Prve fotografije crnih rupa
- kako videti nevidljivo -

dr Milan Milošević

Departman za fiziku, Prirodno-matematički fakultet

„Najbliži svemiru – park tamnog neba Vidojevica“
Prokuplje, 5. decembar 2023.

Deo aktivnosti AD Alfa u 2022/23. godini realizuju se u okviru projekta
„Kako dohvatiti zvezde“, uz podršku Centra za promociju nauke

Nobelova nagrada za fiziku 2020. godina

- **Rodžer Penrouz** (*Roger Penrose*)
  Rođen 8. avgusta 1931. Engleski fizičar, matematičar, filozof nauke. Prof. emeritus na **Univerzitetu u Oksfordu.**

- **Rajnhard Gencel** (*Reinhard Genzel*)
  Rođen 24. marta 1952. Nemački astrofizičar, ko-direktor Maks Plankovog institua za vanzemaljsku fiziku. Prof. emeritus na **Univerzitetu Berkley, Kalifornija**.

- **Andrea Gez** (*Andrea Ghez*)
  Rođena 16. juna 1965. Američka astronomkinja i profesorka na **Departmanu za fiziku i astronomiju na UCLA**.

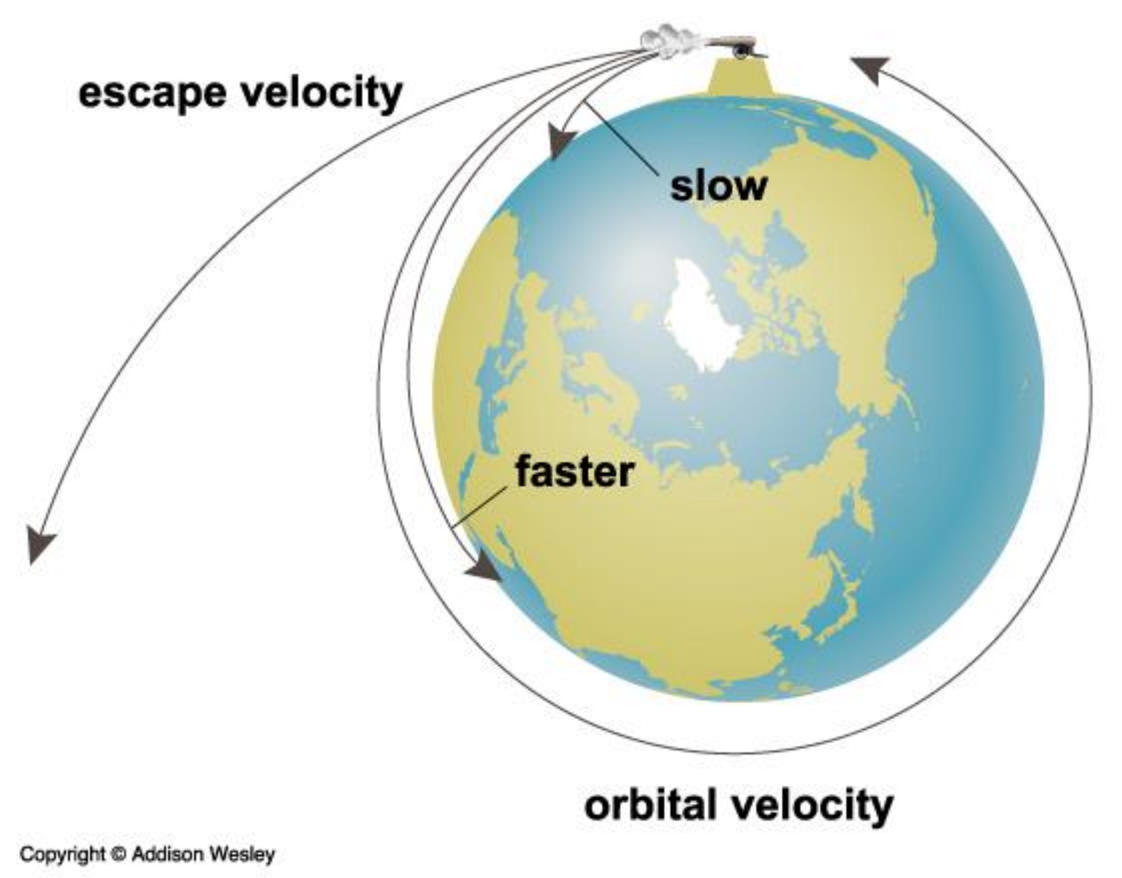
Šta je to crna rupa?

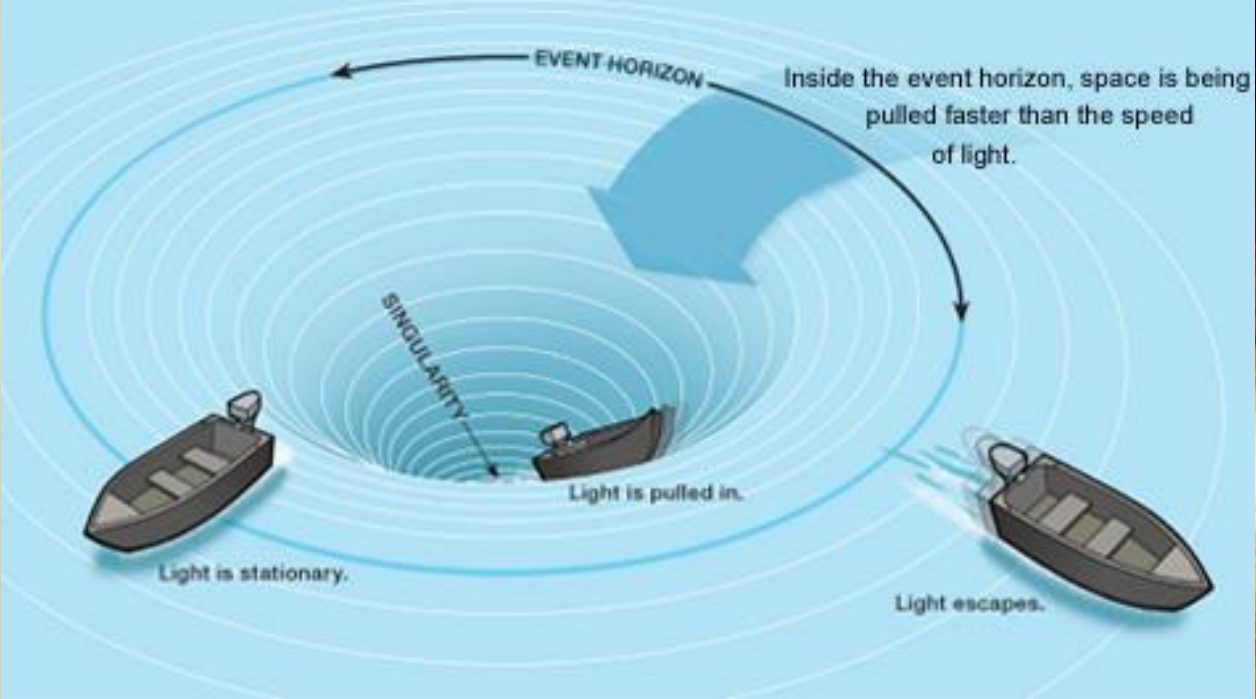
- Objekat čije je gravitaciono polje toliko jako da nijedan oblik materije ili zračenja ne može da „pobegne“ iz nje

- Prema opštoj teoriji relativnosti mesto u kome je prostor-vreme beskonačno zakrivljeno

- **Džon Viler** (1967) prvi put pojam „crna rupa“
  - Grafički opis ideje koja je stara 200+ godina

„Ne može da ’pobegne’ iz nje“?





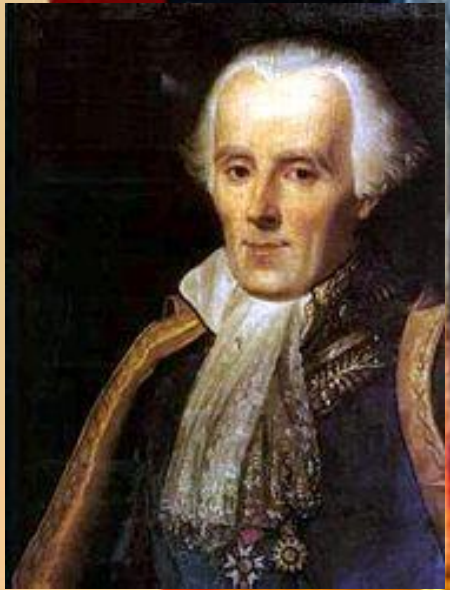
Izvor: Answers magazine.

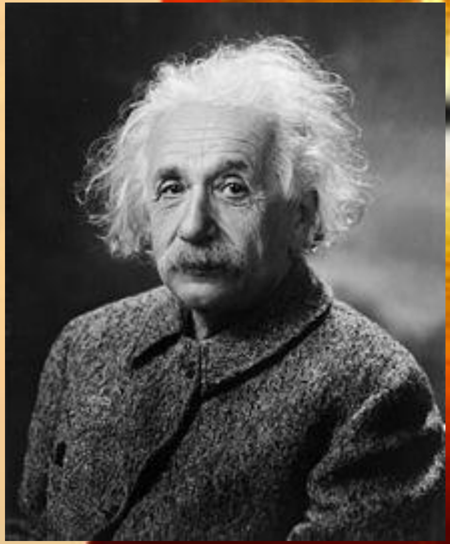
Šta je to crna rupa?

- Prva ideja: **Džon Mičel**, 1783. godine (Kembridž)
  - Ako je zvezda **dovoljno masivna i gusta**; smatrao je da postoji mnogo takvih zvezda ali ne mogu da se vide već samo **detektuje efekat** njihove gravitacije

- Slična ideja: Pjer Laplas, nekoliko godina kasnije
  - Smatrao da **malo znamo o prirodi svetlosti** da bi mogli da pretpostavimo kako na nju **deluje gravitacija** i da nije sasvim na mestu izjednačiti svetlost sa topovskom đuladi u Njutnovoj teoriji gravitacije, jer je **brzina svetlosti konstantna**

- **Albert Ajnštajn, novembar 1915. godine**
  - **Opšta teorija relativnosti**





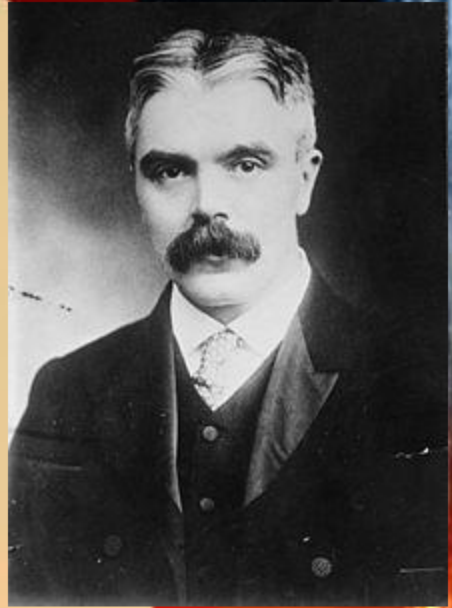
Skretanje svetlosti

- Pomračenje Sunca: 29. maj 1919. godine
  - Britanski astronomi Frenk Dajson i Artur Edington
  - Zapadna Afrika, ostrvo Prinsipe
    (manje od dva ostrva države Sao Tome i Prinsipe, 136 km^2, danas 5000 stanovnika)

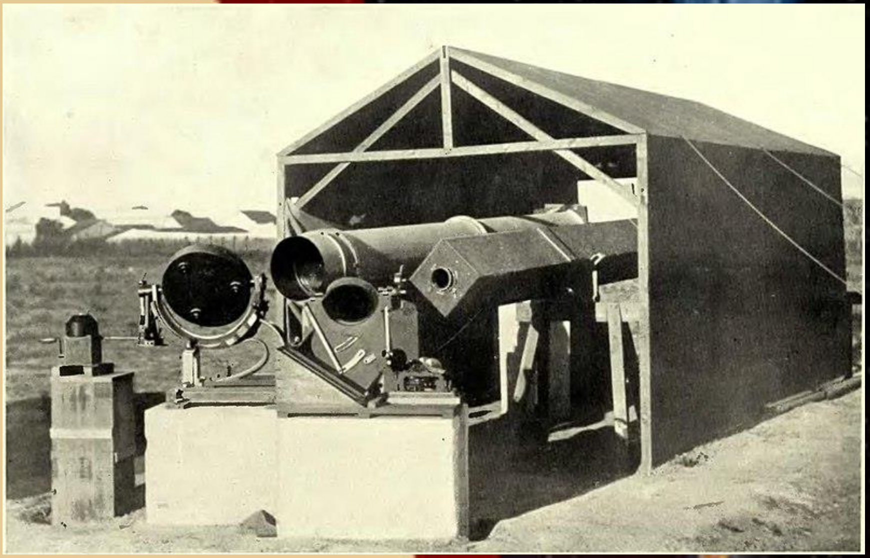
- Prva ideja o skretanju svetlosti: **Johan Džordž fon Soldner** (1801), iz Njutnove gravitacije

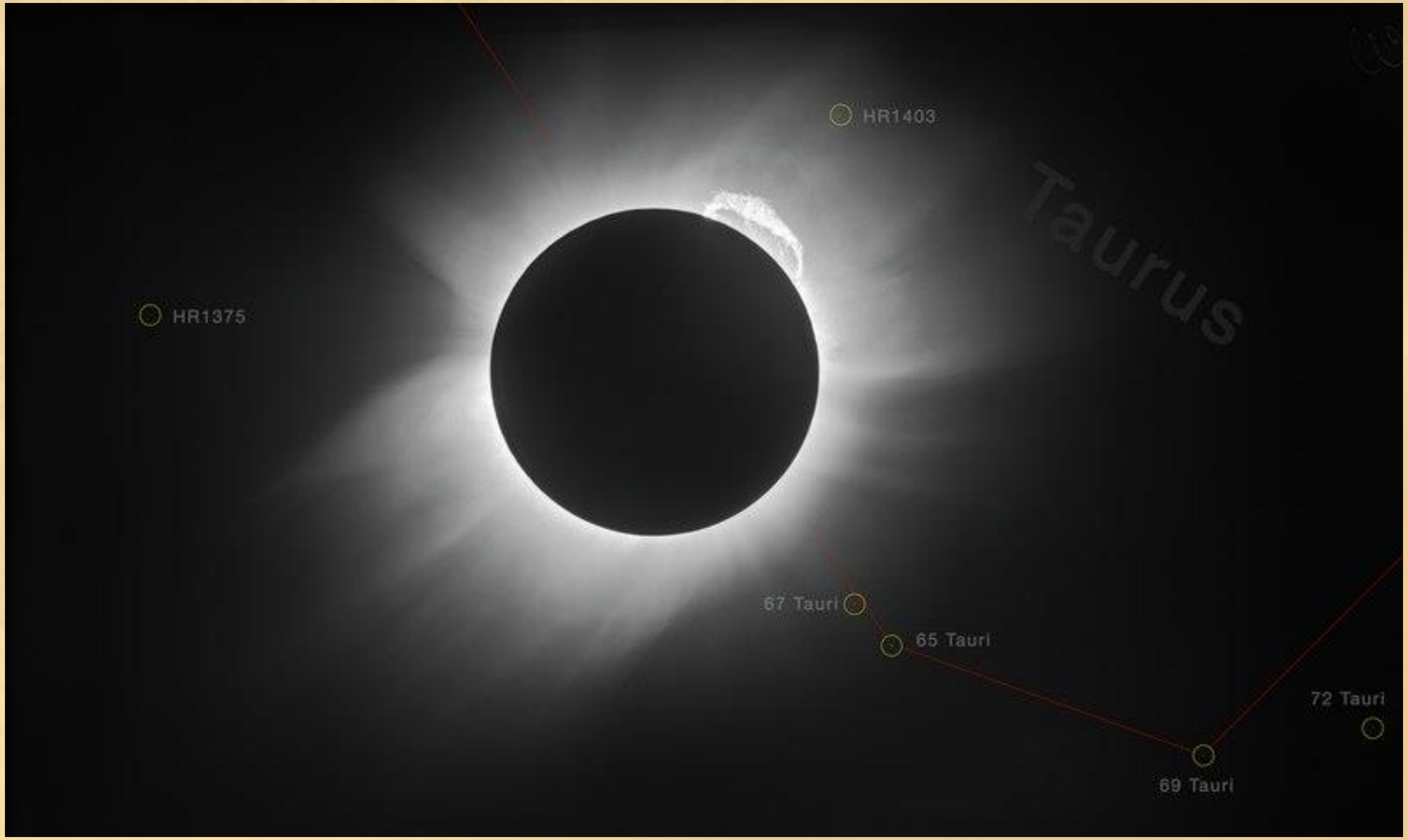
- Prvi Ajnštajnovi proračuni (1911) – **pogrešni** (rezultati približni Njutnovoj teoriji)
  - Pokušaj merenja pomračenje 1912. god. iz Brazila – oblačno!

