

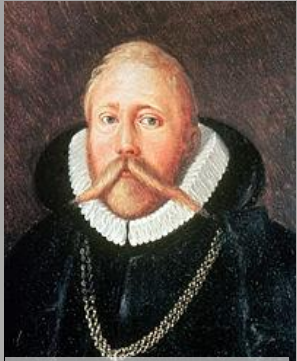
Supermasywne czarne dziury



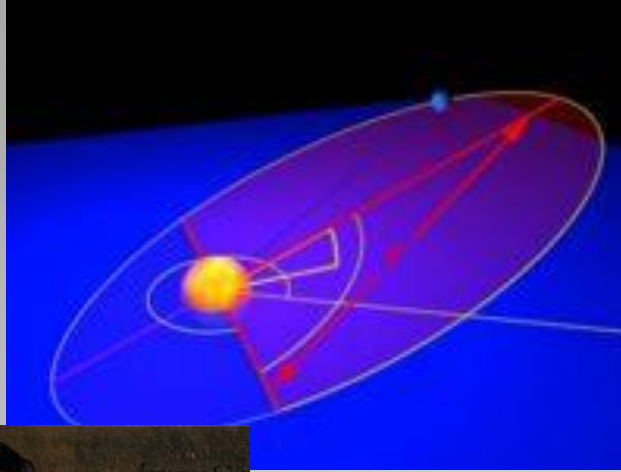
Powiedz mi, a zapomnę. Pokaż mi, a zapamiętam. Pozwól mi zrobić, a zrozumieję.



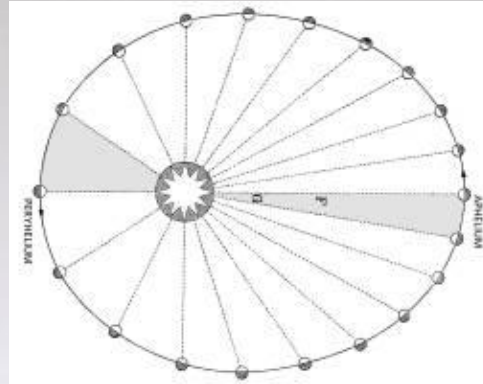
Zrozumieć grawitację



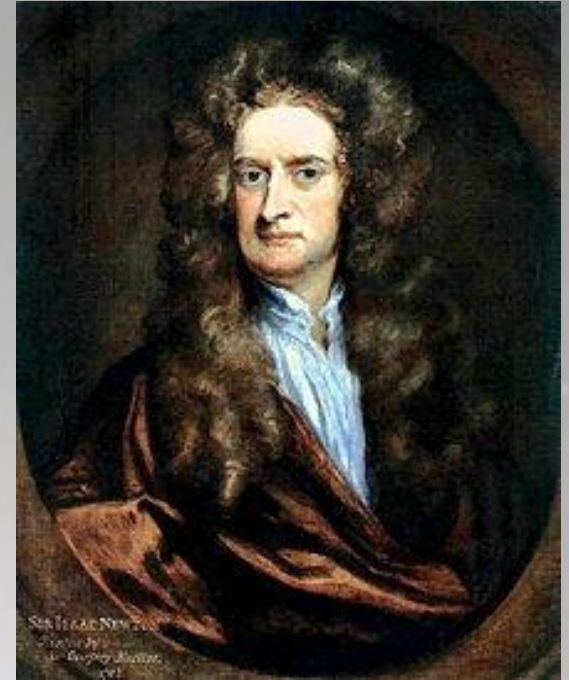
Tycho Brahe



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

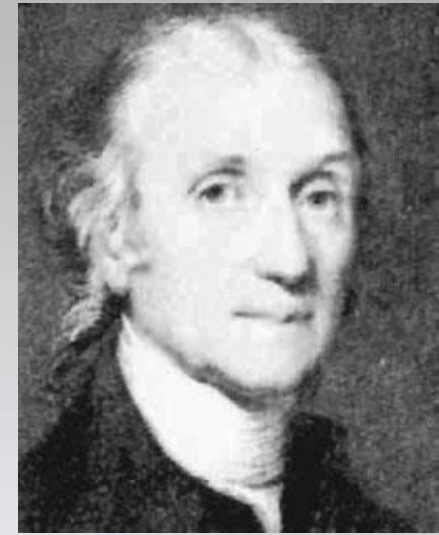
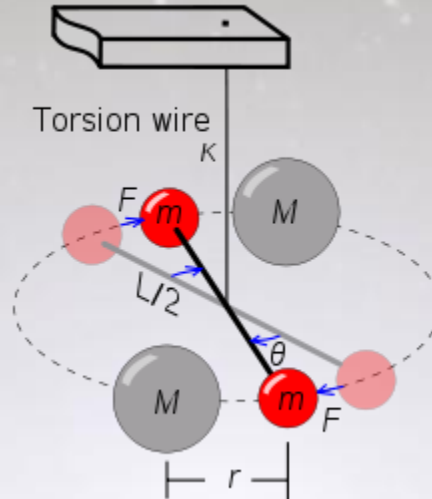
Michell skonstruował wagę skręceń, która trafiła do Henry'ego Cavendisha



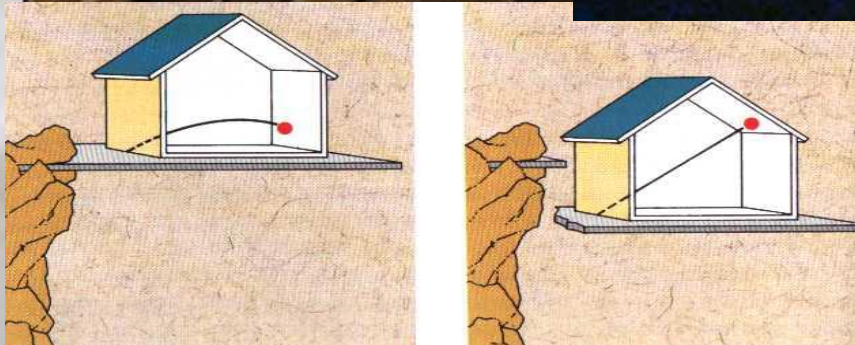
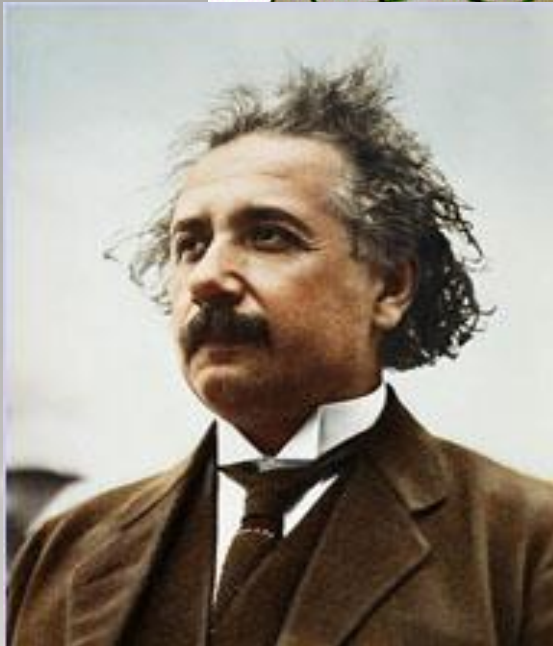
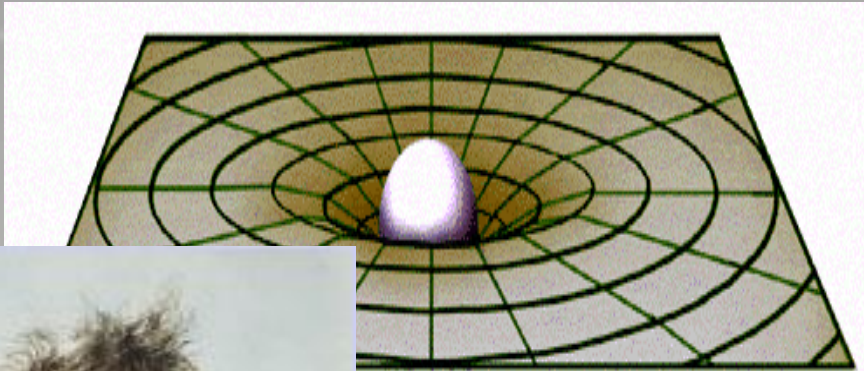
1784 John Michell

1790 Pierre Simon de Laplace:

światło ma naturę korpuskularną więc może nie opuścić odpowiednio masywnego obiektu



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



OTW została ogłoszona w 1915.

