

GAURI NEGRE si GALAXII CU NUCLEU ACTIV

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Ioana Duțan

Institutul de Stiinte Spatiale (ISS), Bucuresti-Magurele



Gaura neagra "Gargantua" din filmul Interstellar



Outline

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Gauri negre: Ce sunt? Cum se formeaza? Cum cresc?

Galaxii cu nucleu activ: Jeturi relativiste

Unde gravitationale

Outline

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Gauri negre: Ce sunt? Cum se formeaza? Cum cresc?

Galaxii cu nucleu activ: Jeturi relativiste

Unde gravitationale

Outline

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Gauri negre: Ce sunt? Cum se formeaza? Cum cresc?

Galaxii cu nucleu activ: Jeturi relativiste

Unde gravitationale

Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Observatii



Optic: NASA/ESA: Hubble Telescope (1990-)



Infrarosu: ESA: Herschel Telescope (2009-2013)



Radio: NRAO: VLA (1980-)



Raze X: ESA: XMM-Newton (1999-)

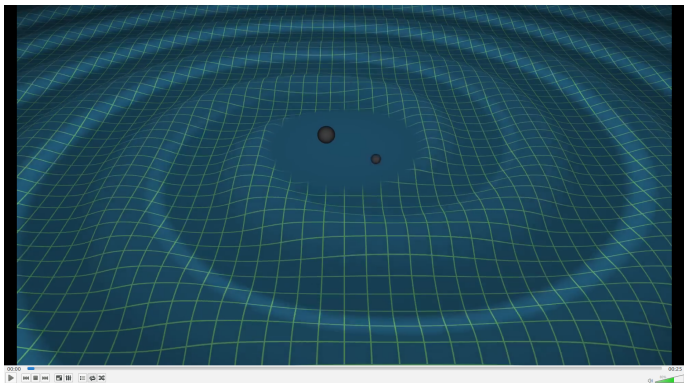
Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Observatii



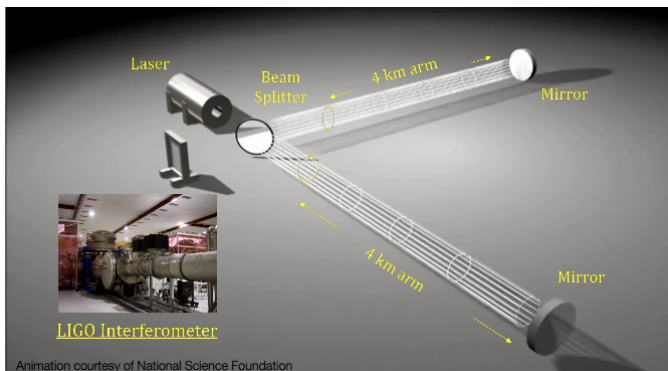
- din 2015, **detectarea directa a undelor gravitationale**
- **LIGO** (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in Statele Unite
- **Virgo** (Interferometer) in Italia (contributii Franta, Olanda, Polonia, Ungaria si Spania)

Observatii

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale



- LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in Statele Unite

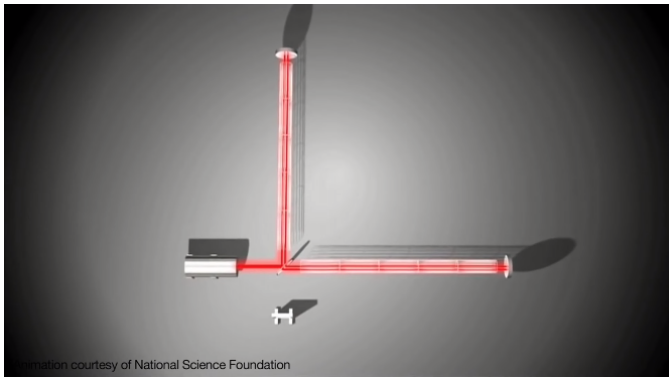
Ioana Duțan

Observatii

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale



- **LIGO** (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory)
in Statele Unite

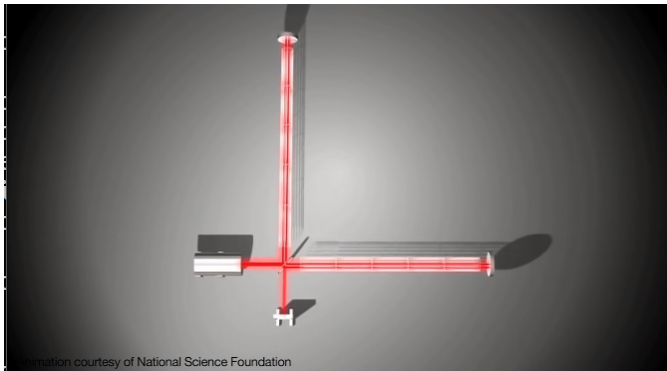
Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Observatii