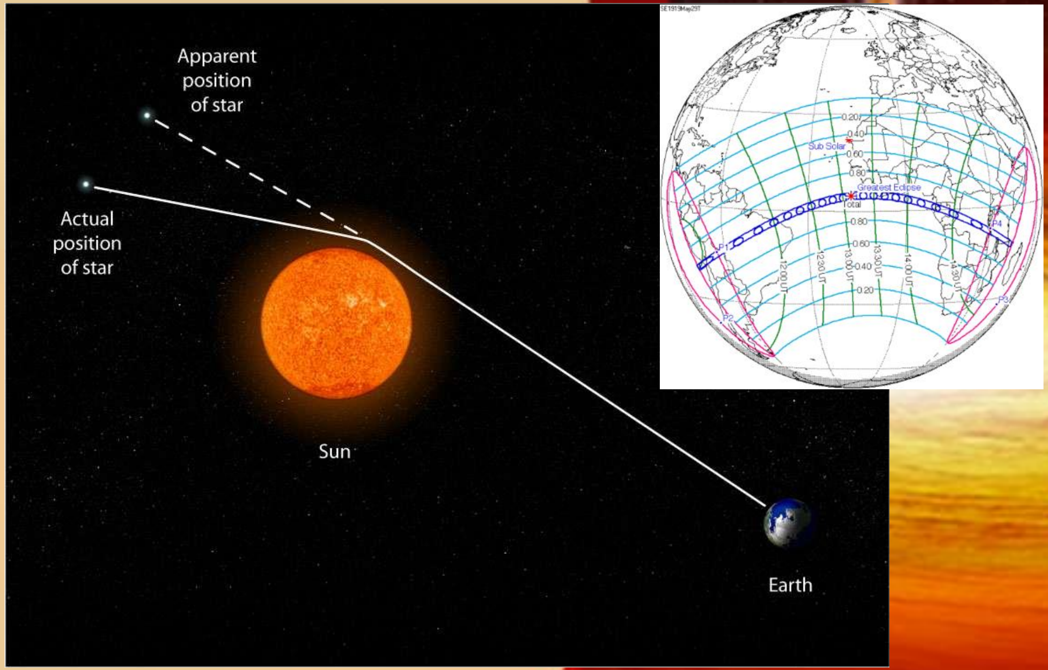
- Očekivani rezultati – **gravitaciono sočivo**, skretanje **1,75 lučnih sekundi** (2 puta više od Njutnove teorije gravitacije)



Edingtonov eksperiment



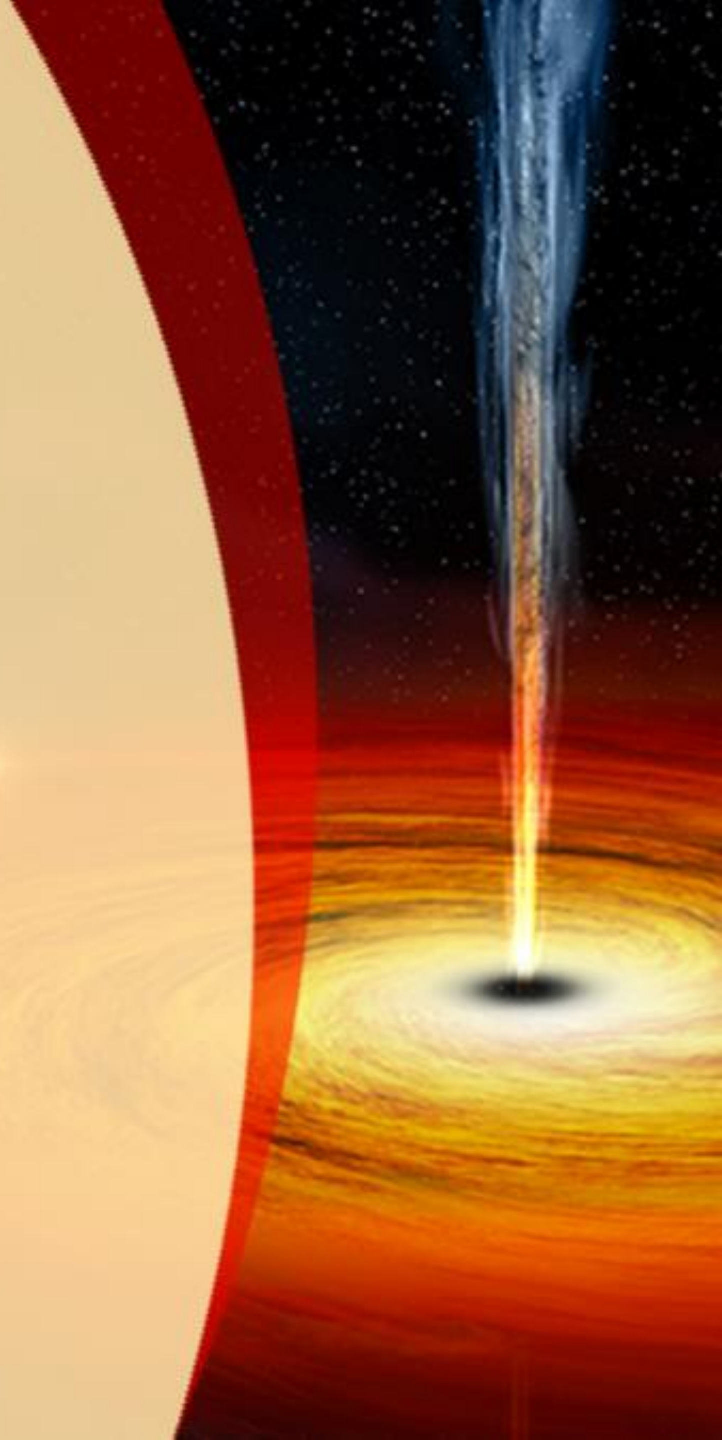




Šta je to crna rupa?

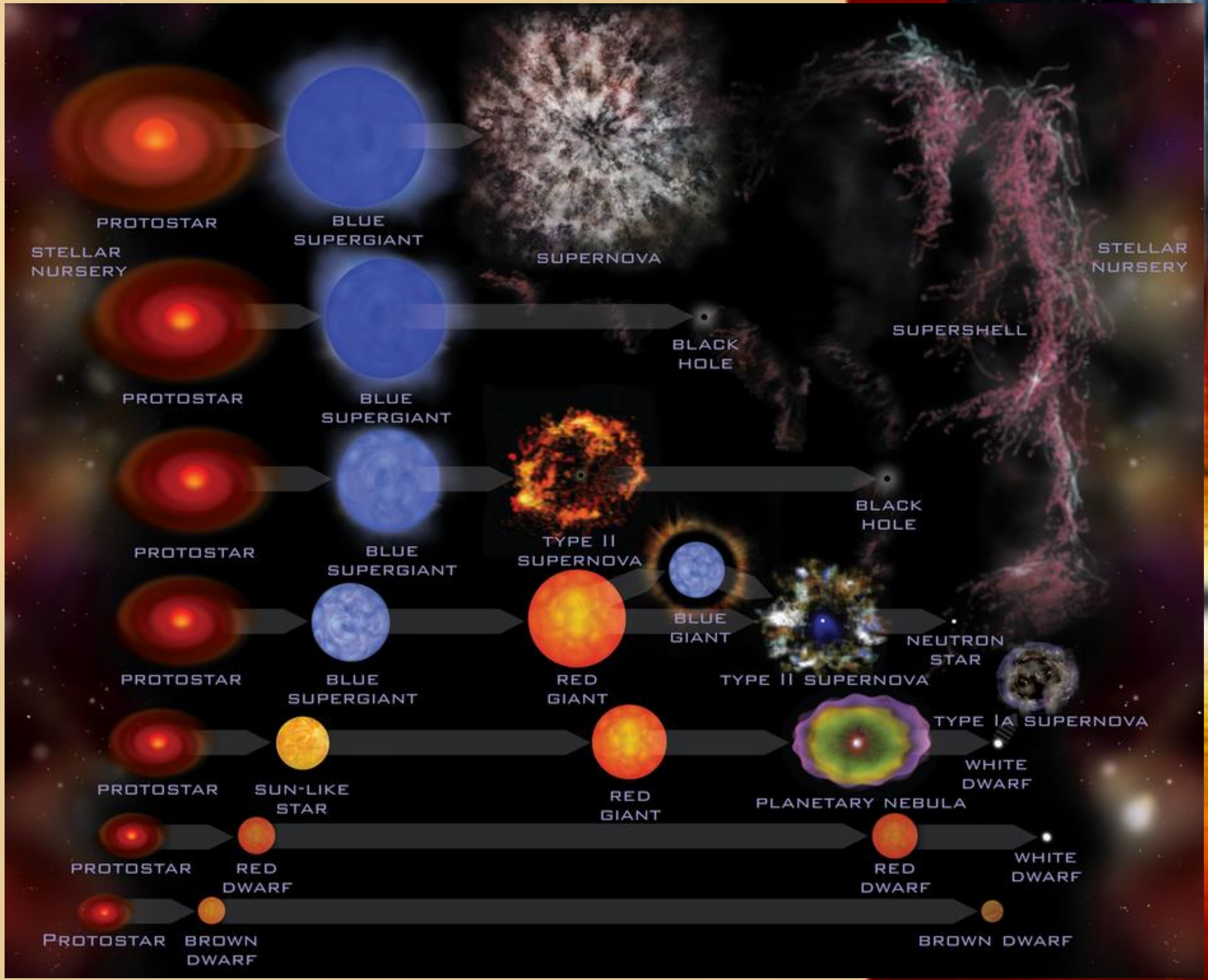
- Nekoliko nedelja kasnije
  - Karl Švarcšild – rešenja Ajnštajnovih jednačina koja pokazuju kako masivna tela savijaju prostor-vreme.

- Kasnija istraživanja
  - Crna rupa – okružena horizontom događaja
  - Veća masa → veća crna rupa
    - masa Sunca → prečnik horizonta događaja oko 3 km
    - masa Zemlje → 9 mm

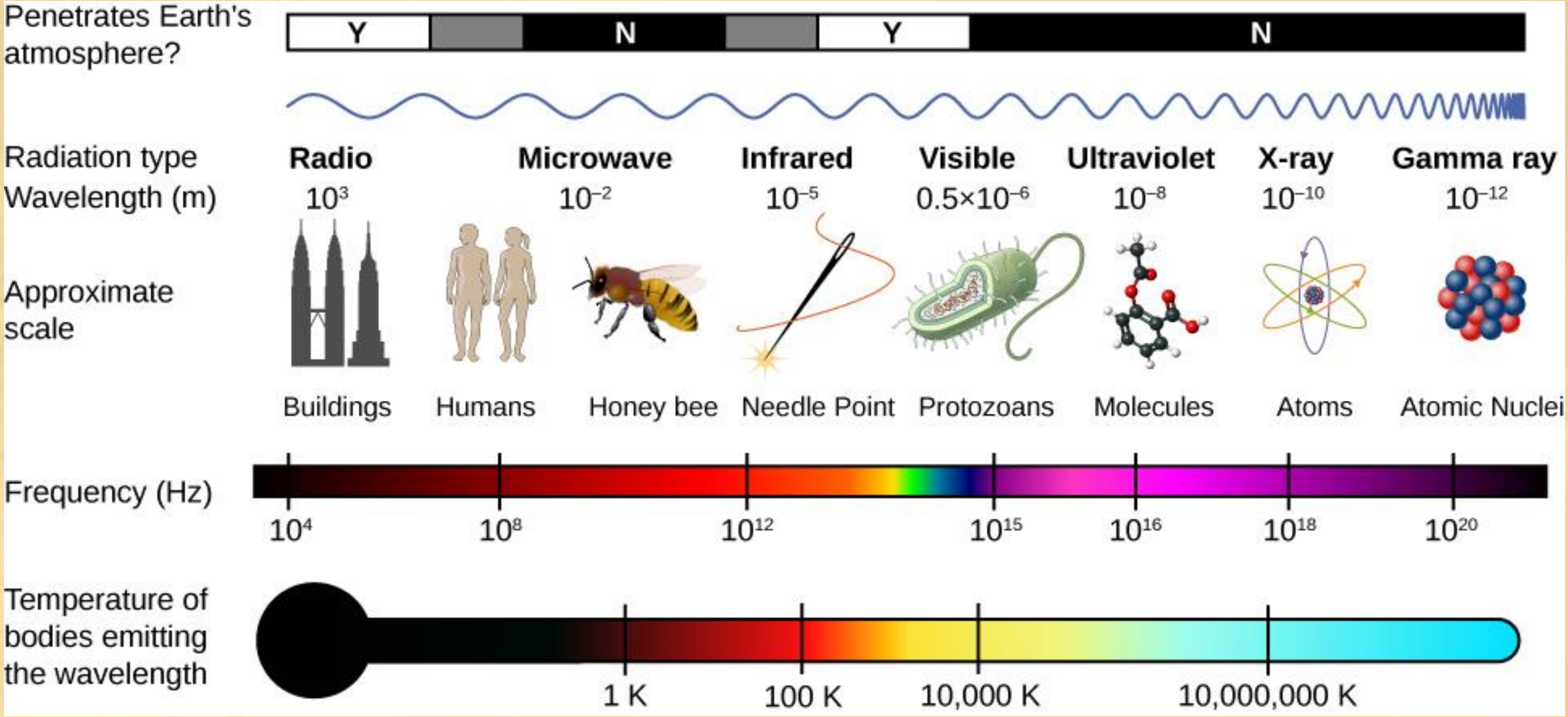


Kako nastaju crne rupe?

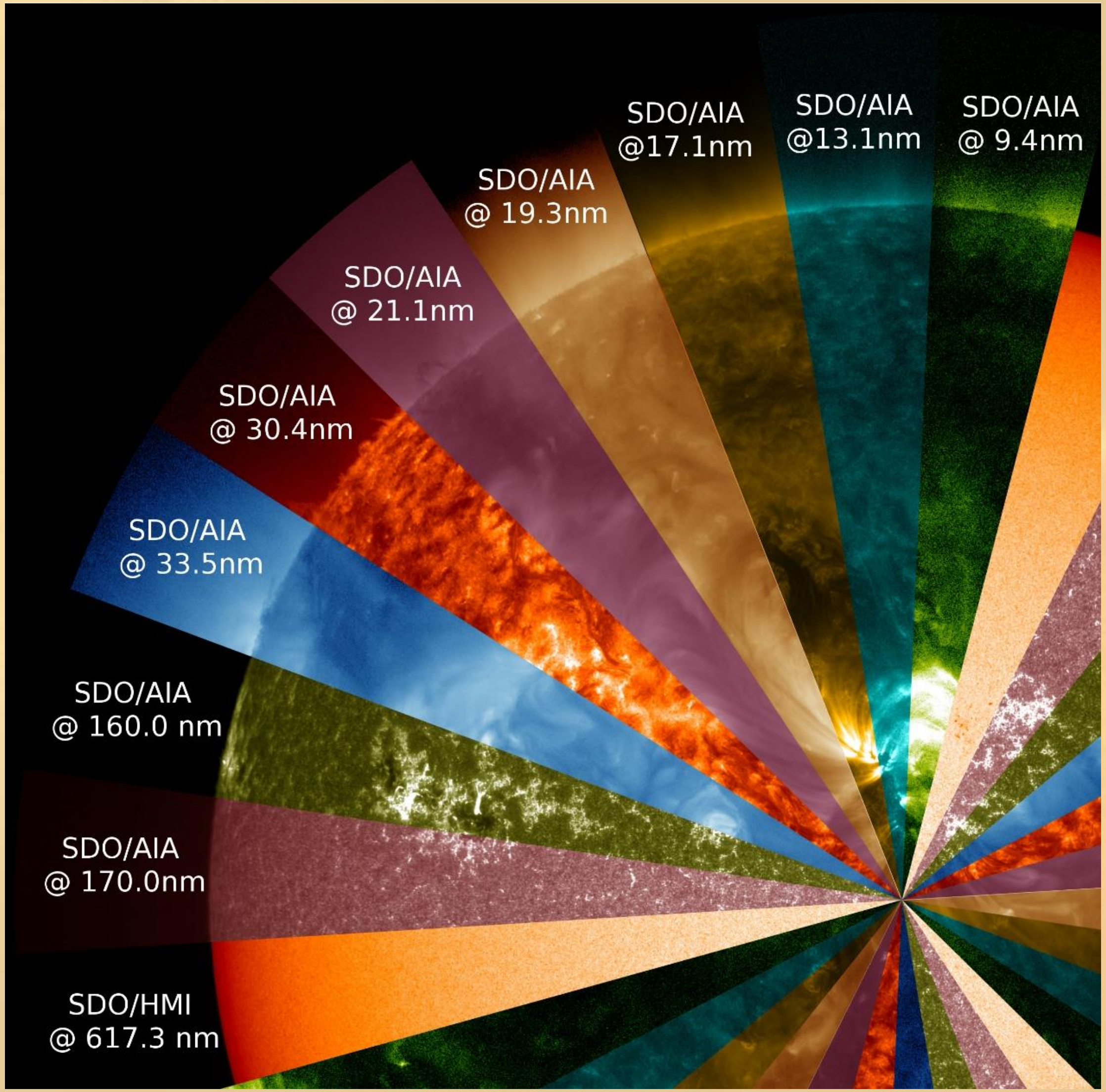
- Robert Openhajmer (1930)
  - Prva izračunavanja – gravitacioni kolaps masivnih zvezda
- Do 1960+ godine
  - Smatrano da su ova rešenja samo teorijske analize idealne situacije (zvezda i crna rupa savršeno sferne i simetrične)
- **Rodžer Penrouz (1964)**
  - Prvo rešenje za realan slučaj kolapsirajuće zvezde!



Šta znači „videti“?