Podstawowa idea względności:

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

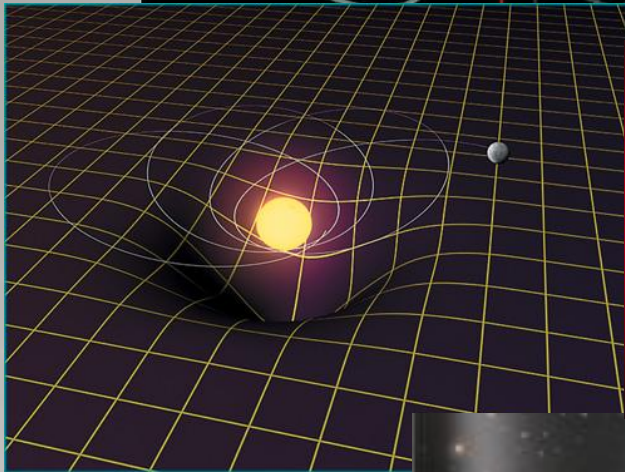
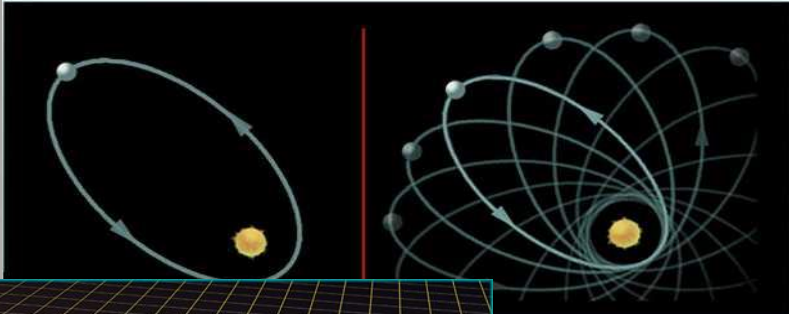
Podstawowe założenie:

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

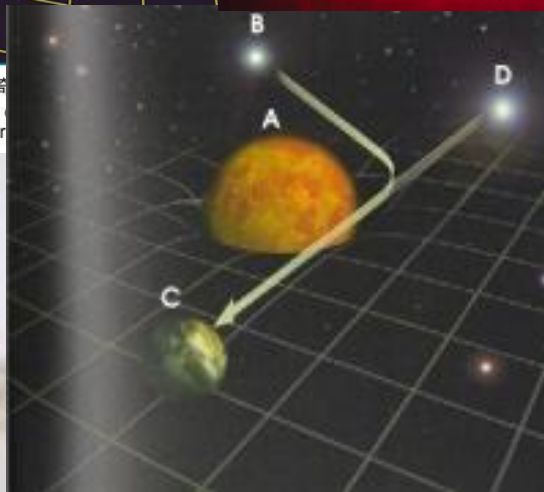
Podstawowy wniosek:

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

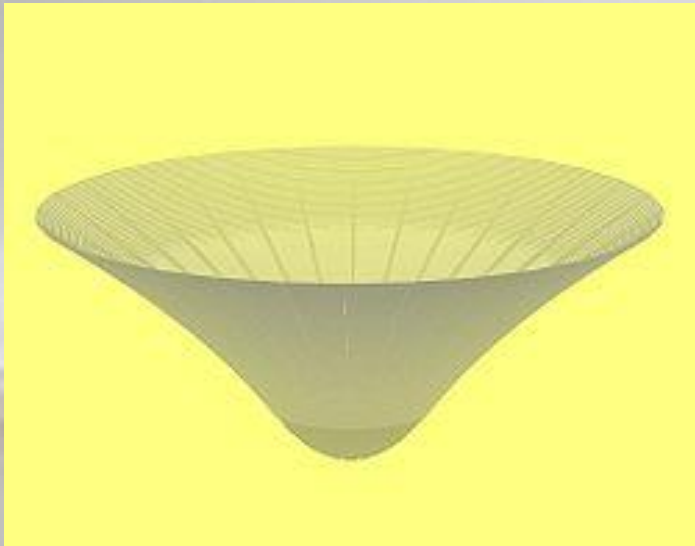


Karl Schwarzschild

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.



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

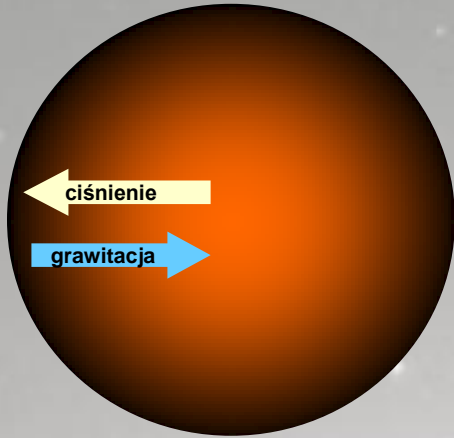
Promień Schwarzschilda



Johannes Droste



Dawid Hilbert

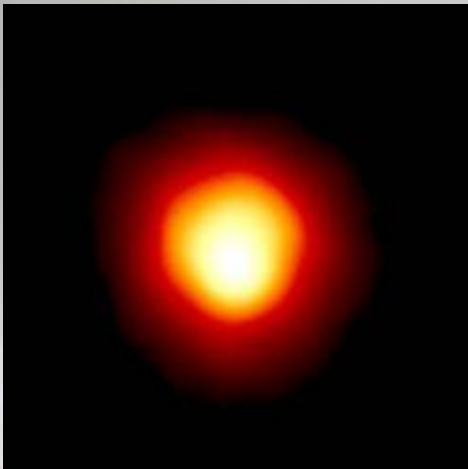


Gwiazda w równowadze:

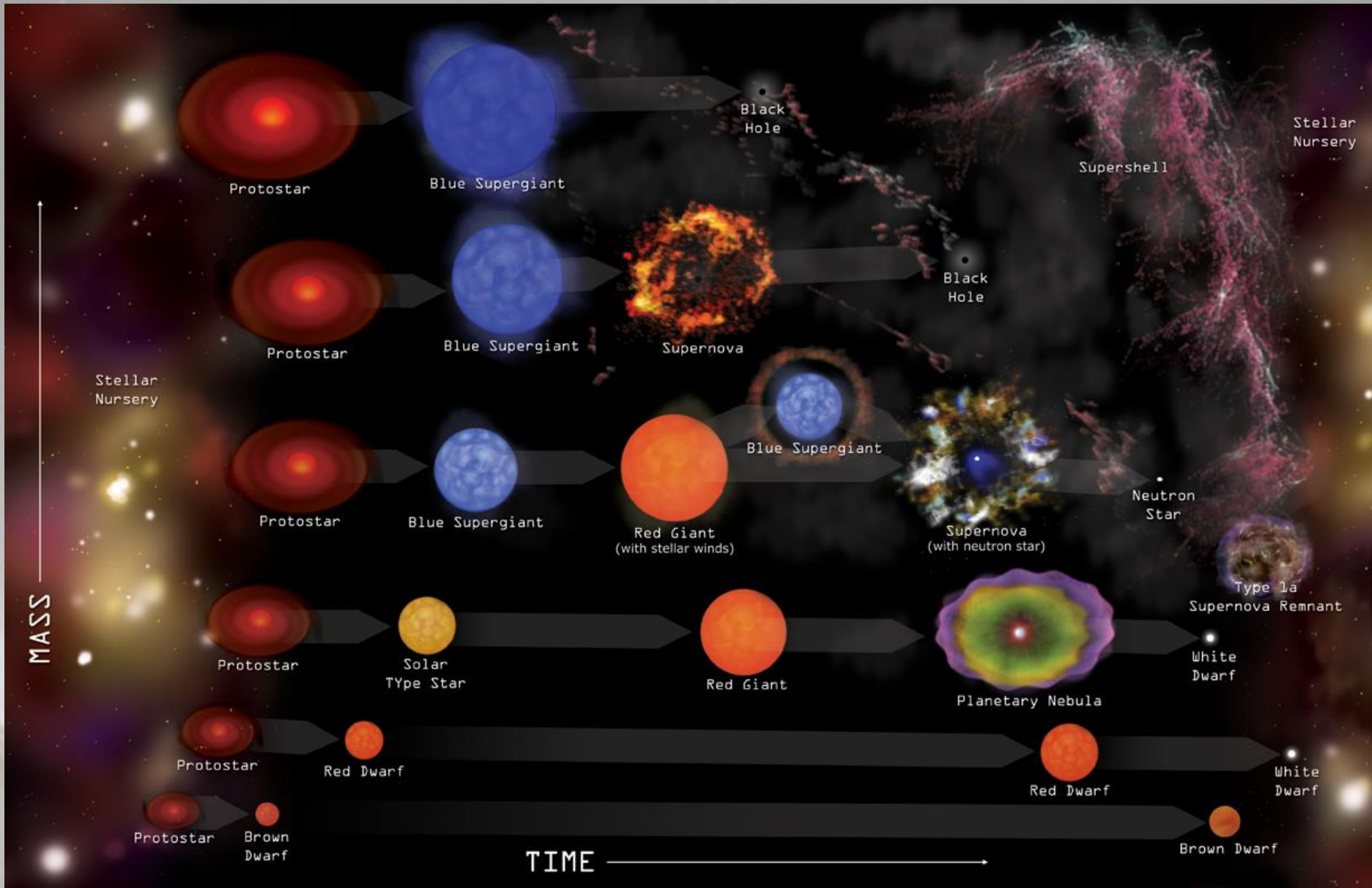
gravitacja, która dąży do ściśnięcia gwiazdy jest powstrzymywana przez ciśnienie wytwarzane we wnętrzu.

to ciśnienie składa się z ciśnienia gazu (jest duże, bo w centrum jest wysoka temperatura) oraz ciśnienia promieniowania związanego z reakcjami termojądrowymi, które zachodzą we wnętrzu.

