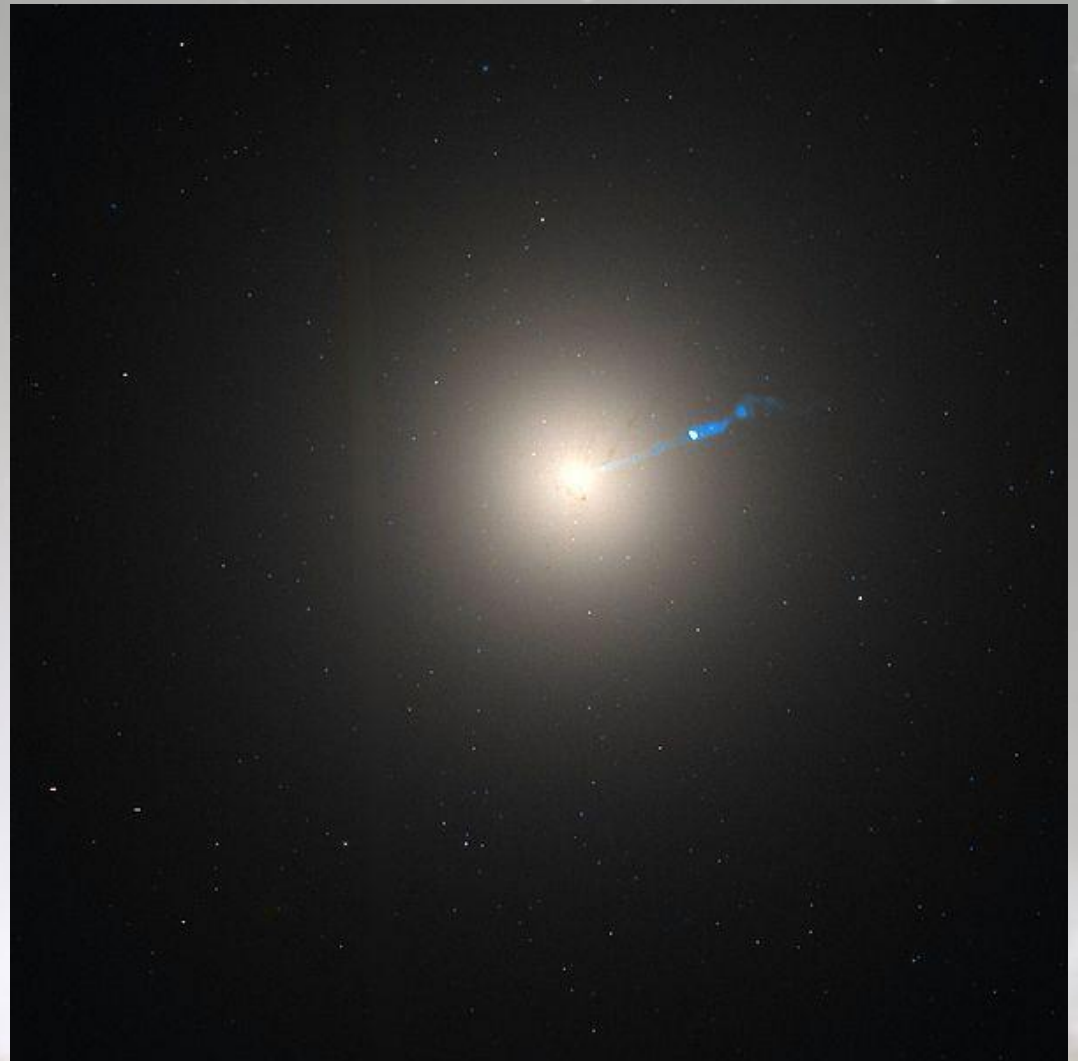


M31 (Galaktyka Andromedy) -  $(1.1-2.3) \times 10^8 M_{\odot}$

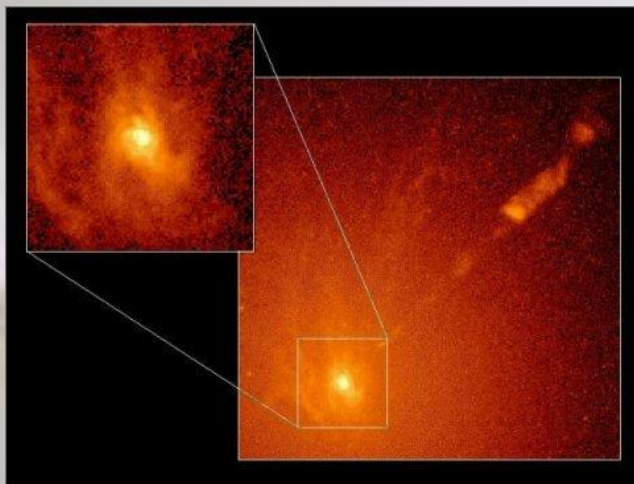
# Supermasywne czarne dziury



NGC 4889 -  $(6 - 37) \times 10^9 M_{\odot}$

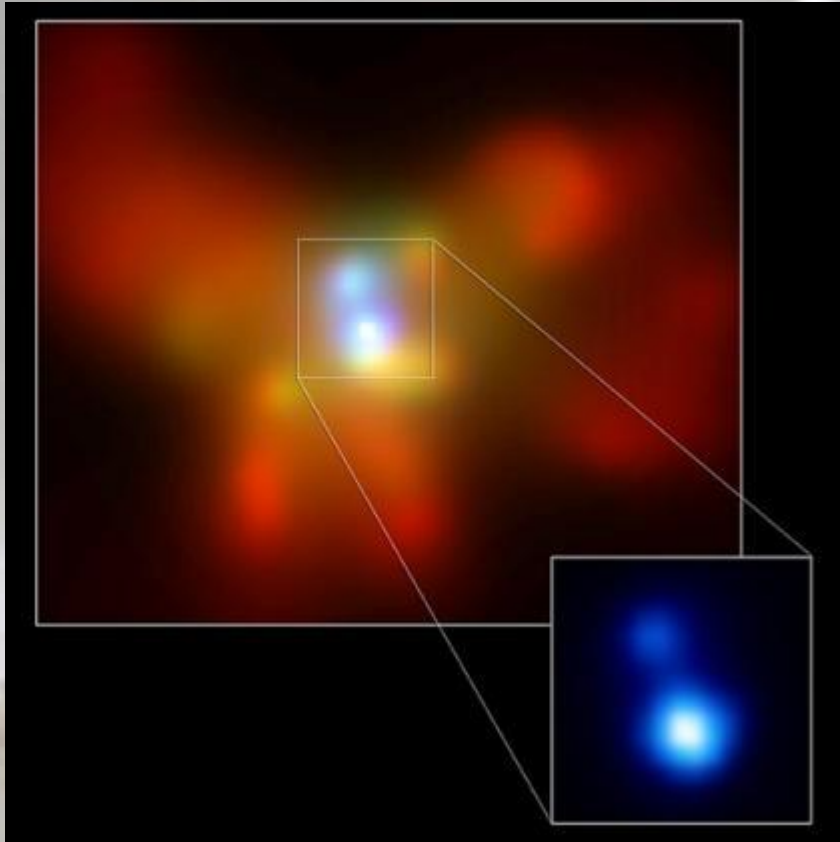


M87 -  $(5.9 - 6.9) \times 10^9 M_{\odot}$



## NGC 6240

W centrum odkryto układ podwójny super-masywnych czarnych dziur (separacja – 3000 l.św.)







## **NGC 6240**

**Zderzenie może nastąpić  
w ciągu kilkadziesiąt  