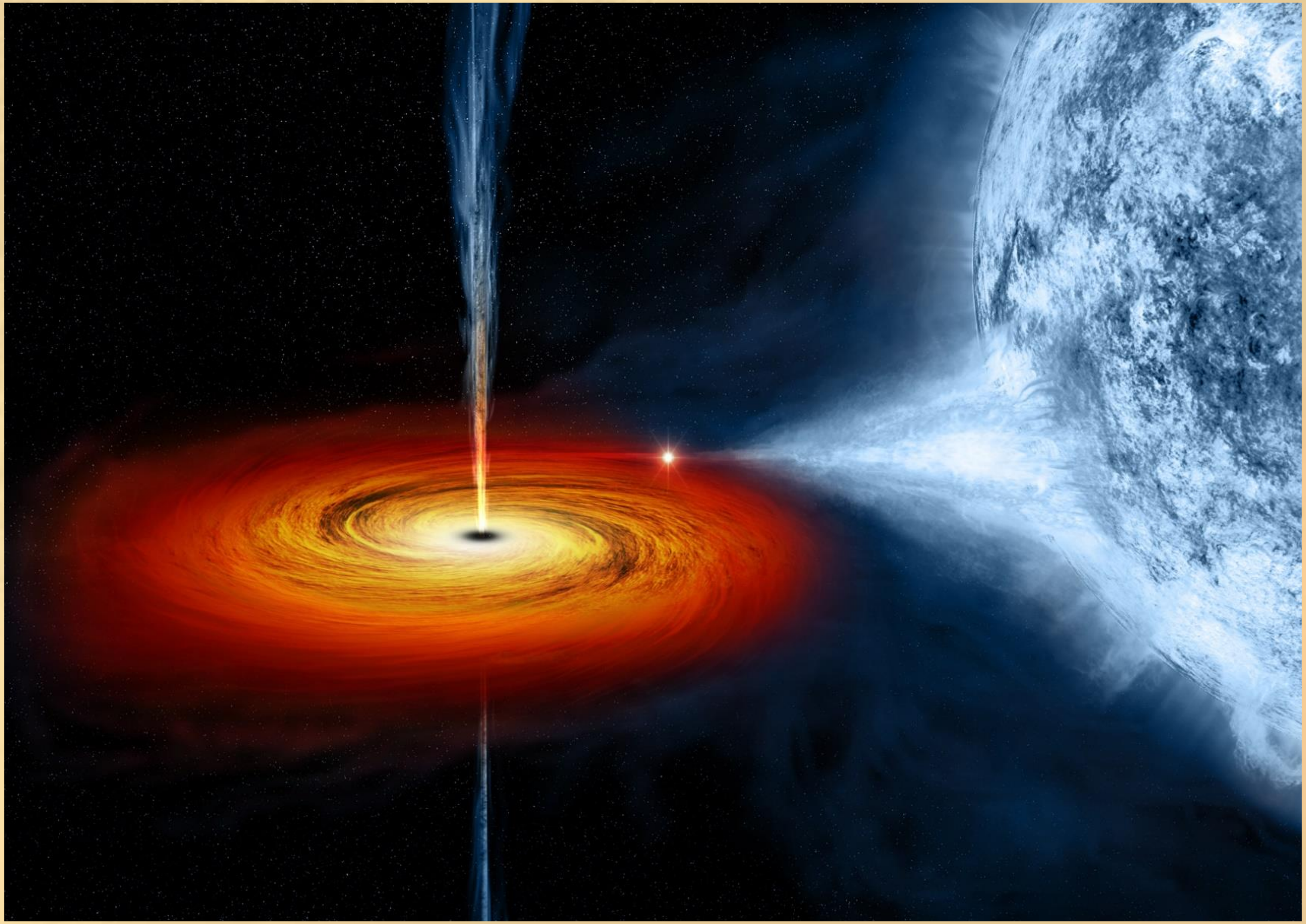


Sunce na različitim „talasima“



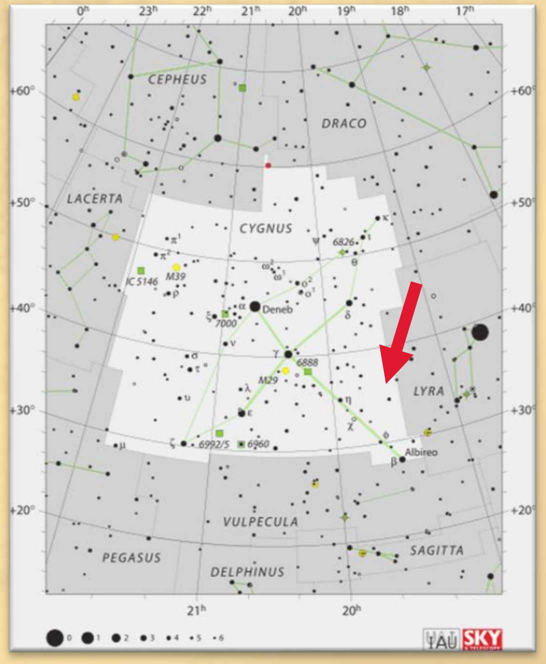
Ali, kako videti crnu rupu?

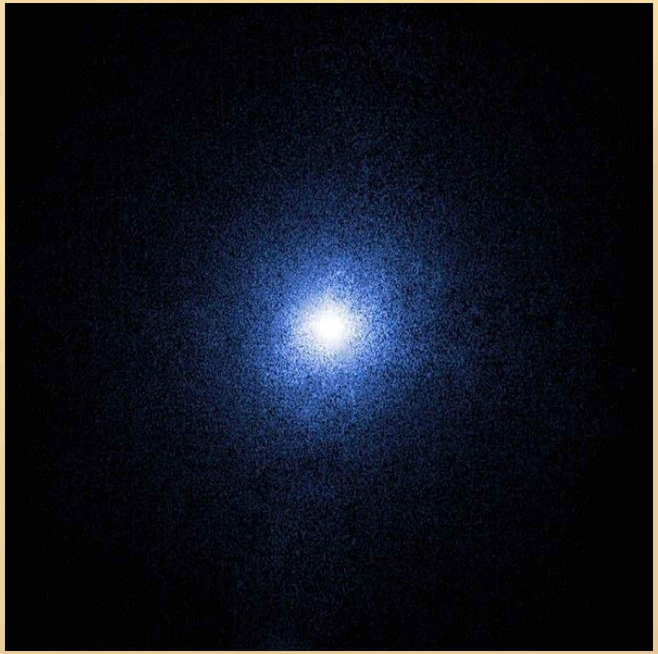
Detekcija

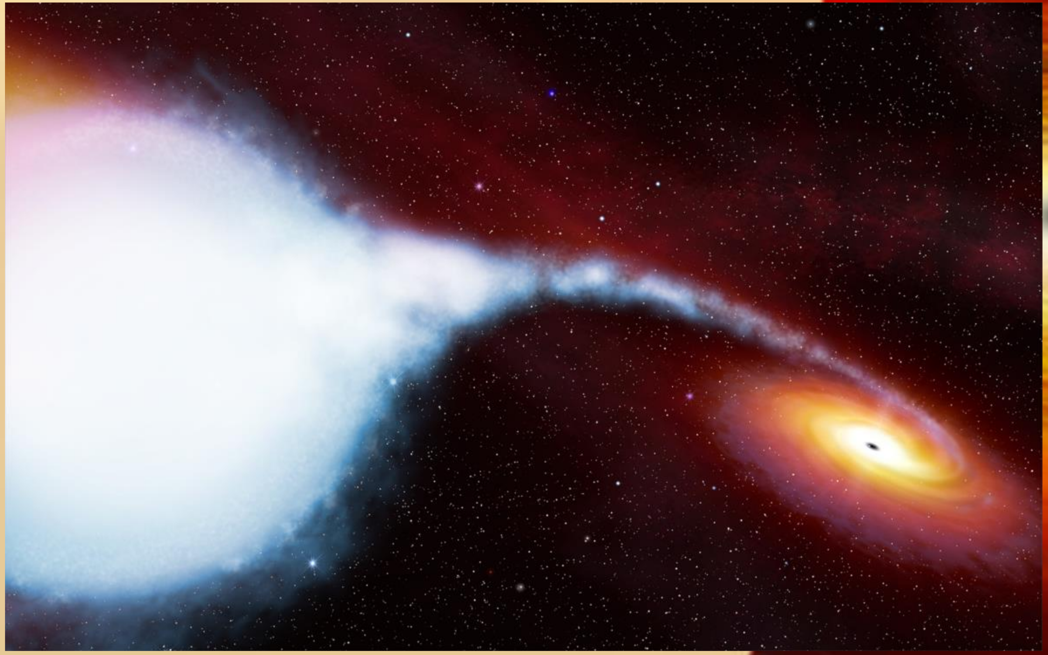


Prvi kandidat *Cygnus X-1*

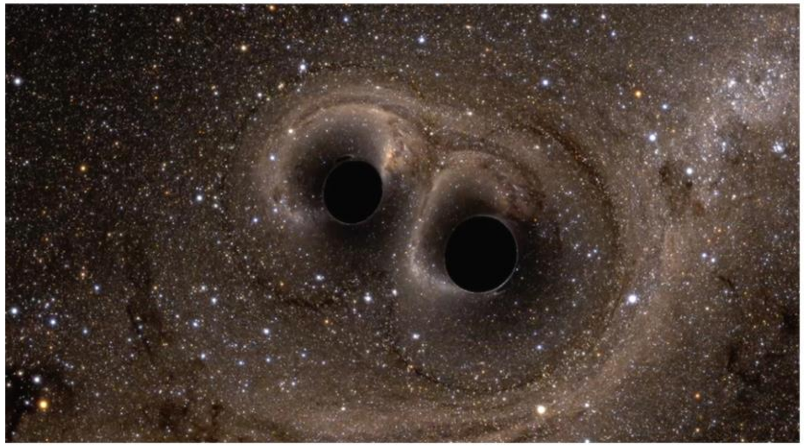
- Dvojni sistem, najveći deo zračenja emituje u X spektru
- Prvi kandidat *Cygnus X-1*
    - Otkrili: Luis Vebster, Pol Murdin i Čarls Bolton (1972)

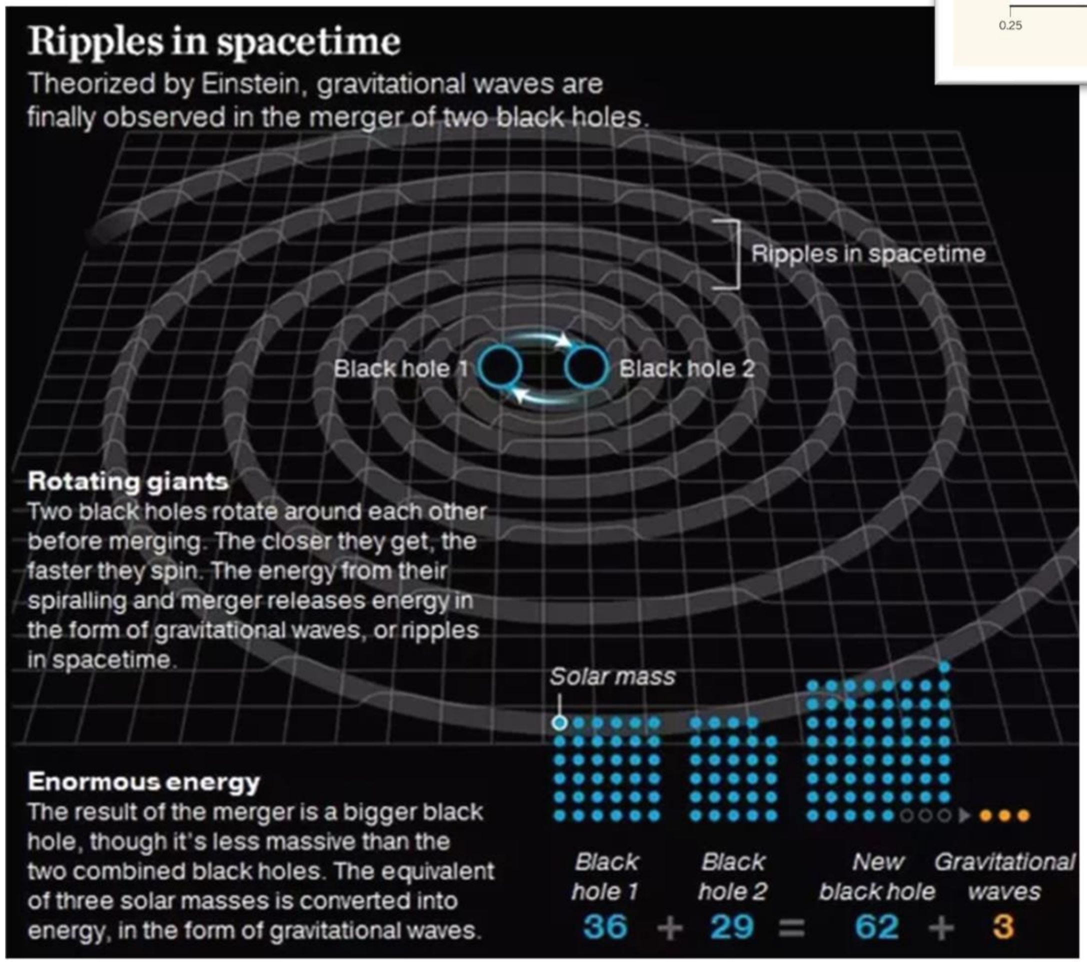


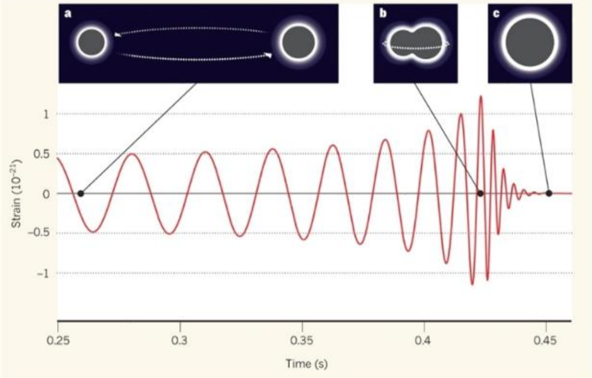


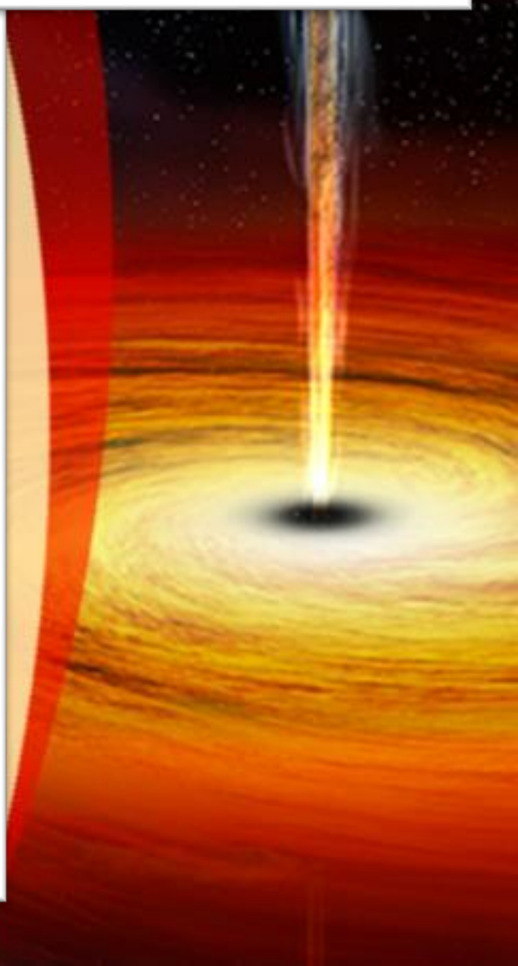


Sudar dve crne rupe…







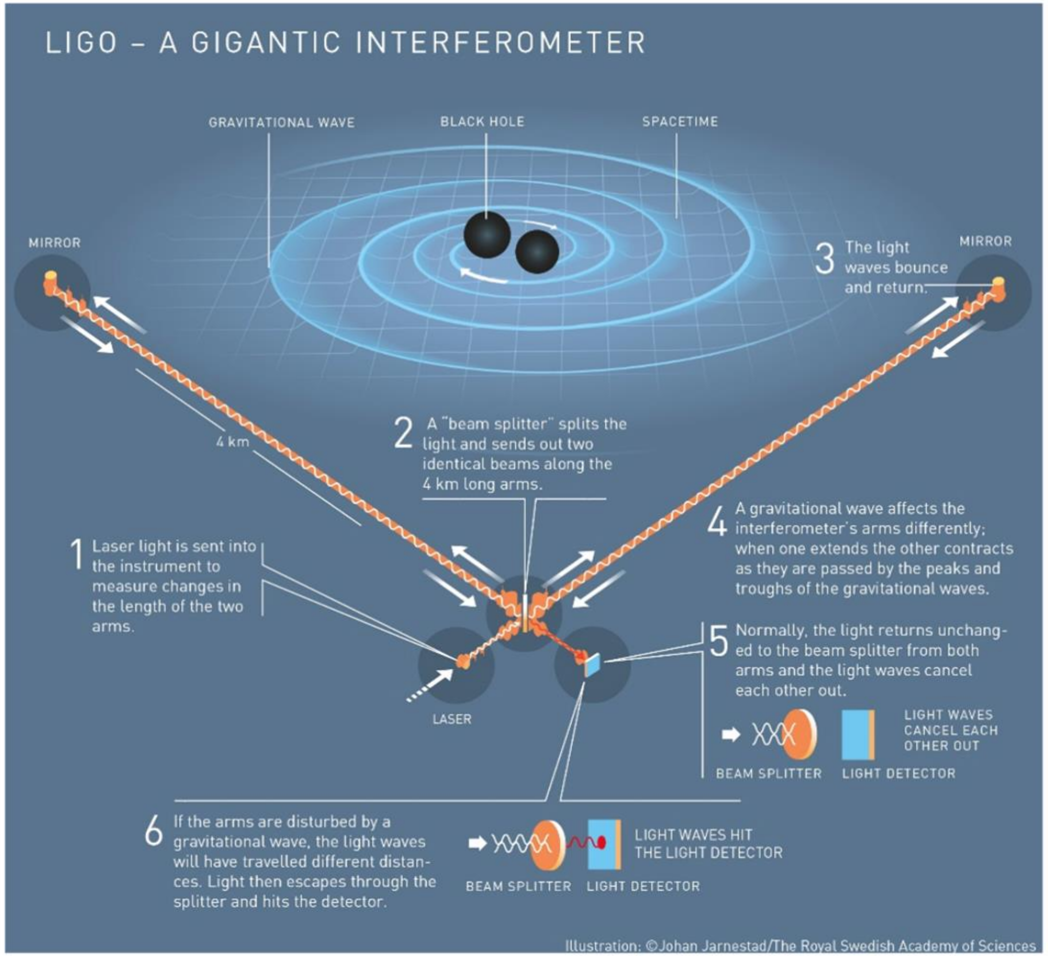


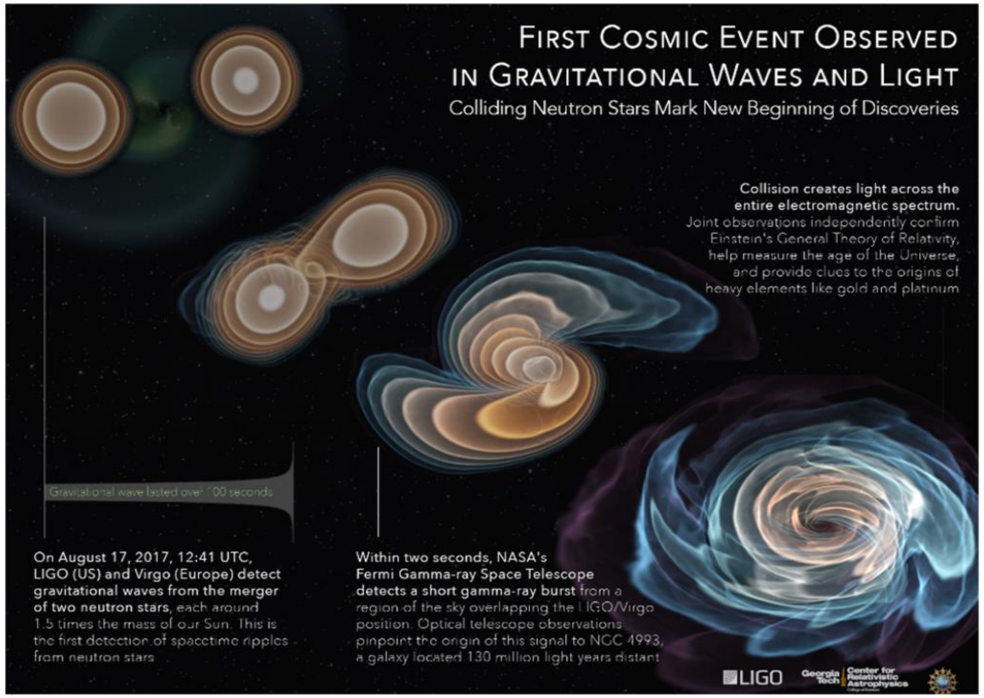
… gravitacioni talasi!

