

Ewolucja Wszechświata

Wykład 12 *Czarne dziury*

Grawitacja

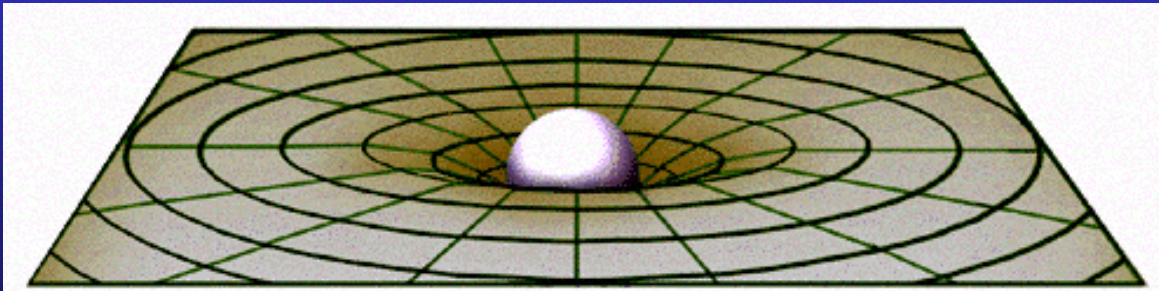
Grawitacja \equiv zakrzywienie czasoprzestrzeni

W czasoprzestrzeni zakrzywionej światło porusza się po torach, które są liniami o najmniejszej długości spośród wszystkich możliwych łuków łączących zadane punkty (linie geodezyjne).

Jeśli wszystkie linie geodezyjne wokół danego ciała są liniami zamkniętymi, to żadne ciało nie może wydostać się na zewnątrz.

Czarna dziura jest obiektem, który znajduje się wewnątrz własnego horyzontu zdarzeń.

Horyzont zdarzeń - powierzchnia w czasoprzestrzeni, która oddziela od obserwatora zdarzenia, o których nie może on nigdy otrzymać żadnych informacji.



Idea Johna Mitchella z 1784r.

Prędkość ucieczki z gwiazdy o masie M i promieniu R

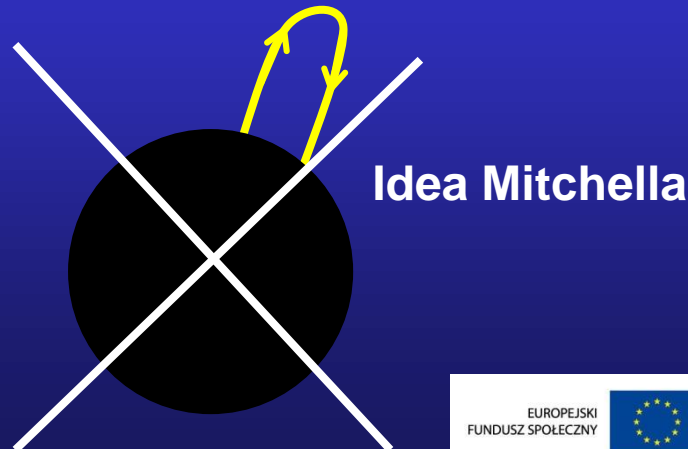
$$\frac{GmM}{R} = \frac{mv^2}{2}$$

gdy zamiast prędkości v wstawimy prędkość światła c :

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

Z takiej gwiazdy światło nie może uciec

Identyczny wynik uzyskał Karl Schwarzschild z równań OTW.



Idea Karla Schwarzschilda (1873 – 1916)

Radialny ruch fotonu w metryce Schwarzschilda:

$$0 = \left(1 - \frac{R_{Schw}}{r}\right) c^2 dt^2 - \frac{1}{\left(1 - \frac{R_{Schw}}{r}\right)} dr^2$$

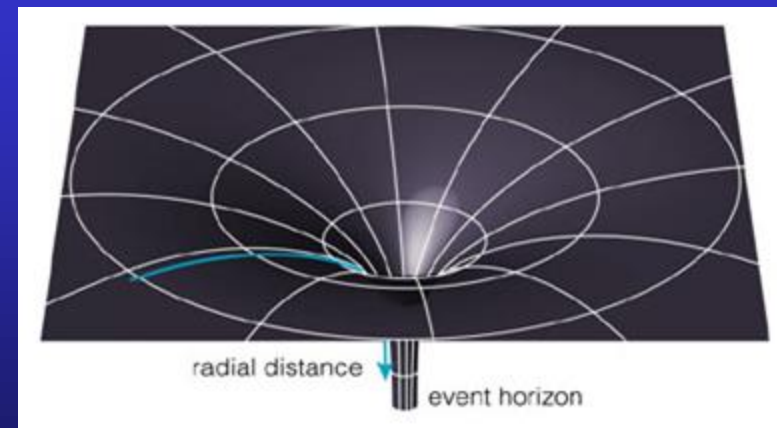
Dla $r \gg R_{Schw}$



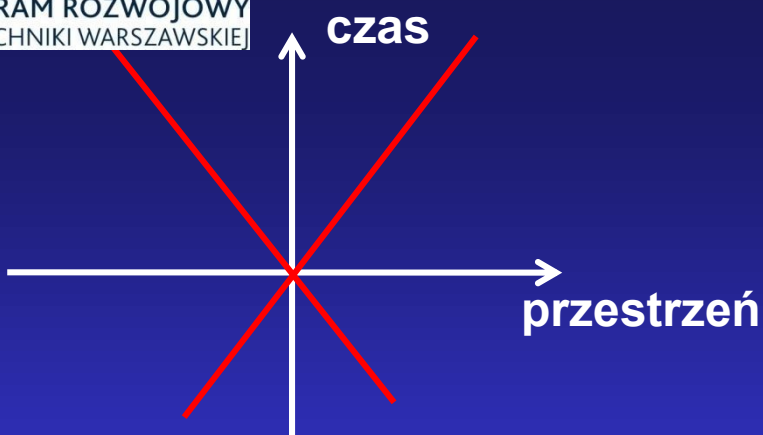
$$cdt = dr \Rightarrow c = \frac{dr}{dt}$$

Dla $r \cong R_{Schw}$

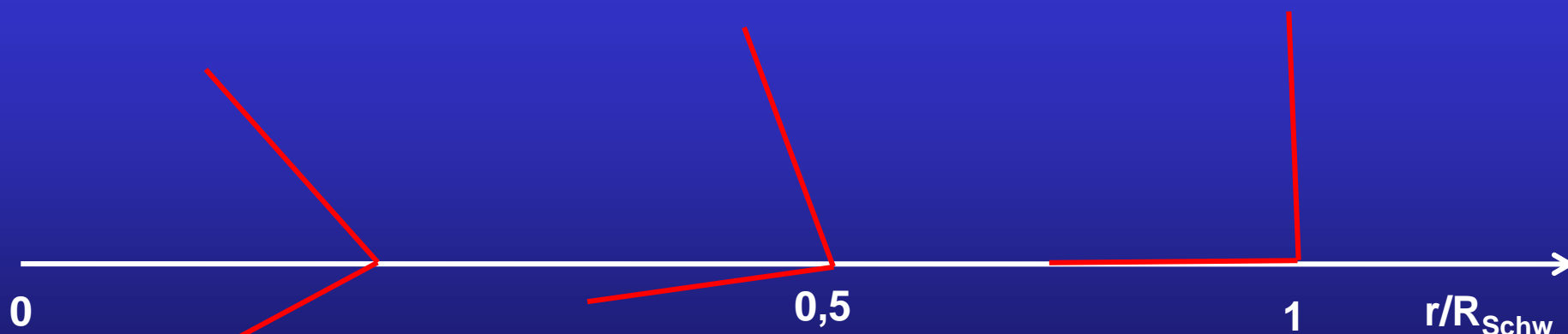
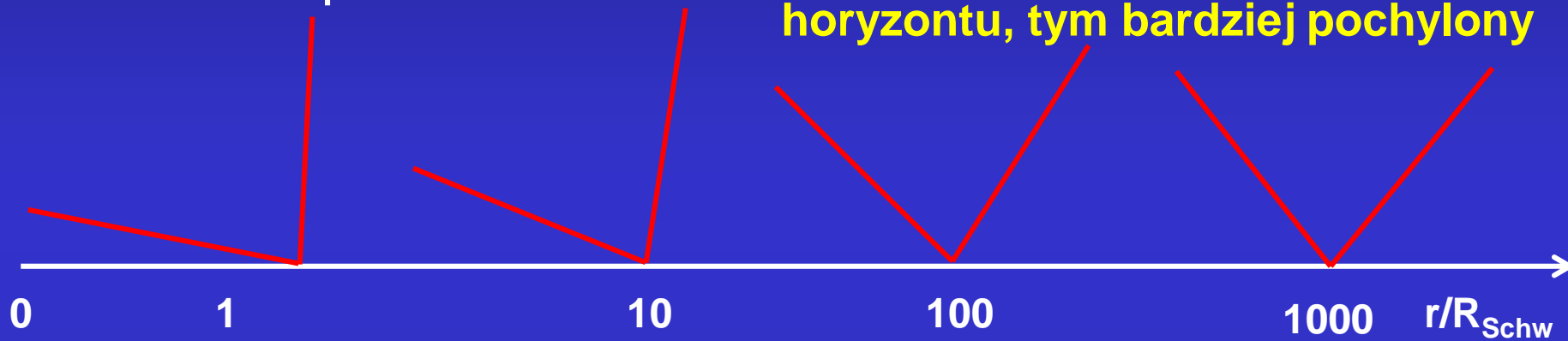
silne zakrzywienie czasoprzestrzeni – czas płynie wolniej, przestrzeń wyciąga się.



Stożek świetlny w szczególnej teorii względności



Nad horyzontem: **im bliżej horyzontu, tym bardziej pochylony**



Pod horyzontem: **zamiana ról czasu i przestrzeni**

Promień Schwarzschilda w km jest 3 razy większy niż masa obiektu w jednostkach masy Słońca.

Na przykład:

Dla obiektu o masie Słońca promień Schwarzschilda wynosi około 3 km

Dla obiektu o masie Ziemi promień Schwarzschilda wynosi około 9 mm

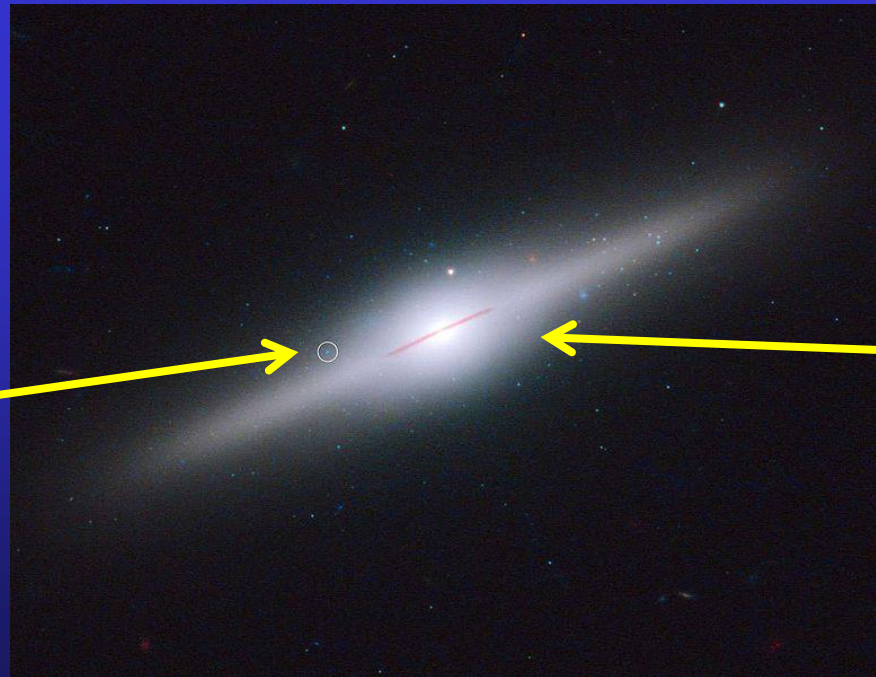
Czarne dziury:

- **Supermasywne – miliony mas Słońca – kwazary i centra galaktyk.**
- **Średnie (gwiazdowe) – końcowy etap życia gwiazdy o masie większej niż 8 mas Słońca.**
- **Małe – dowolnie małe masy – nie mogą powstać samoistnie pod wpływem grawitacji (pierwotne czarne dziury Hawkinsa), mogły powstawać we wczesnej fazie życia Wszechświata w wyniku fluktuacji ciśnień).**

Czarna dziura o masie pośredniej

Czarne dziury o masie **pośredniej** (ok. 20 000 M_{\odot}) między masą gwiazdowej czarnej dziury a supermasywnej czarnej dziury.

Odkrycie z 2009 r. - **ESO 243-49 HLX-1** –kandydat na pierwszą odkrytą czarną dziurę o masie pośredniej , znajdujący się w galaktyce **ESO 243-49**



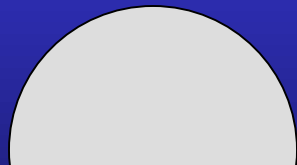
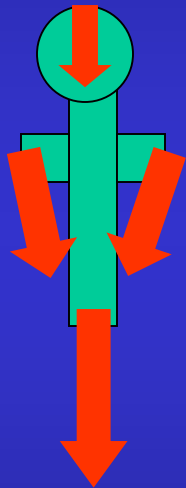
Czarna dziura – źródło promieniowania X

galaktyka
ESO 243-49

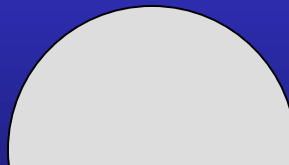
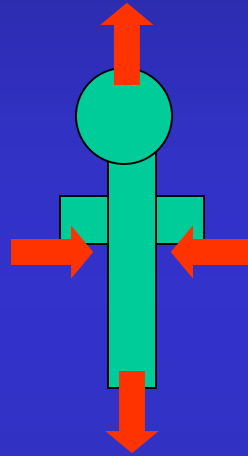
Grawitacja

Grawitacja i siły bezwładności są nierozróżnialne – wyjątek: siły pływowe.