lub kilkaset milionów lat**

**Podczas łączenia następuje  
bardzo silna emisja  
fal grawitacyjnych**

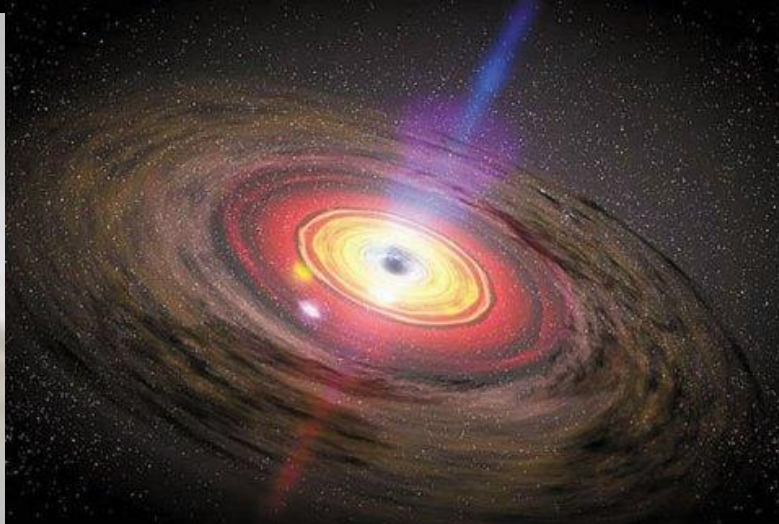
Animation: NASA/CXC/A. Hobart

Simulation: Josh Barnes (U. of Hawaii)/John Hibbard (NRAO)

## Co się dzieje dookoła czarnej dziury?



[www.spacetelescope.org](http://www.spacetelescope.org)



NASA / Dana Berry, SkyWorks Digital

Akrecja – opadanie materii rozproszonej na ciało niebieskie pod wpływem grawitacji

Właściwości dysków akrecyjnych wokół czarnych dziur:

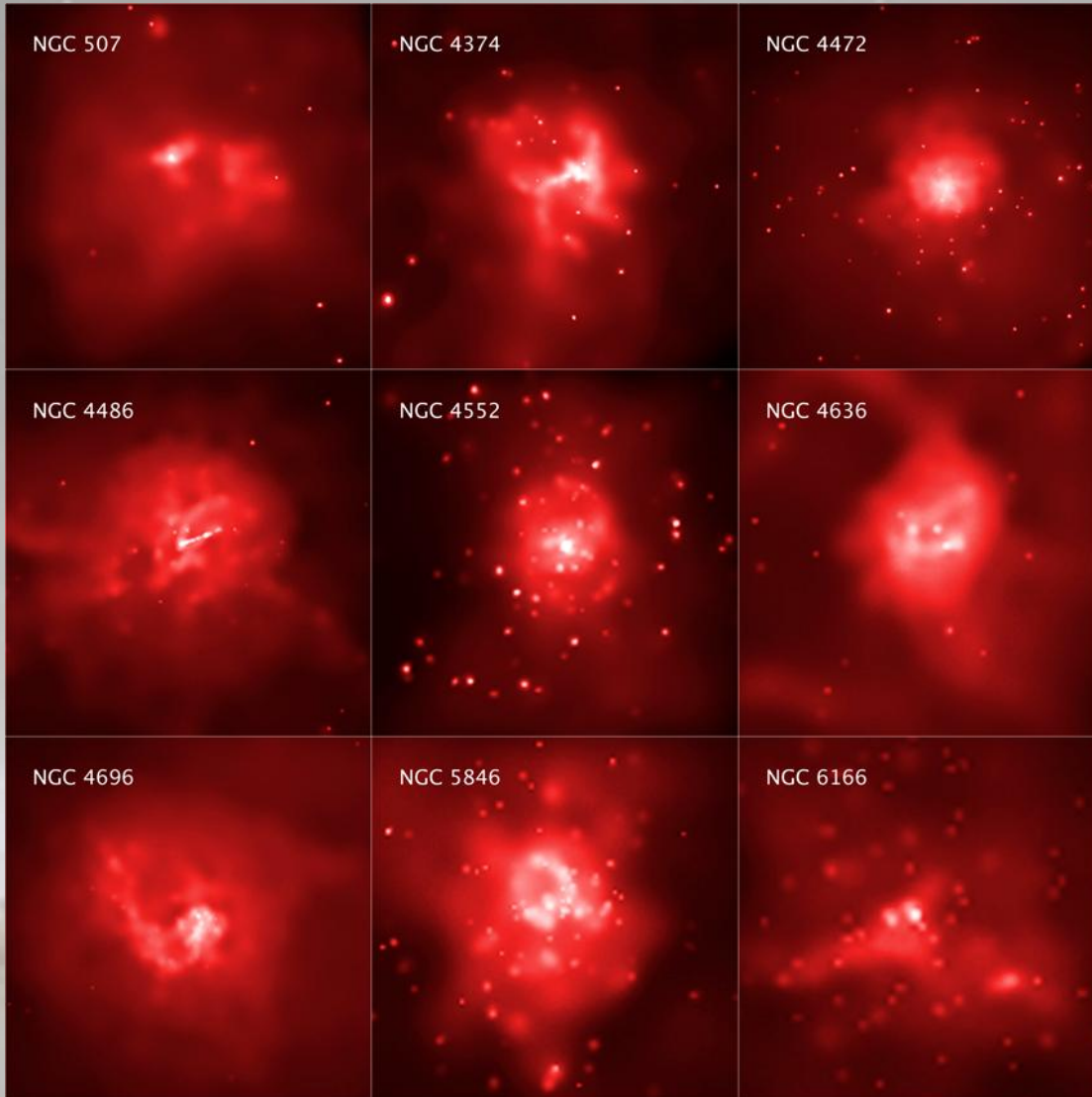
- promień wewnętrzny  $3R_s$  (dla nierotującej czarnej dziury)
- nie świeci jak ciało doskonale czarne
- duża część emisji w zakresie rentgenowskim

Dżety:

- strugi materii wyrzucane wzdłuż osi obrotu ciała centralnego
- ich prędkości są rzędu prędkości ucieczki z ciała centralnego – w przypadku czarnych dziur są bliskie prędkości światła
- nieznaną jest mechanizm powstawania – jednym z „graczy” jest pole magnetyczne

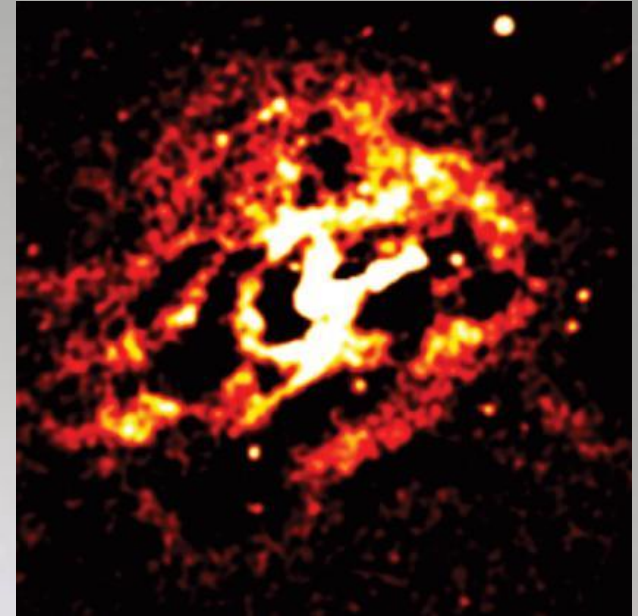
# Co się dzieje dookoła czarnej dziury?

Otoczenie (rzędu 1 miliona lat. św. rozgrzane do miliona K)

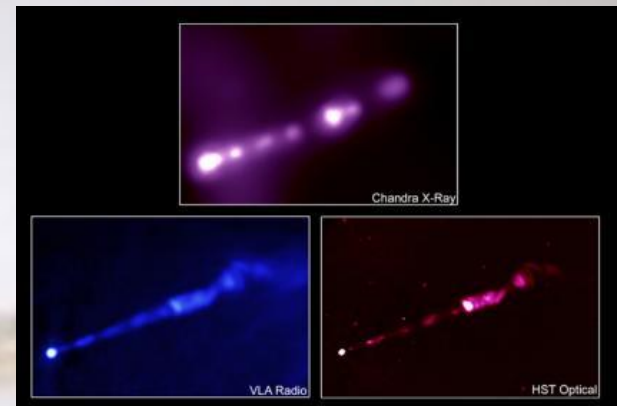


Credit: NASA/CXC/Stanford U./S.Allen et al.

M 87



NASA/CXC/H.Feng et al.