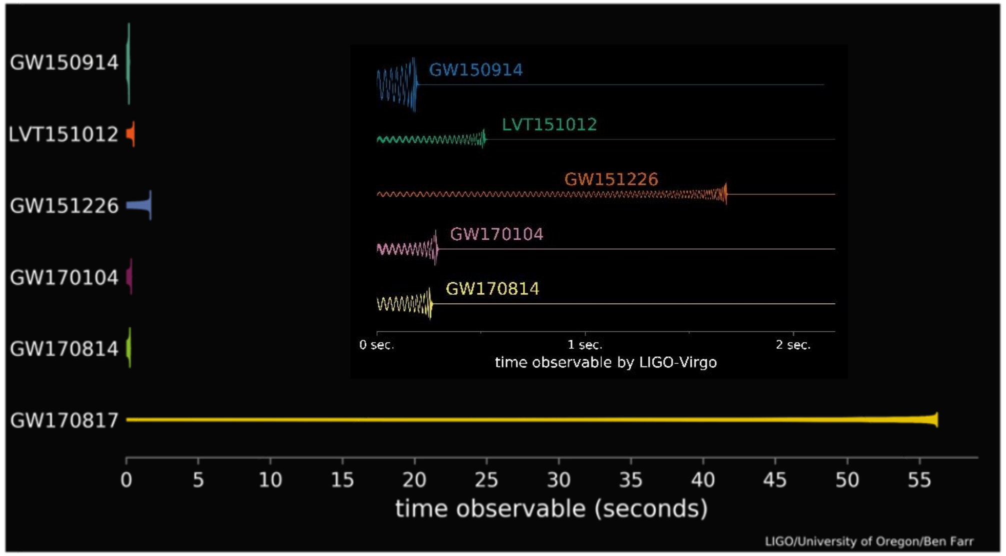
GW150914

Nobelova nagrada za fiziku, 2017. godina

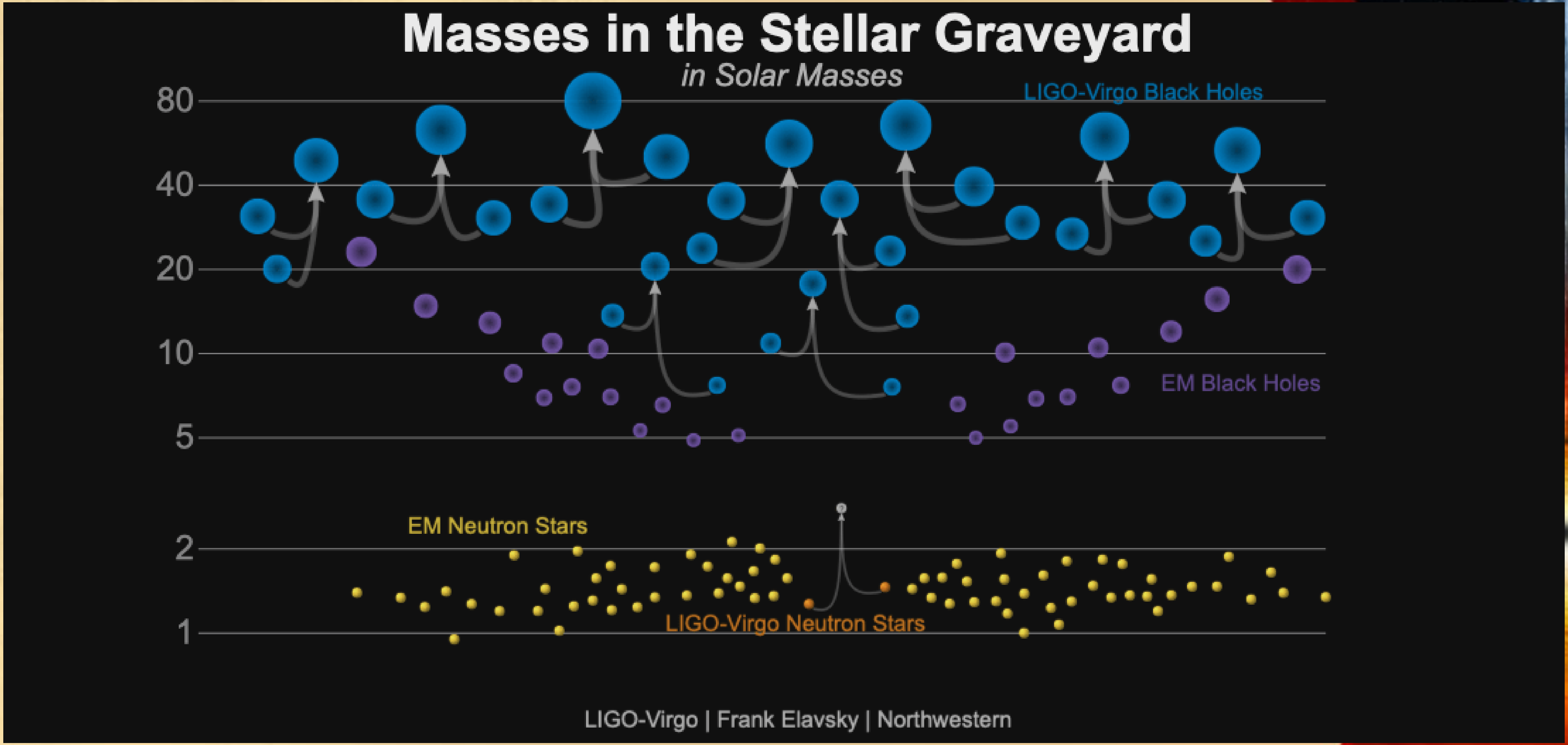
Gravitacioni talasi







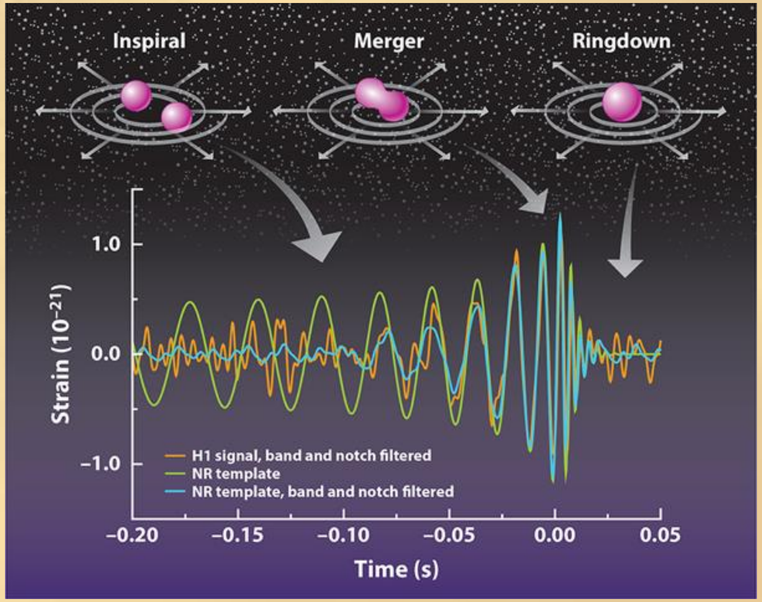
http://www.ligo.org/detections/GW170817.php



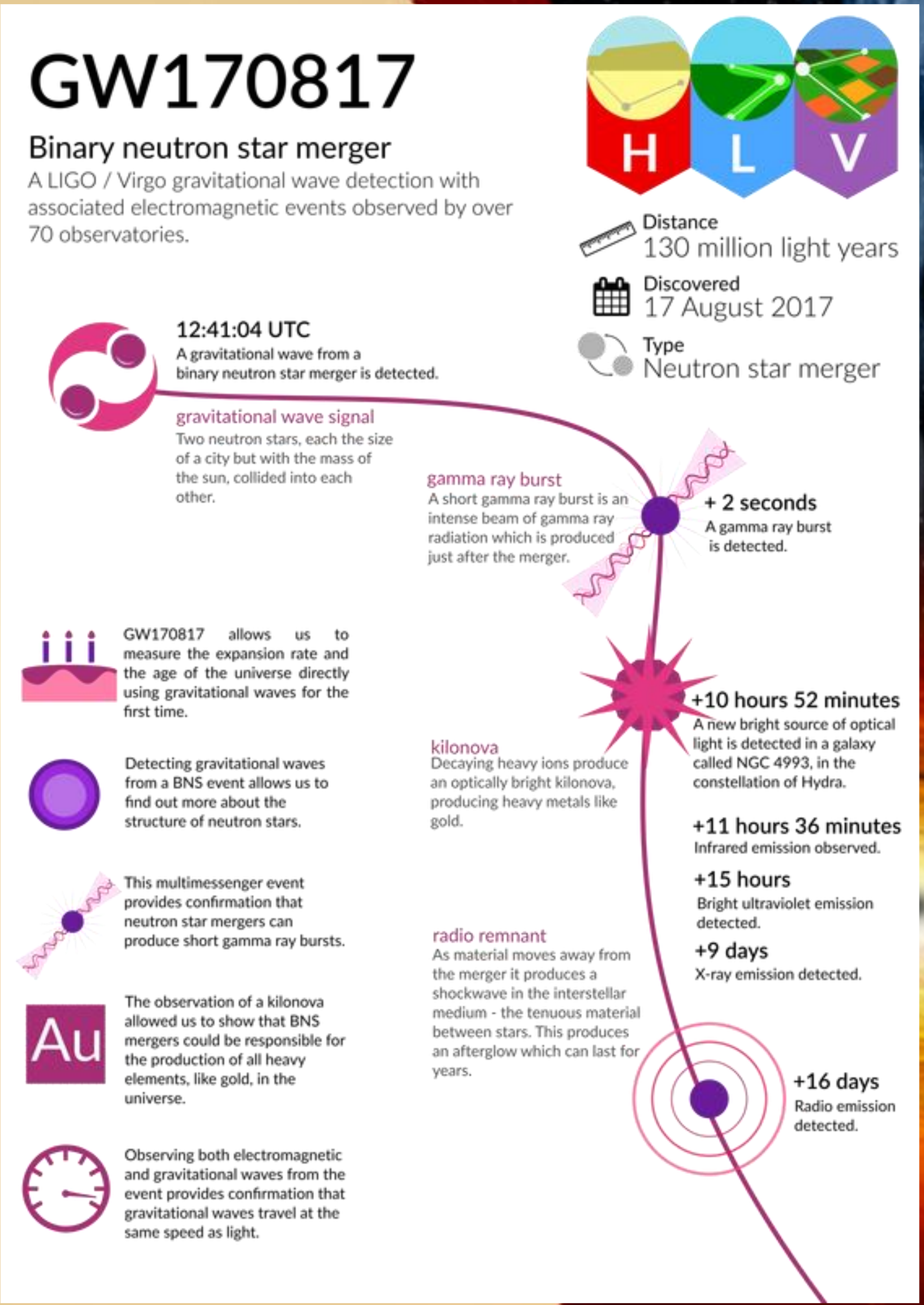
Masses in the Stellar Graveyard
in Solar Masses
LIGO-Virgo Black Holes
EM Black Holes
EM Neutron Stars
LIGO-Virgo Neutron Stars
80
40
20
10
5
2
1
LIGO-Virgo | Frank Elavsky | Northwestern

Sudar dve neutronske zvezde

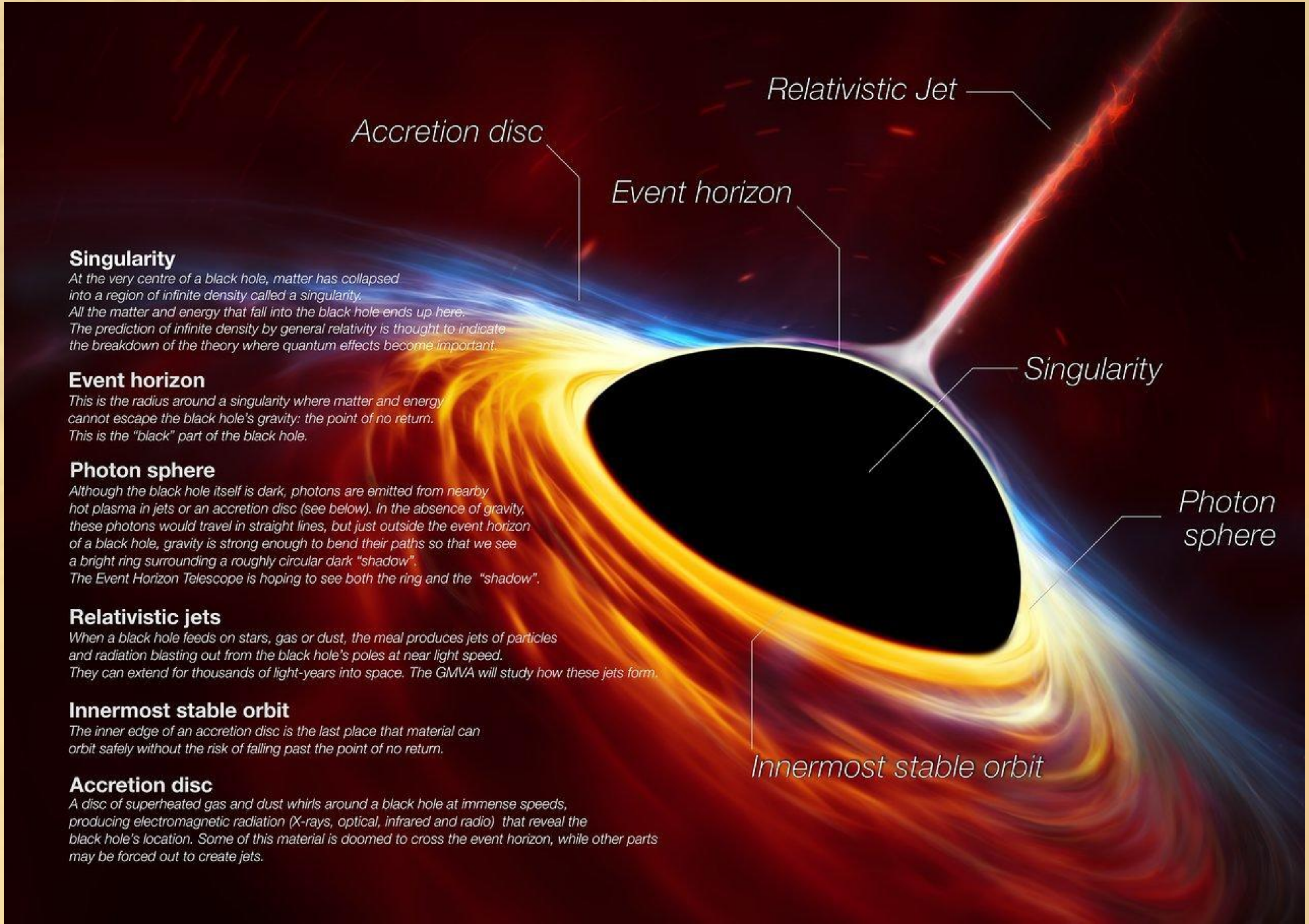
- Gravitacioni talasi
  - GW170817
  - GW170814
  - GW170104
  - GW151226
  - GW150914
  - ….