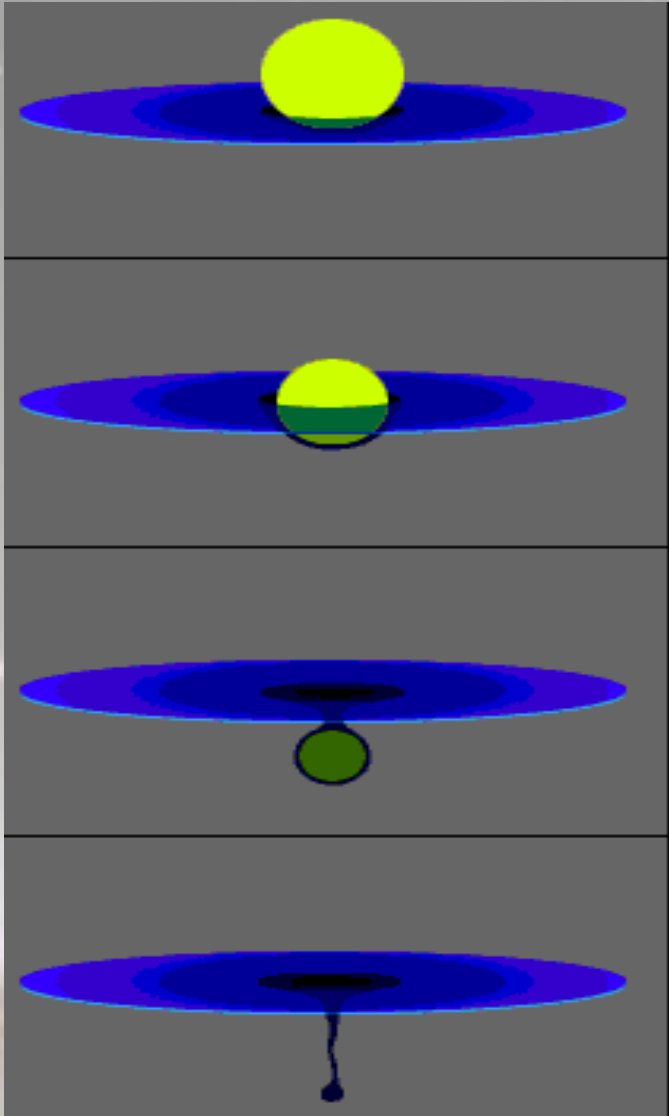
Równowaga zostaje zaburzona kiedy kończy się paliwo we wnętrzu. Losy gwiazdy zależą od masy.



Kilka słów o ewolucji gwiazd



Czarna dziura



Horyzont zdarzeń to nie jest osobliwość!



Istnieje górne ograniczenie na masę białego karła

Subrahmanyan Chandrasekhar



Odpowiednio masywna gwiazda może ulec kolapsowi grawitacyjnemu

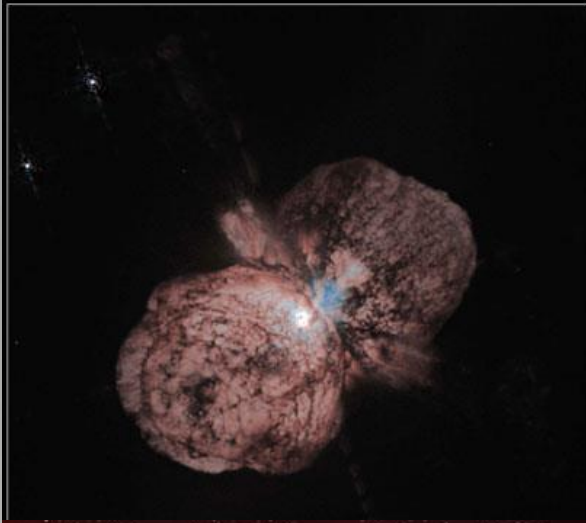
Hartland Snyder i
Robert Oppenheimer



Czarna dziura

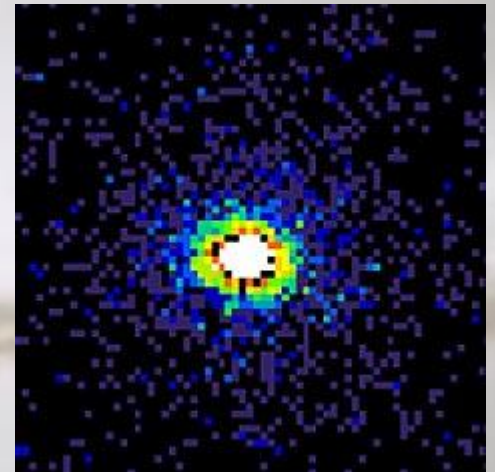
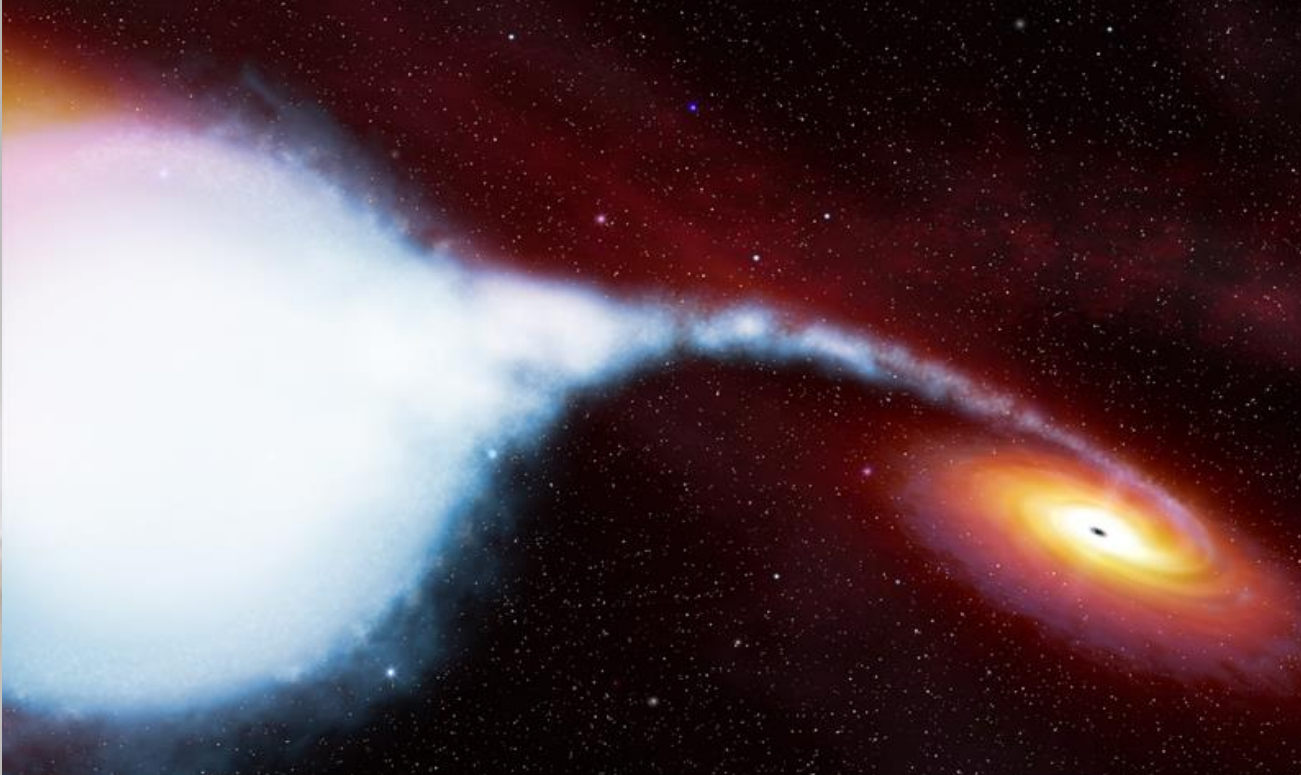
John Archibald Wheeler

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

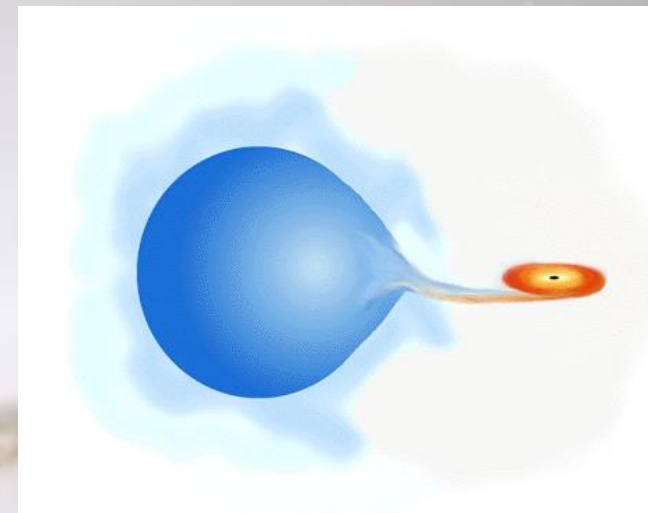


Gwiazdowe czarne dziury (M33 X-7)



Układ podwójny:

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



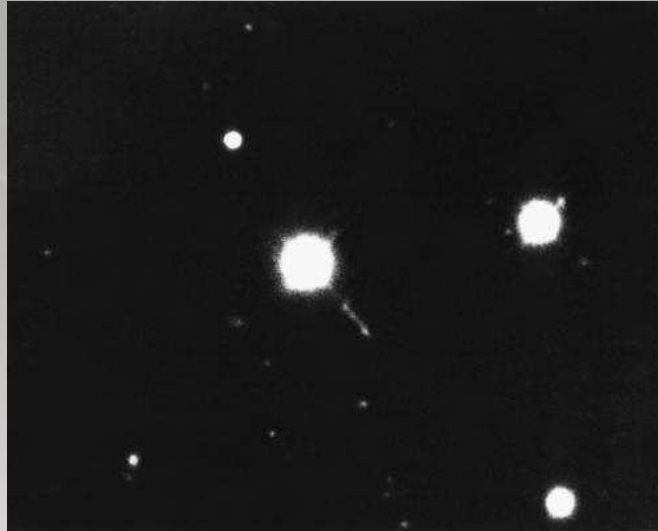
Kitt Peak: NOAO/AURA/NSF/T.A.Rector; Gemini: AURA/Gemini Obs./SDSU/J.Orosz et al.;
HST: NASA/STScI/SDSU/J.Orosz et al.; Chandra: NASA/CXC/CfA/P.Plucinsky et al.