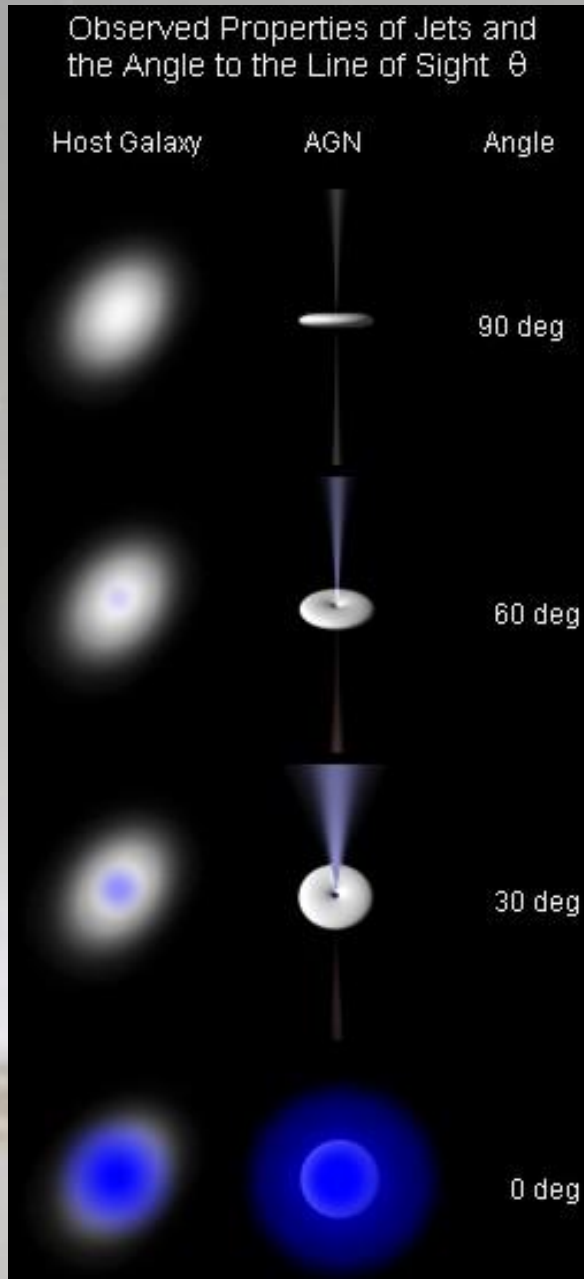
X-ray: NASA/CXC/MIT/H.Marshall et al.  
Radio: F. Zhou, F.Owen (NRAO), J.Biretta (STScI)  
Optical: NASA/STScI/UMBC/E.Perlman et al

# Galaktyki aktywne/aktywne jądra galaktyk (AGN)

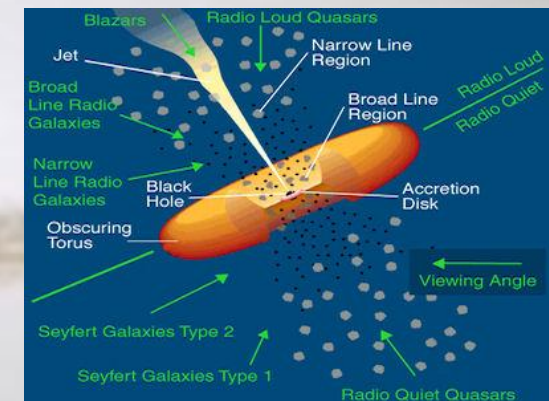
Radiogalaktyki Seyfert 2

Kwazary/ Seyfert 1

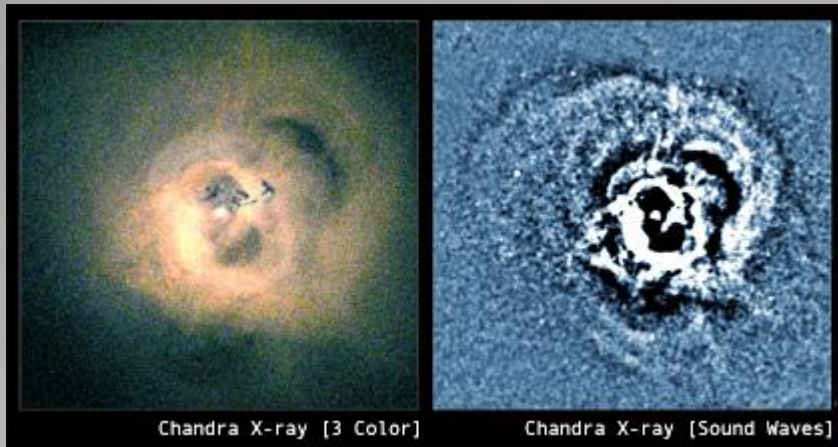
Blazary



	Kwazary	Galaktyki Seyferta	Radio-galaktyki	Blazary
<b>Typ galaktyki</b>	spiralna, eliptyczna	spiralna	olbrzymia eliptyczna	eliptyczna
<b>wygląd</b>	zwarta, błękitna	zwarta, Jasne jądro	eliptyczna	jasna, gwiazdopodobna
<b>maksymalna jasność</b>	100-1,000 Drogi Mlecznej	porównywalna do jasnych spiralnych	silne pr. radiowo	10,000 Drogi Mlecznej
<b>widmo kontinuum</b>	nietermiczne	nietermiczne	nietermiczne	nietermiczne
<b>linie absorbcyjne</b>	tak	nie	tak	nie
<b>zmienność</b>	dni do tygodni	dni do tygodni	dni	godziny
<b>emisja radiowa</b>	śladowa	słaba	silna	słaba
<b>redshift</b>	$z > 0.5$	$z \sim 0.5$	$z < 0.05$	$z \sim 0.1$



Polski pączek



Credit: NASA/CXC/IOA/A.Fabian et al.