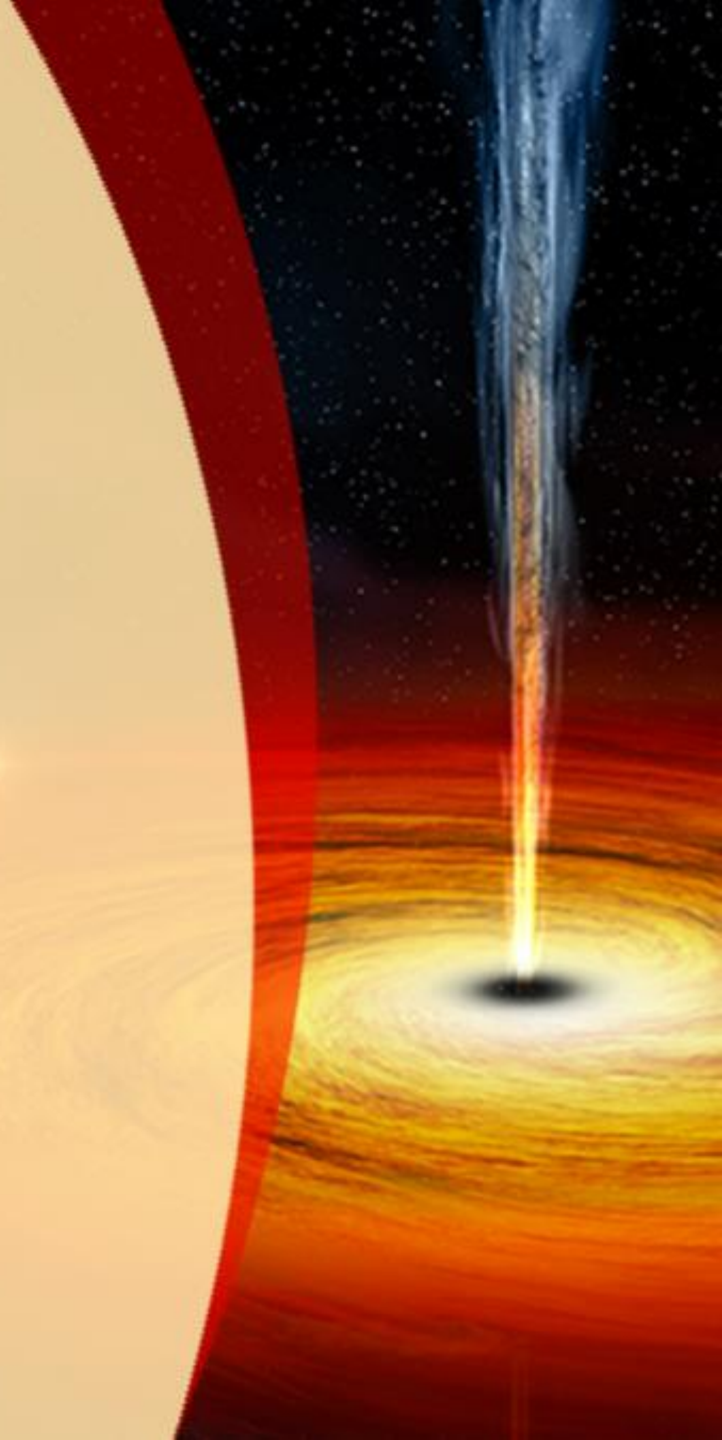


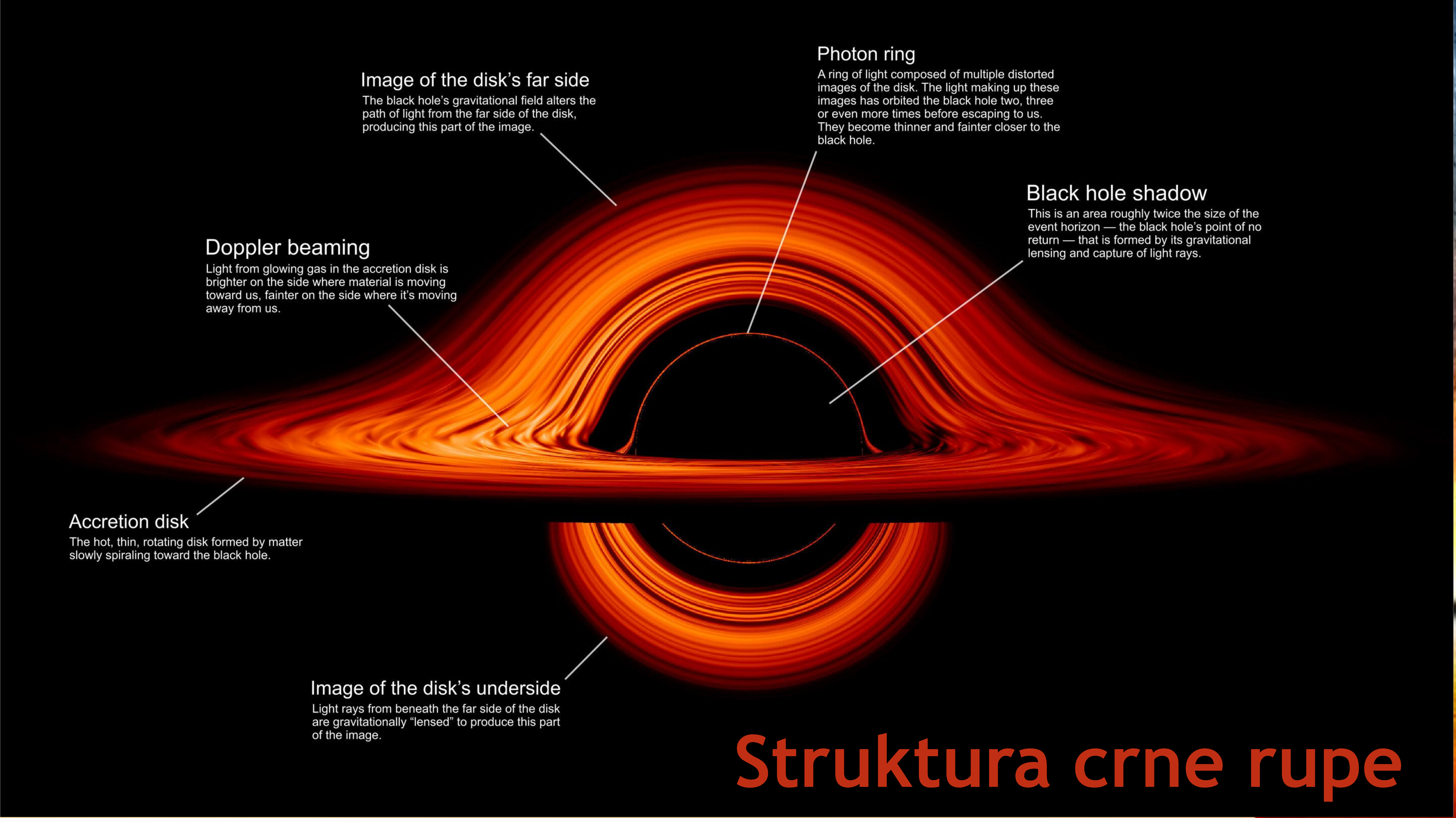
- Nobelova nagrada iz fizike
- za 2017. godinu



Struktura crne rupe



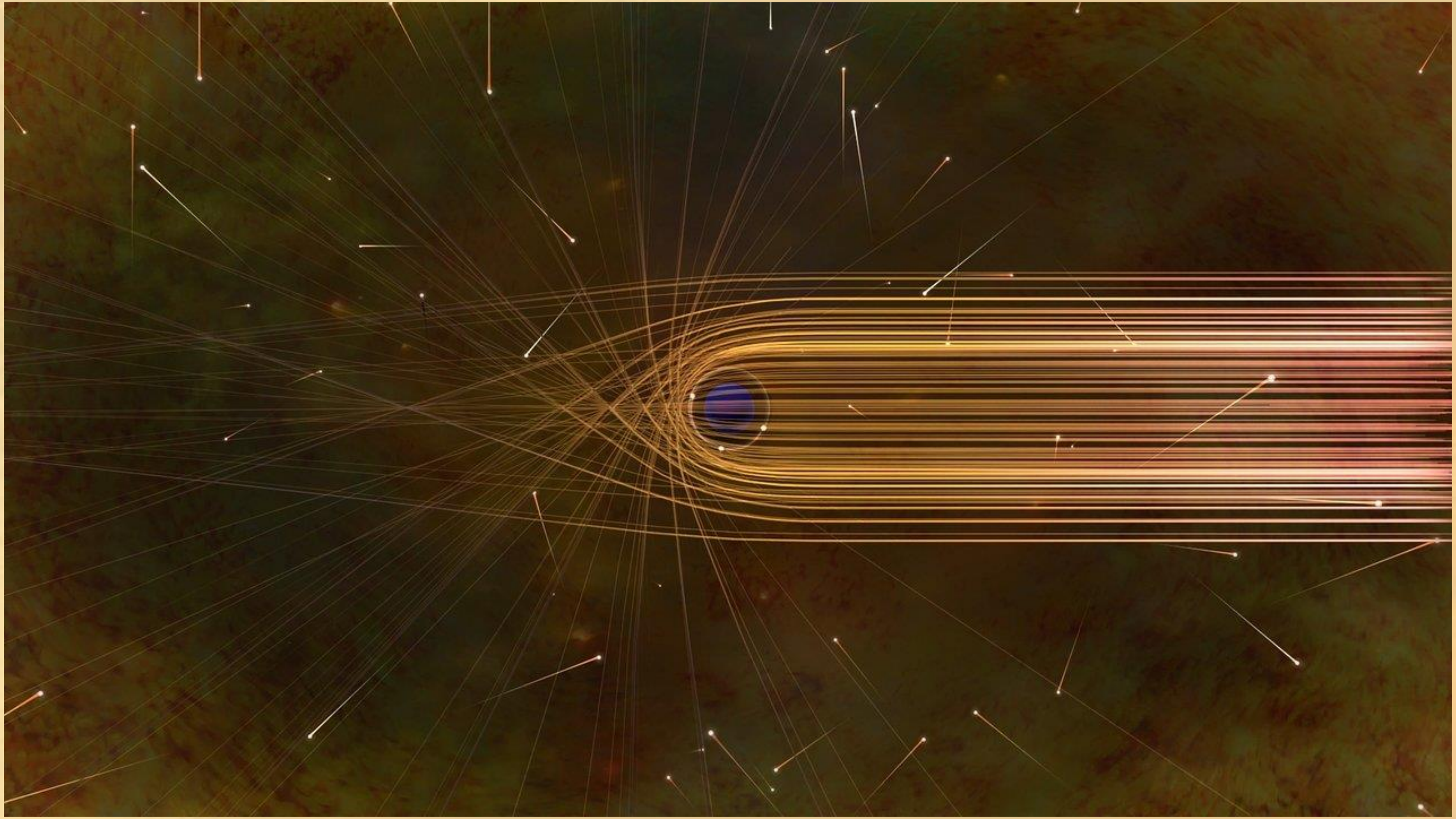


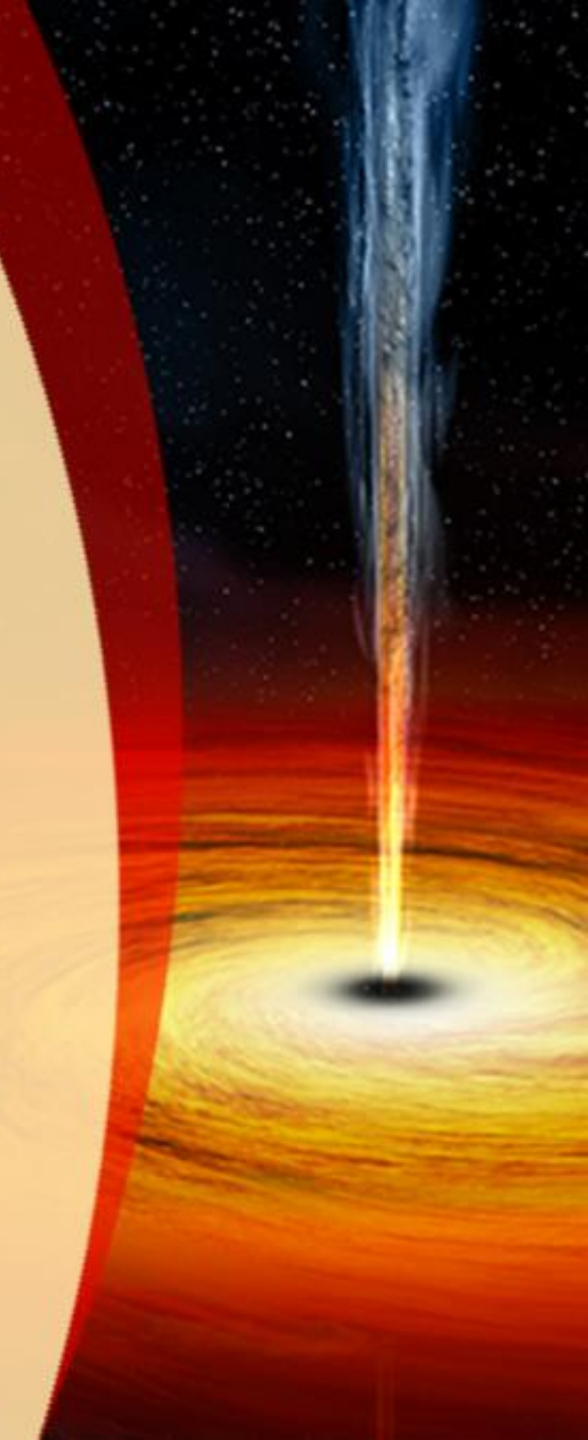


Struktura crne rupe

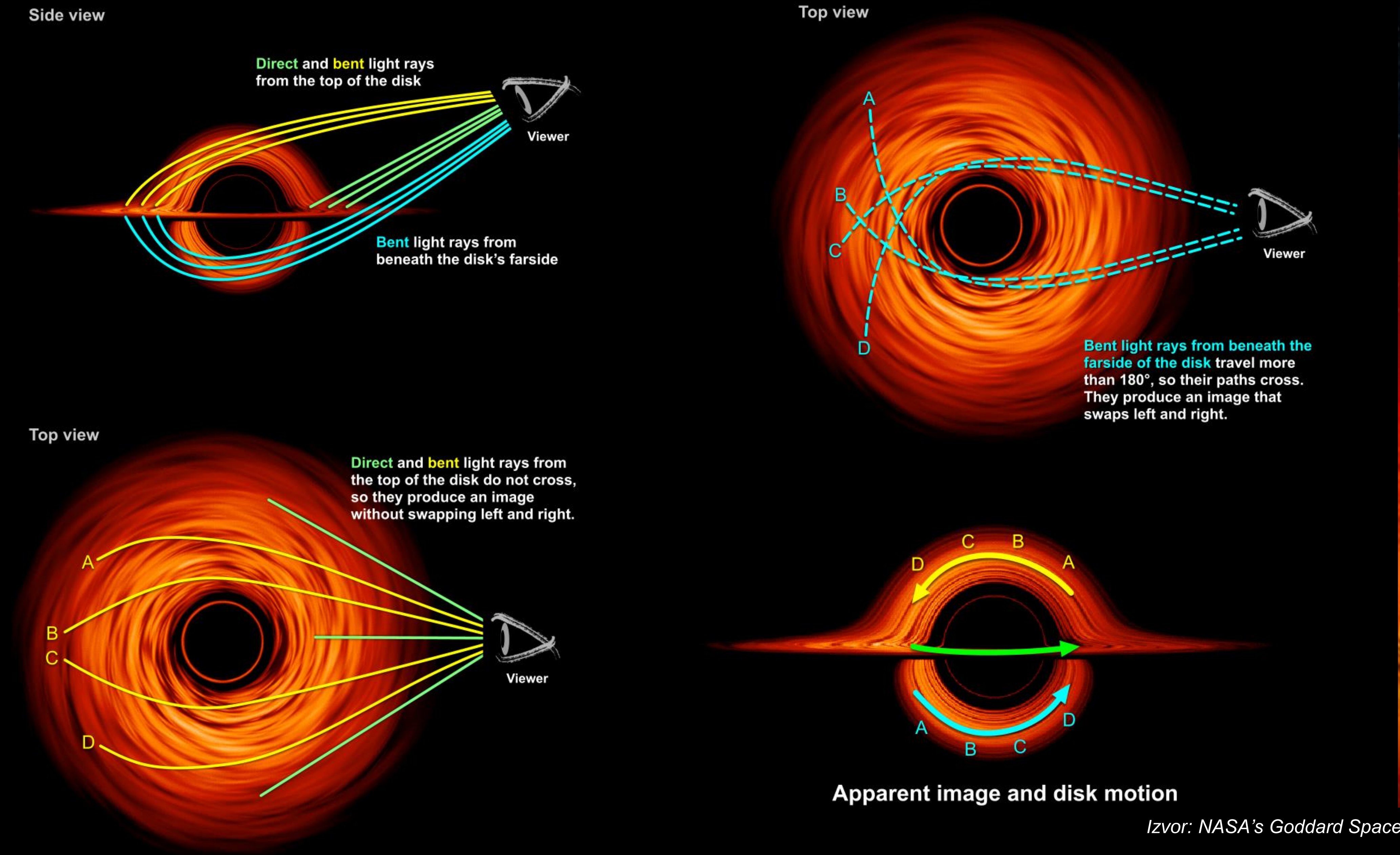
Credit: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman

Opšta teorija relativnosti

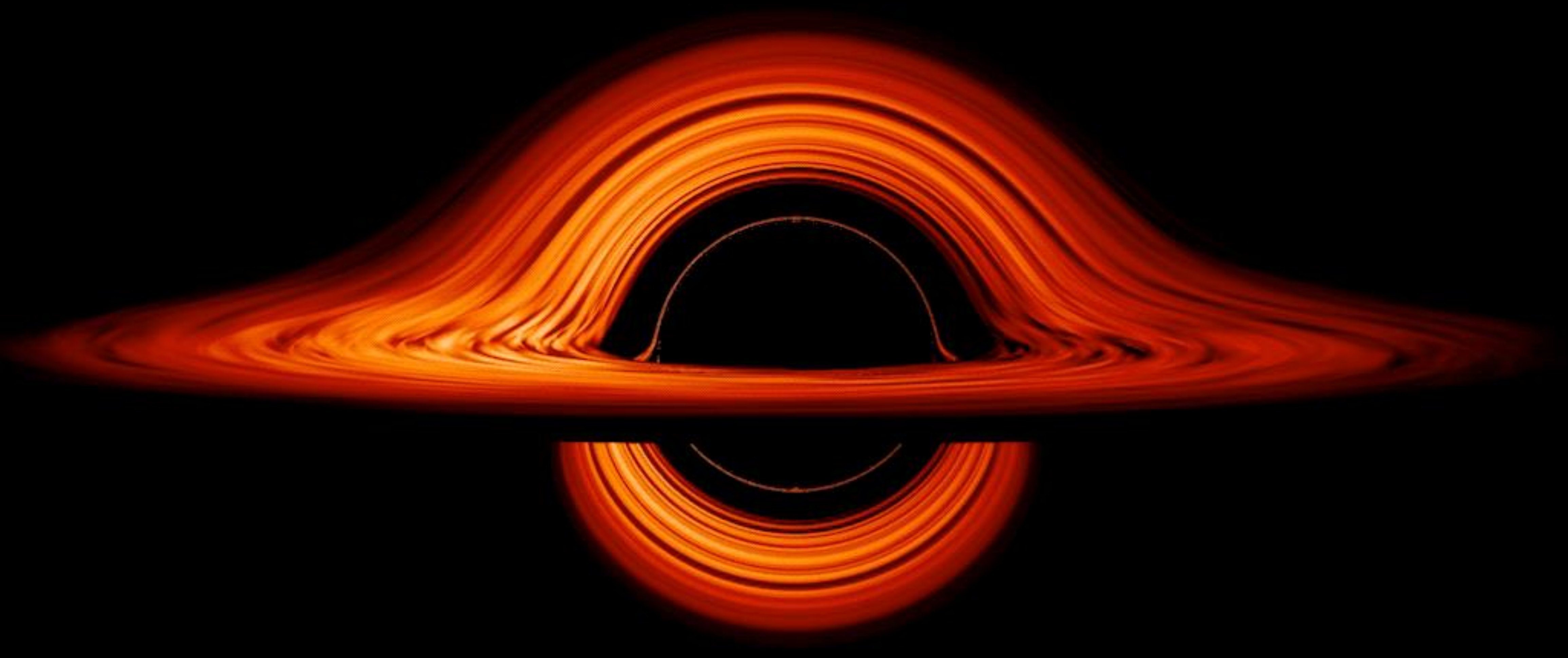




Kako vidimo crnu rupu?