- **LIGO** (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in Statele Unite
- la trecerea undelor gravitationale: **lungimea bratelor se modifica cu cca 10^{-18} m**

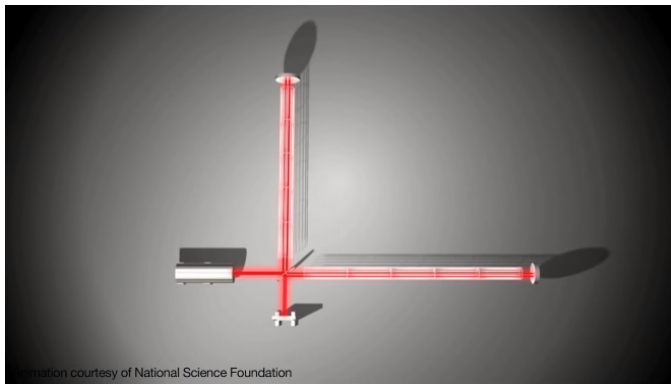
Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Observatii



- **LIGO** (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in Statele Unite
- la trecerea undelor gravitationale: **lungimea bratelor se modifica cu cca 10^{-18} m**

Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

🌐 Exploziile de radiatii gama



Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps



Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps
 - ciocnirea a 2 obiecte compacte



Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps
 - ciocnirea a 2 obiecte compacte

- **Galaxiile cu nucleu activ si jeturile relativiste** ale acestora



Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps
 - ciocnirea a 2 obiecte compacte

- **Galaxiile cu nucleu activ si jeturile relativiste** ale acestora
 - **gauri negre supermasive** (de miliarde de ori mai grele decat Soarele)

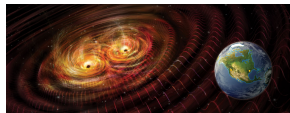


Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps
 - ciocnirea a 2 obiecte compacte

- **Galaxiile cu nucleu activ si jeturile relativiste** ale acestora
 - **gauri negre supermasive** (de miliarde de ori mai grele decat Soarele)

- **Undele gravitationale**

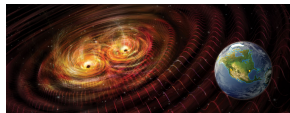


Gaurile negre sunt asociate cu cele mai energetice fenomene din Univers, de la Big Bang incoace

- **Exploziile de radiatii gama**
 - formarea de **gauri negre stelare** prin colaps
 - ciocnirea a 2 obiecte compacte

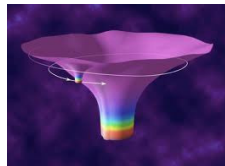
- **Galaxiile cu nucleu activ si jeturile relativiste** ale acestora
 - **gauri negre supermasive** (de miliarde de ori mai grele decat Soarele)

- **Undele gravitationale**
 - **ciocnirea** a doua gauri negre



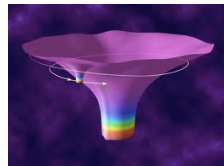
Ce sunt gaurile negre ?

● “stele intunecate” (dark stars)
Michelle 1784



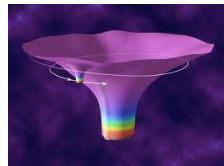
Ce sunt gaurile negre ?

- “stele intunecate” (dark stars)
Michelle 1784
- prezise de Einstein in
Teoria Generala a Relativitatii, 1915



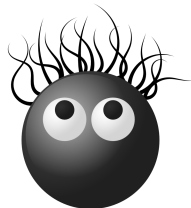
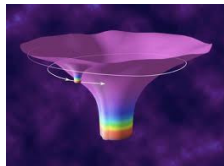
Ce sunt gaurile negre ?

- “stele intunecate” (dark stars)
Michelle 1784
- prezise de Einstein in
Teoria Generala a Relativitatii, 1915
- calculate de Schwarzschild 1916
(nerotative) si Kerr 1963 (rotative)



Ce sunt gaurile negre ?

- “stele intunecate” (dark stars)
Michelle 1784
- prezise de Einstein in
Teoria Generala a Relativitatii, 1915
- calculate de Schwarzschild 1916
(nerotative) si Kerr 1963 (rotative)
- teorema “no hair” (fara par): o
gaura neagra se poate caracteriza
doar prin masa, spin si sarcina



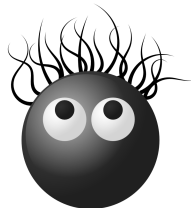
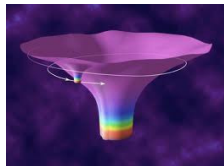
Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Ce sunt gaurile negre ?