Supermasywne czarne dziury

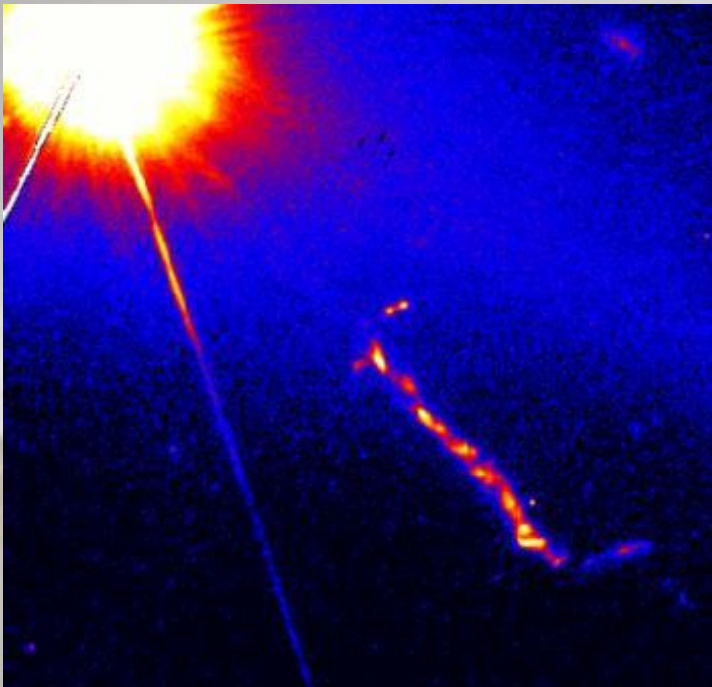
1963 r. Maarten Schmidt odkrywa nowy obiekt

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



NASA, ESA, SSC, CXC, and STScI

Centrum Drogi Mlecznej

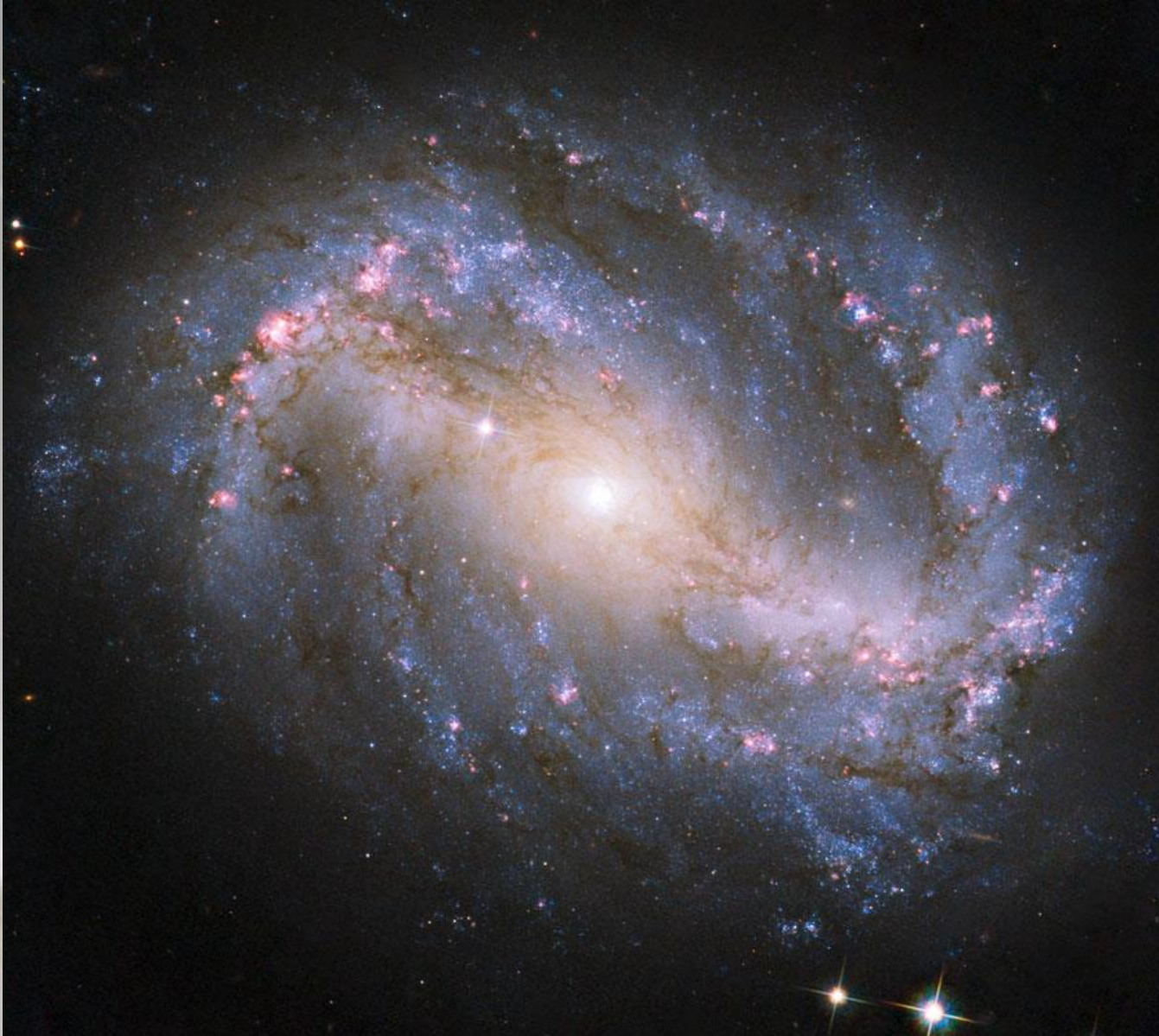
Supermasywne czarne dziury –
masy od kilkuset tysięcy
do kilku miliardów M_{\odot}

Obserwowane są w centrach
galaktyk



Galaktyka M104 (Sombrero)