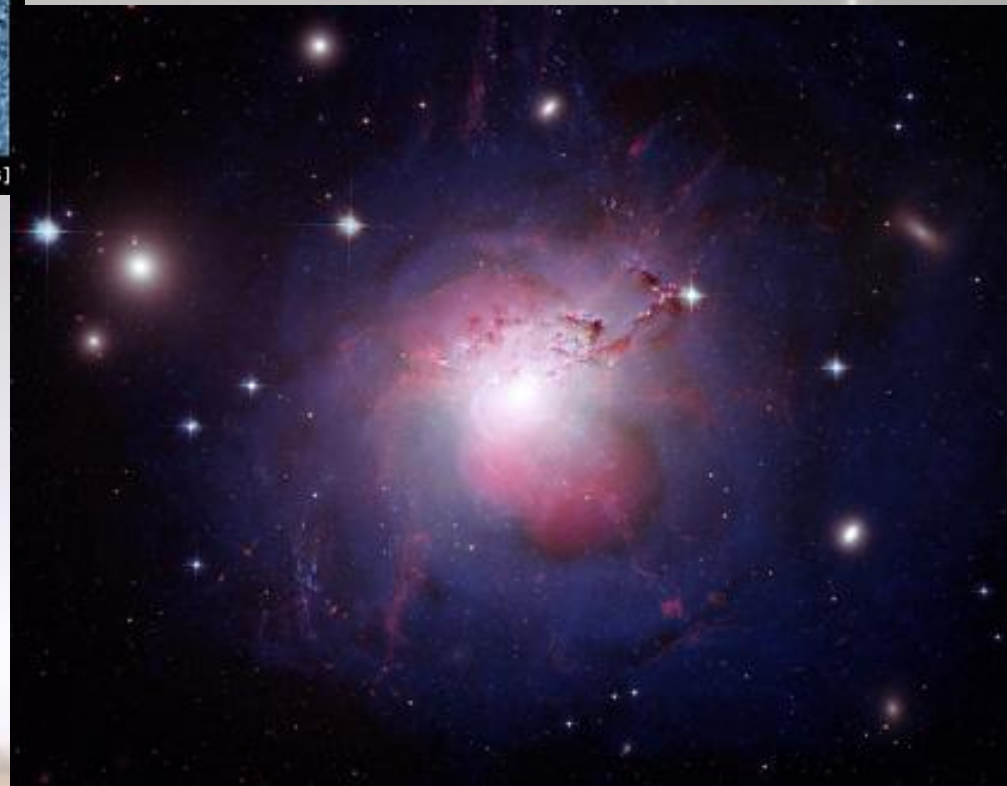
Fale generowane przez zjawiska aktywne zachodzące dookoła czarnej dziury.

Odpowiadają one za ciągłe podgrzewanie ośrodka do temperatur sięgających milionów K.

Dzięki temu centralne obszary nie wychłodziły się przez 10 miliardów lat i nie utworzyły gwiazd

## Gromada galaktyk w Perseuszu

Kompozycja złożona z obrazów uzyskanych w zakresie rentgenowskim, widzialnym i radiowym:



Credit: X-ray: NASA/CXC/IOA/A.Fabian et al.; Radio: NRAO/VLA/G. Taylor; Optical: NASA/ESA/Hubble Heritage (STScI/AURA) & Univ. of Cambridge/IOA/A. Fabian

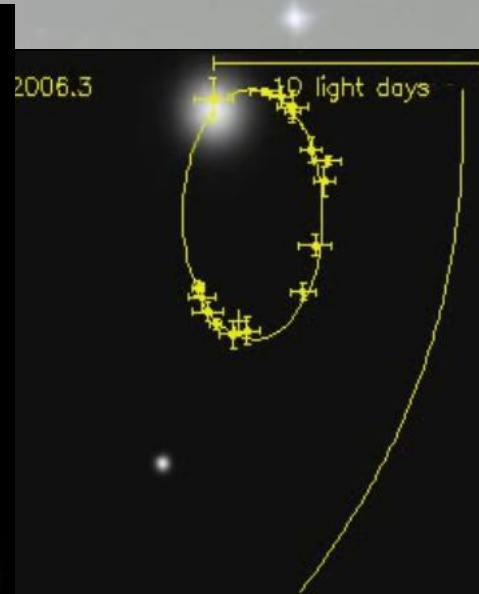
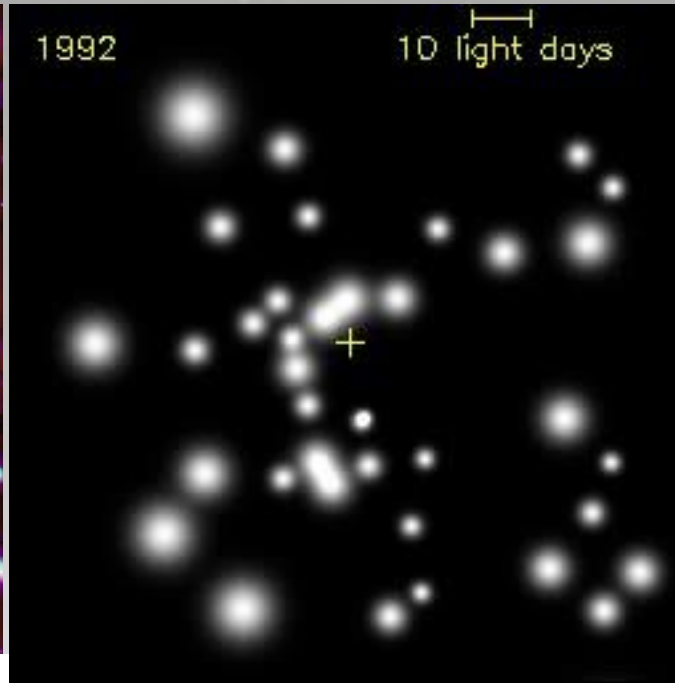
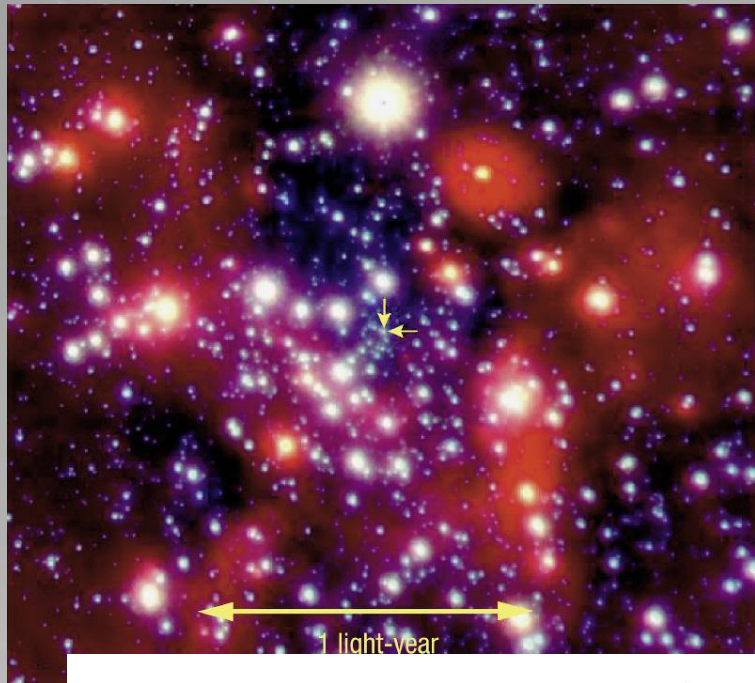
# Centrum Drogi Mlecznej