Siły pływowe



Układ związany z Ziemią



Układ związany z kosmonautą



Księżyc

Grawitacja

Zakrzywienie czasoprzestrzeni oznacza, że nie tylko przestrzeń jest zakrzywiona, a również czas.



Grawitacja spowalnia upływ czasu.

Przy podłodze czas płynie wolniej niż przy suficie o

$$\frac{3}{10^{16}}$$

W przypadku czarnej dziury o masie równej 10 masom Słońca na wysokości 1 cm nad jej horyzontem czas płynie $6 \cdot 10^6$ razy wolniej niż z dala od niej.

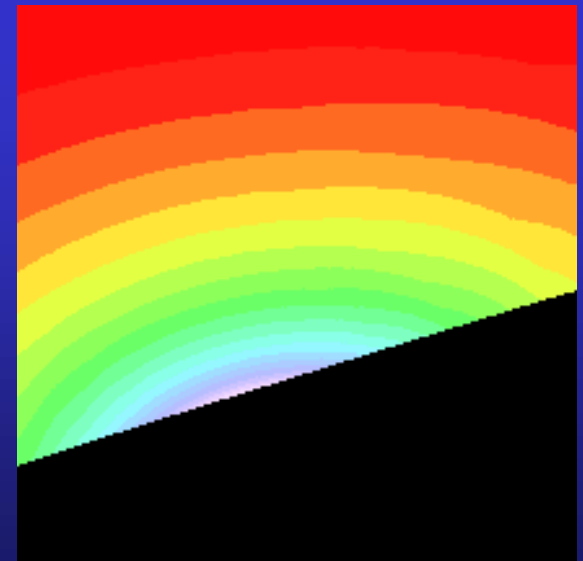
Grawitacja

Konsekwencją spowolnienia czasu jest grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni światła emitowanego z powierzchni gwiazdy.

Na przykład:

• Na powierzchni Słońca spowolnienie czasu, a więc $z = \Delta\lambda/\lambda$ wynosi $2 \cdot 10^{-6}$ (Jim Brault potwierdził to doświadczalnie w latach 60 XX wieku)

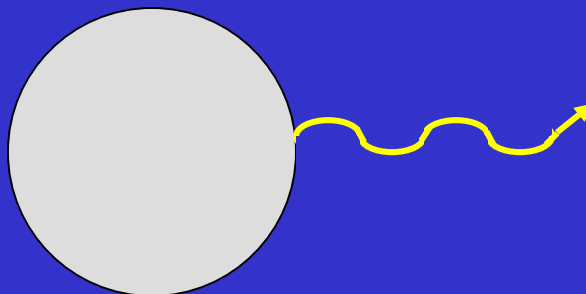
Dla obserwatora znajdującego się w pobliżu czarnej dziury (wielkie zakrzywienie czasoprzestrzeni) światło dochodzące z odległych gwiazd będzie przesunięte w kierunku fioletu.



Grawitacja

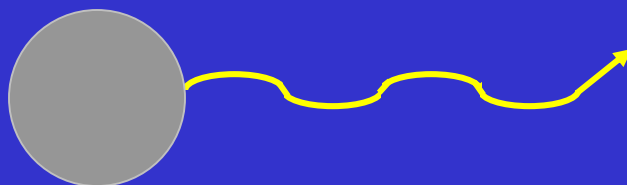
Trzy gwiazdy o równych masach i różnych promieniach:

4 x promień
Schwarzschilda



Foton przesunięty
ku czerwieni o 15%

2 x promień
Schwarzschilda



Foton przesunięty
ku czerwieni o 41%

Promień
Schwarzschilda



Foton o nieskończonej
długości fali

Nieskończona długość fali \equiv zerowa energia

Grawitacyjny redshift

Grawitacyjne przesunięcie ku czerwieni światła emitowanego z powierzchni gwiazdy można jakościowo wyjaśnić również na gruncie fizyki klasycznej.

Fotonowi o energii $E = h\nu$ można przypisać masę

$$m = \frac{E}{c^2}$$

W polu grawitacyjnym obiektu o masie M w odległości R energia potencjalna masy m wynosi:

$$U = -\frac{GMm}{R} = -\frac{GMh\nu}{Rc^2}$$

Pokonując pole grawitacyjne foton traci energię i zmniejsza się częstość:

$$h\nu' = h\nu \left(1 - \frac{GM}{Rc^2}\right)$$

← Wzór przybliżony

Z OTW wynika:

$$h\nu' = h\nu \left(1 - \frac{2GM}{Rc^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$



0

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

**Promień
Schwarzschilda**

Powstawanie czarnych dziur

Jak wygląda zapadająca się gwiazda dla nieruchomego, zewnętrznego obserwatora?

Obwód gwiazdy znacznie większy od obwodu krytycznego.



Gwiazda zapada się coraz szybciej.

Obwód gwiazdy zbliża się do obwodu krytycznego.



Dylatacja czasu

Gwiazda zapada się coraz wolniej. Promieniowanie ulega przesunięciu ku czerwieni.

Gwiazda zastyga dokładnie dla obwodu krytycznego. Przestaje być widoczna. Zostaje tylko grawitacja.

Powstawanie czarnych dziur

Jak wygląda zapadająca się gwiazda dla obserwatora znajdującego się na powierzchni gwiazdy?

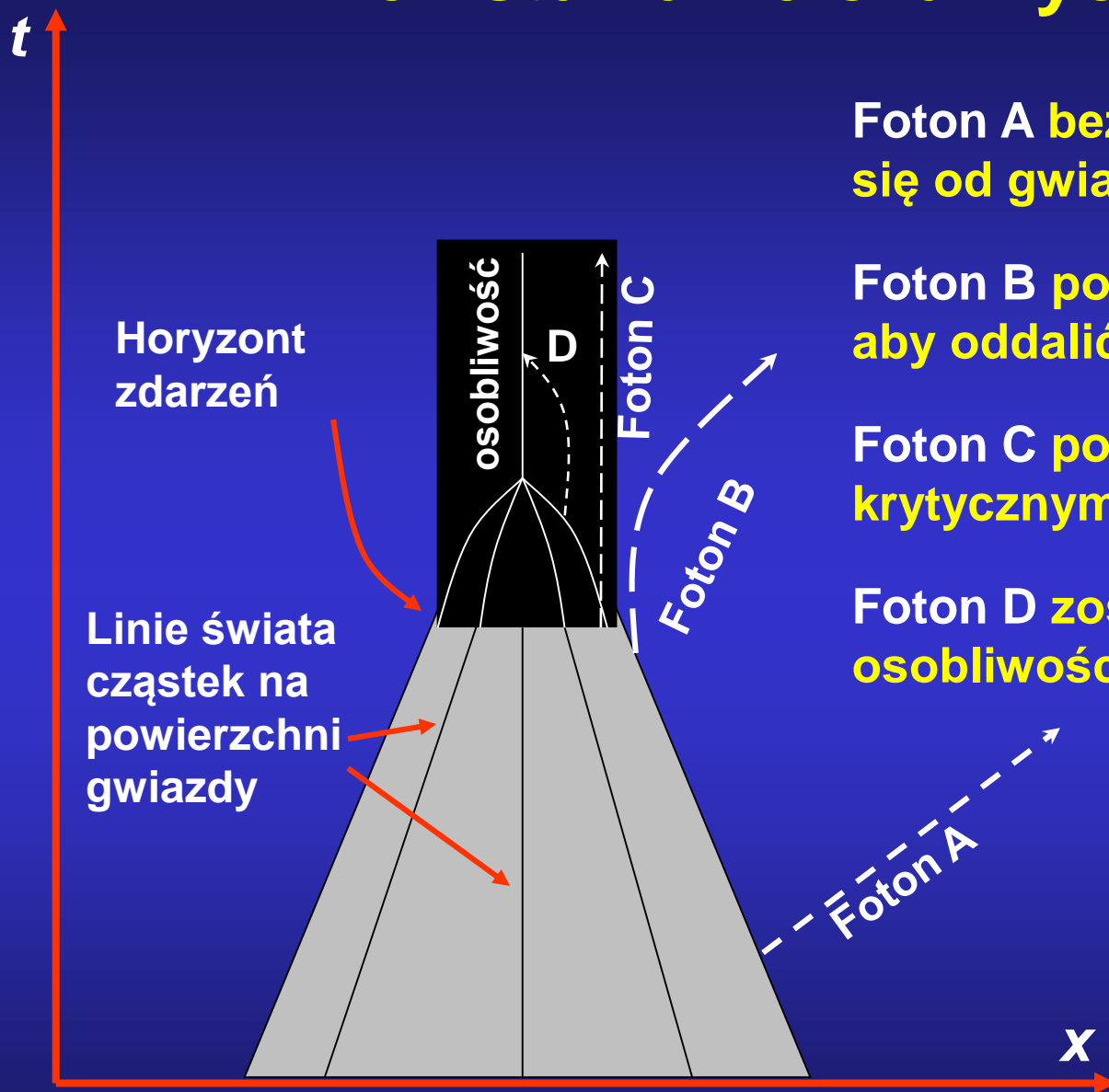
Obserwator zapadający się wraz z powierzchnią nie zauważa zastygnięcia implozji. Mija horyzont krytyczny i zapada się dalej.

Siły pływowe rozrywają każdy obiekt wpadający do czarnej dziury, zanim zmiążdżą go siły grawitacji.

OTW przewiduje, że implozja kontynuowana jest, aż do osiągnięcia osobliwości - punktu o zerowej objętości, nieskończonej gęstości materii i nieskończonym zakrzywieniu czasoprzestrzeni. Istnienie takiego punktu jest niezgodne z kwantową zasadą nieoznaczoności.

Potrzebna nowa teoria – kwantowa teoria grawitacji.

Powstawanie czarnych dziur



Foton A bez przeszkód oddala się od gwiazdy.

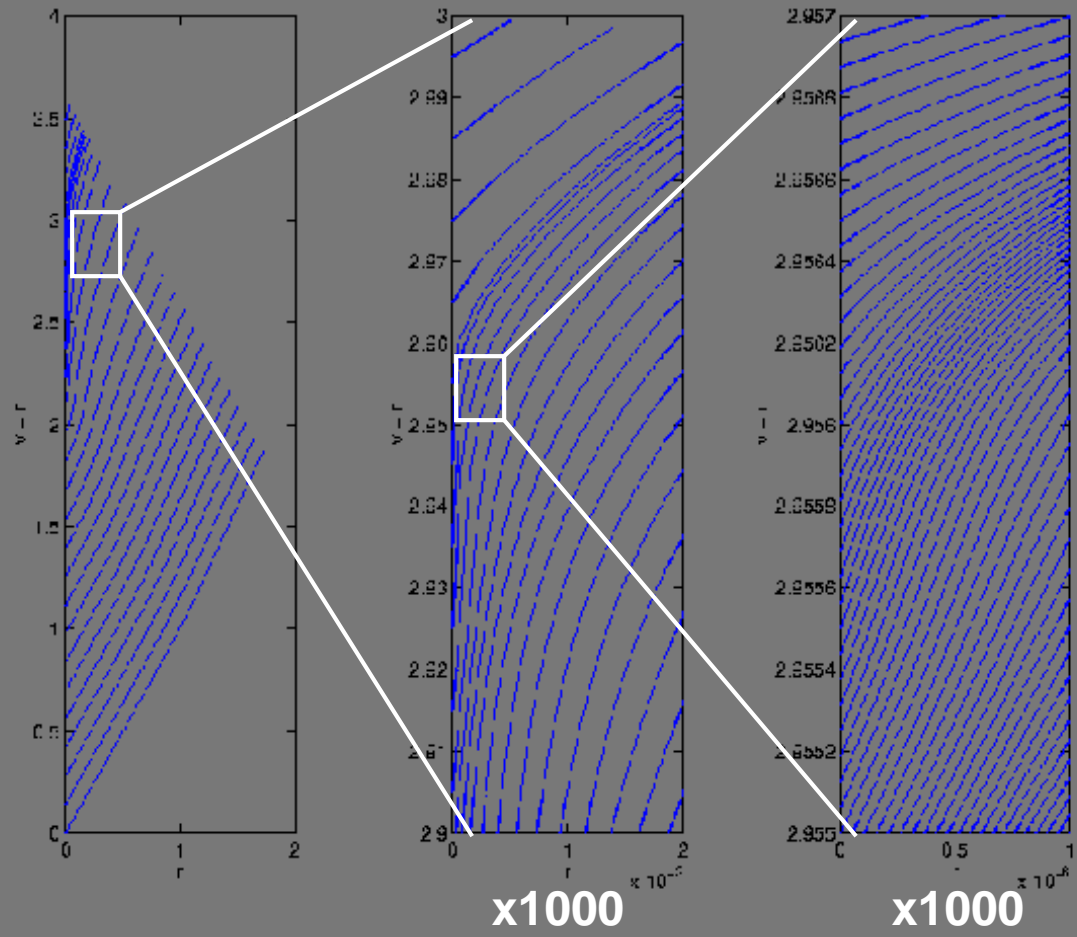
Foton B potrzebuje dużo czasu, aby oddalić się od gwiazdy.

Foton C pozostaje na obwodzie krytycznym.

Foton D zostanie wciągnięty do osobliwości przez silną grawitację.