- “stele intunecate” (dark stars)
Michelle 1784
- prezise de Einstein in
Teoria Generala a Relativitatii, 1915
- calculate de Schwarzschild 1916
(nerotative) si Kerr 1963 (rotative)
- teorema “no hair” (fara par): o
gaura neagra se poate caracteriza
doar prin masa, spin si sarcina



3 FIRE:
Masa
Spin
Sarcina

Ce sunt gaurile negre ?

- de dincolo de orizont:
nicio informatie



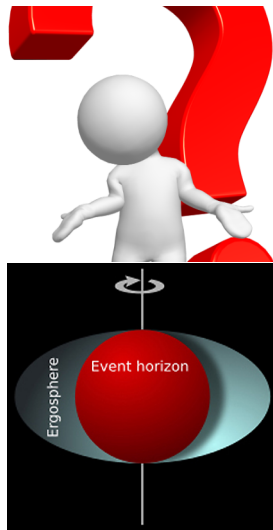
Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Ce sunt gaurile negre ?

- de dincolo de orizont:
nicio informatie
- orizontul: “suprafata” gaurii negre



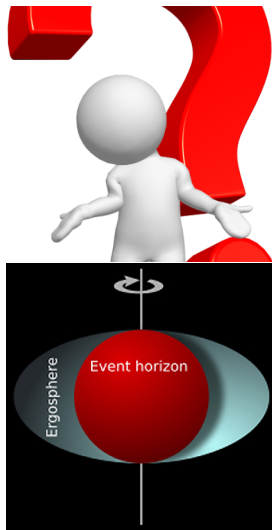
Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Ce sunt gaurile negre ?

- de dincolo de orizont:
nicio informatie
- orizontul: "suprafata" gaurii negre
- ergosfera (la gaurile negre rotative):



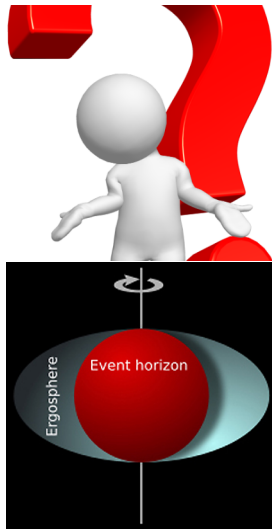
Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Ce sunt gaurile negre ?

- de dincolo de orizont:
nici o informatie
- orizontul: "suprafata" gaurii negre
- ergosfera (la gaurile negre rotative):
 - acolo **nimic nu poate sta fix**, ci se rotește în același sens cu gaura neagră



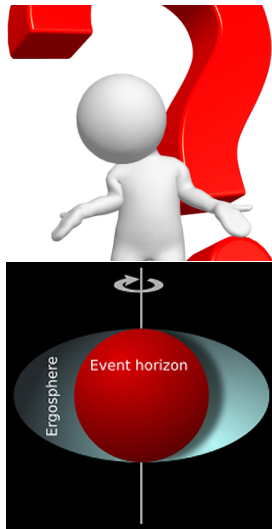
Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

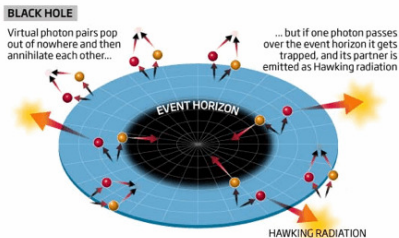
Ce sunt gaurile negre ?

- de dincolo de orizont:
nicio informatie
- orizontul: “suprafata” gaurii negre
- ergosfera (la gaurile negre rotative):
 - acolo **nimic nu poate sta fix**, ci se rotește în același sens cu gaura neagra
 - locul de unde se poate “**extrage**” **energie** de la gaura neagra (teoretic, de acolo mai poți scăpa)



Unde credem ca exista ?

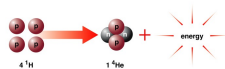
- in centrul galaxiilor cu nucleu activ: gauri negre supermasive
masa de sute de milioane - miliarde mai mare decat Soarele
- in sisteme binare: gauri negre stelare
masa egala cu cateva mase Solare
- in universul timpuriu: gauri negre primordiale
la scara atomica, radiatia Hawking: "evaporarea" gaurilor negre



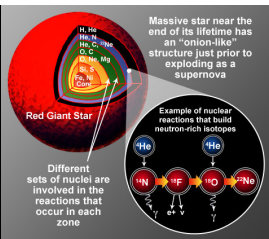
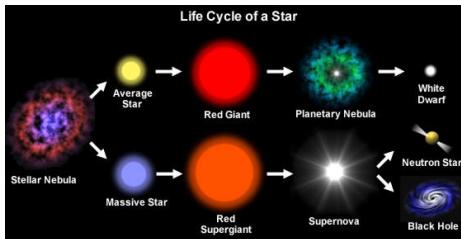
- in laborator (?): timpul lor de viata: 10^{-27} secunde

Cum se formeaza gaurile negre ?