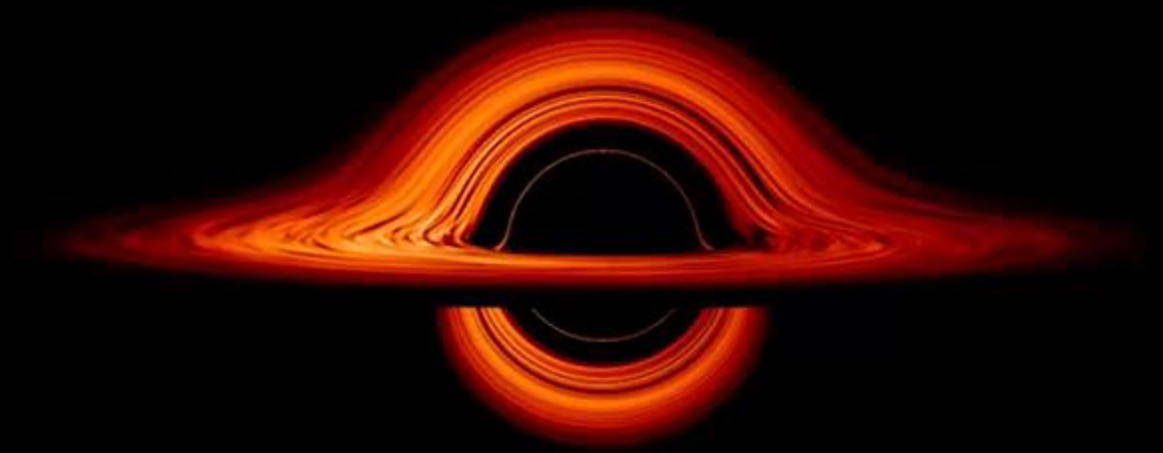
Izvor: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman
https://svs.gsfc.nasa.gov/13326

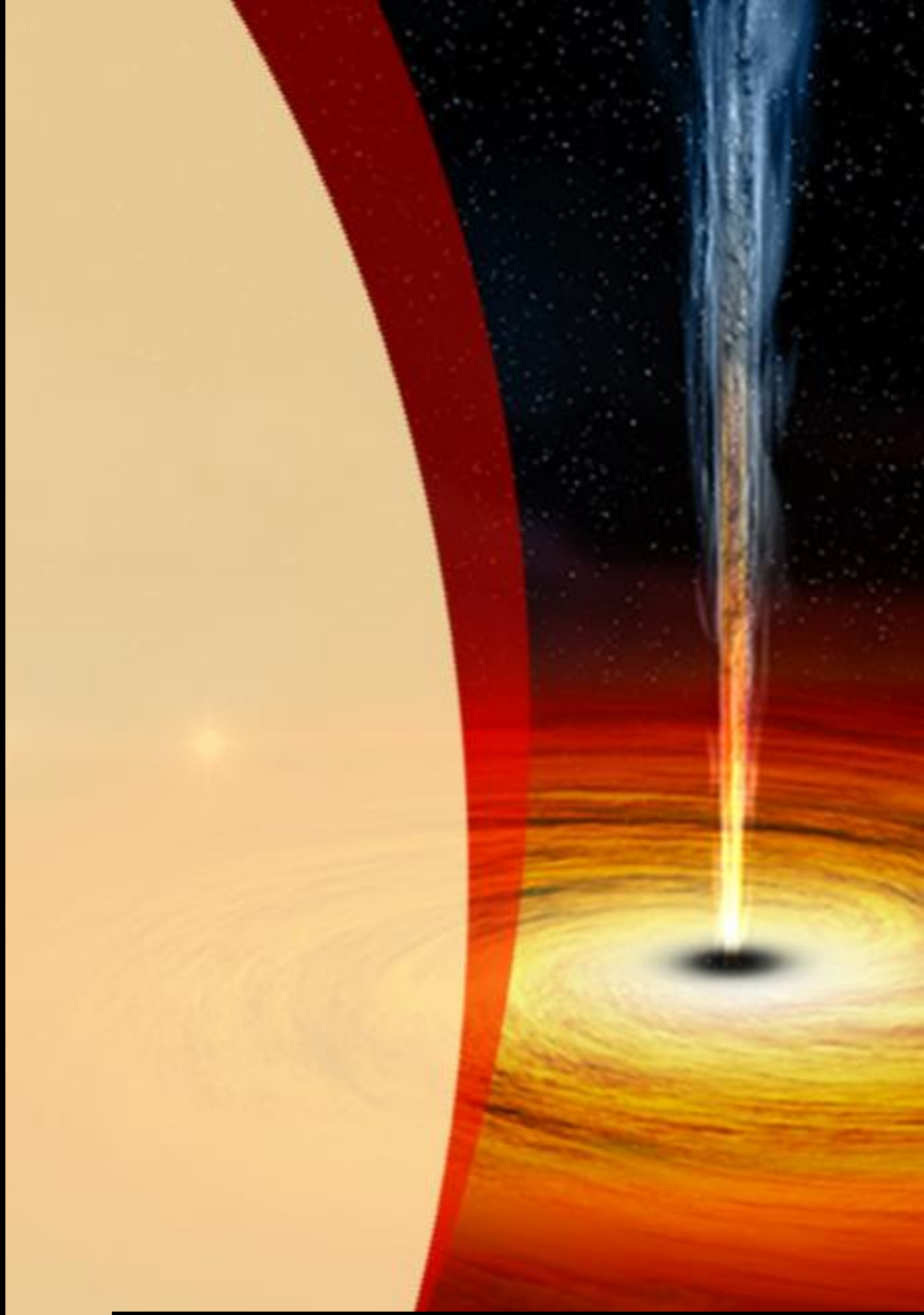


Animacija ☺

Credit: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman

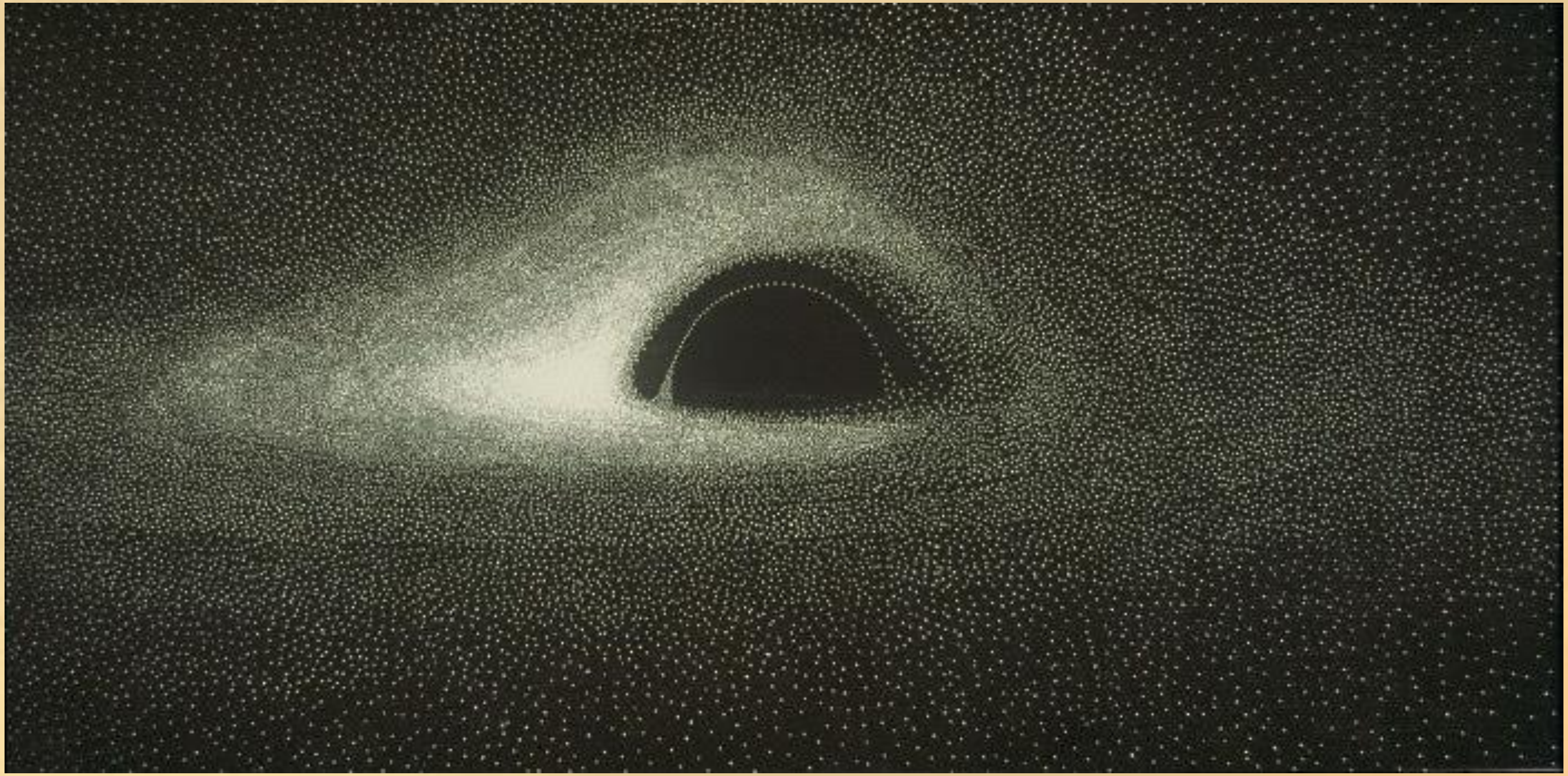
Kako vidimo crnu rupu?





Izvor: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman
https://svs.gsfc.nasa.gov/13326

A može i ovako…



- Simulacija crne rupe objavljena 1979. godine (autor Jean-Pierre Luminet)

Supermasivne crne rupe

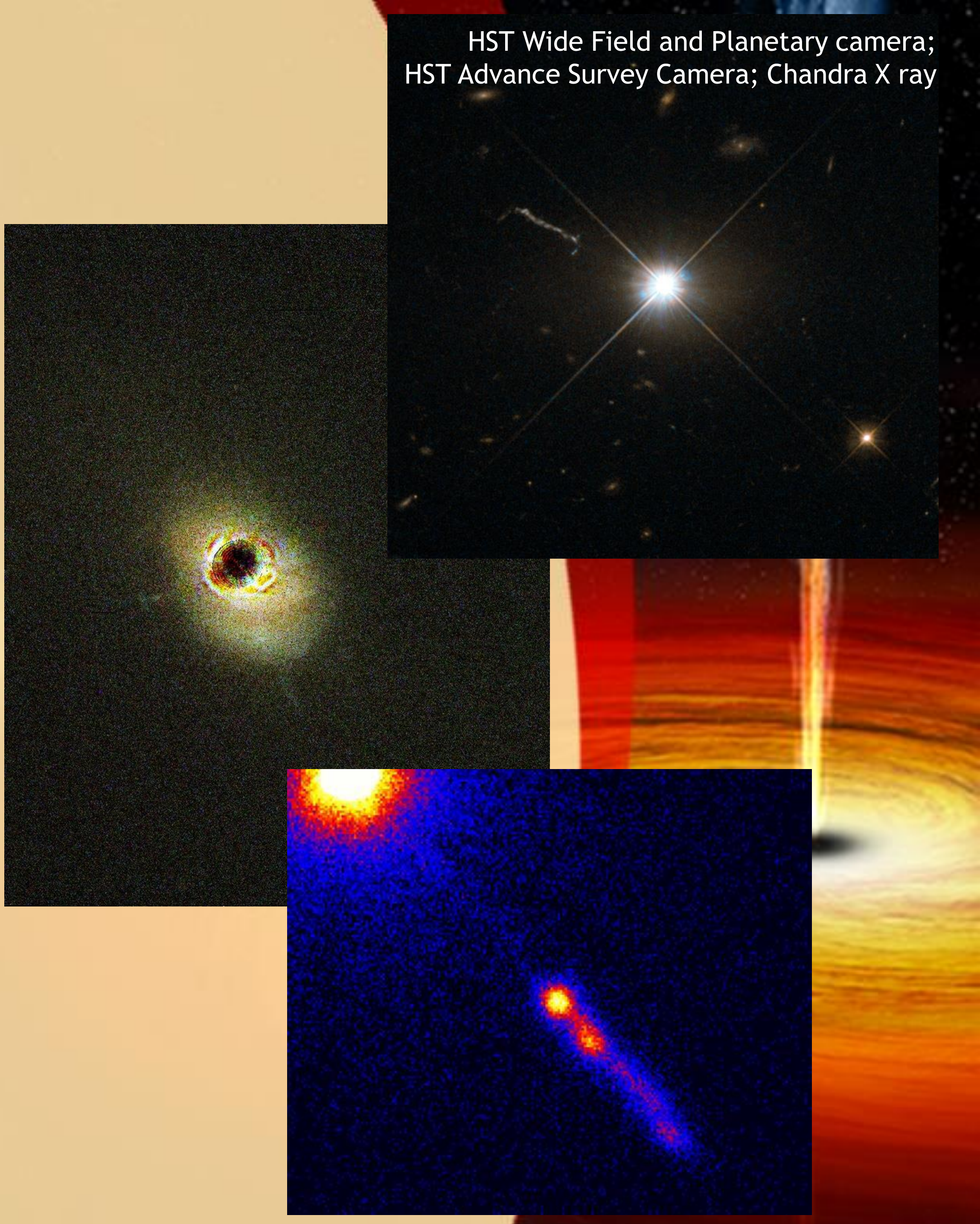
- U centru skoro svih galaksija
- U Mlečnom putu – lokacija *Strelac A* (najsnažniji radio izvor u našoj galaksiji)
- Akrecija materije u SMBH je proces odgovoran za energiju kvazara i drugih aktivnih galaksija

Vrsta	Masa $[M_\odot]$	Veličina
Supermasivna	$10^5 - 10^{10}$	0,001 - 10 AJ
Srednjemasivna	$10^2 - 10^5$	10^3 km
Zvezdana	$< 10^2$	30 km
Mikro	$\ll M_\odot$	0,1 mm

Kvazari?

- *Quasi-stellar radio source*
- Godina 1963 – objekat 3C273
  - 2,5 milijardi svetlosnih godina
  - Najbliži kvazar, prvi detektovan; najsjajniji (VIS)
- Liče na zvezde, ali...
  - Na 30 ly - sjajan kao Sunce
- Neophodan jak izvor svetlosti!

- Ubrzo nakon otkrića zaključak:
  - Energija (svetlost) nastaje kad materija pada u masivnu crnu rupu

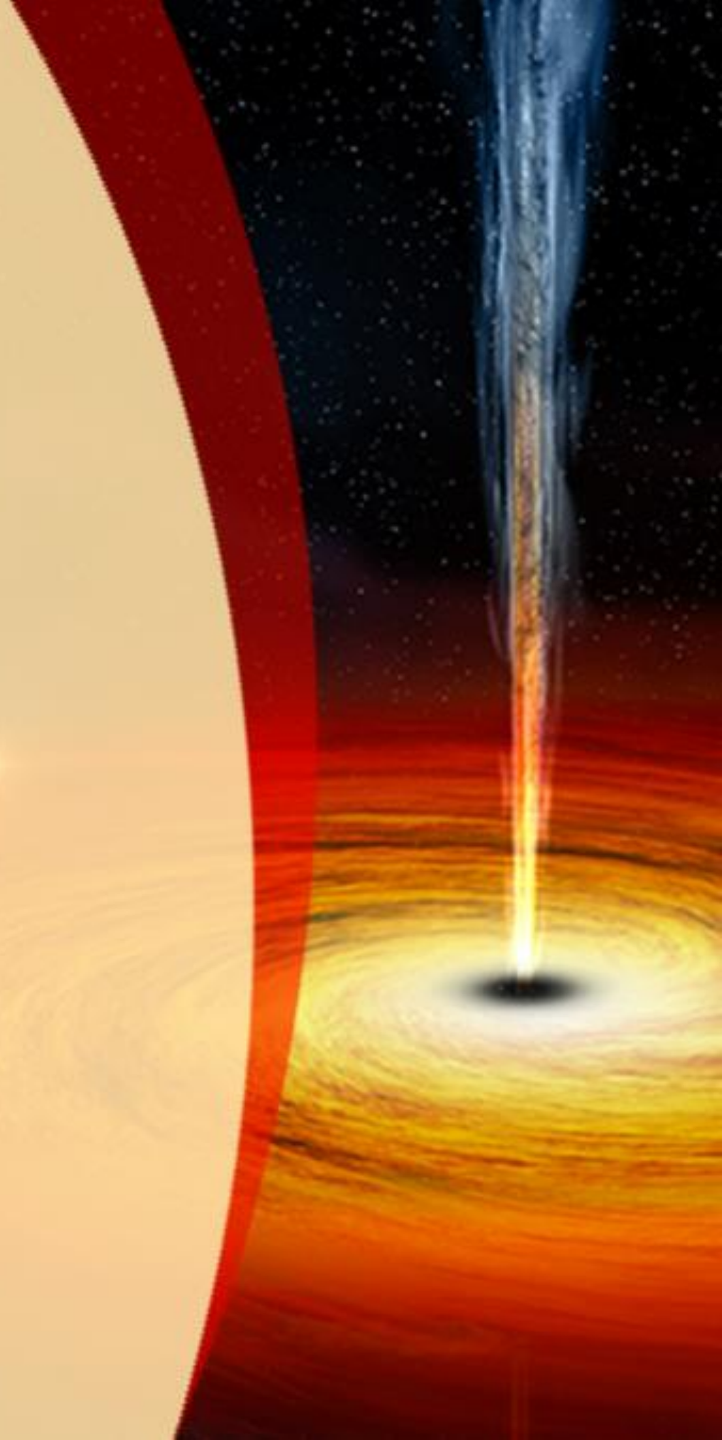


Ne možemo da ih vidimo…

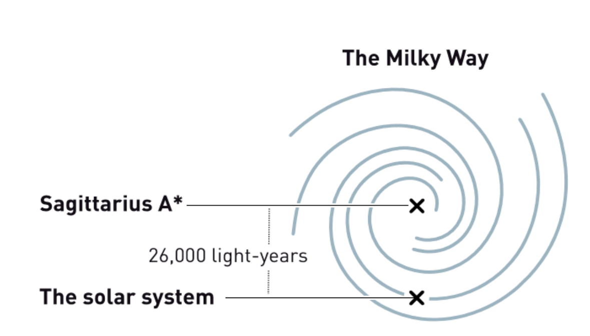
- … ali znamo da postoje
  - Kretanje drugih objekata
- R. Gencel i A. Gez – nezavisne istraživačke grupe - istraživanje centara Galaksije