Powstawanie czarnych dziur

t

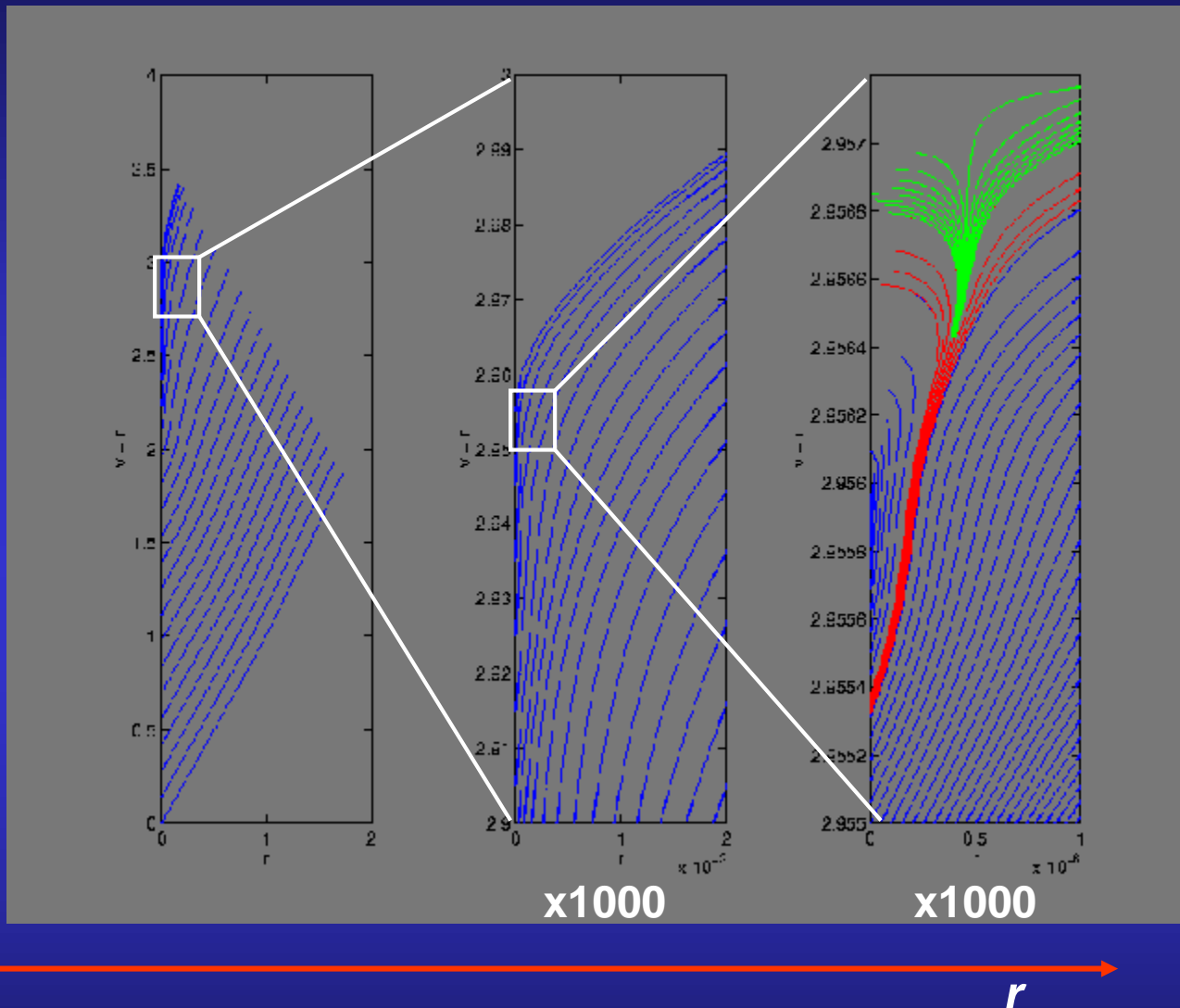


Linie to tory
fotonów
wyemitowanych w
punkcie $r = 0$.

r

Wszystkie fotony uciekają – czarna dziura nie powstaje.

Powstawanie czarnych dziur



Linie to tory
fotonów
wyemitowanych w
punkcie $r = 0$.

Fotony wyemitowane najpóźniej poruszają się najpierw na zewnątrz, a potem zwracają do środka – powstaje czarna dziura.

Czarna dziura

Własności czarnej dziury:

- *Kształt horyzontu,*
- *Pulsacje,*
- *Natężenie przyciągania grawitacyjnego.*

Z ogólnej teorii względności wynika, że wszystkie własności czarnej dziury można przewidzieć na podstawie trzech liczb:

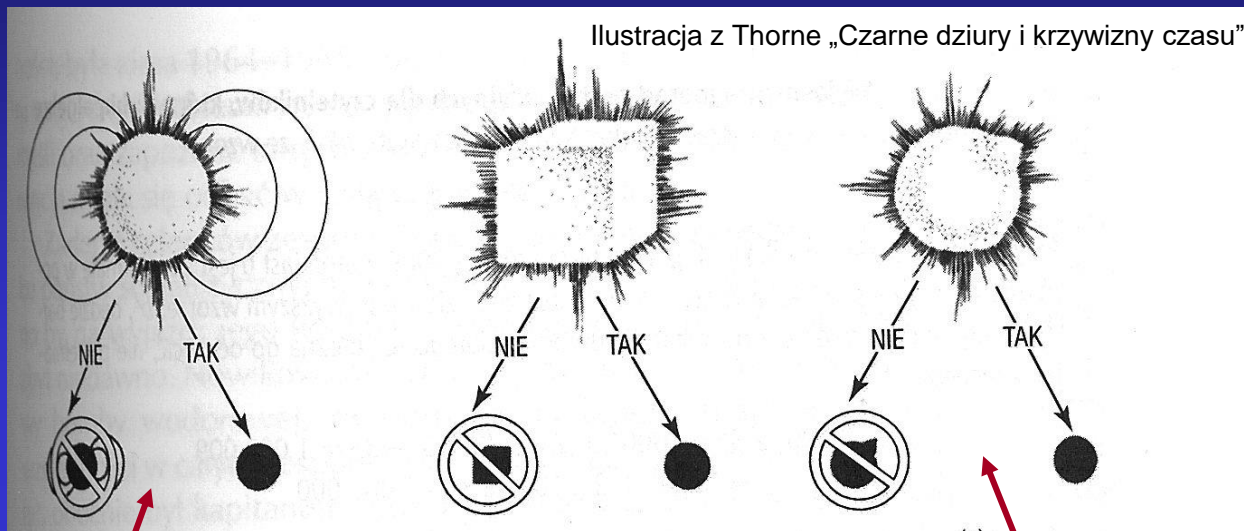
• **Masy**

• **Momentu pędu**

• **Ładunku elektrycznego**

Badania teoretyczne czarnych dziur w latach 60 i 70: Wheeler, Penrose, Hawking, Zeldowicz, Nowikow, Thorne, Israel i inni.

Czarne dziury nie mają włosów



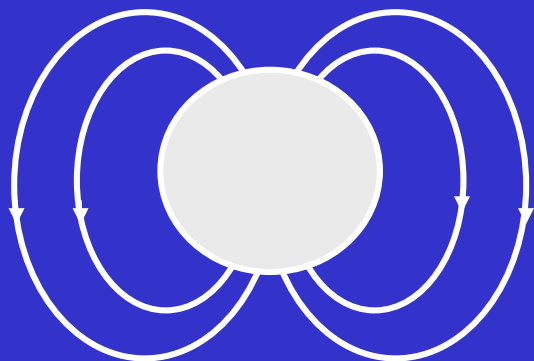
Magnetyczna gwiazda zapadnie się do czarnej dziury pozbawionej pola magnetycznego.

Energia pola zostanie wypromieniowana w postaci fal elektromagnetycznych.

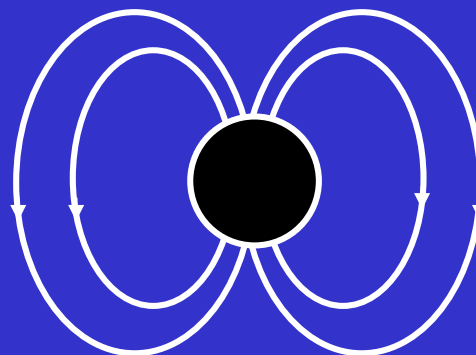
Gwiazda z nierówną powierzchnią zapadnie się do idealnie kulistej czarnej dziury.

Energia wybruszenia zostanie wypromieniowana w postaci fal grawitacyjnych.

Czarne dziury nie mają włosów

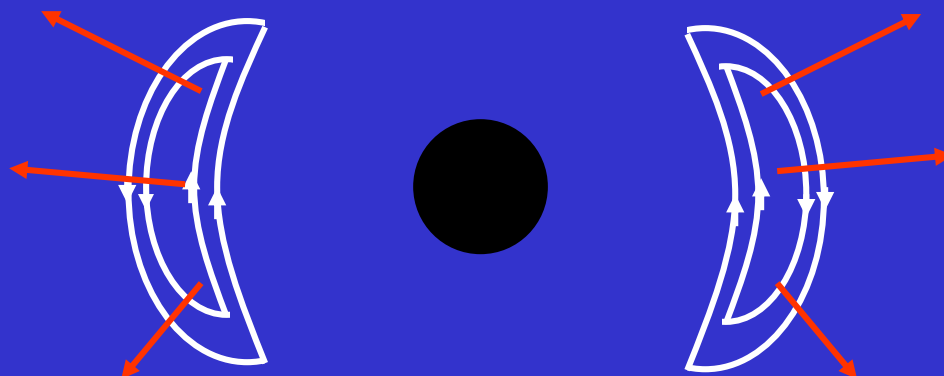


Pole magnetyczne związane z prądami elektrycznymi płynącymi w gwiazdzie.



Gdy gwiazda zapada się pod horyzont, pole magnetyczne traci kontakt z prądami elektrycznymi...

...i jego energia zostanie wypromieniowana w postaci fal elektromagnetycznych.



Czarne dziury nie mają włosów

Czarna dziura odkształcona przez falę grawitacyjną powraca do pierwotnej postaci emitując fale grawitacyjne.



Symulacja ze strony:

<http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/NumRel/DistortedBH1.html>

Czarne dziury parują

II zasada termodynamiki – entropia całego Wszechświata nie może maleć.

Entropia: $S = k \cdot \ln W$

Gdzie: k - stała Boltzmana, W – prawdopodobieństwo termodynamiczne stanu układu.

Związek entropii z temperaturą:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Gdyby entropia czarnej dziury wynosiła zero, to wrzucanie do niej ciał o entropii dodatniej powodowałoby malenie entropii Wszechświata – sprzeczność z II zasadą termodynamiki

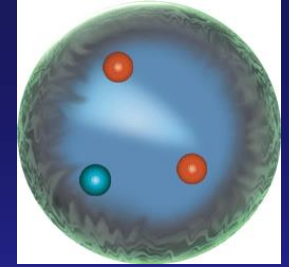
Wniosek: czarna dziura ma entropię zwiększającą się z masą.

$$S = \frac{kc^3 A}{4\hbar G}$$

Wzór Hawkinga

A – powierzchnia horyzontu zdarzeń czarnej dziury

Czarne dziury parują

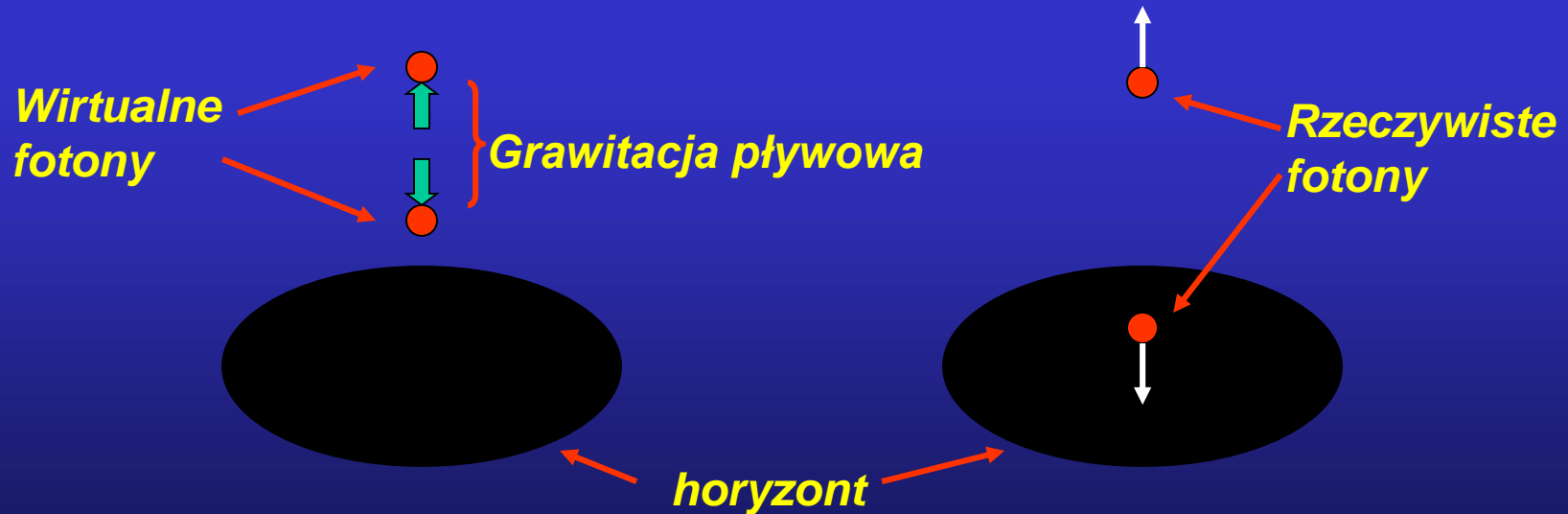


Ciało o niezerowej entropii ma niezerową temperaturę.