Supermasywne czarne dziury



NGC 6217

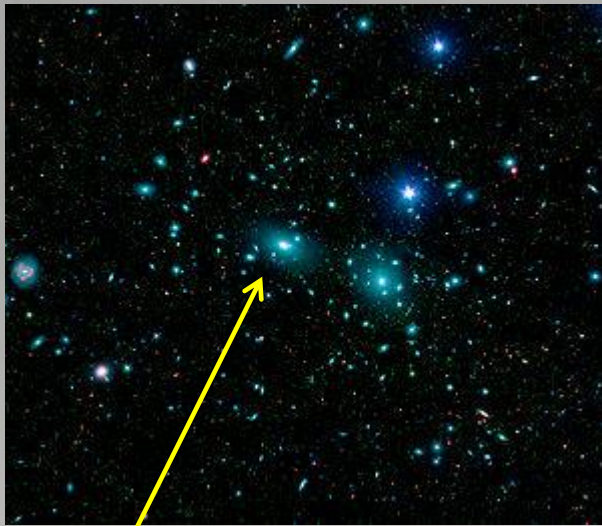
NASA, ESA, and the Hubble SM4 ERO Team

Supermasywne czarne dziury

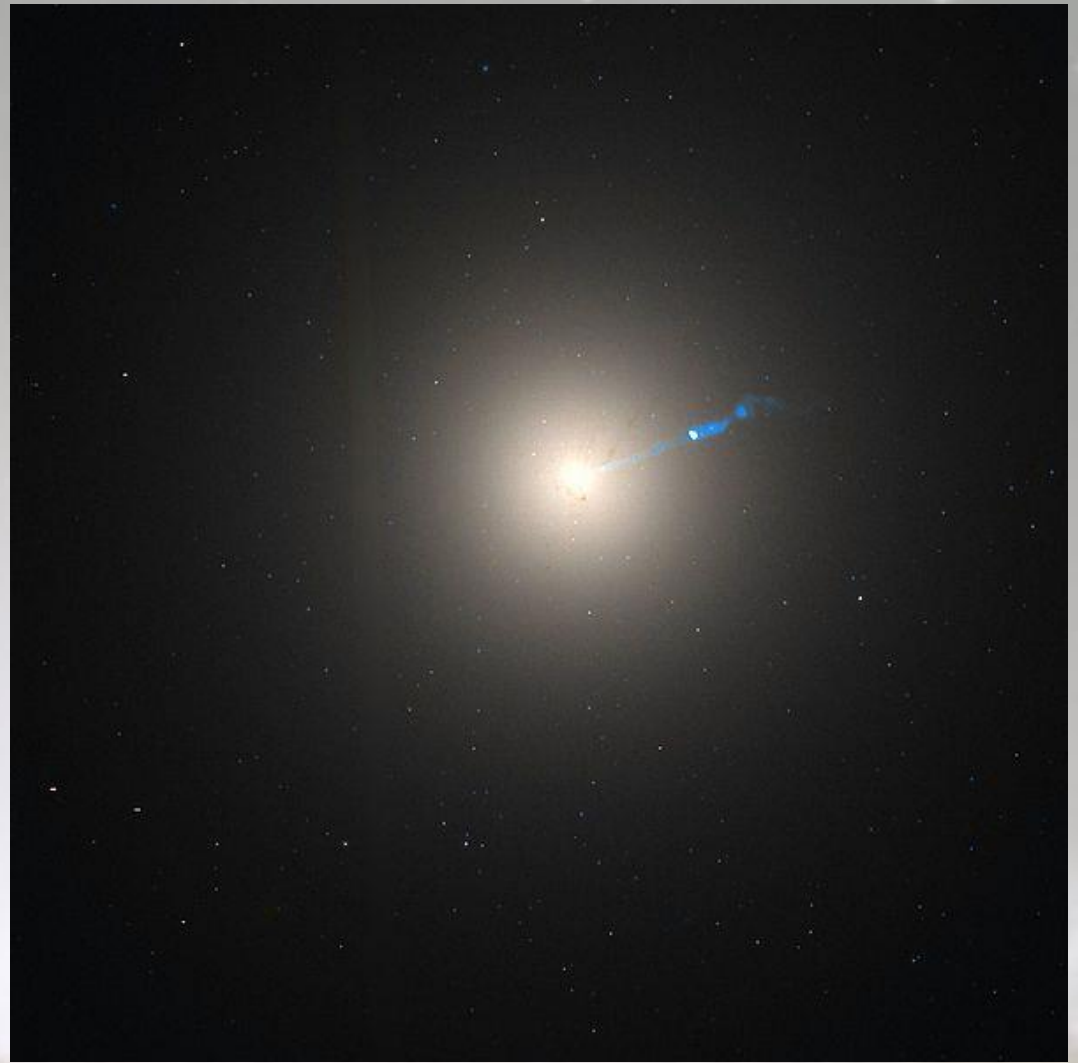


M31 (Galaktyka Andromedy) - $(1.1-2.3) \times 10^8 M_{\odot}$

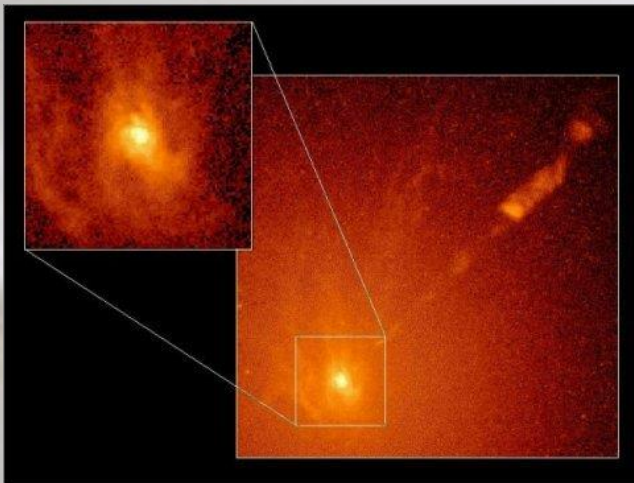
Supermasywne czarne dziury



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

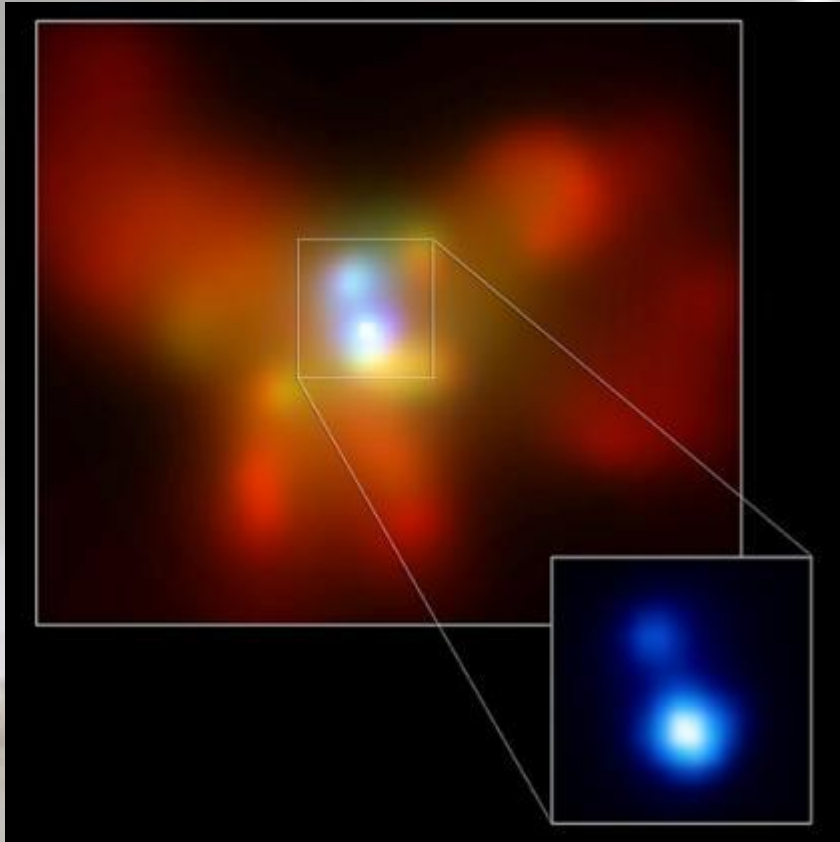


M87 - $(5.9 - 6.9) \times 10^9 M_{\odot}$



NGC 6240

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



NGC 6240

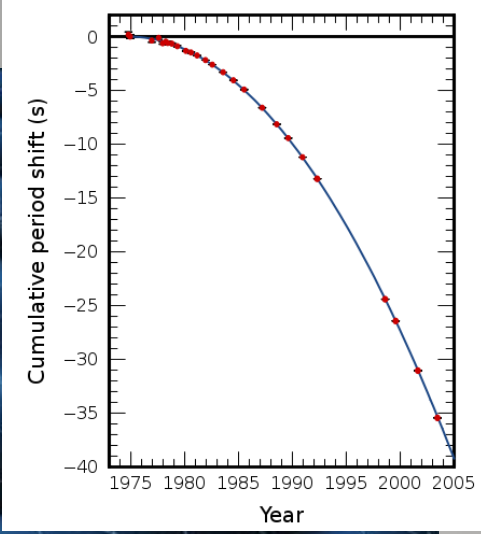
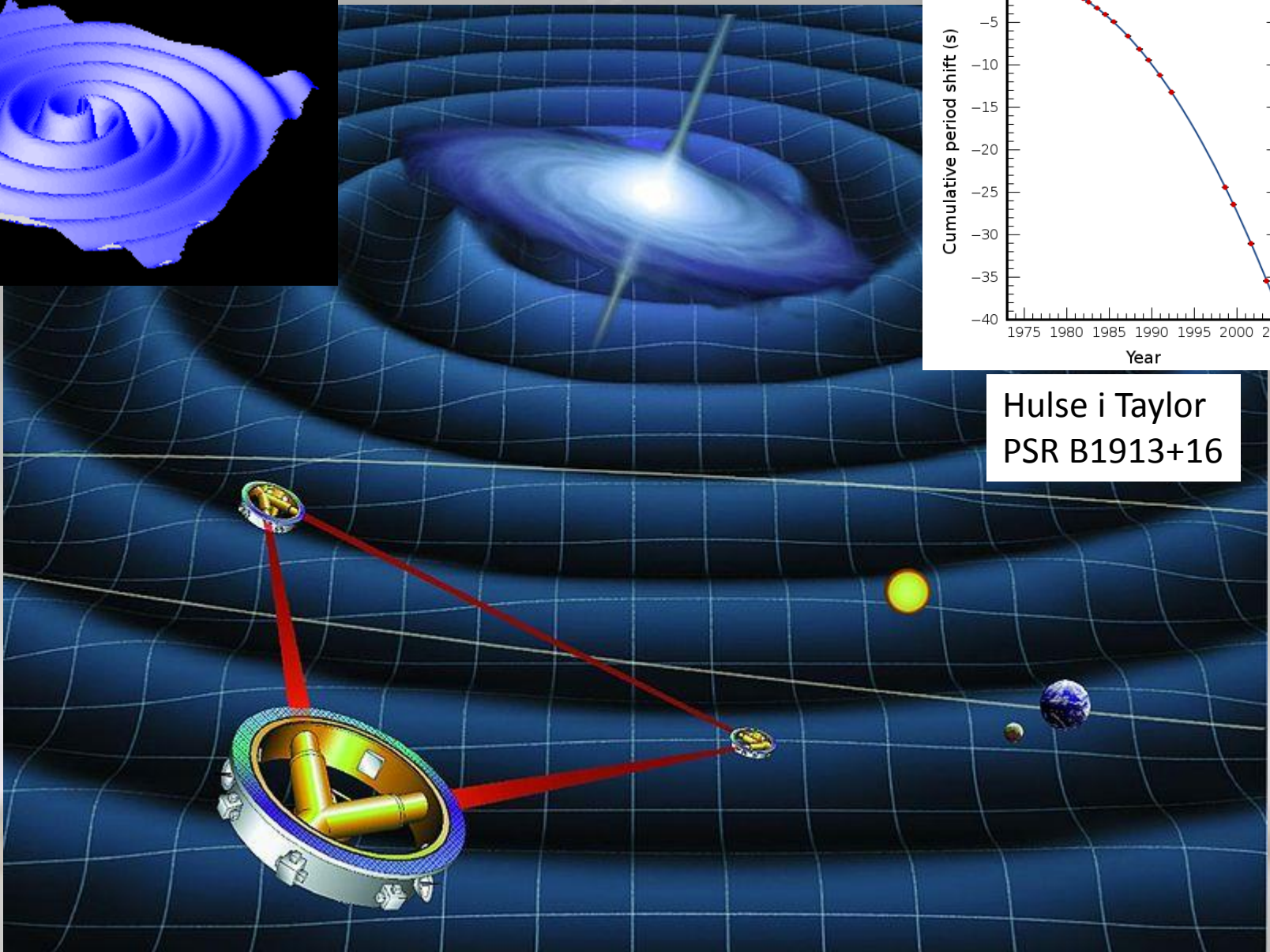
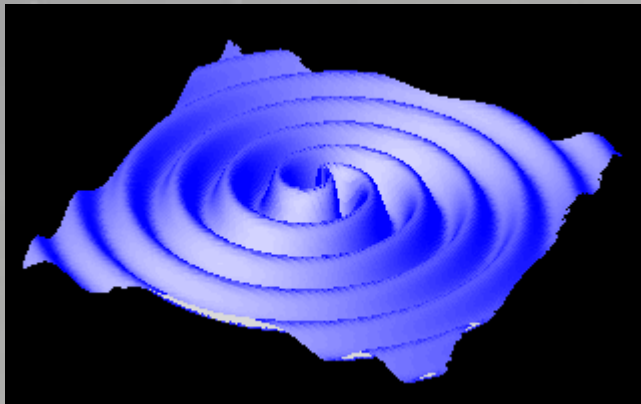
**Zderzenie może nastąpić
w ciągu kilkudziesięciu
lub kilkuset milionów lat**

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

Animation: NASA/CXC/A. Hobart

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

Detekcja fal grawitacyjnych



Hulse i Taylor
PSR B1913+16

Co się dzieje dookoła czarnej dziury?