- prin colaps gravitacional:
forta gravitacionala > forta de presiune din interior
- masa dupa colaps pentru a avea o gaura neagra:
 $M > 1.4$ masa Soarelui
- raza gravitacionala: $r = \frac{GM}{c^2}$



Copyright © Andrew Stebbins



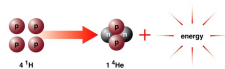
Cum se formeaza gaurile negre ?

● prin colaps gravitacional:
forta gravitacionala > **forta de
presiune din interior**

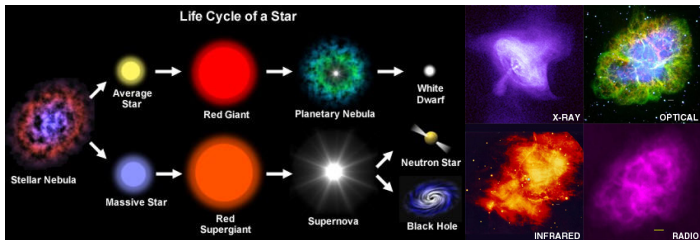
● masa dupa colaps pentru a avea o
gaura neagra:

$M > 1.4$ masa Soarelui

● raza gravitacionala: $r = \frac{GM}{c^2}$

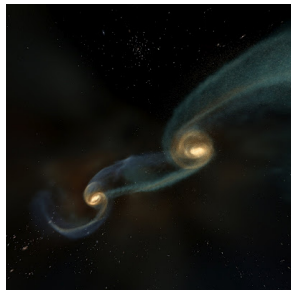
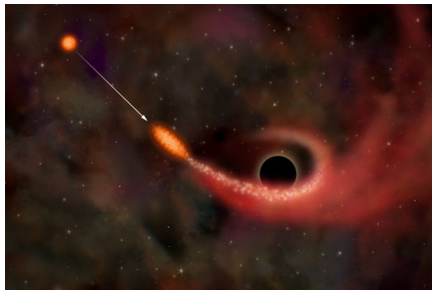


Copyright © Andrew Stebbins



Cum creste o gaura neagra ?

- prin **acretie**: gaz si praf din mediul interstelar al galaxiei
- prin **inghitirea stelelor**
- prin **ciocnire**: GN-GN sau galaxie-galaxie



Cygnus X-1

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

- cea mai apropiata gaura neagra de noi, 5×10^{16} km
- gaura neagra de masa stelara, $M \sim 14.8 \times M_{\odot}$
- orizontul executa 800 rotatii pe sec
- companionul: stea "albastra", $M \sim 8 - 10 \times M_{\odot}$



Simularea pe calculator a unei gauri negre

Gaura neagra "Gargantua" din filmul Interstellar



Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



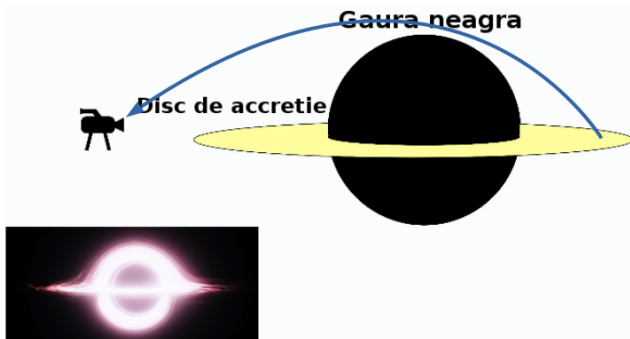
- masa Gargantuai = **cateva sute de milioane de ori mai mare** decat cea a Soarelui
- se **roteste extrem de rapid**, aprox. 99.9999% din limita maxima permisa de matematica gaurilor negre

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



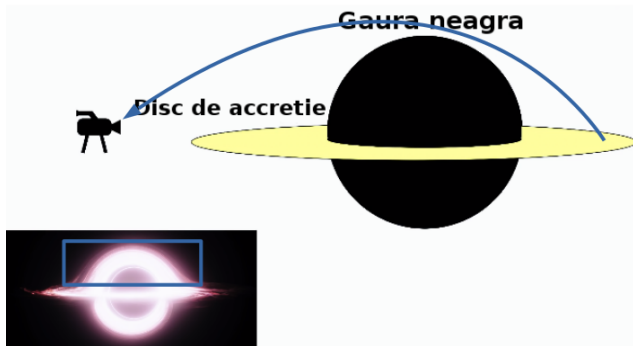
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