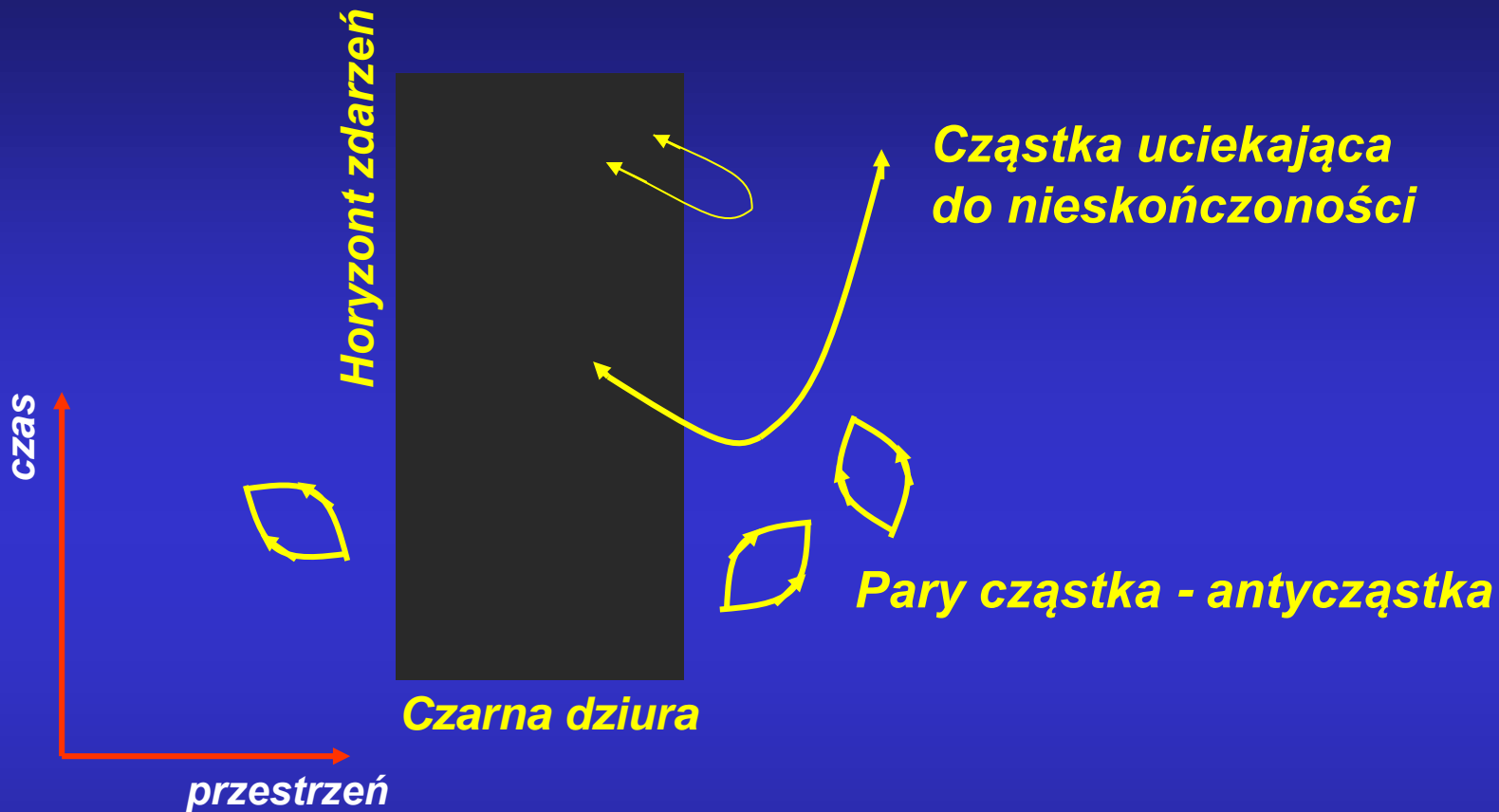
*A jeśli tak, to musi ono promieniować –
sprzeczność z ideą czarnej dziury.*

Sprzeczność rozwiązał Stephen Hawking
wykorzystując pojęcie fluktuacji pól kwantowych.

Zasada nieoznaczoności $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ dopuszcza powstawanie
w próżni par cząstek wirtualnych np. fotonów.



Czarne dziury parują



Ponad horyzontem powstają wirtualne pary różnych cząstek: fotonów, neutrin, elektronów itd. Jeśli jedna z cząstek wpadnie do dziury, druga nie będzie mogła z nią anihilować i kosztem energii grawitacyjnej dziury przekształci się w cząstkę rzeczywistą.

Czarne dziury parują

Promieniowanie czarnej dziury odpowiada temperaturze:

$$T = \frac{\hbar c^3}{8\pi k G M}$$

Temp. jest odwrotnie proporcjonalna do masy

Temperatura czarnej dziury o masie rzędu kilku mas Słońca wynosi około 10^{-6} K – promieniowanie jest całkowicie zdominowane przez mikrofalowe promieniowanie tła o temperaturze 2,7 K – niemożliwe do wykrycia.

Czarna dziura promieniując traci masę.

Promieniowanie jest bardzo słabe dla dziur o dużych masach, rośnie gdy masa się zmniejsza – gdy masa dąży do zera, temperatura gwałtownie rośnie i dziura wybucha.

Czarne dziury parują

Ile czasu potrzebuje czarna dziura, aby wyparować i zniknąć?

Dziura o masie 2 mas Słońca ma czas życia równy $1,2 \cdot 10^{67}$ lat

Dziura o masie 20 mas Słońca ma czas życia równy $1,2 \cdot 10^{70}$ lat

Czas życia Wszechświata wynosi 10^{10} lat

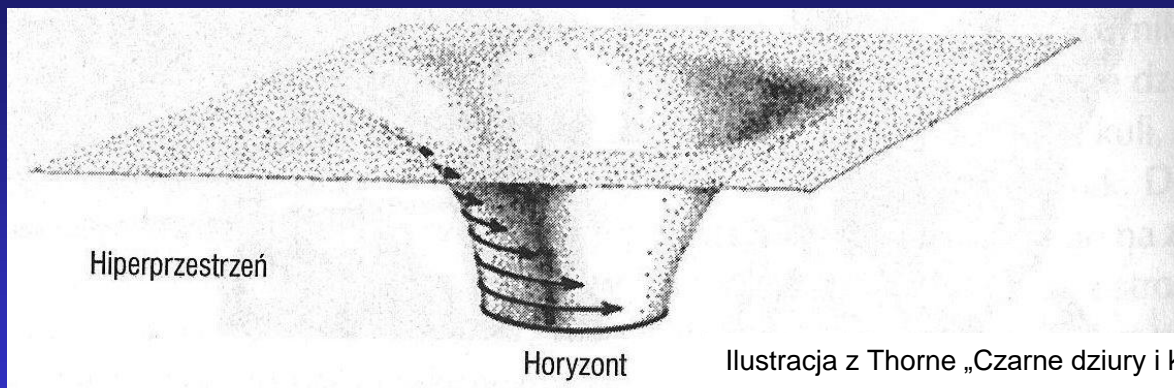
Hipotetyczne dziury o masie znacznie mniejszej od masy Słońca mogły powstać podczas Wielkiego Wybuchu.

Dziura o masie $5 \cdot 10^{11}$ kg (średniej wielkości góra) powinna do dzisiaj całkowicie wyparować.

Horyzont takiej dziury porównywalny z rozmiarami jądra atomowego.

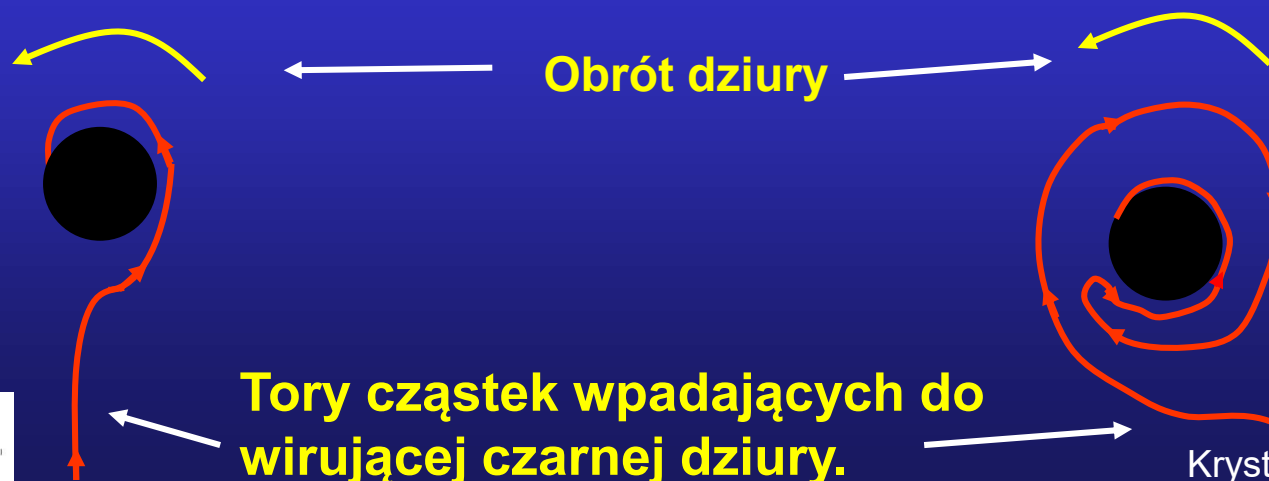
Nie obserwuje się promieniowania gamma, które na pewno pochodzi z wybuchów takich mini dziur.

Czarne dziury wirują



Wirująca czarna dziura wytwarza w otaczającej przestrzeni wir przypominający tornado – efekt wleczenia przestrzeni w kierunku rotacji.

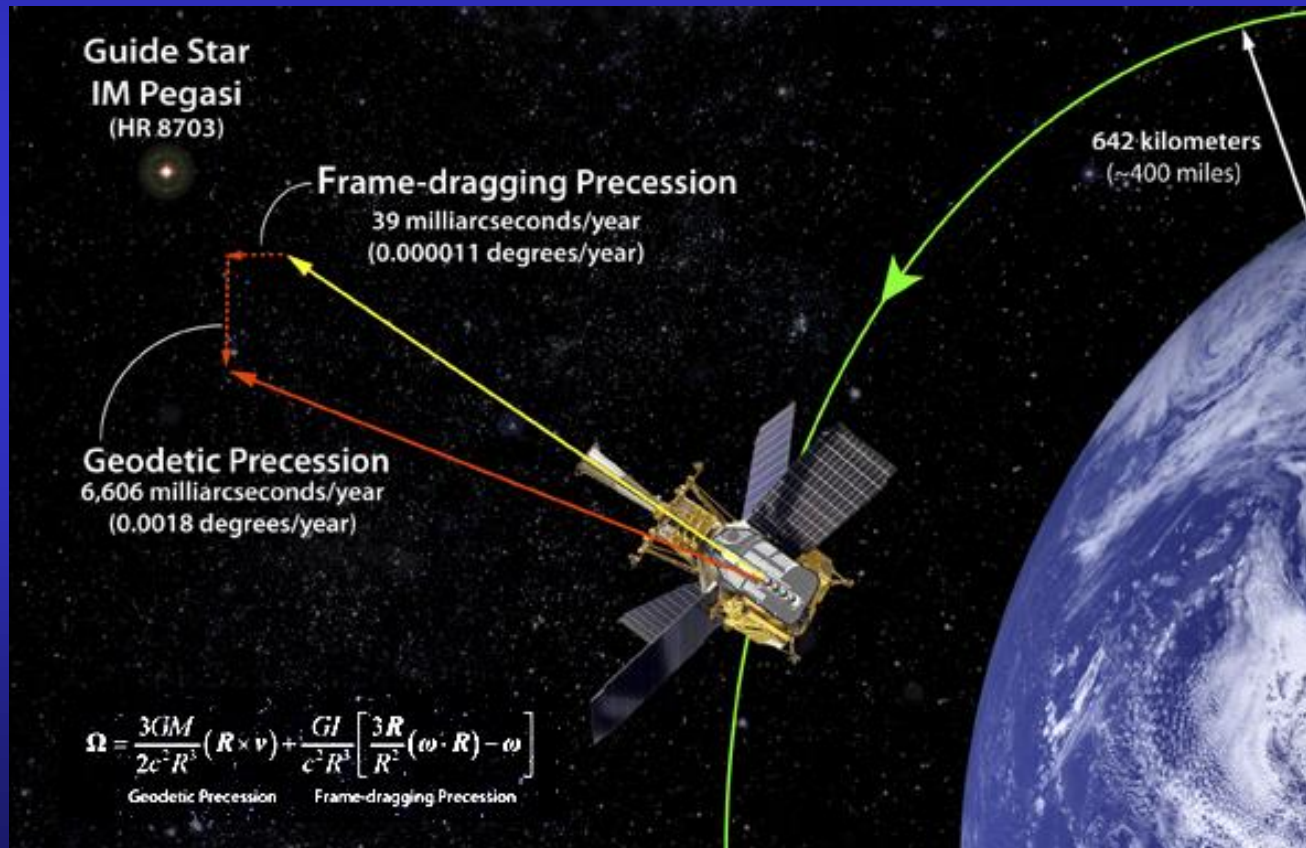
Wokół rotującej czarnej dziury powstaje obszar zwany ergosferą. W strefie pomiędzy horyzontem zdarzeń a powierzchnią ergosfery materia nie może pozostać w stanie spoczynku. Musi obracać się razem z czarną dziurą zgodnie z kierunkiem jej obrotu.