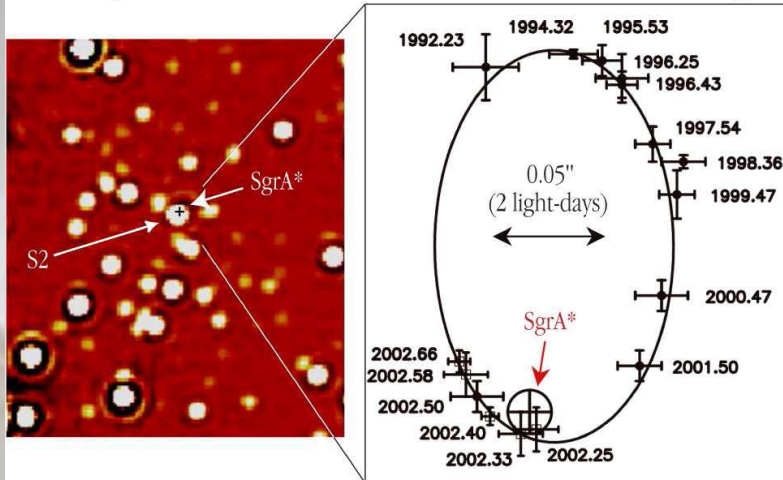
Jak wyznaczyć masę w centrum Drogi Mlecznej?

# Masa czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej



NACO May 2002

S2 Orbit around SgrA\*



Ogromna gęstość gwiazd w obszarach centralnych

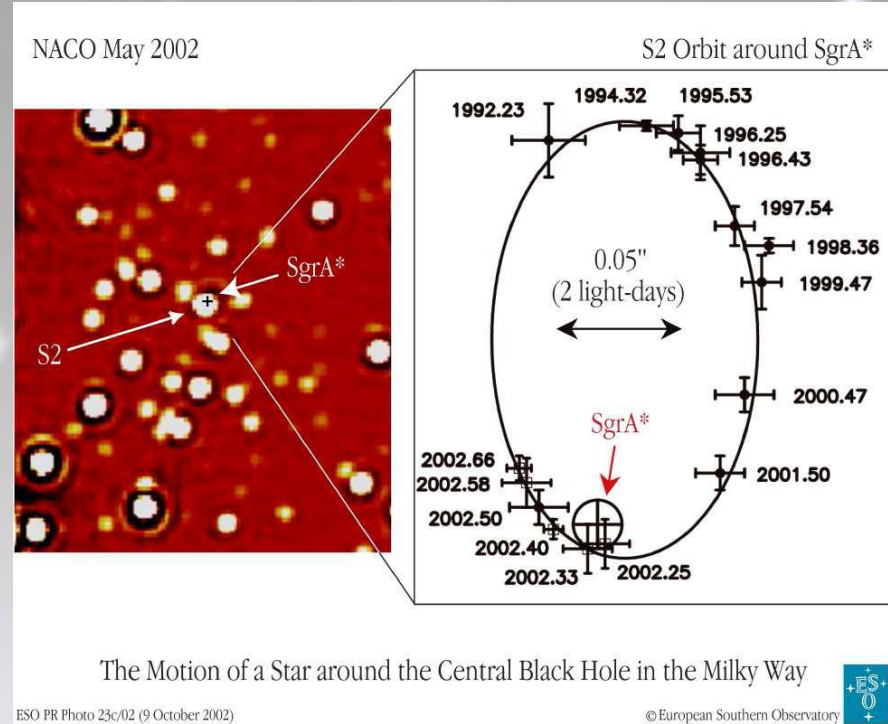
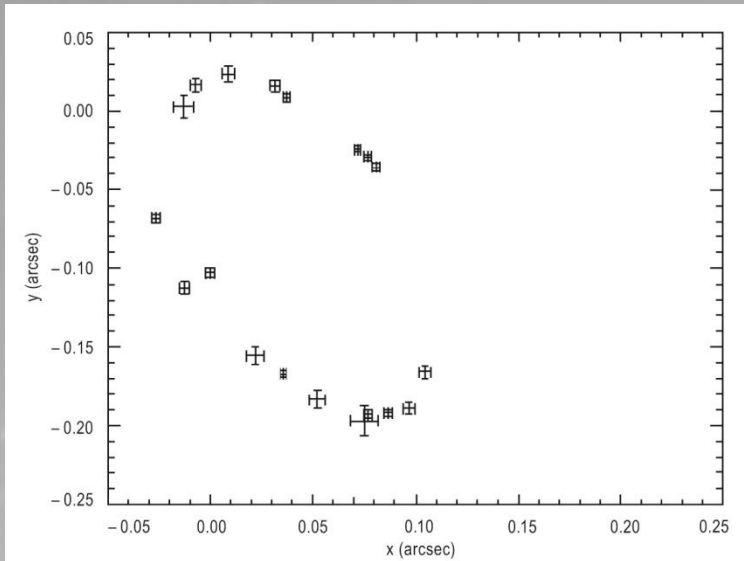
10 lat obserwacji gwiazdy S2 wystarczyło do wyznaczenia jej orbity