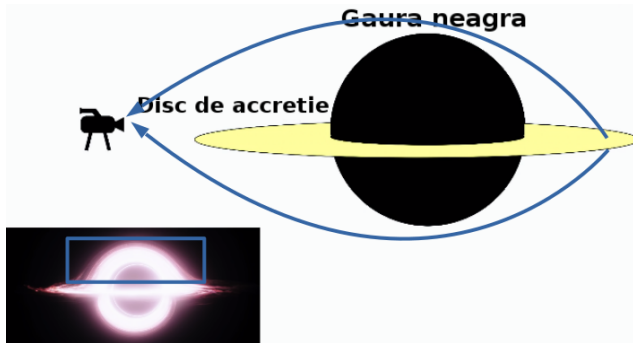
- 📍 imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- 📍 orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



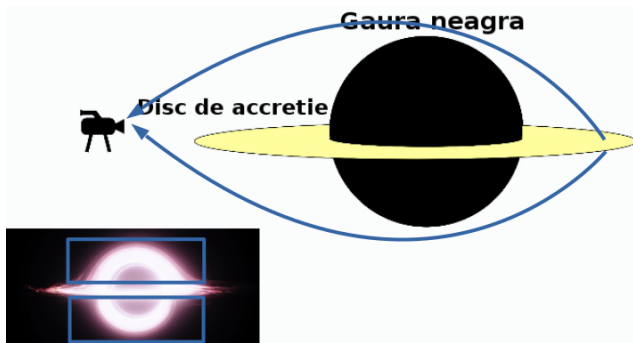
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



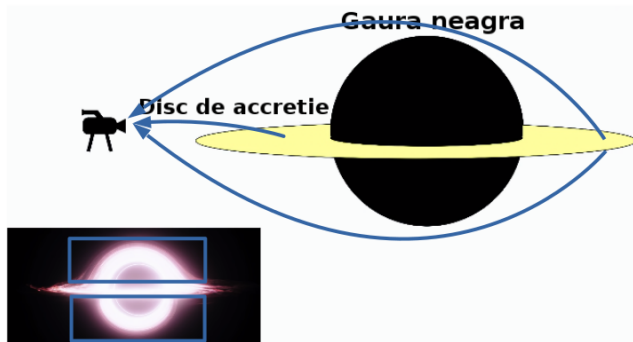
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



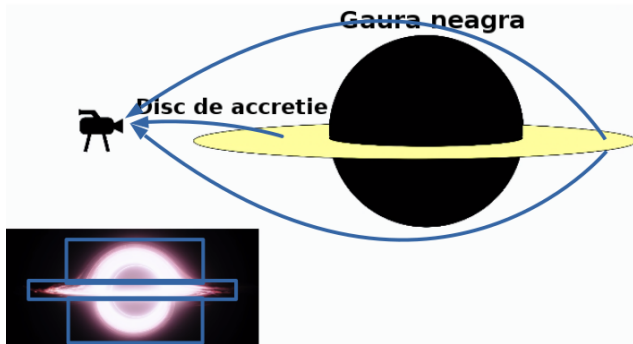
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



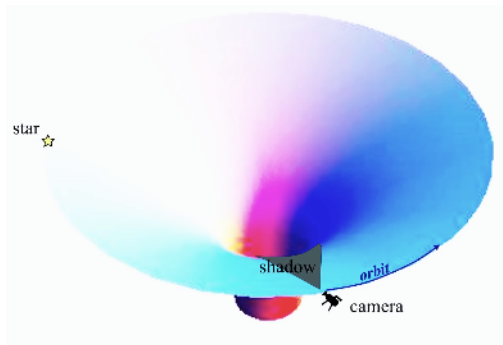
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de lentila gravitionala produs de Gargantua asupra imaginii discului de accretie



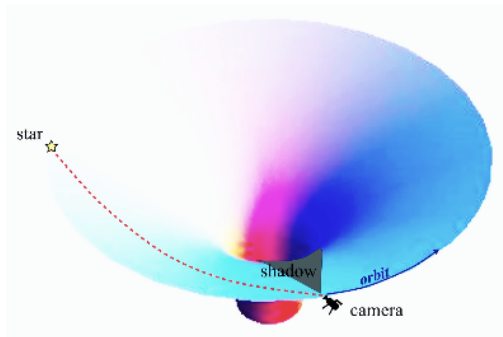
- imaginea discului de accretie din jurul Gargantuai vazuta de catre un observator aflat la cateva raze gravitationale
- orizontul Gargantuai este la aprox. o raza gravitionala