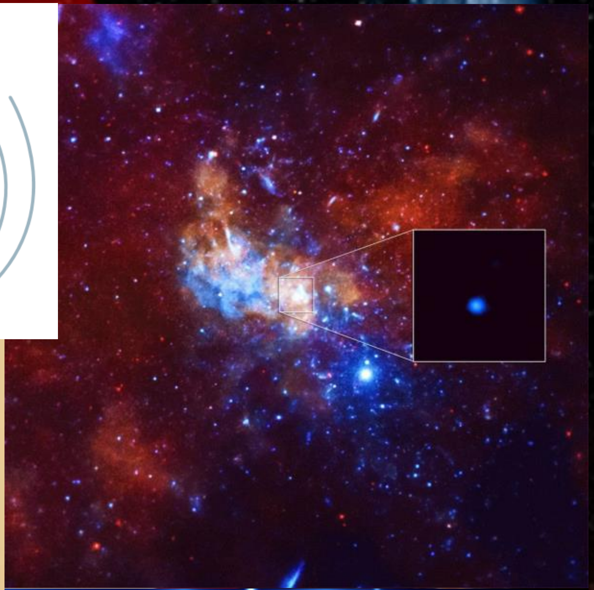
- Oblak međuzvezdanog gasa zaklanja najveći deo VIS zračenja iz centra
  - IC i radio teleskopi omogućili pogled

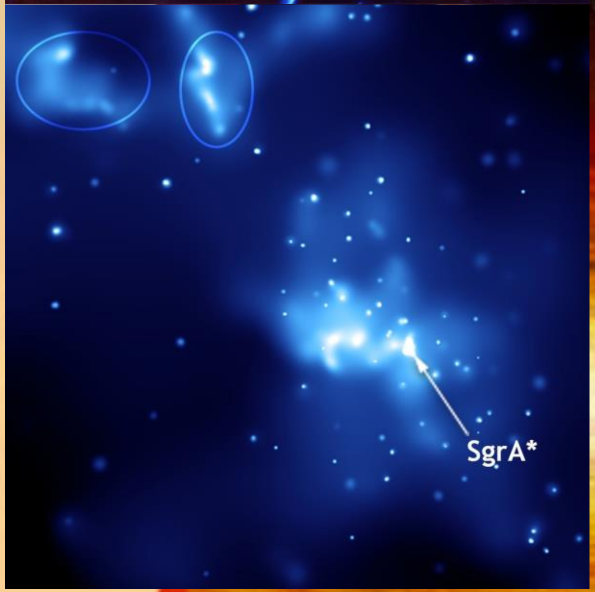
- Posmatrali orbite zvezda – najubedljiviji dokazi za postojanje nevidljivog supermasivnog objekta



Sagitarius A*



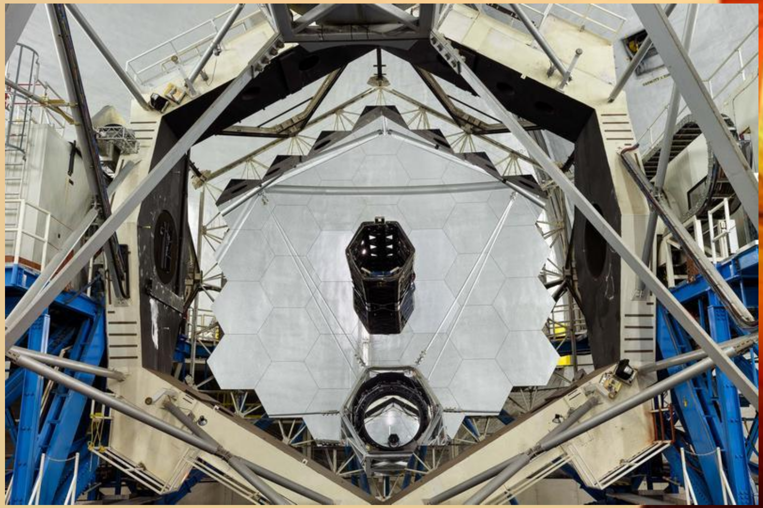




- Jak i kompaktan radio izvor u centru Galaksije
  - Blizu granice sazvežđa Strelac i Škorpija
- Još od otkrića kvazara – pretpostavka SMBH u centru velikih galaksija
  - masa par miliona do nekoliko milijardu masa Sunca
- Centar galaksije Harlow Shapley (pre 100 god)
  - Kasnije pokazano da je to Sag A*
- 1990+ god
  - Projekti R. Gencel i A. Gez – posmatranje orbita zvezda u centru Mlečnog puta

Teleskopi

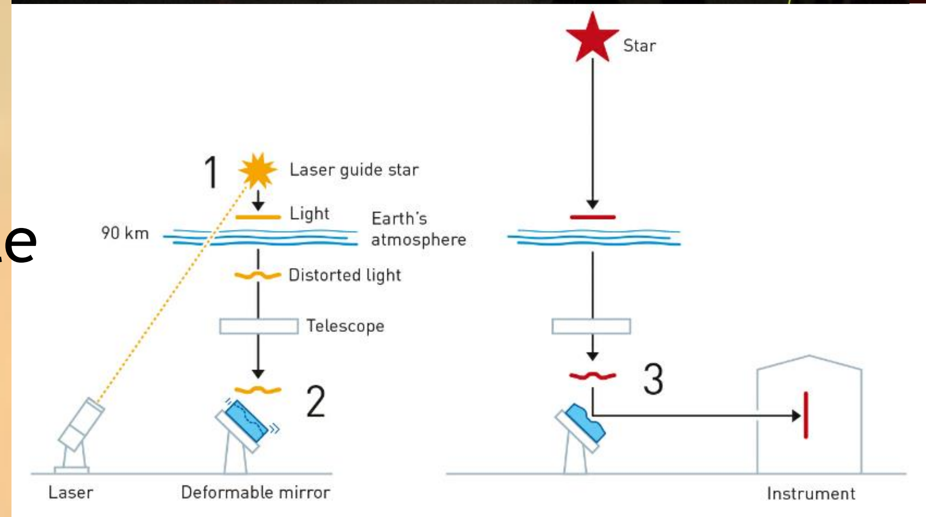
- R. Gencel i grupa
  - New Technology Telescope (La Silla mountain, Čile)
  - Very Large Telescope facility, VLT (Čile)
    - 4 teleskopa, najveći 8 metara (2 puta veći nego NTT)
- A. Genz i grupa
  - Keck opservatorija (Havaji)
    - Oko 10 metara (36 šestougaona segmenta)



Zvezde pričaju priču

- Ogromni teleskopi ali problem – atmosfera
    - Adaptivna optika
- Istraživači pratili oko 30 sjajnih zvezda
    - 1 svetlosni mesec oko centra
        - velike brzine zvezda
    - Veća rastojanja – stabilnije i „standrdnije“ orbite

- Zvezda S2
    - Period 16 godina – mapirana cela orbita!
    - (Sunce 200 miliona godina)

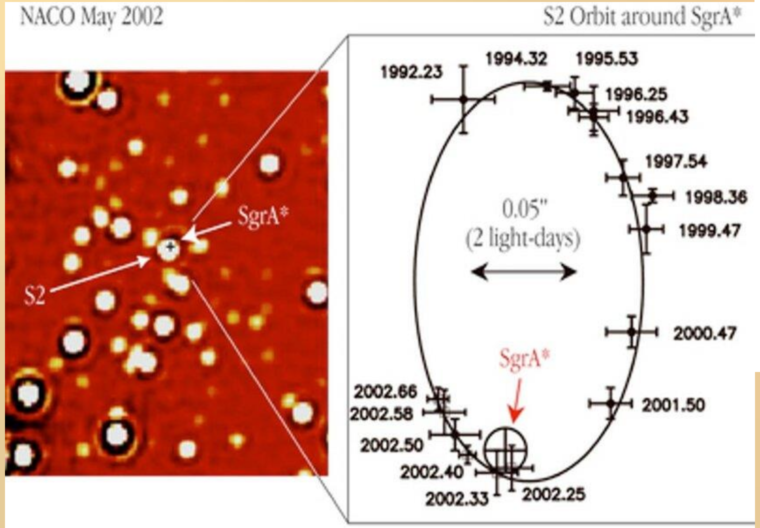


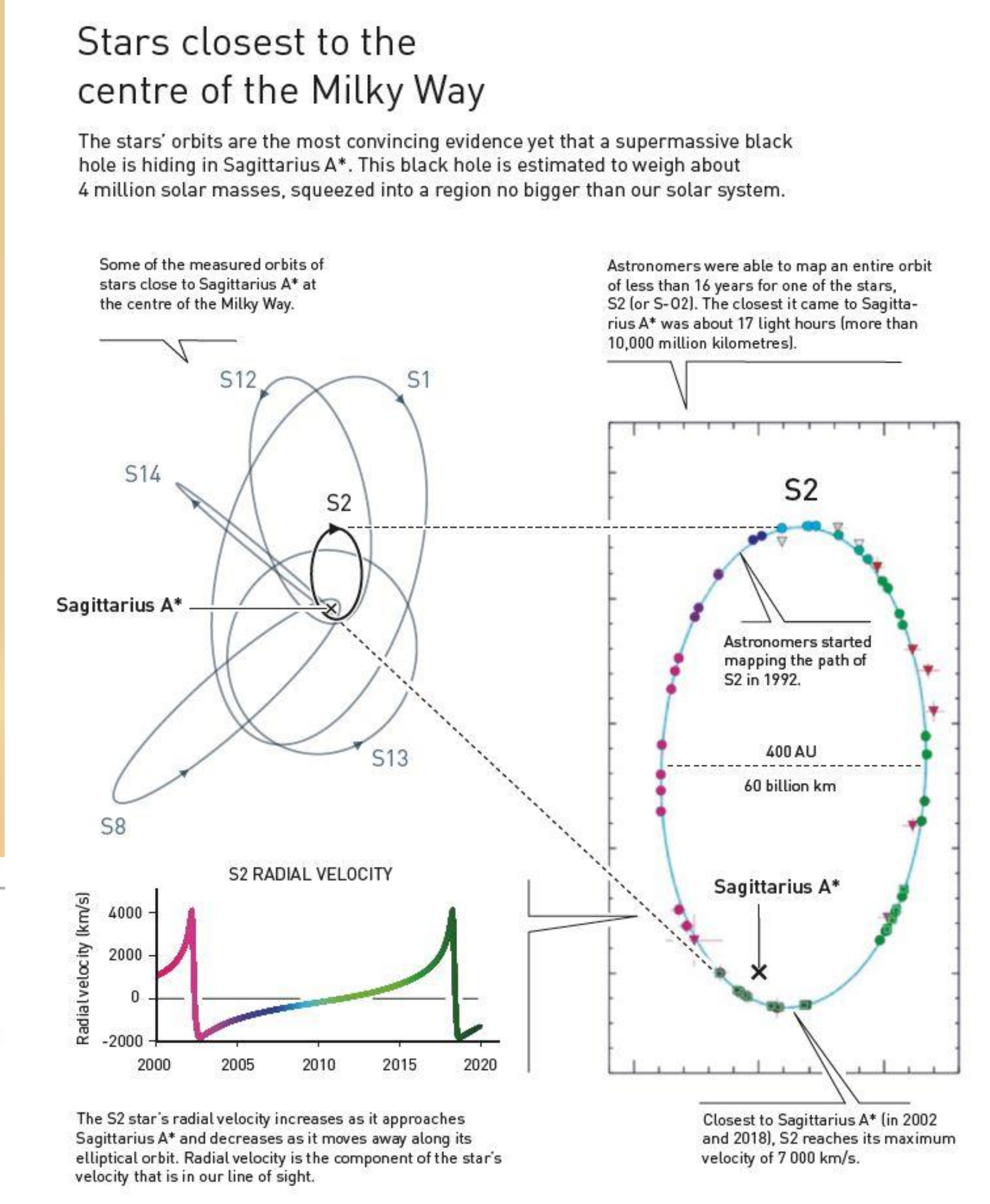
Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2020

Zvezde pričaju priču

- Odlično poklapanje rezultata oba tima
  - SMBH 4 miliona masa Sunca
  - Oblast veličine Sunčevog sistema

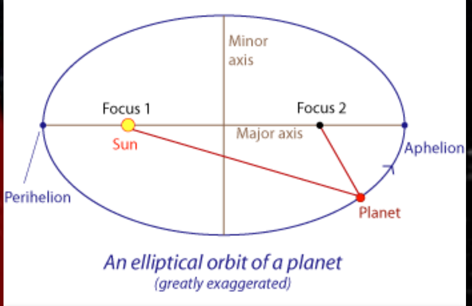
- ~~Možda je~~ uskoro stvarno „vidimo“…
  - videli smo je ☺

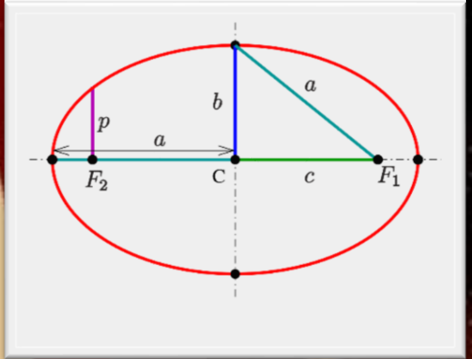




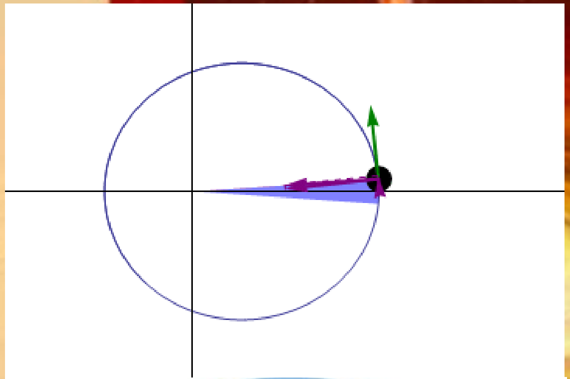
https://www.eso.org/public/images/eso0226c/

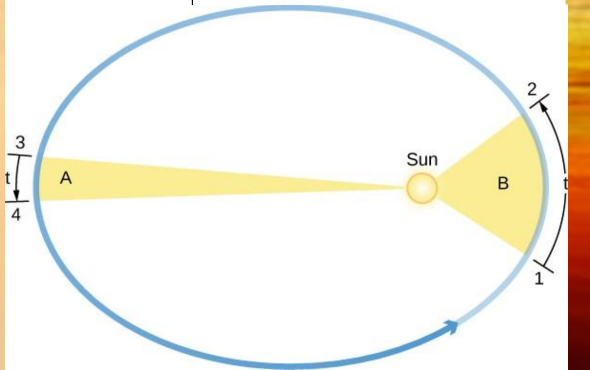
Vežba - izračunajte masu SMBH

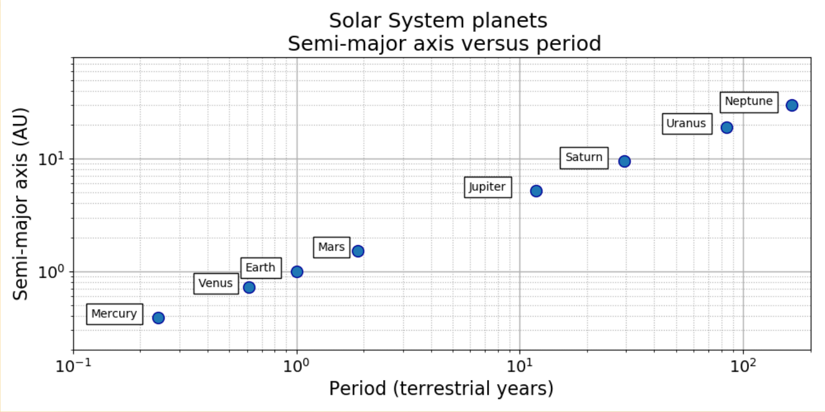




- Keplerovi zakoni
  1. Planete se oko Sunca kreću po eliptičkim putanjama, u čijoj se zajedničkoj žiži nalazi Sunce
  2. Radijus vektor planete u jednakim vremenskim intervalima opisuje jednake površine
  3. Kvadrati perioda (P) obilaska planete oko Sunca srazmerni su kubovima velikih poluosa (a) njihovih putanja





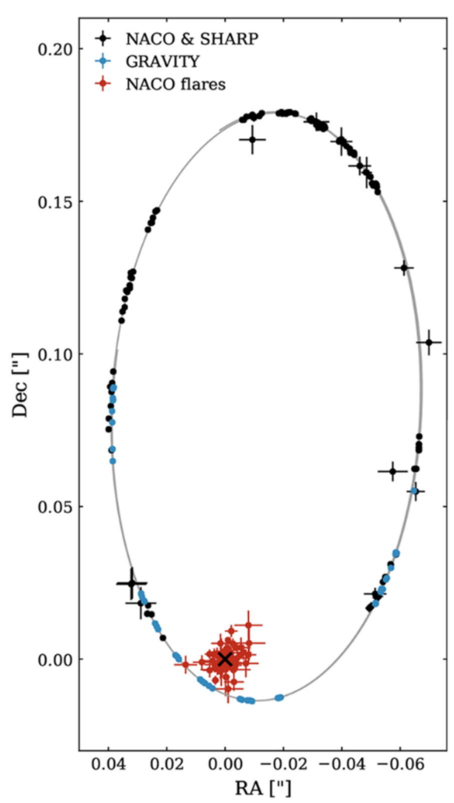


Modern data (Wolfram Alpha Knowledgebase 2018)