The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way





# Masa czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej



The Motion of a Star around the Central Black Hole in the Milky Way

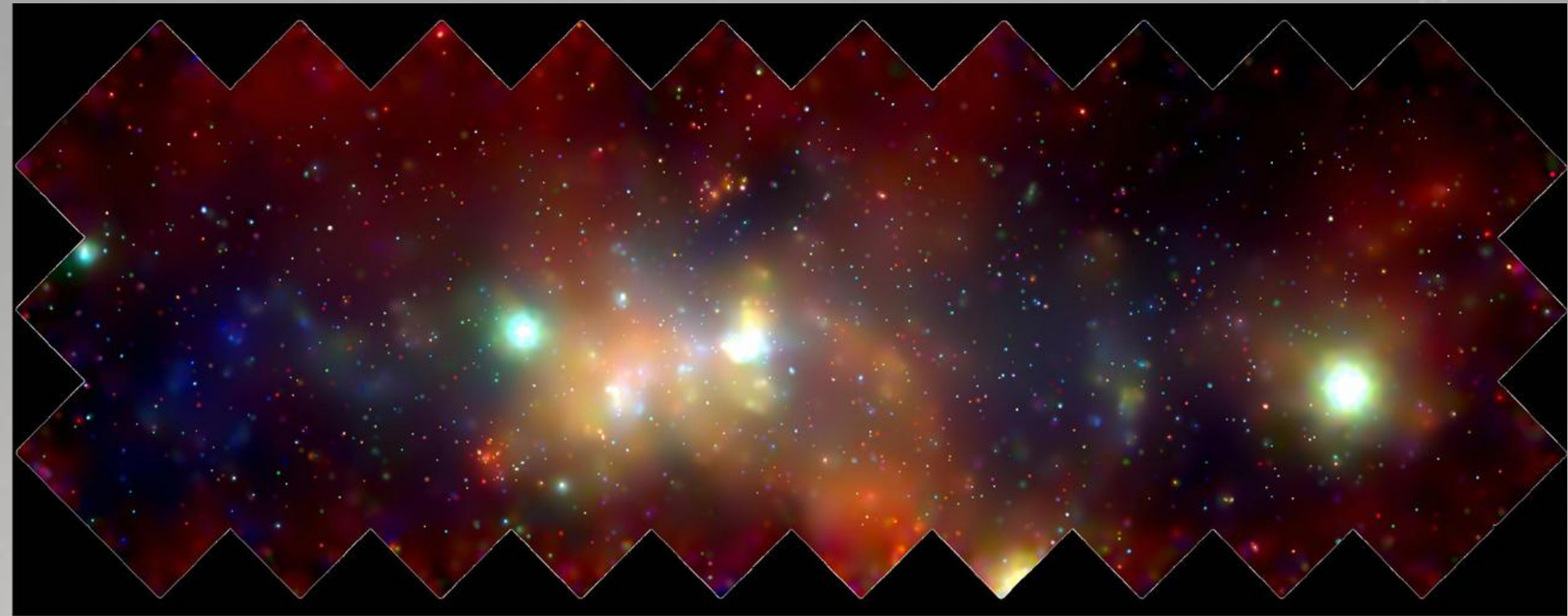
ESO PR Photo 23c/02 (9 October 2002)

© European Southern Observatory

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M + m)} a^3$$

Z obserwacji mamy P, a oraz zakładamy, że  $m \ll M$   
 Otrzymana masa:  $3,3 \cdot 10^6 M_{\odot} \pm 1,0 \cdot 10^6 M_{\odot}$





NASA/UMass/D.Wang et al.

**Kolory odpowiadają promieniowaniu rentgenowskiemu o różnych energiach:**

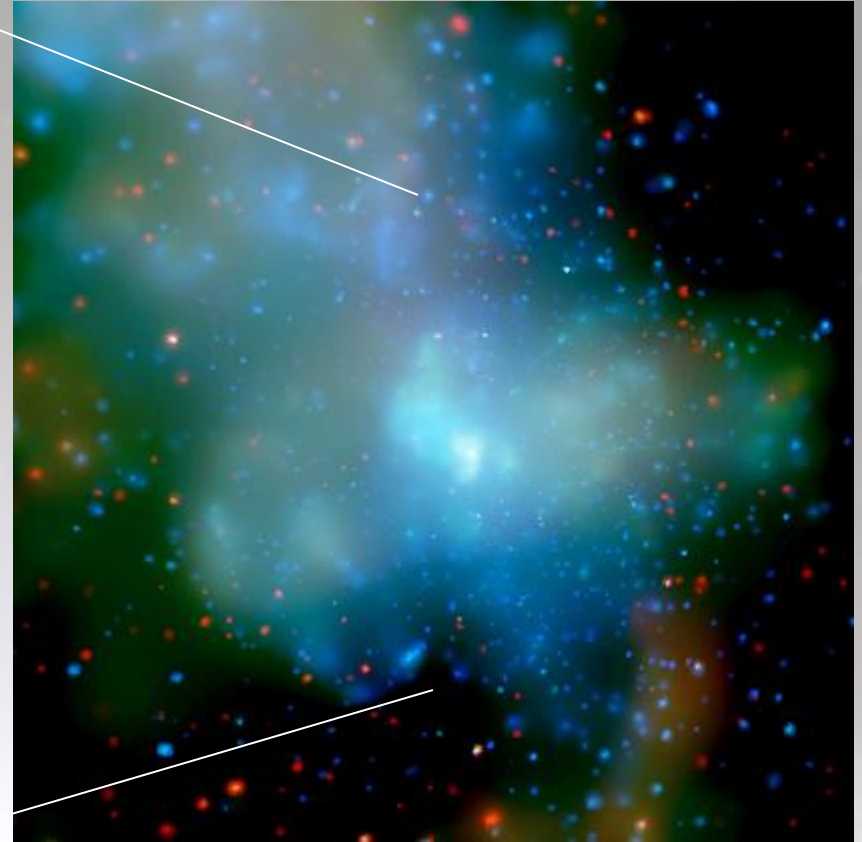
- niskie (czerwony)
- pośrednie (zielony)
- wysokie (niebieski)