www.spacetelescope.org

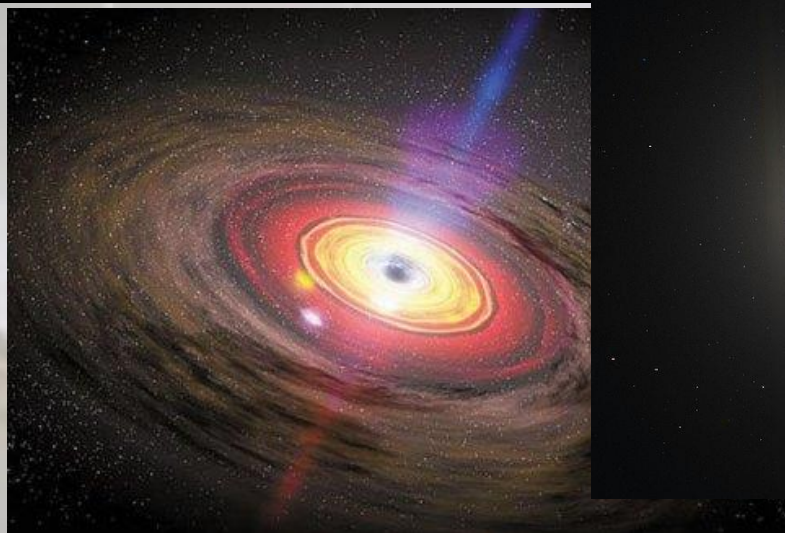
Akrecja – opadanie materii rozproszonej na ciało niebieskie pod wpływem grawitacji

Właściwości dysków akrecyjnych wokół czarnych dziur:

- promień wewnętrzny $3R_S$ (dla nierotującej czarnej dziury)
- duża część emisji w zakresie rentgenowskim

Dżety:

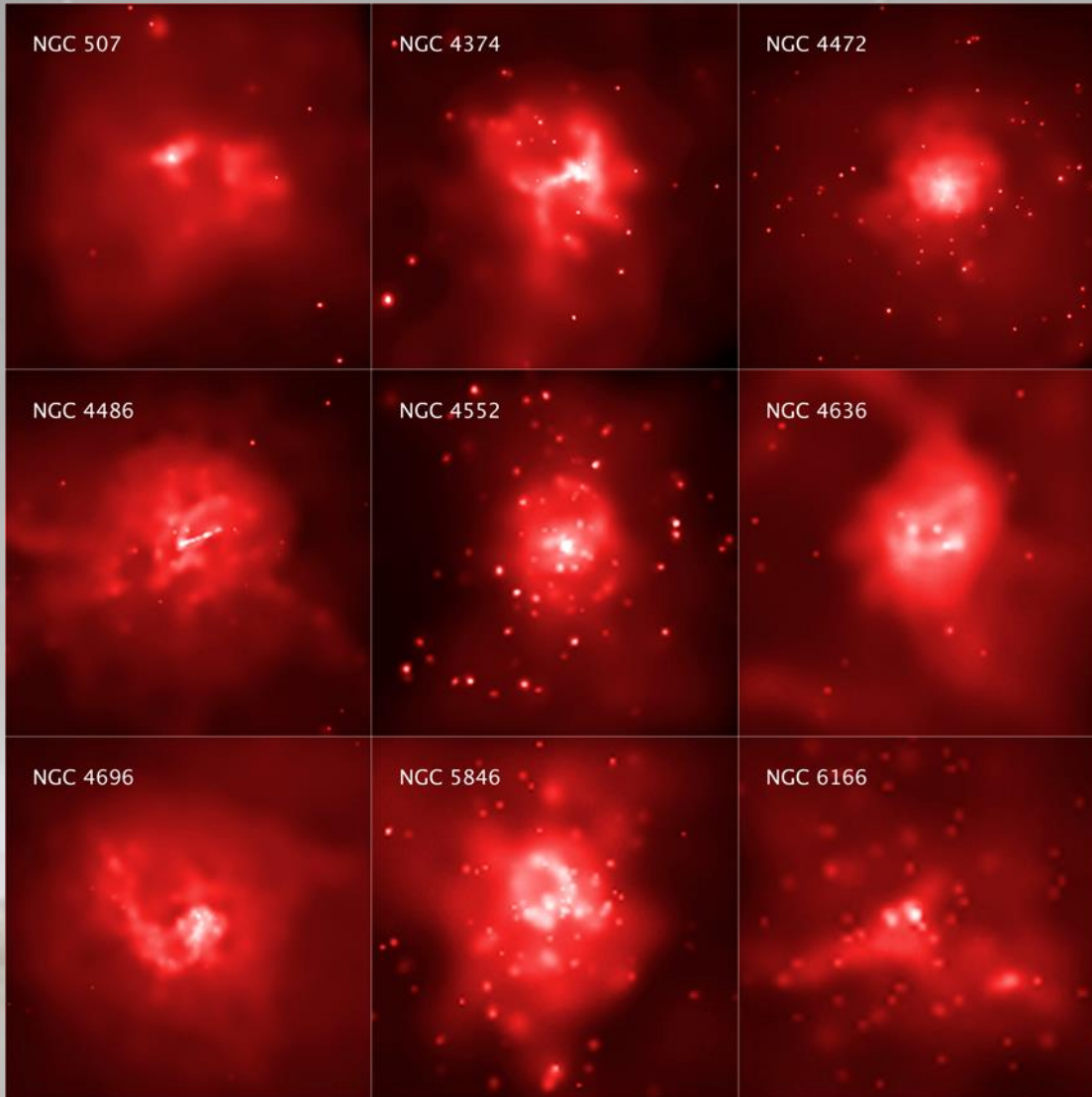
- strugi materii wyrzucane wzdłuż osi obrotu ciała centralnego
- ich prędkości są rzędu prędkości ucieczki z ciała centralnego – w przypadku czarnych dziur są bliskie prędkości światła
- nieznanym jest mechanizm powstawania – jednym z „graczy” jest pole magnetyczne



NASA / Dana Berry, SkyWorks Digital

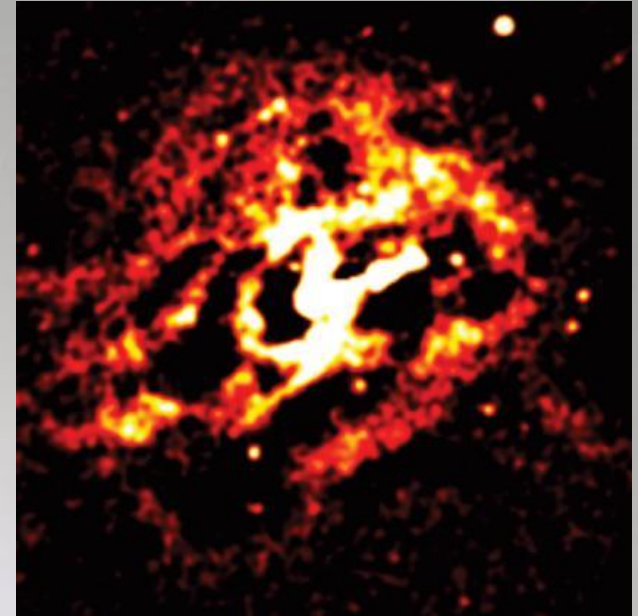
Co się dzieje dookoła czarnej dziury?

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

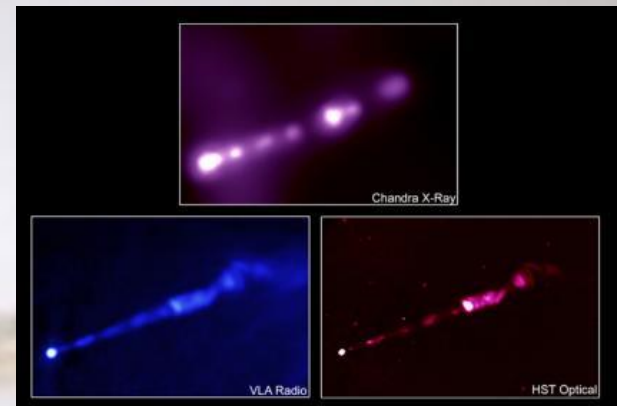


Credit: NASA/CXC/Stanford U./S.Allen et al.

M 87



NASA/CXC/H.Feng et al.



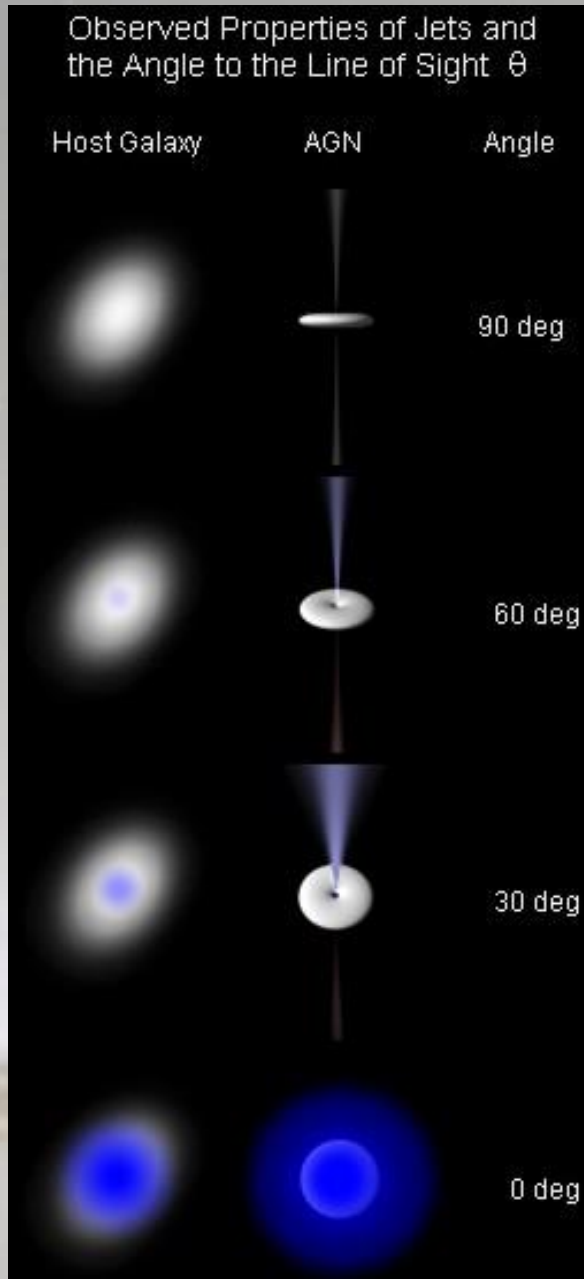
X-ray: NASA/CXC/MIT/H.Marshall et al.
Radio: F. Zhou, F.Owen (NRAO), J.Biretta (STScI)
Optical: NASA/STScI/UMBC/E.Perlman et al