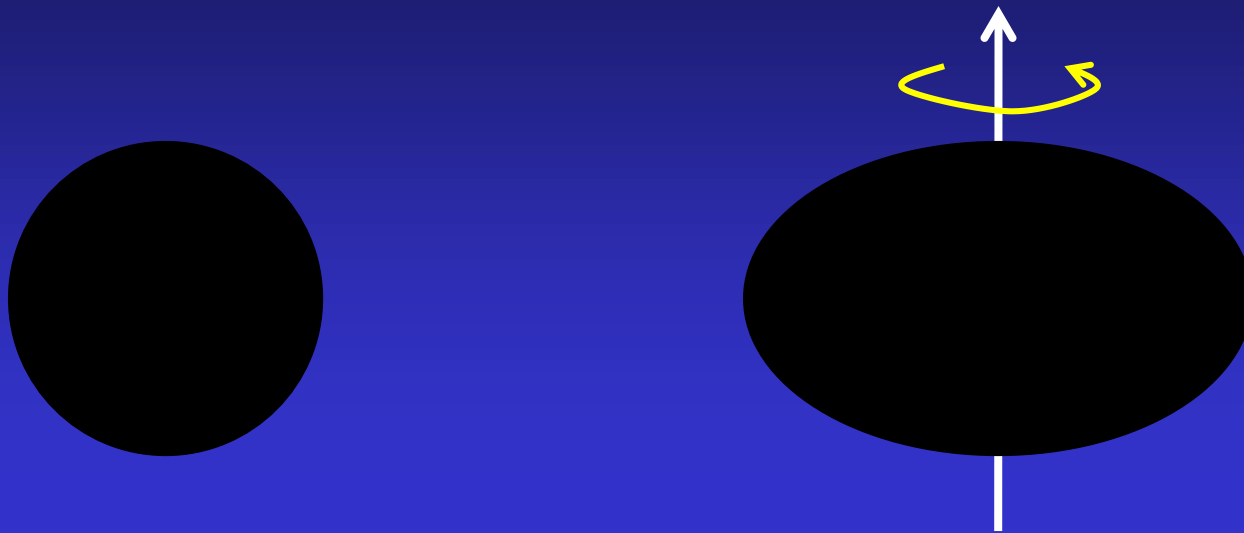
Gravity Probe B (Uniwersytet Stanforda, NASA)

Misja badawcza rozpoczęta w 2004 (publikacja wyników maj 2011), której celem było zmierzenie krzywizny czasoprzestrzeni w okolicach Ziemi.

Zmierzony **efekt wleczenia czasoprzestrzeni za Ziemią**: $37,2 \pm 7,2$ milisekund/rok, gdy wartość przewidywana przez OTW to 39,2 milisekund/rok



Czarne dziury wirują



Horyzont wirującej czarnej dziury zdeformowany przez siłę odśrodkową.

Czy czarna dziura może wirować tak szybko, aby siły odśrodkowe rozdarły jej horyzont? Można by wtedy zajrzeć do środka???

W 1986 r Werner Israel wykazał, że niezależnie od metody jaką próbujemy zwiększyć prędkość kątową czarnej dziury do wartości większej od maksymalnej, nigdy się to nie uda.

Czarne dziury wirują

Dlaczego nie mogą wirować z prędkością kątową większą od maksymalnej (przy której zniszczony zostałby horyzont)?

Przykład: dla dziury o masie Słońca maksymalna częstość obrotu wynosi $f = 16\,129\text{ s}^{-1}$ (1 obrót na $0,000062\text{ s}$), obwód dziury $S = 18,5\text{ km}$, więc prędkość liniowa punktu na obwodzie $v = S \cdot f = 298\,367\text{ km/s} \approx c$

Dla dziury o masie miliona mas Słońca maksymalna częstość wynosi jeden obrót na 62 s .

Czarne dziury wirują

Wirująca czarna dziura magazynuje energię ruchu obrotowego w otaczającym ją wirze przestrzeni.

Największe znane źródło energii!

W przemianie termojądrowej (gwiazdy) tylko 0,006 masy zamienia się na energię.

Energia ruchu obrotowego szybko wirującej czarnej dziury wynosi 0,29 całkowitej masy.



Tajemnica ogromnych energii wysyłanych przez kwazary.

Jak odkryć czarną dziurę?

- W układzie podwójnym z widoczną gwiazdą - analiza toru ruchu widocznej gwiazdy i jej prędkości pozwala ustalić położenie i masę czarnej dziury. Jeśli z obliczeń wynika, że druga gwiazda ma masę powyżej 3 mas Słońca, a pozostaje zupełnie niewidoczna, to jest to czarna dziura.
- Materia spadająca na czarną dziurę tworzy dysk akrecyjny, w którym cząstki rozgrzewają się tak mocno, że emitują promieniowanie rentgenowskie.
- Czarna dziura może znaleźć się pomiędzy Ziemią i obserwowaną gwiazdą lub galaktyką. Działa wtedy jak niewidoczna soczewka grawitacyjna.
- Pomiar prędkości rotacji gwiazd wokół centrum galaktyk-supermasywne czarne dziury o masach $\geq 10^6$ mas Słońca

Czarne dziury

Pierwsze odkryte czarne dziury:

•Cygnus X-1

•A0620-00 Monoceros

•V-404 Cygni

•Nova Sco 1994

Mocne dowody na istnienie supermasywnych czarnych dziur w centrach galaktyk:

M87 (czarna dziura o masie 2-3 miliarda mas Słońca)

M31 - Andromeda (o masie 6 milionów mas Słońca)

Droga Mleczna (o masie 2,6 milionów mas Słońca)

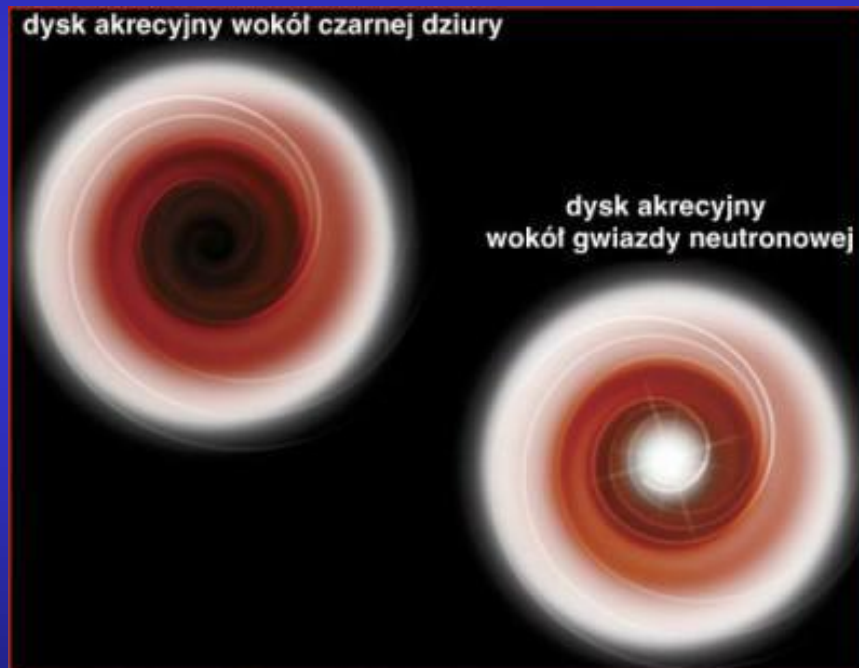
Czarne dziury

Jak odróżnić dysk akrecyjny gwiazdy neutronowej i czarnej dziury?

Dwa rodzaje gwiazd rentgenowskich: z dyskiem akrecyjnym wokół gwiazdy neutronowej i wokół czarnej dziury.

W przypadku czarnej dziury promieniowanie materii zbliżającej się do horyzontu zanika z powodu poczerwienienia grawitacyjnego.

Materia spadająca na gwiazdę neutronową gwałtownie zwiększa promieniowanie.

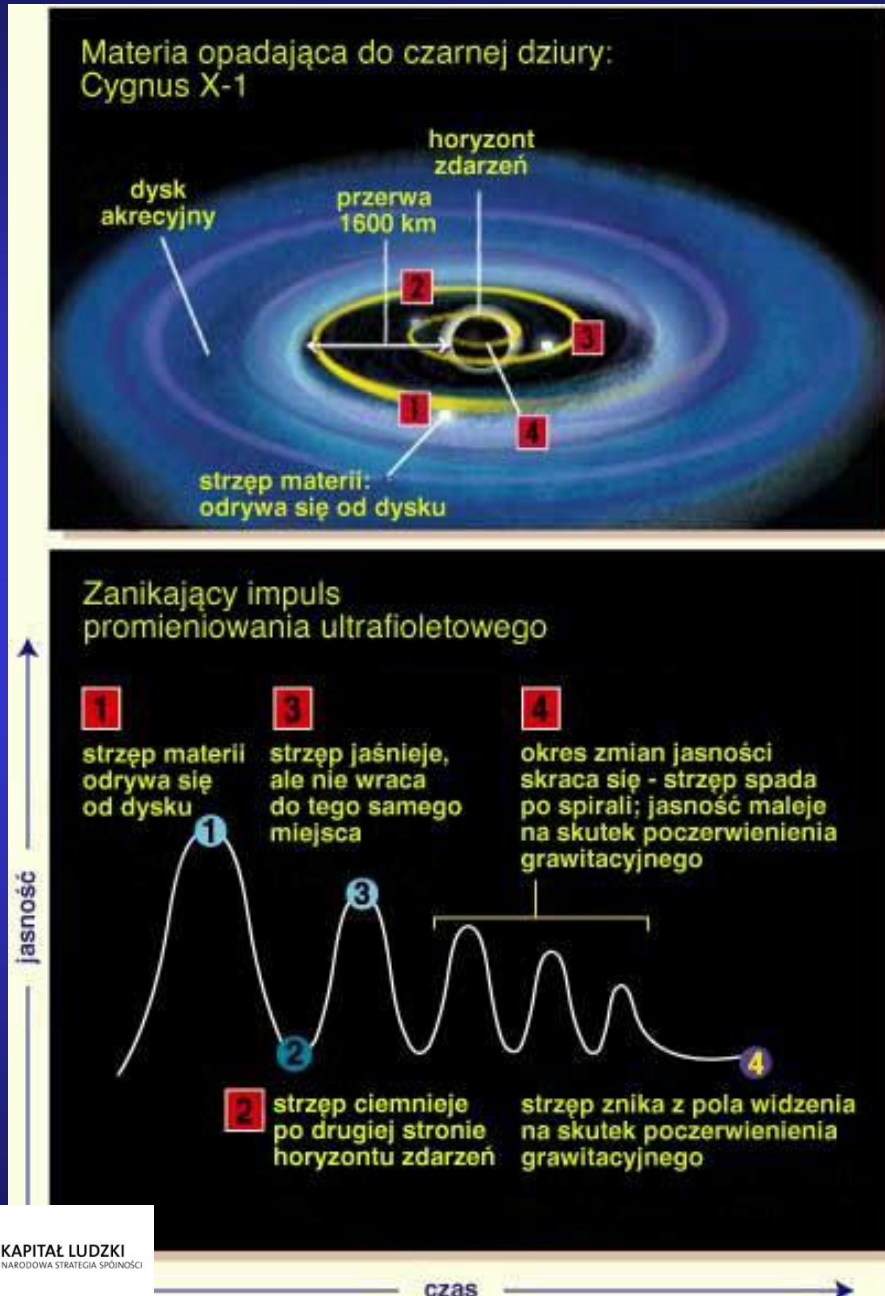


Czarne dziury

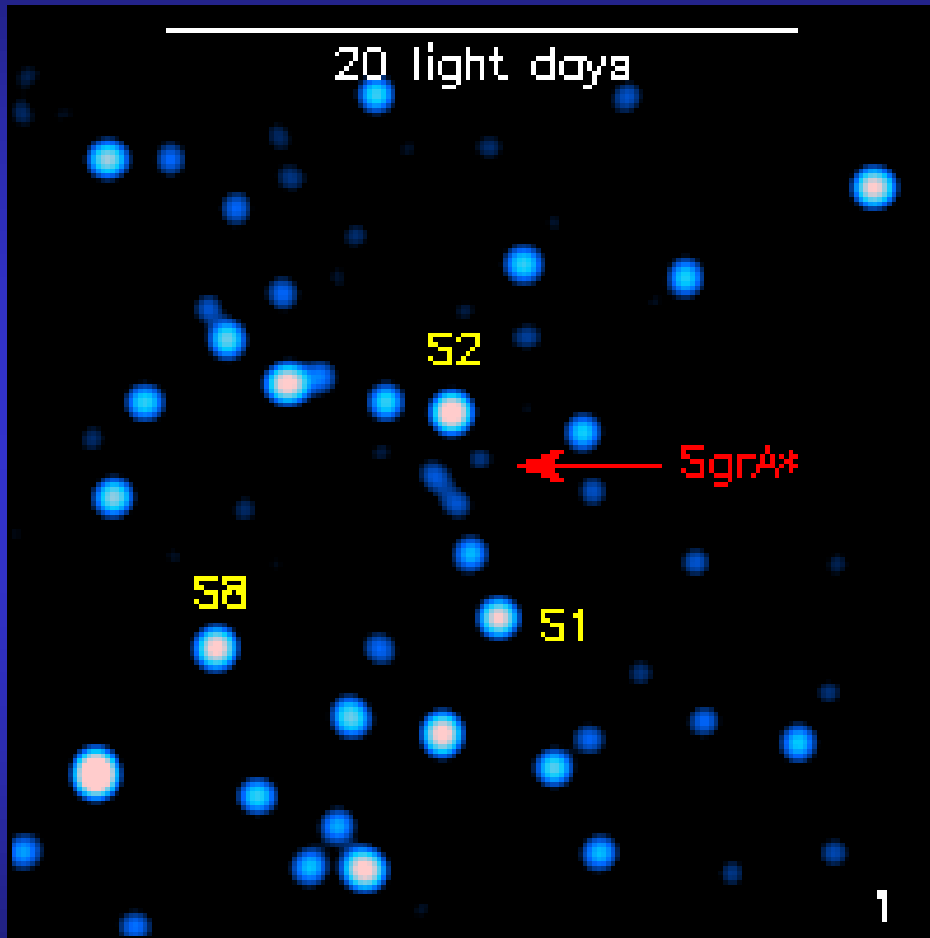
Rentgenowski układ podwójny
Cygnum X-1 badany w
promieniowaniu ultrafioletowym
przez HST.