6 stycznia 2003



NASA/CXC/MIT/F.K.Baganoff et al.

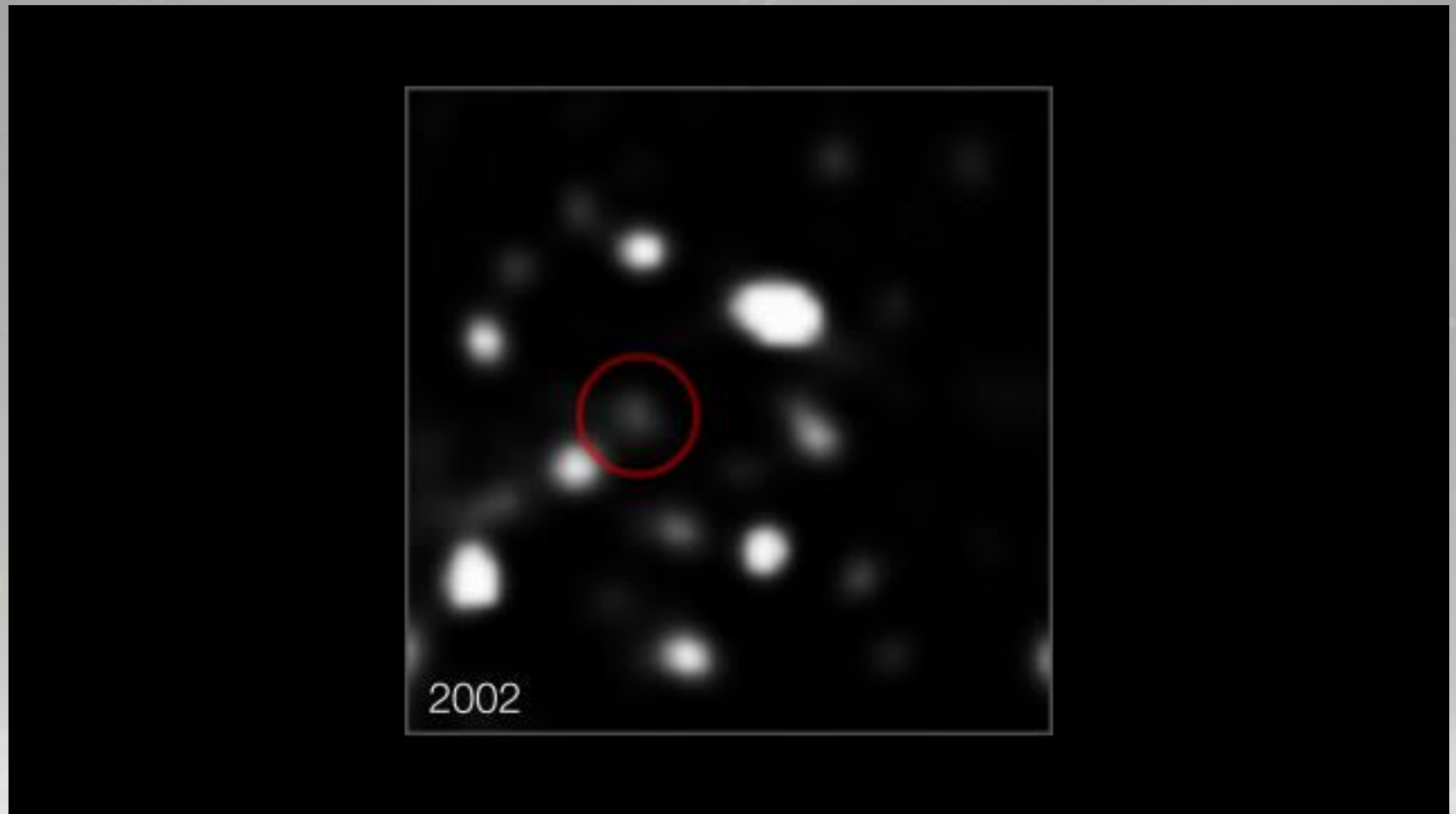
13 czerwca 2003



NASA/CXC/UCLA/MIT/M.Muno et al.

**Gaz o temperaturze 10 mln K jest podgrzewany przez fale uderzeniowe od supernowych**

**Zaobserwowano dużą liczbę rozbłysków blisko czarnej dziury. Mimo to centrum naszej Galaktyki jest spokojne – to nie jest AGN.**



Obłok jest chłodny ( $280^{\circ}\text{C}$ ) i ma masę trzy razy większą od masy Ziemi  
W ciągu 8 lat podwoił prędkość, porusza się teraz 8 mln km/h  
W 2013 roku przejdzie 40 mld km (36 godzin św.) od horyzontu zdarzeń

*A w przyszłym roku...*