Galaktyki aktywne/aktywne jądra galaktyk (AGN)

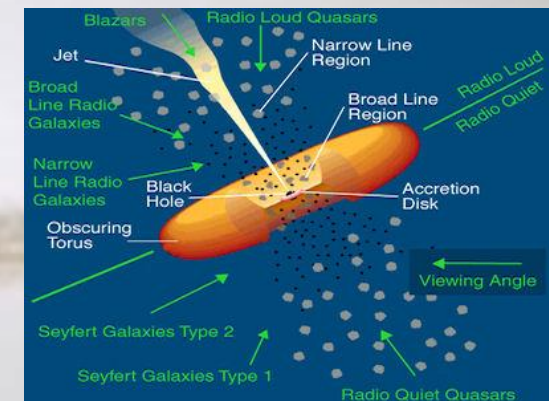
Radiogalaktyki Seyfert 2

Kwazary/ Seyfert 1

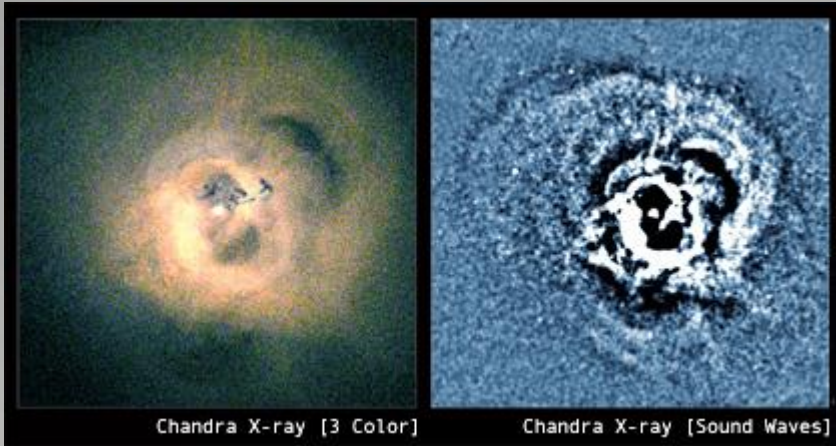
Blazary



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



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

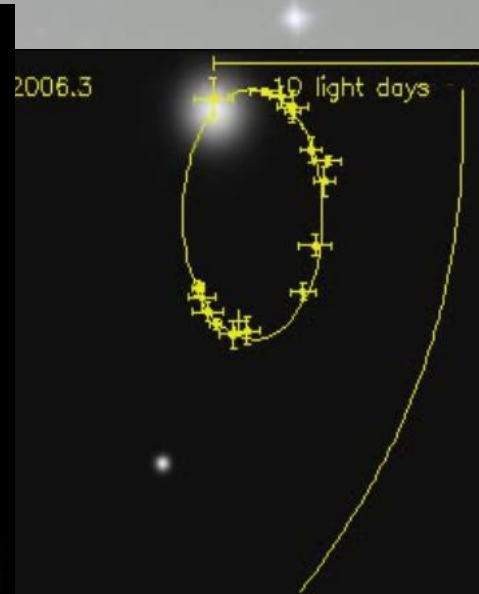
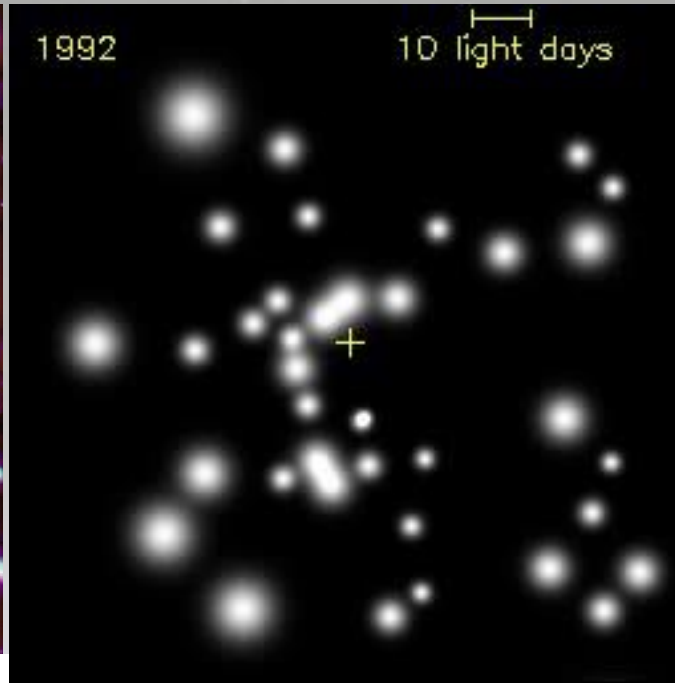
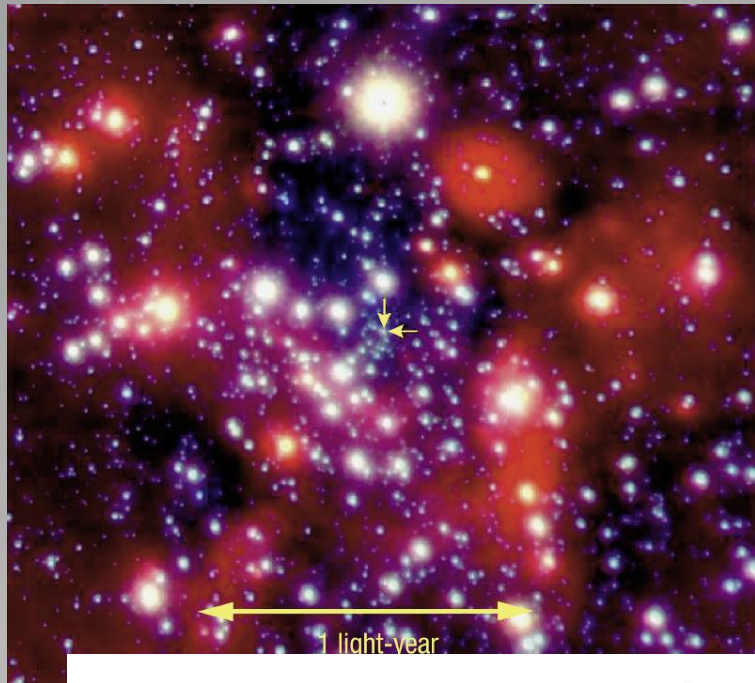
Centrum Drogi Mlecznej





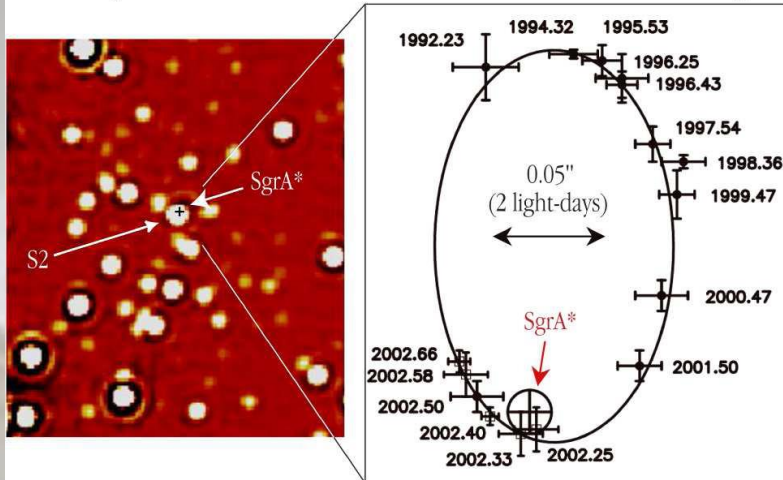
Jak wyznaczyć masę w centrum Drogi Mlecznej?