*Jedno z ciał układu jest
gwiazdą nadolbrzymem o
masie 30 razy większej od
Słońca, natomiast drugie -
niewidocznym obiektem o
masie około 6 mas Słońca.*

**Odkryto dwa przypadki
"zamierających impulsów",
odpowiadające zjawisku
opadania strzępu materii po
spirali do czarnej dziury.**

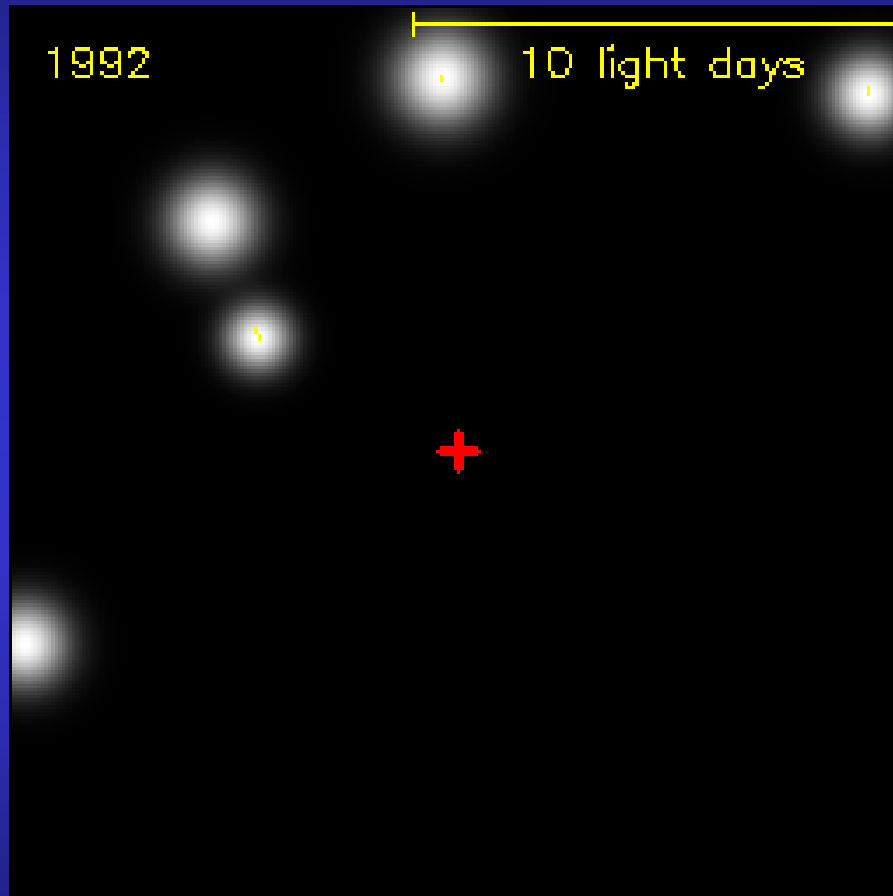


Czarna Dziura w centrum Drogi Mlecznej



W centrum Galaktyki obserwuje się rozbłyski – towarzyszą one pochłanianiu materii przez czarną dziurę.

Czarna Dziura w centrum Drogi Mlecznej



Zdjęcia gwiazd w centrum Galaktyki wykonywane w ciągu kilkunastu lat.

Orbity gwiazd to keplerowskie elipsy z ogniskiem w centrum Drogi Mlecznej.

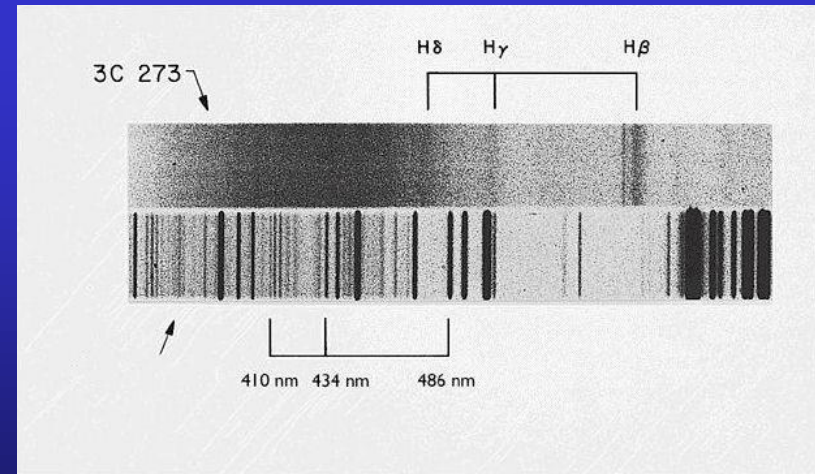
W obszarze o rozmiarach kilkunastu godzin świetlnych (kilka Układów Słonecznych) zawarta jest masa około 3 mln mas Słońca.

Kwazary

Historia kwazarów zaczęła się w 1960 r. w Jodrell Bank Observatory od badań nad kątowymi rozmiarami wybranych radioźródeł.

Znaleziono 10 obiektów o niezwykle małych rozmiarach, mniejszych niż 1 sekunda łuku.

Widmo zawierało silne, szerokie linie emisyjne, których nie potrafiono zidentyfikować



Kwazary

Maarten Schmidt z CALTECH-u w 1963 r. rozpoznał w owych liniach charakterystyczną dla wodoru serię Balmera – przesunięcie od zakresu widzialnego do radiowego.

$$z = 0,158$$

To oznaczało, że obiekt oddala się od Ziemi z prędkością 14,6% prędkości światła i obecnie znajduje się w odległości 2 mld lat świetlnych!

Jest on 100 razy jaśniejszy niż Droga Mleczna!

Kwazary (QSO, ang. *Quasi-Stellar Object* - obiekt gwiazdopodobny).

Kwazary

W wyniku systematycznych poszukiwań kwazarów różnymi metodami współczesna definicja tych obiektów zawiera następujące elementy:

- obraz kwazara na zdjęciu jest nieodróżnialny od gwiazdy
- w widmie kwazara występują szerokie linie emisyjne, które pochodzą z obszarów położonych blisko centrum
- widmo kwazara jest silnie przesunięte w stronę fal długich (do $z > 6$)
- widmo ciągle wykazuje nadwyżkę promieniowania w nadfiolecie
- kwazary o bardzo dużym redshifcie mają jeszcze dodatkowe wąskie linie absorpcyjne pochodzące od materii leżącej na drodze ich promieniowania do Ziemi

Tylko 10% kwazarów emituje fale radiowe.

Kwazary

Najbardziej zdumiewająca jest ilość światła, jaką kwazary wysyłają w naszym kierunku.

Produkują one ok. 10^5 (czyli sto tysięcy!) razy więcej energii niż normalna galaktyka.

Najjaśniejsze znane nam obiekty we Wszechświecie

Dochodzące do nas światło jest bardzo zmienne - może zmienić się o czynnik 2 nawet w ciągu paru dni czy tygodni.

Kwazary

Okres zmian jasności pozwala wyznaczyć górne ograniczenie na rozmiary obszarów emisji - rozmiary emisji nie mogą przekraczać odległości, jaką światło pokonuje w tym czasie.

Daje to średnice rzędu 1kpc, czyli 50 razy mniej niż nasza Galaktyka, a zdarzają się i mniejsze niż Układ Słoneczny

Jak tak mały obiekt może być źródłem olbrzymich energii?

Kwazary

Możliwe scenariusze:

- supermasywna gromada gwiazd - jej żywot byłby zbyt krótki.
- niezwykle wielki wybuch supernowej lub raczej wybuchające po kolei gwiazdy, gdzie wybuch jednej napędza wybuch kolejnej (efekt lawinowy) również za krótki czas życia..

Jedyna możliwość:

- materia spadająca do masywnej czarnej dziury, która zamienia się w energię, zgodnie z zależnością $E = \eta mc^2$.

Model kwazara

Supermasywne jądro — czarna dziura o masie rzędu 10^8 – 10^9 mas Słońca, do którego po ciasno nawiniętej spirali spada materia.

Wraz ze zbliżaniem się do centrum materia nagrzewa się, co powoduje emisję światła na coraz wyższych częstotliwościach.

Wokół czarnej dziury znajduje się rotujący dysk akrecyjny z „wmrożonym” polem magnetycznym. Jego wewnętrzna część jest źródłem szerokich linii emisyjnych, zaś zewnętrzna, wolniejsza, świeci głównie w podczerwieni.

Dalej otwiera się on na rodzimą galaktykę, tworząc grupy małych obłoków materii, będących źródłem wąskich linii emisyjnych.

Dżety - strugi plazmy, wyrzucane z centrum w przeciwnych kierunkach, potrafiące przetransportować materię na odległości wielu Mpc

Kwazary

$$E_n = -13,6eV \cdot \frac{1}{n^2}$$

Poszerzenie linii emisyjnych

Linie emisyjne wodoru:

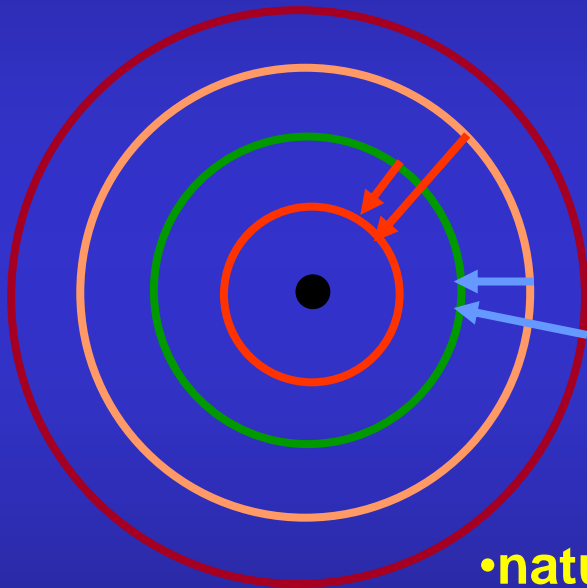
Seria Lymana

$Ly\alpha$ - 1216 Å UV

Seria Balmera

$H\alpha$ - 6563 Å opt

$H\beta$ - 4861 Å opt



Szerokość linii emisyjnych:

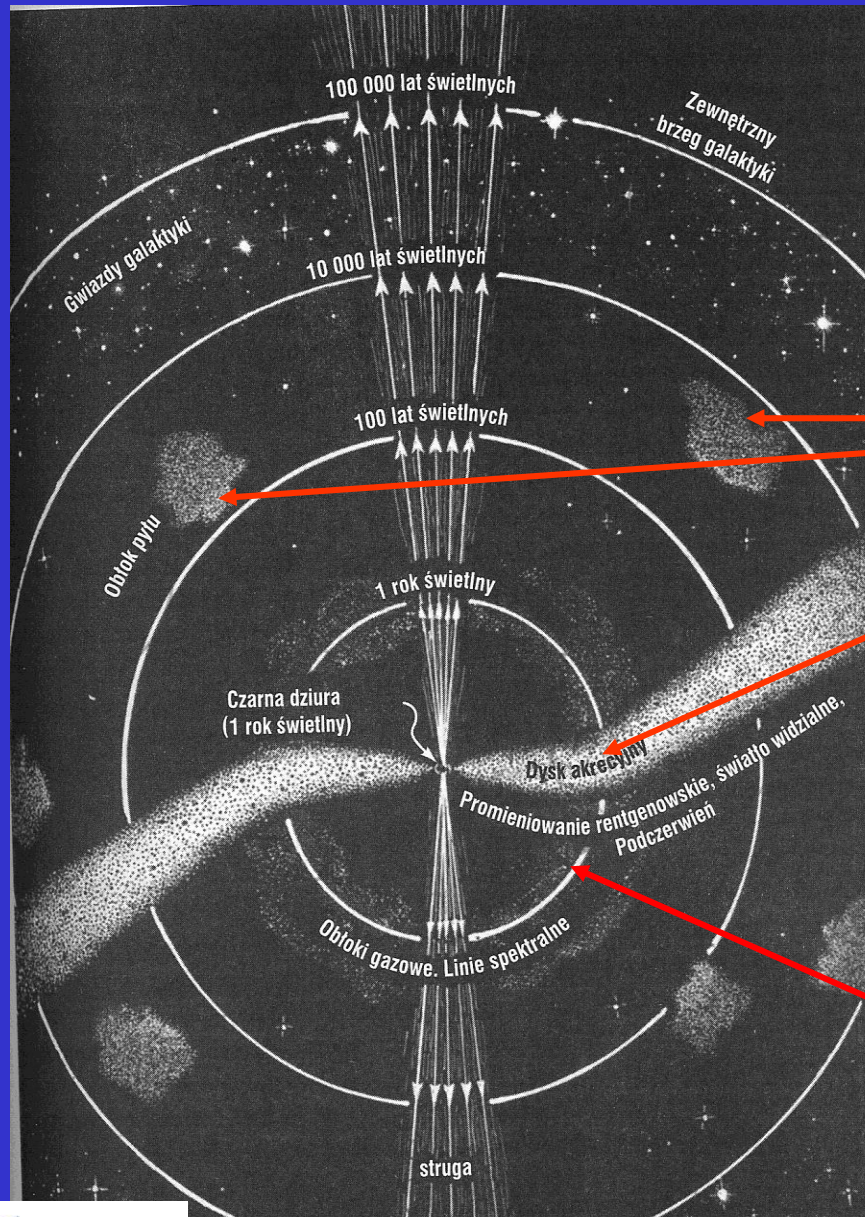
•naturalna – zasada nieoznaczoności: $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$

•poszerzenie termiczne:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} = \sqrt{\frac{kT}{mc^2}}$$

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{kT}{2} \rightarrow \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