Efectul de umbra produs de catre o gaura neagra



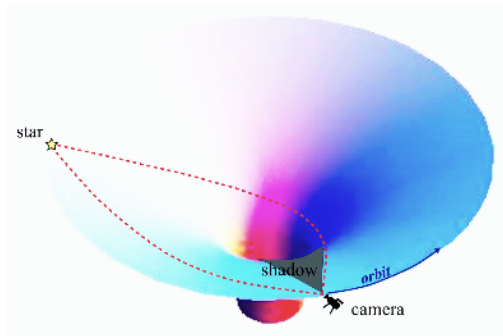
- o camera aflata pe o orbita in apropierea unei gauri negre
- gaura neagra va produce o umbra intr-o imagine a unei stele aflata in fundal

Efectul de umbra produs de catre o gaura neagra



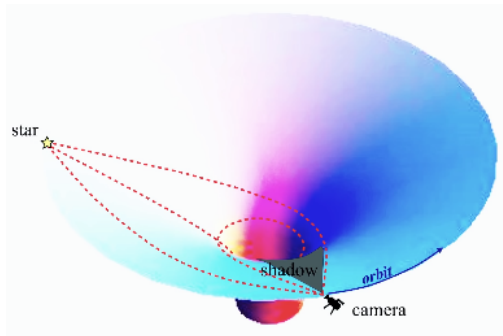
- o camera aflata pe o orbita in apropierea unei gauri negre
- gaura neagra va produce o umbra intr-o imagine a unei stele aflata in fundal

Efectul de umbra produs de catre o gaura neagra



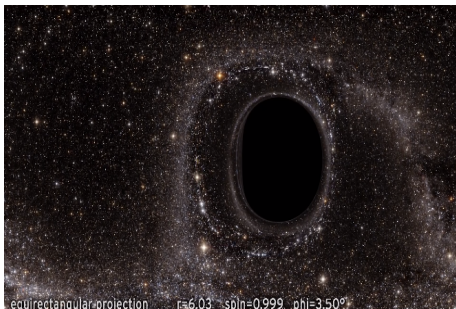
- o camera aflata pe o orbita in apropierea unei gauri negre
- gaura neagra va produce o umbra intr-o imagine a unei stele aflata in fundal

Efectul de umbra produs de catre o gaura neagra



- o camera aflata pe o orbita in apropierea unei gauri negre
- gaura neagra va produce o umbra intr-o imagine a unei stele aflata in fundal

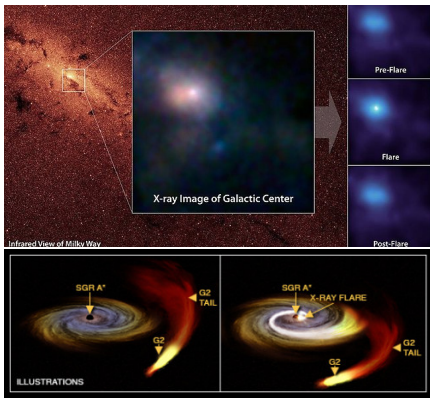
Effectul de lentila gravitacionala produs de o gaura neagra asupra unui camp de stele



Credit: Double Negative Team, www.dneg.com/black-holes

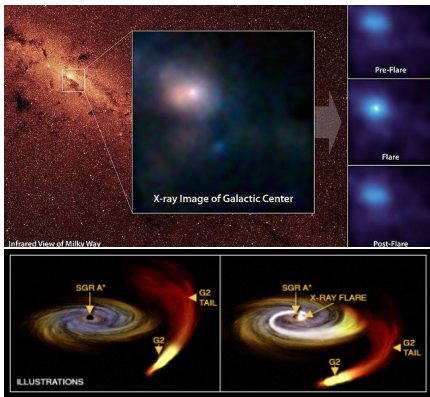
- 📍 **imaginea distorsionata** a unui camp de stele datorita prezentei campului gravitacional intens al gaurii negre
- 📍 gaura neagra functioneaza ca o **lentila gravitacionala**, creand **multiple imagini** ale stelelor din fundal

Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



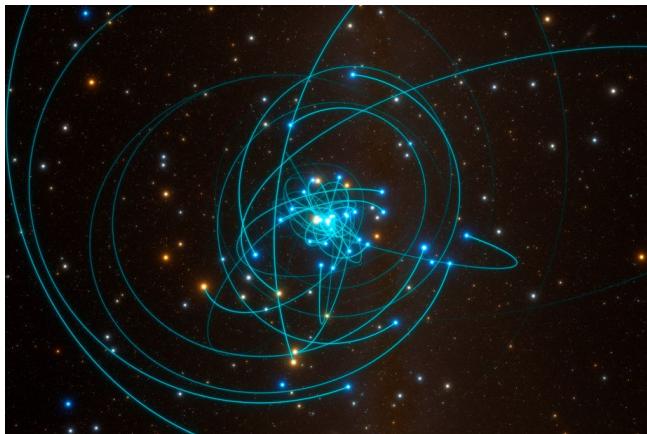
- o **stralucire temporala** (flare) in observatiile din domeniul razelor X – accidental mai “pica” cate un obiect

Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



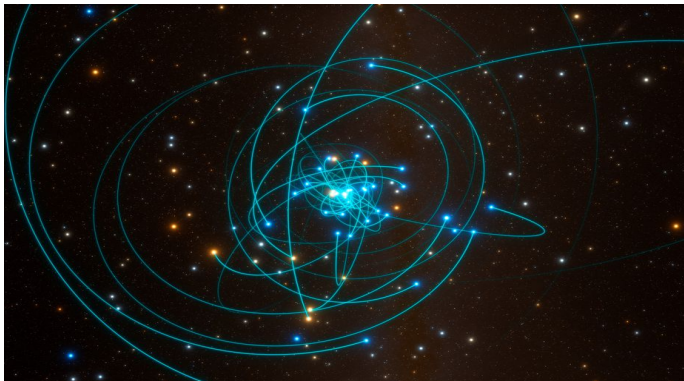
- o **stralucire temporala** (flare) in observatiile din domeniul razelor X – accidental mai “pica” cate un obiect
- o **gaura neagra este inactiva**: “doarme”, nu (mai) acreta suficienta materie; **gaura neagra este rotativa**

Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



- 📍 **determinarea masei gaurii negre** din orbitele descrise de mișcarea stelelor în jurul centrului Galaxiei

Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



- 🕒 masa lui Sgr A*: cca 4 milioane de ori mai mare decat cea a Soarelui
- 🕒 din miscarea stelelor in jurul Sgr A* observate in > 15 ani

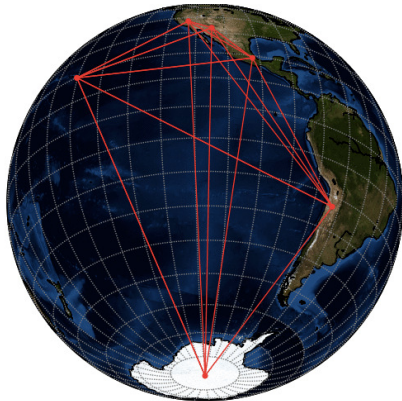
Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



Credit: Hotaka Shiokawa

- umbra gaurii negre rezultata din **simulari numerice**
- asteptata a fi observata cu Event Horizon Telescope (EHT)

Sagittarius A* (Sgr A*) gaura neagra aflata in centrul galaxiei noastre



- Event Horizon Telescope (EHT)
- antene radio corelate (off line), aflate in Europa, SUA, Groenlanda, Chile, Polul Sud

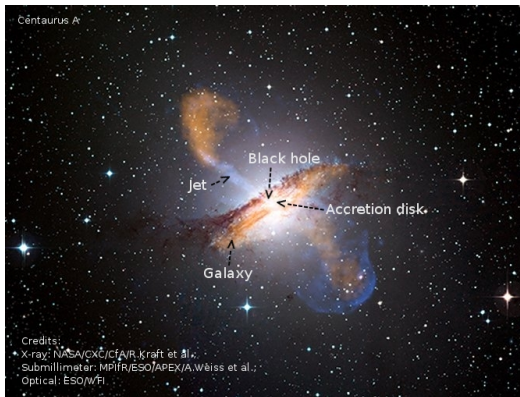
Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

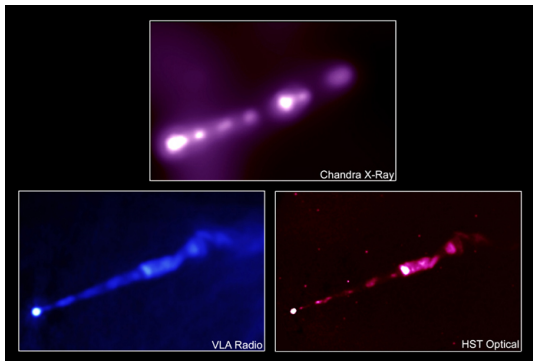
Unde
gravitationale

Centaurus A (Cen A)



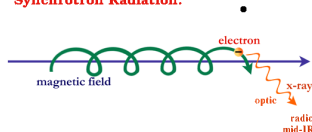
- Cen A este cea mai apropiata galaxie cu nucleu activ
- distanta: cca 10^{20} km
- masa: 55 milioane mai mare decat a Soarelui
- imagine compozita (raze X, optic si radio)