Masa czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej



NACO May 2002

S2 Orbit around SgrA*



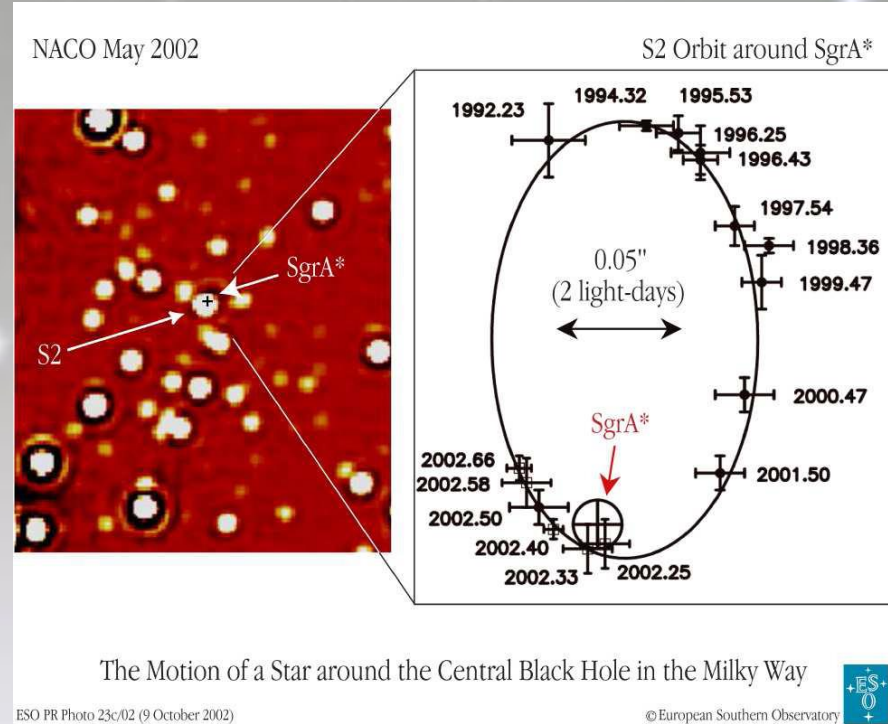
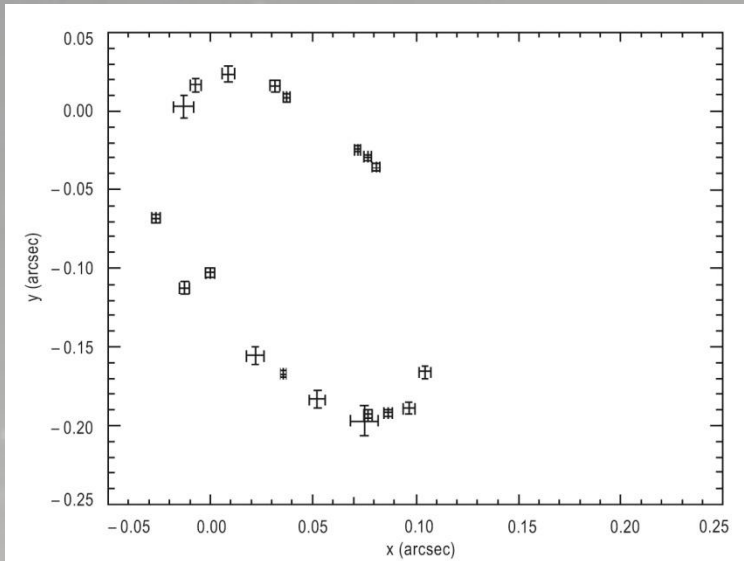
Ogromna gęstość gwiazd w obszarach centralnych

10 lat obserwacji gwiazdy S2 wystarczyło do wyznaczenia jej orbity

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

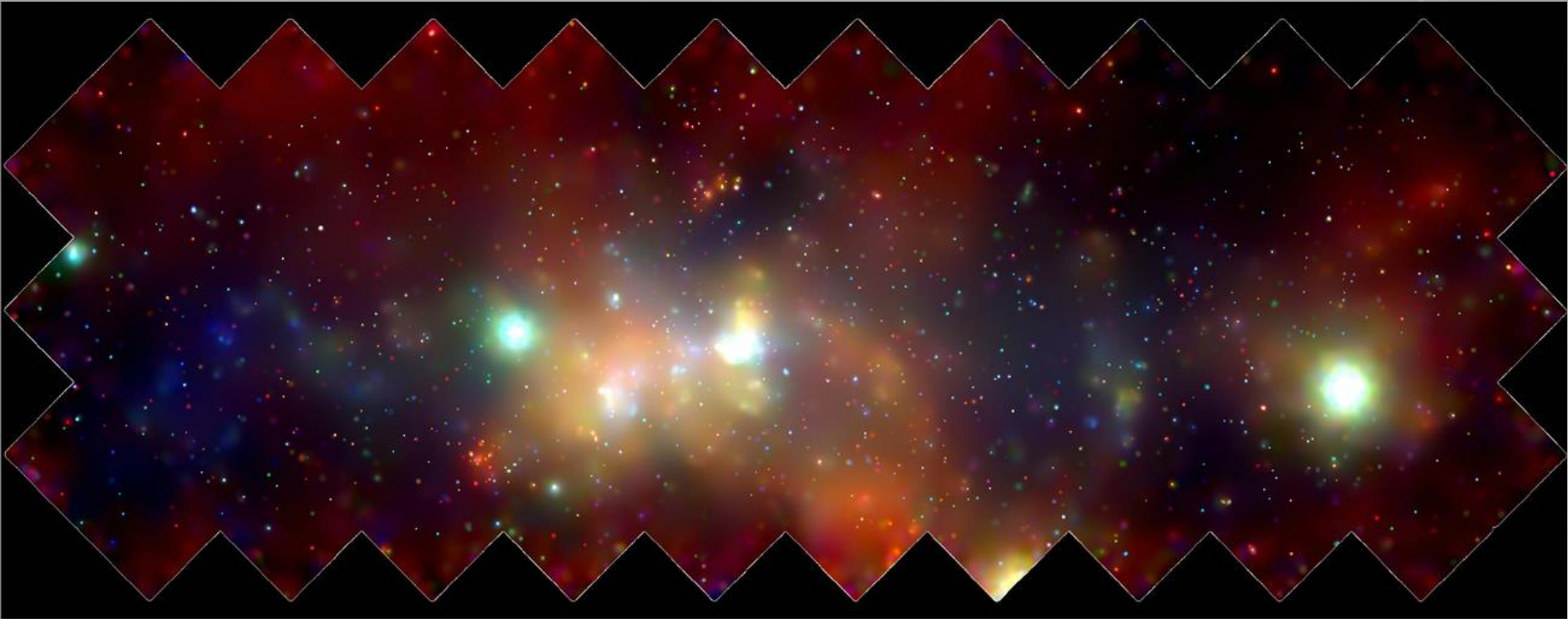


Masa czarnej dziury w centrum Drogi Mlecznej



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

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:

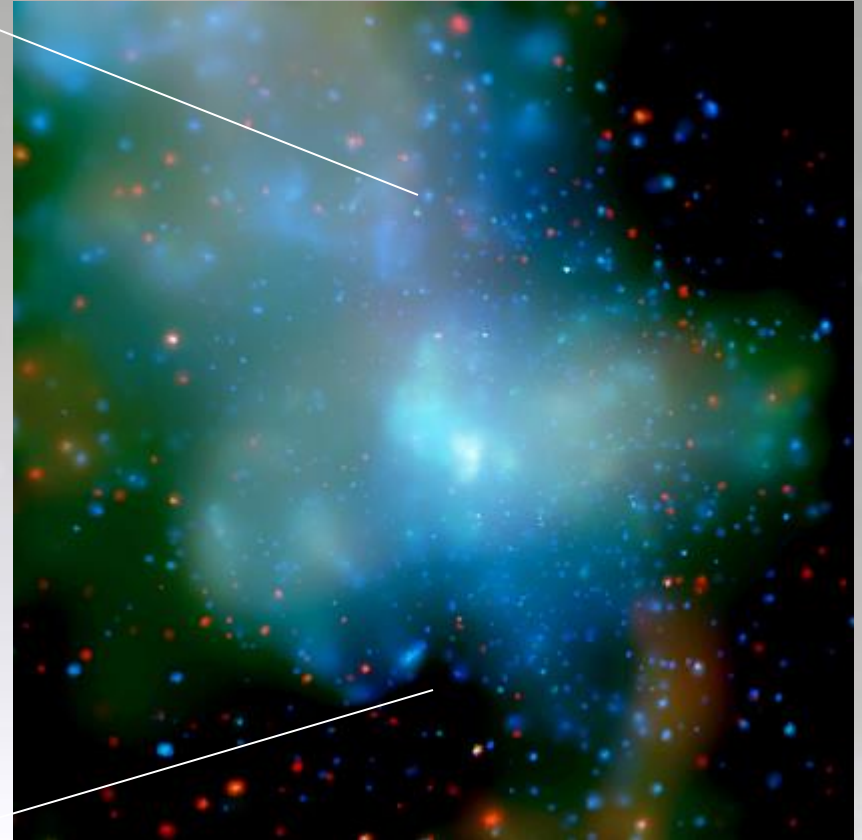
- niskie (czerwony)
- pośrednie (zielony)
- wysokie (niebieski)

6 stycznia 2003



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

13 czerwca 2003

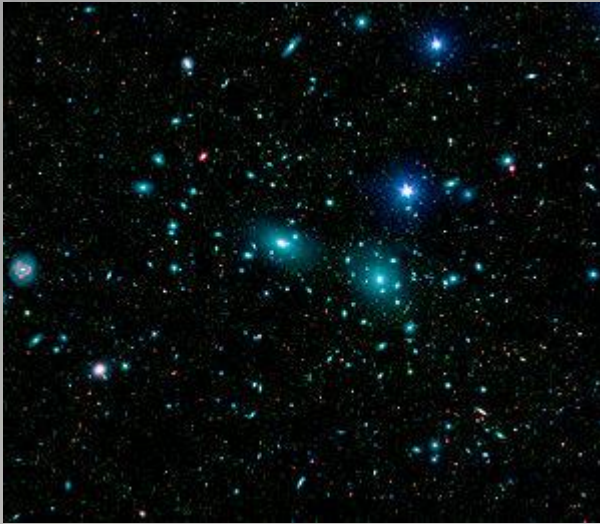


NASA/CXC/UCLA/MIT/M.Muno et al.

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.

Epilog: Czy można żyć w czarnej dziurze? Tunele czasoprzestrzenne? Ile mamy wymiarów?



NGC 4889 - $(6 - 37) \times 10^9 M_{\odot}$
 $R_S = 6.2 \times 10^{13} \text{m} = \text{ok. } 0.01 \text{ r.}\dot{\text{s}}\text{w}$

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