Budowa kwazara

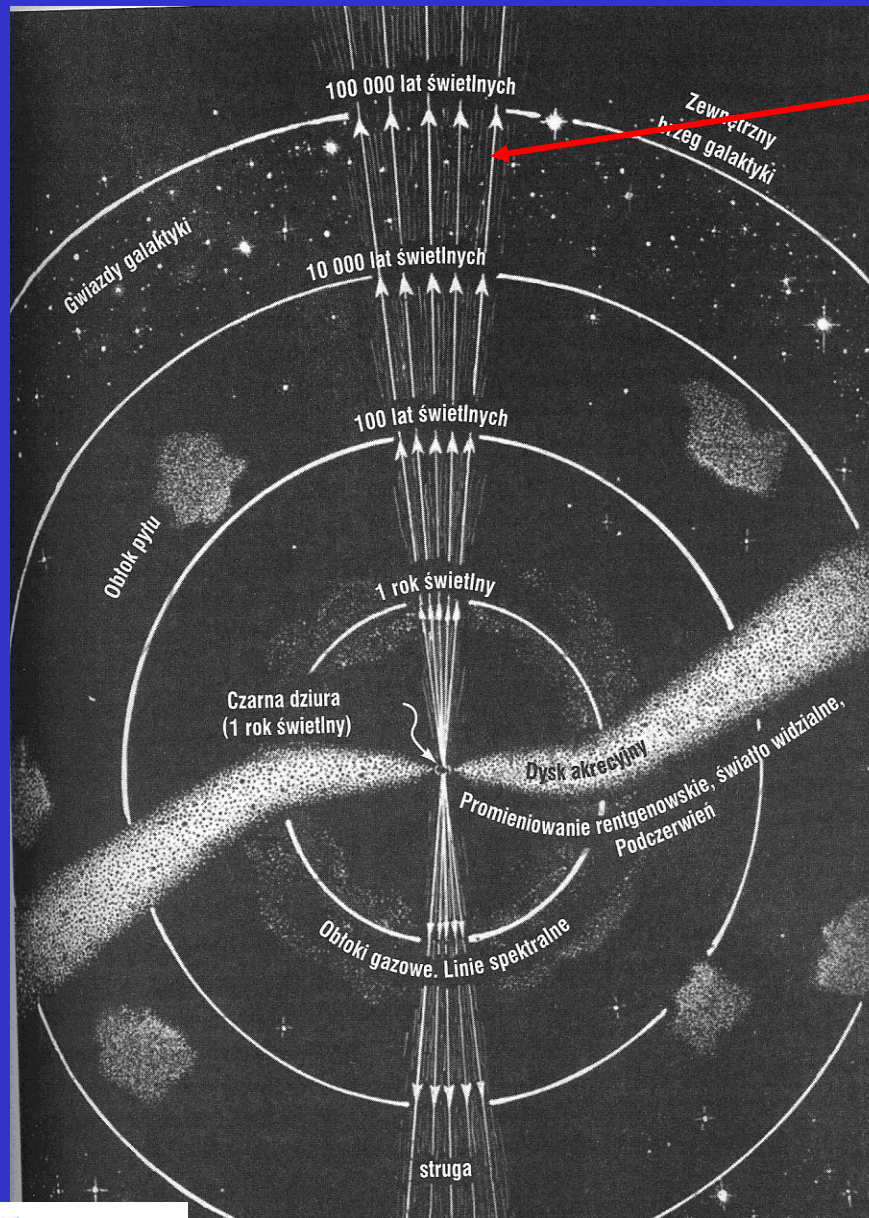


Promieniowanie rentgenowskie i ultrafioletowe emitowane z najbardziej wewnętrznych obszarów dysku pochłaniane jest przez obłoki gazowe – rozgrzane obłoki wysyłają widmo liniowe (wąskie linie emisyjne).

Dysk akrecyjny – gaz tak silnie rozgrzany, że jego jasność w świetle widzialnym jest setki lub tysiące razy większa niż jasność wszystkich gwiazd galaktyki (szerokie linie emisyjne).

Światło widzialne emitowane z obszaru do 1 roku świetlnego (czasem mniej niż miesiąc świetlny).

Budowa kwazara

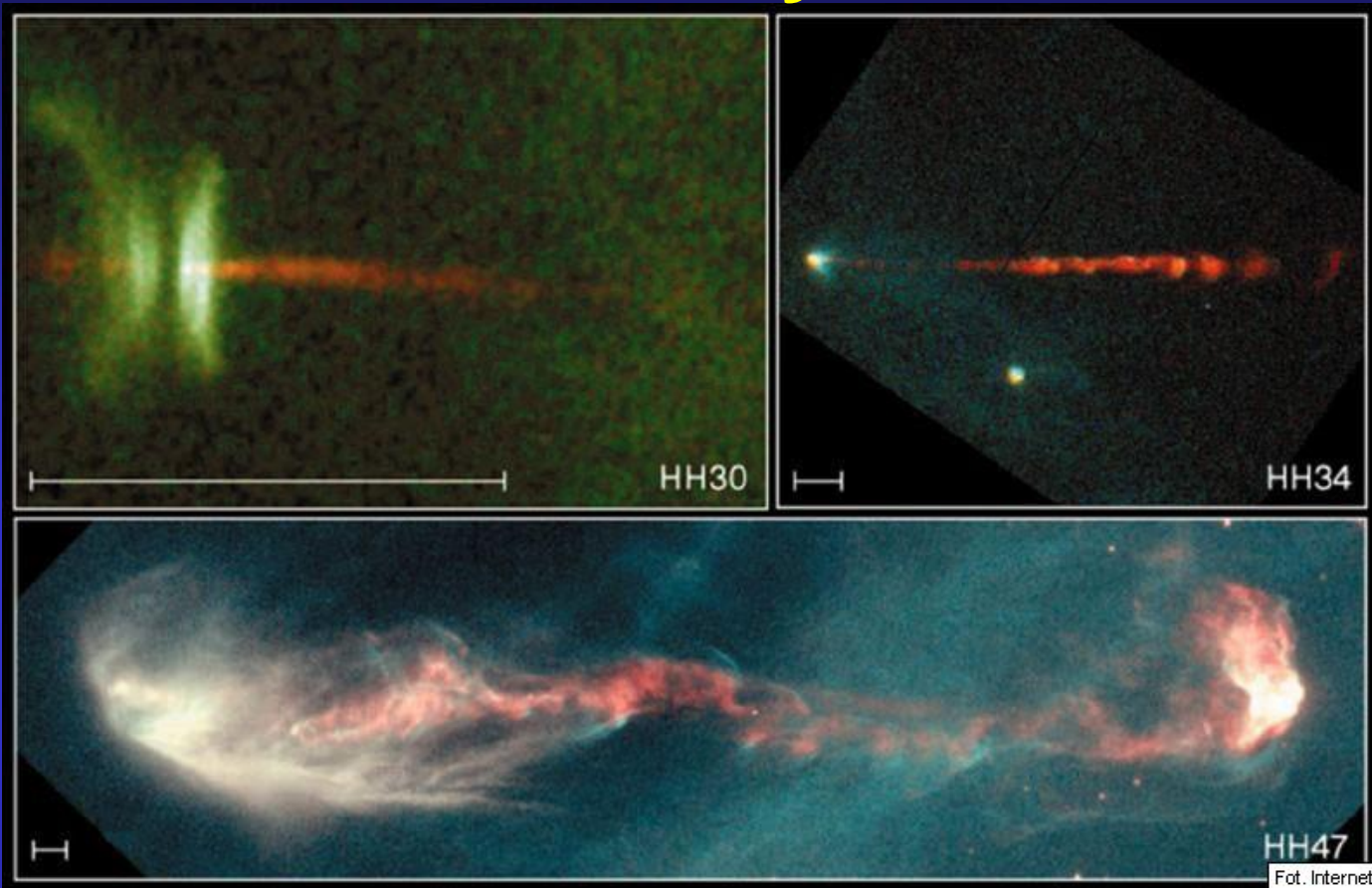


Prostopadle do dysku akrecyjnego wyrzucane są strugi cząstek pędzące z prędkością bliską prędkości światła – dzęty sięgające setek tysięcy lat świetlnych.



Zdjęcie z teleskopu Hubble'a przedstawiające dzęty wychodzące z jądra galaktyki M87.

Kwazary



W radiowo głośnych aktywnych jądrach galaktyk znajdują się dzęty - wąskie strugi materii przenikniętej polem magnetycznym, które wytryskują z otoczenia czarnej dziury w kierunku prostopadłym do powierzchni dysku i pędzą z prędkością bliską prędkości światła.

Budowa kwazara

Jak powstają dżety?

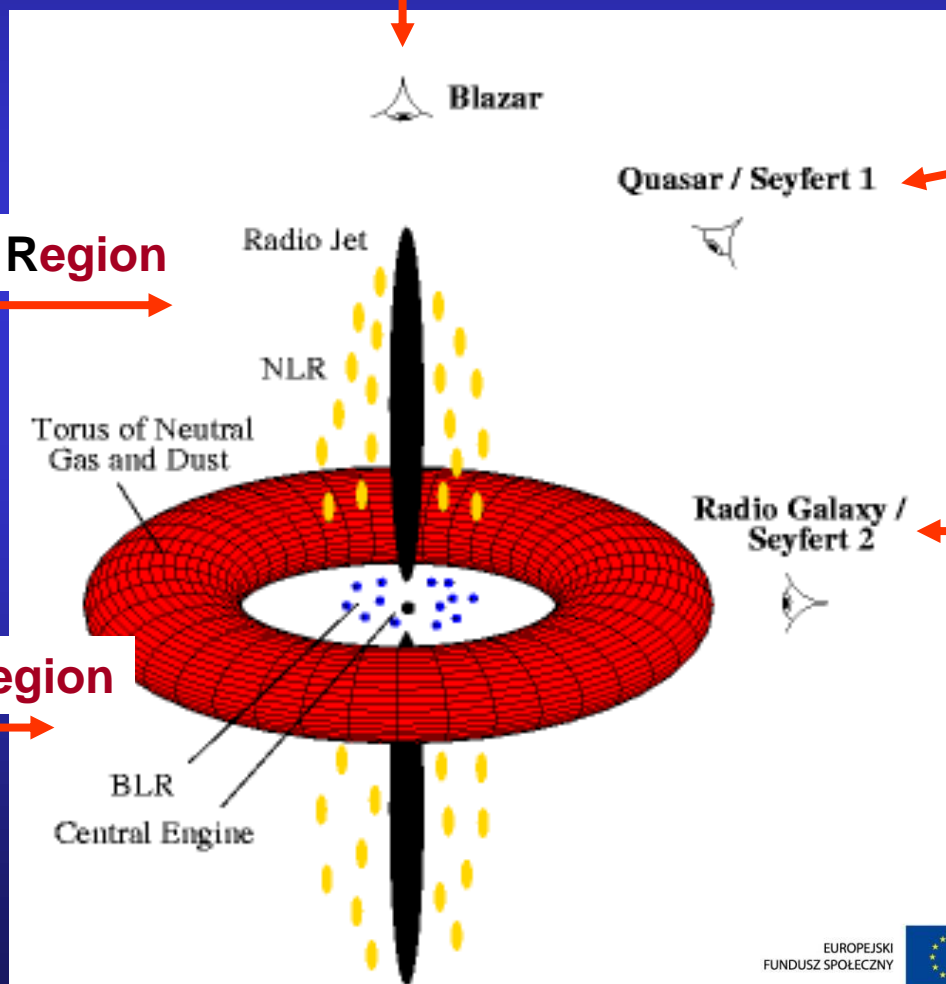
- Obracająca się zjonizowana materia dysku unosi ze sobą linie pola magnetycznego (zjawisko wmrózenia pola w plazmę).
- Linie pola magnetycznego rotują.
- Rotacja indukuje pole elektryczne.
- Ładunki elektryczne są przyspieszane wzdłuż linii pola.

Dżety są źródłem promieniowania radiowego.

Kwazary

To, co widzimy, zależy tylko od kąta patrzenia na badany obiekt.

Duża polaryzacja światła i jego duża zmienność w krótkich odstępach czasu.



Widzimy dysk i centrum

Centralna czarna dziura i dżety są przesłonięte. Widzimy molekularny torus i co najwyżej wąskie linie emisyjne.

Narrow Line Region

Broad Line Region

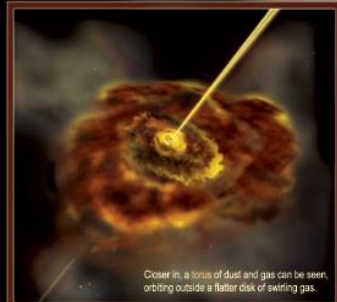
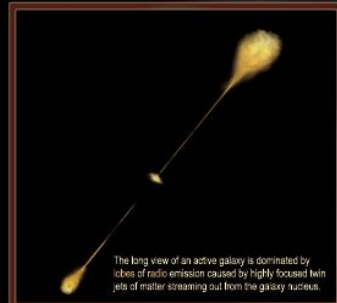
Kwazary



ACTIVE GALAXIES



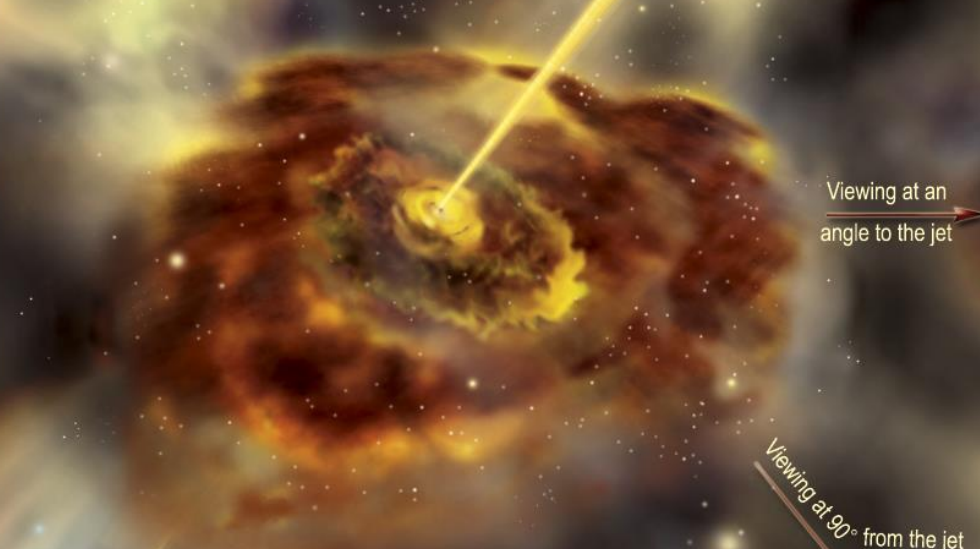
Zooming In On A Galaxy With Jets



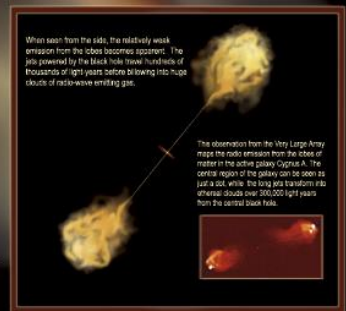
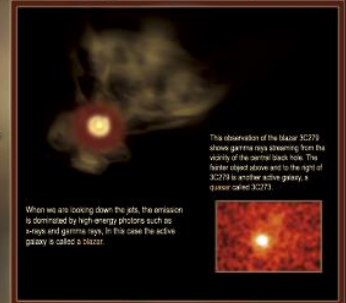
What we see depends on how we view it ...