Jeturile relativiste in galaxia M87



- emisie de **radiație de sincrotron** din domeniul X până în domeniul radio
- M87** prima observație a unui jet extragalactic, Curtis 1918

Synchrotron Radiation:



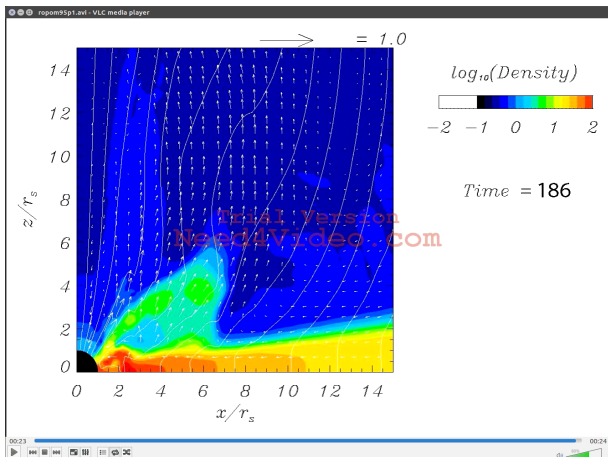
Ioana Duțan

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

Unde
gravitationale

Simulari formare jeturi de la gaurile negre rotative



Credit: Duțan, Mizuno si Nishikawa

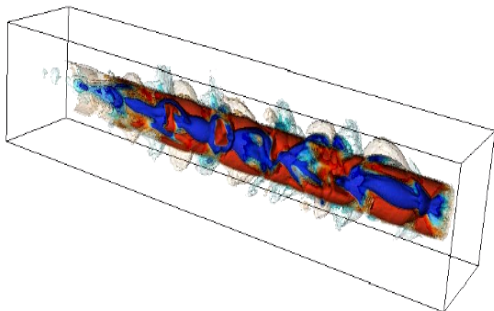
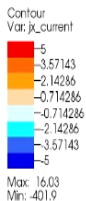
metoda: magnetohidrodinamica in relativitatea generala

Simulari PIC propagare jeturi care contin campuri magnetice elicoidale

Gauri negre

Galaxii cu nucleu
activ si jeturi
relativiste

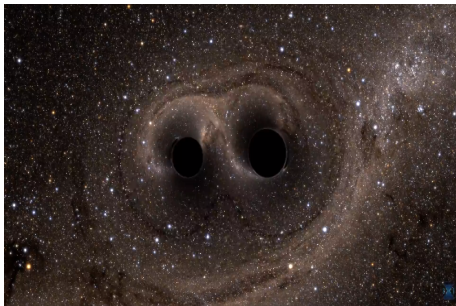
Unde
gravitationale



Credit: Nishikawa, Duțan et al.

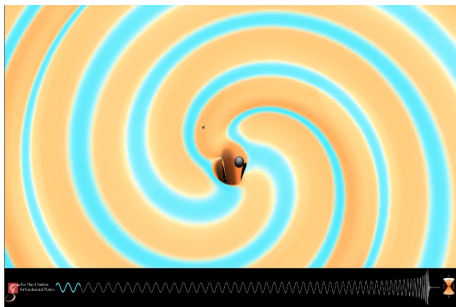
metoda PIC (particle-in-cell)

Undele gravitationale produse in urma ciocnirii a doua gauri negre



- 14 septembrie 2015, prima detectie de unde gravitationale generate in urma ciocnirii a doua gauri negre stelare (anuntata pe 11 februarie 2016 de catre LIGO si Virgo)
- avand 36 si, respectiv, 29 mase Solare
- masa gaurii negre dupa ciocnire: 62 mase Solare
- energia a 3 mase Solare a fost radiata sub forma de unde gravitationale

Undele gravitationale produse in urma ciocnirii a doua gauri negre



- 25 decembrie 2015, a doua detectie de unde gravitationale generate in urma ciocnirii a doua gauri negre stelare (anuntata pe 16 iunie 2016 de catre LIGO si Virgo)
- 2 gauri negre avand 14,2 si, respectiv, 7,5 mase Solare
- masa gaurii negre dupa ciocire: cca 20,8 mase Solare
- energia a cca 1 masa Solare a fost radiata sub forma de unde gravitationale

LISA - Laser Interferometer Space Antena



- sensibilitate ridicata, e.g., ciocnirea a doua gauri negre supermasive
- lungimea bratelor: 2.5 milioane de km
- distanta pana la formatie: 50 milioane de km
- misiune ESA (+NASA) care va fi lansata in 2030
- Colaborarea LISA: sute de participanti din zeci de tari, inclusiv din Romania (prin cercetatori de la ISS)