An active galaxy is one in which a tremendous amount of energy is emitted from the nucleus. Active galaxies take many forms; some have exquisitely bright nuclei pouring forth high-energy photons, some have high-energy nuclei but appear to be surrounded by a more-or-less "normal" galaxy, while some have long, narrow jets or beams of matter streaming out from the center. Displayed here is an illustration of an active galaxy that has jets. The nucleus of this galaxy contains a supermassive black hole - the engine that powers the phenomena we see. Following its launch, the Gamma-ray Large Area Space Telescope (GLAST) will see thousands of these types of active galaxies.

All the images are artist's conceptions unless otherwise noted.



Different Angles On A Galaxy With Jets



Definitions

Accretion Disk: The flattened disk of matter swirling just outside the black hole.

Active Galaxy: A galaxy with an unusually large amount of energy emitted from the nucleus.

Black Hole: An object so small and dense that the escape velocity is faster than the speed of light. In an active galaxy, the central black hole may have millions or even billions of times the Sun's mass.

Blazar: A quasar that one is viewing directly down the jet axis.

Jet: A thin, highly focused beam of matter and energy emitted from the nuclei of some active galaxies. Jets can be hundreds of thousands of light years long.

Nucleus: The central region of a galaxy.

Quasar: An active galaxy so distant it appears star-like.

Radio Lobe: A large radio wave-emitting cloud of matter located at the ends of the jets in some active galaxies, formed when the matter from the jet is slowed by intergalactic material.

Torus: A doughnut-shaped object. Gas and dust outside the accretion disk in an active galaxy orbit the central black hole in a torus shaped region.



<http://glast.sonoma.edu>

This poster is funded by GLAST, the Gamma-ray Large Area Space Telescope, an international scientific collaboration with funding from NASA, the U.S. Department of Energy and agencies in France, Germany, Italy, Japan and Sweden.

Art design by Aurelio Simionetti, Text by Phil Platt.

Kwazary a ewolucja Wszechświata

Współporuszająca się gęstość kwazarów - liczba kwazarów na jednostkę objętości współporuszającego się Wszechświata.



$$\vec{r} = a(t) \cdot \vec{x}$$

W układzie wsp. x galaktyki mają stałe w czasie położenia.

Kwazary a ewolucja Wszechświata

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{em}} = \frac{a_{obs}}{a_{em}}$$

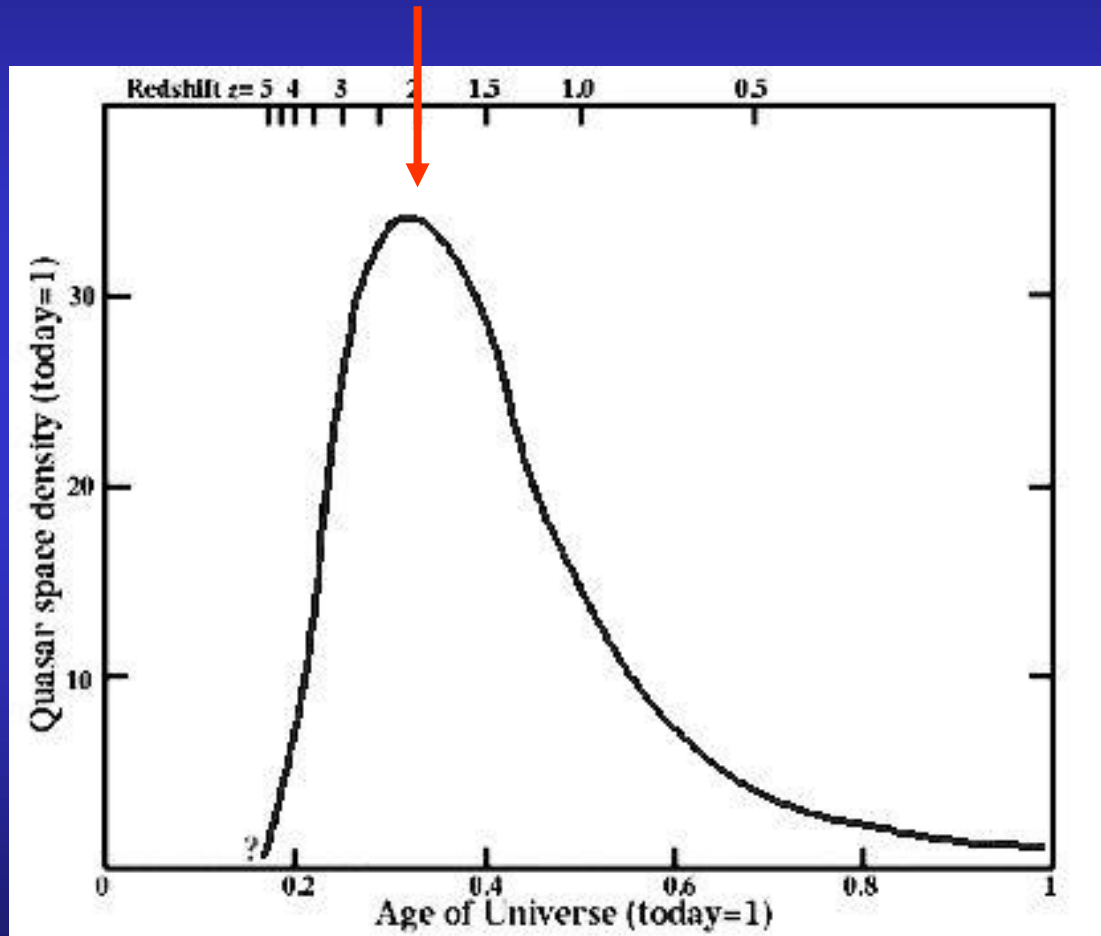
Przesunięcie ku czerwieni z oznacza, że fala była wyemitowana, gdy Wszechświat był z+1 razy mniejszy.

Właściwa objętość jest $(1+z)^3$ razy większa od współporuszającej się.

Współporuszająca się gęstość dla nieewoluującej populacji jest stała.

Kwazary a ewolucja Wszechświata

Epoka kwazarów



Ewolucja w czasie
względnej gęstości
kwazarów.

Kwazary

Kwazary dominowały w epoce między jedną dziesiątą a jedną trzecią obecnego wieku Wszechświata.

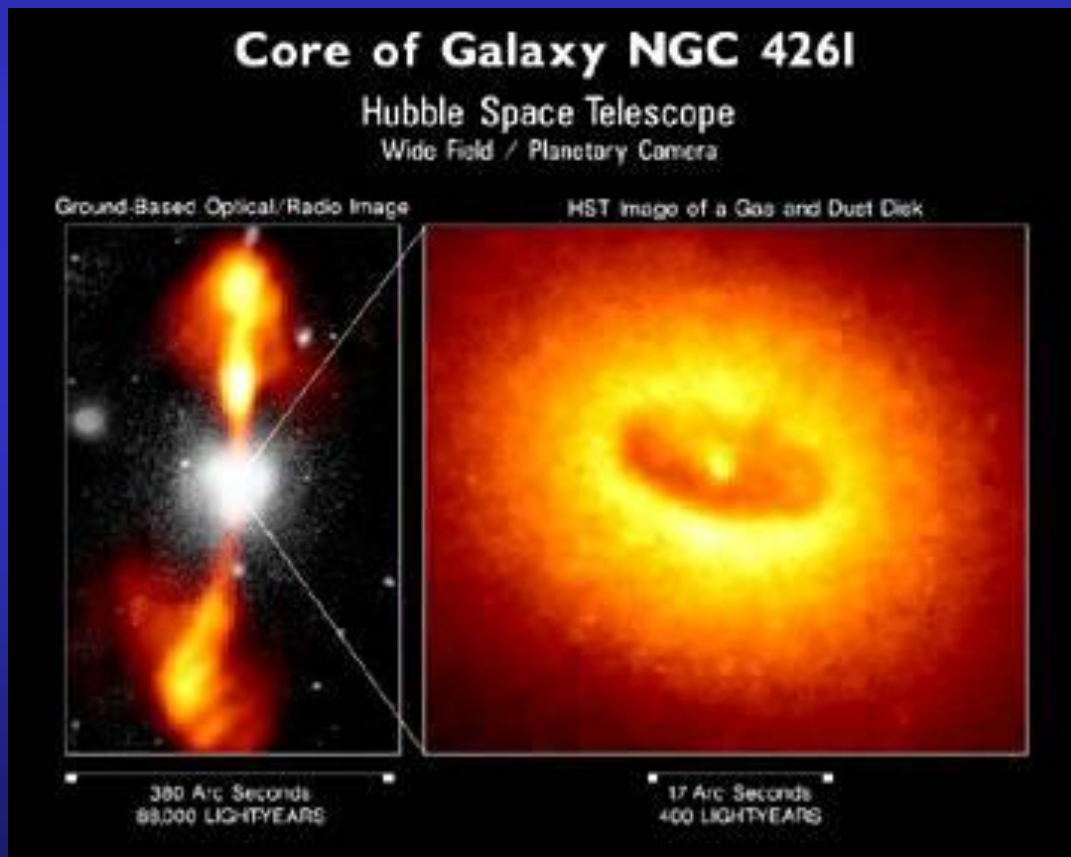
Badania z 2004 r. wskazują na to, że potężne kwazary we wczesnym Wszechświecie znajdowały się w centrach niewielkich galaktyk.

Przyczyna tkwi w dużo większej gęstości materii panującej we wczesnym Wszechświecie w porównaniu do obecnego Wszechświata.

Supermasywne czarne dziury mogą stanowić wczesny etap ewolucji galaktyk.

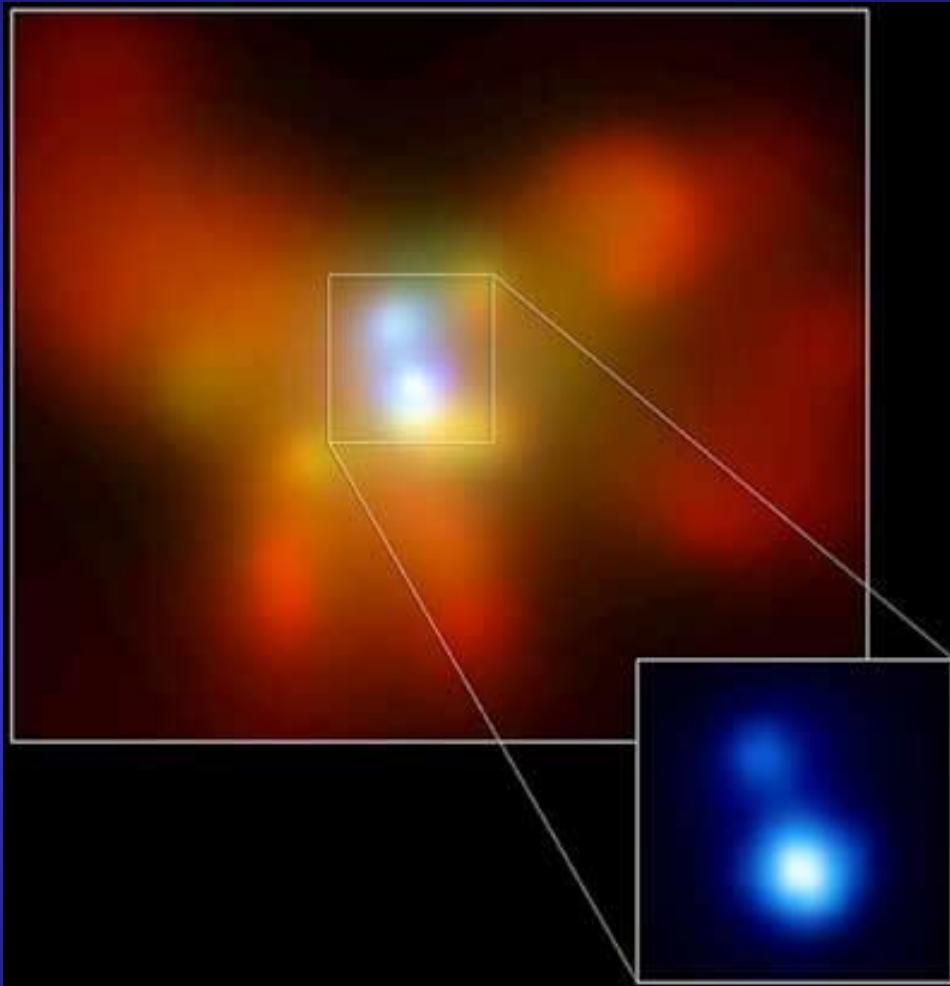
Kwazary

HST obserwował czarną dziurę w galaktyce NGC4261, w której widać dysk akrecyjny.



Obraz po lewej stronie jest złożeniem obserwacji optycznych (jasne jądro) i radiowych (dżety), po prawej - fotografia otoczenia jądra M87 otrzymana przez Kosmiczny Teleskop Hubble'a.

Kwazary



Dzięki danym z satelity *Chandra* (NASA) naukowcy po raz pierwszy posiadają dowód na istnienie dwu supermasywnych czarnych dziur w centrum tej samej galaktyki. Czarne dziury okrążają siebie nawzajem, a za kilkanaście milionów lat połączą się tworząc jedną większą czarną dziurę. Fuzja ta uwolni w przyszłości intensywne promieniowanie oraz fale grawitacyjne.

Obraz galaktyki NGC 6240 uzyskany z satelity Chandra. Jej kształt przypominający motyla jest wynikiem kolizji dwu mniejszych galaktyk.