Planet	Semi-major axis (AU)	Period (days)	$\frac{R^3}{T^2}$ (10^{-6} AU^3/day^2)
Mercury	0.38710	87.9693	7.496
Venus	0.72333	224.7008	7.496
Earth	1	365.2564	7.496
Mars	1.52366	686.9796	7.495
Jupiter	5.20336	4332.8201	7.504
Saturn	9.53707	10775.599	7.498
Uranus	19.1913	30687.153	7.506
Neptune	30.0690	60190.03	7.504

Vežba - izračunajte masu SMBH

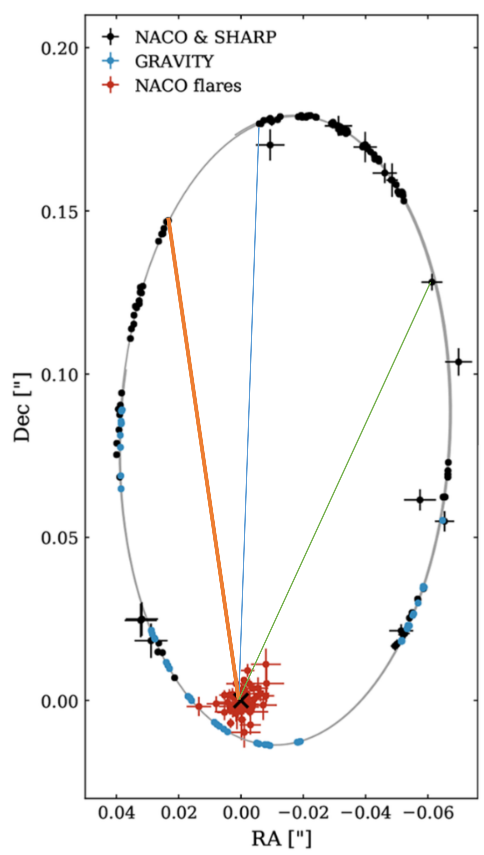
- Levo – koordinate položaja zvezde S2
- Koordinatni početak – centar SMBH
- Kako?
  - Nacrtati tačke (i greške)
  - Nacrtati elipsu najpribližniju merenjima
  - Izmeriti veliku poluosu elipse
    - Arcsec prevesti u svetlosne dane (*ld*), 2 arcsec = 28 ld
    - Izračunati srednju vrednost ☺



Date (year)	x (arcsec)	dx (arcsec)	y (arcsec)	dy (arcsec)
1992.226	0.104	0.003	-0.166	0.004
1994.321	0.097	0.003	-0.189	0.004
1995.531	0.087	0.002	-0.192	0.003
1996.256	0.075	0.007	-0.197	0.010
1996.428	0.077	0.002	-0.193	0.003
1997.543	0.052	0.004	-0.183	0.006
1998.365	0.036	0.001	-0.167	0.002
1999.465	0.022	0.004	-0.156	0.006
2000.474	-0.000	0.002	-0.103	0.003
2000.523	-0.013	0.003	-0.113	0.004
2001.502	-0.026	0.002	-0.068	0.003
2002.252	-0.013	0.005	0.003	0.007
2002.334	-0.007	0.003	0.016	0.004
2002.408	0.009	0.003	0.023	0.005
2002.575	0.032	0.002	0.016	0.003
2002.650	0.037	0.002	0.009	0.003
2003.214	0.072	0.001	-0.024	0.002
2003.353	0.077	0.002	-0.030	0.002
2003.454	0.081	0.002	-0.036	0.002

Vežba - izračunajte masu SMBH

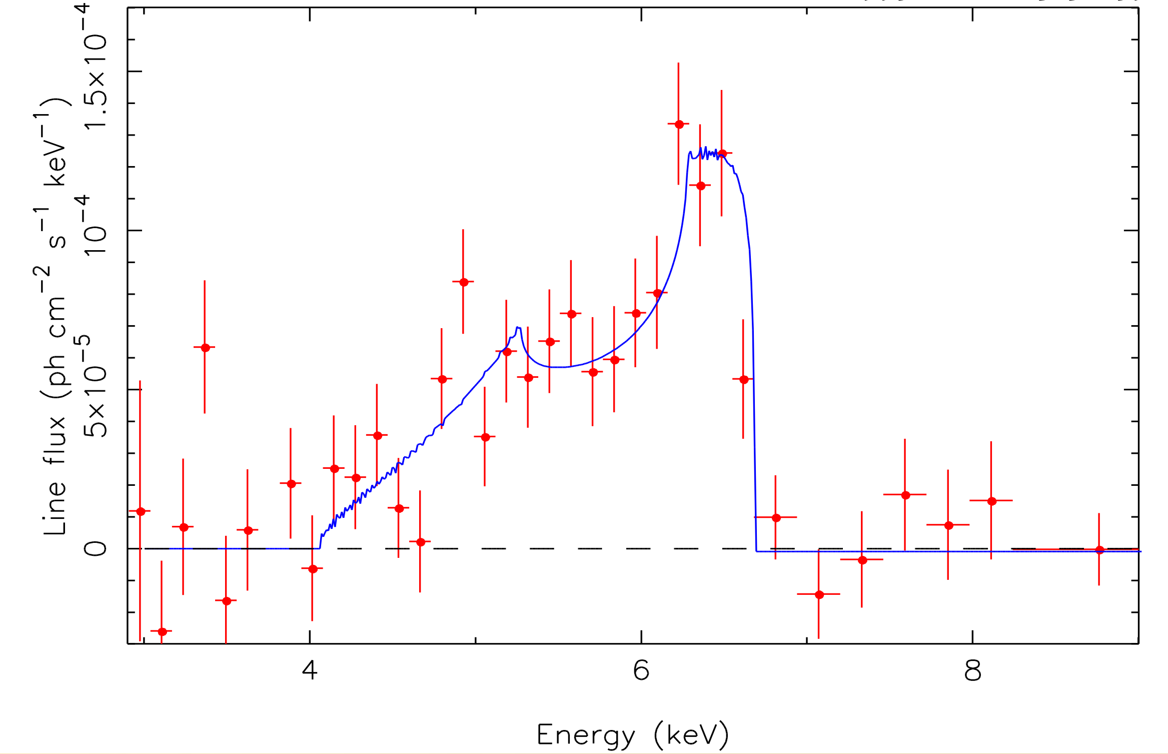
- Kako?
  - …
  - Odrediti period (P)
    - $A_{ell} = ab \cdot \pi$ - a i b sa slike, prethodni slajd
    - $\Delta A = \frac{\Delta t}{P} \cdot A_{ell}$ - II Keplerov zakon
    - Nepoznato ΔA, Δt, A_{ell}
      - ΔA i Δt – sa slike (prethodni slajd, za svaki segment)
      - Nacrtati trougao i odrediti njegovu površinu (ponoviti više puta!)
  - Izračunati masu SMBH
    - III Keplerov zakon
    - $P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m_{S2})} a^3$, $M \gg m_{S2}$



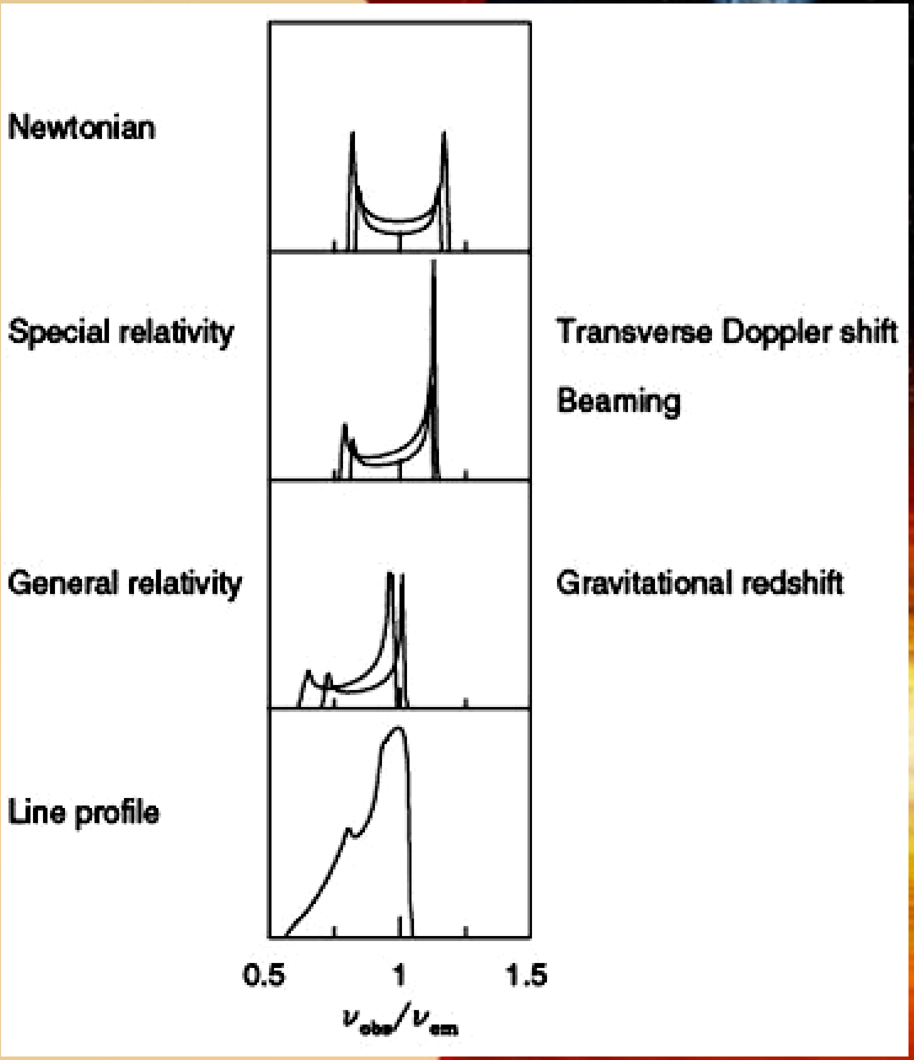
Date (year)	x (arcsec)	dx (arcsec)	y (arcsec)	dy (arcsec)
1992.226	0.104	0.003	-0.166	0.004
1994.321	0.097	0.003	-0.189	0.004
1995.531	0.087	0.002	-0.192	0.003
1996.256	0.075	0.007	-0.197	0.010
1996.428	0.077	0.002	-0.193	0.003
1997.543	0.052	0.004	-0.183	0.006
1998.365	0.036	0.001	-0.167	0.002
1999.465	0.022	0.004	-0.156	0.006
2000.474	-0.000	0.002	-0.103	0.003
2000.523	-0.013	0.003	-0.113	0.004
2001.502	-0.026	0.002	-0.068	0.003
2002.252	-0.013	0.005	0.003	0.007
2002.334	-0.007	0.003	0.016	0.004
2002.408	0.009	0.003	0.023	0.005
2002.575	0.032	0.002	0.016	0.003
2002.650	0.037	0.002	0.009	0.003
2003.214	0.072	0.001	-0.024	0.002
2003.353	0.077	0.002	-0.030	0.002
2003.454	0.081	0.002	-0.036	0.002

Kako znamo da postoje?

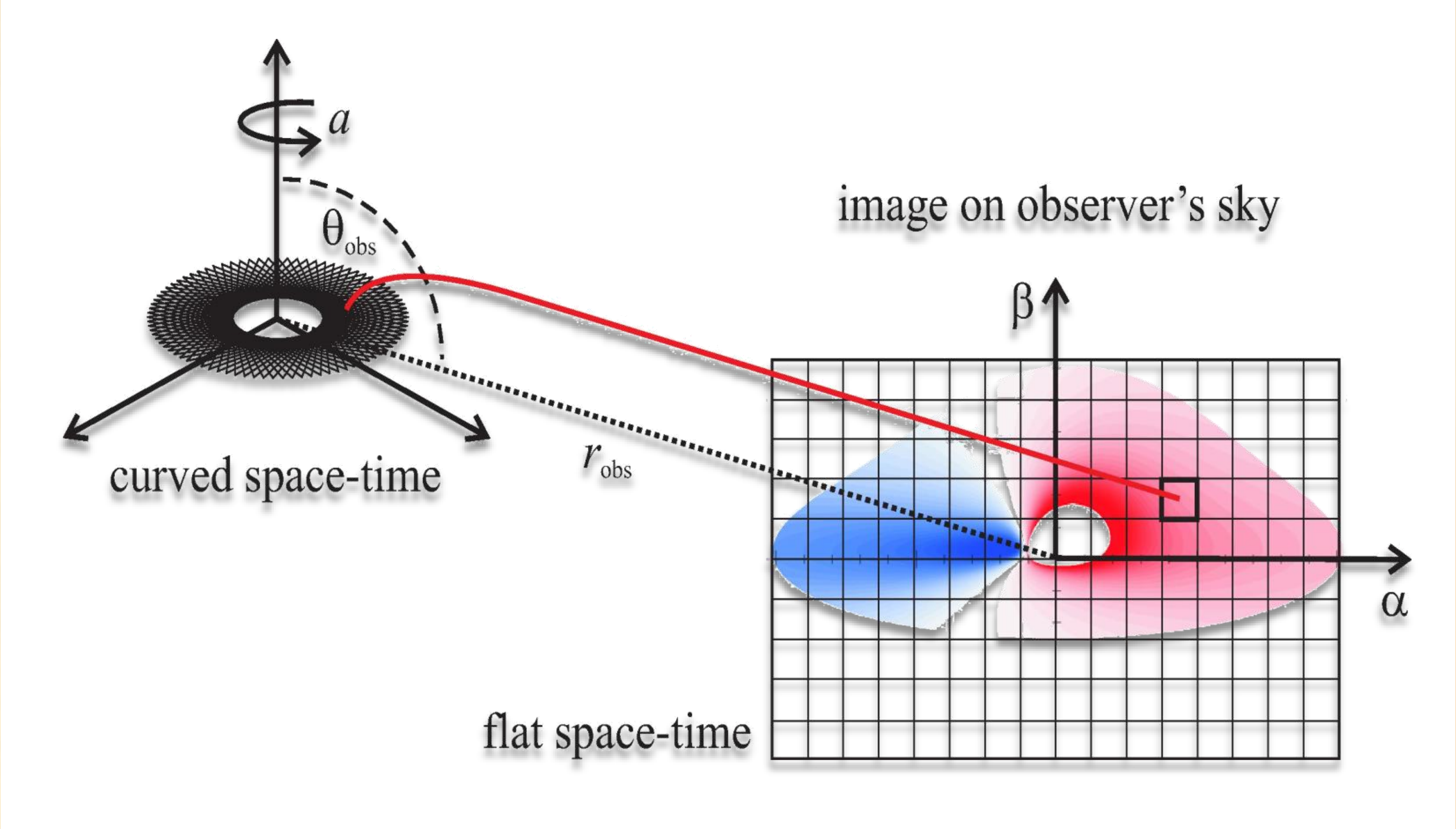
- $Fe\ K\alpha$ linija u spektru

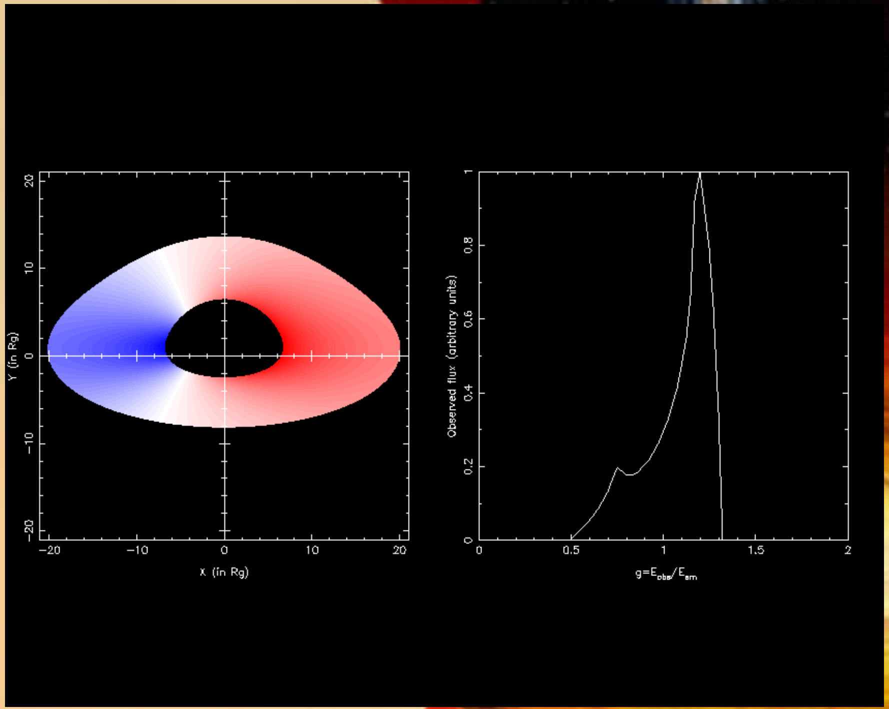


Fabian, A. C. 2006, *AN*, 327, 943



Kako znamo da postoje?





M. Milošević, M.A. Pursiainen, P. Jovanović, L.Č. Popović, Int. J. Mod. Phys. A. 33 (2018) 1845016.
P. Jovanović, New Astron. Rev. 56 (2012), pp. 37 - 48.
L. Popović, P. Jovanović, E. Mediavilla, A.F. Zakharov, C. Abajas, J.A. Munoz, G. Chartas, ApJ 637 (2006), pp. 620 - 630.
L. Popović, E.G. Mediavilla, P. Jovanović, J.A. Munoz,, A&A 398 (2003), pp. 975 - 982.
A. Čadež, C. Fanton, M. Calvani, New Astron. 3 (1998), pp. 647 - 654.

Galaksija M87

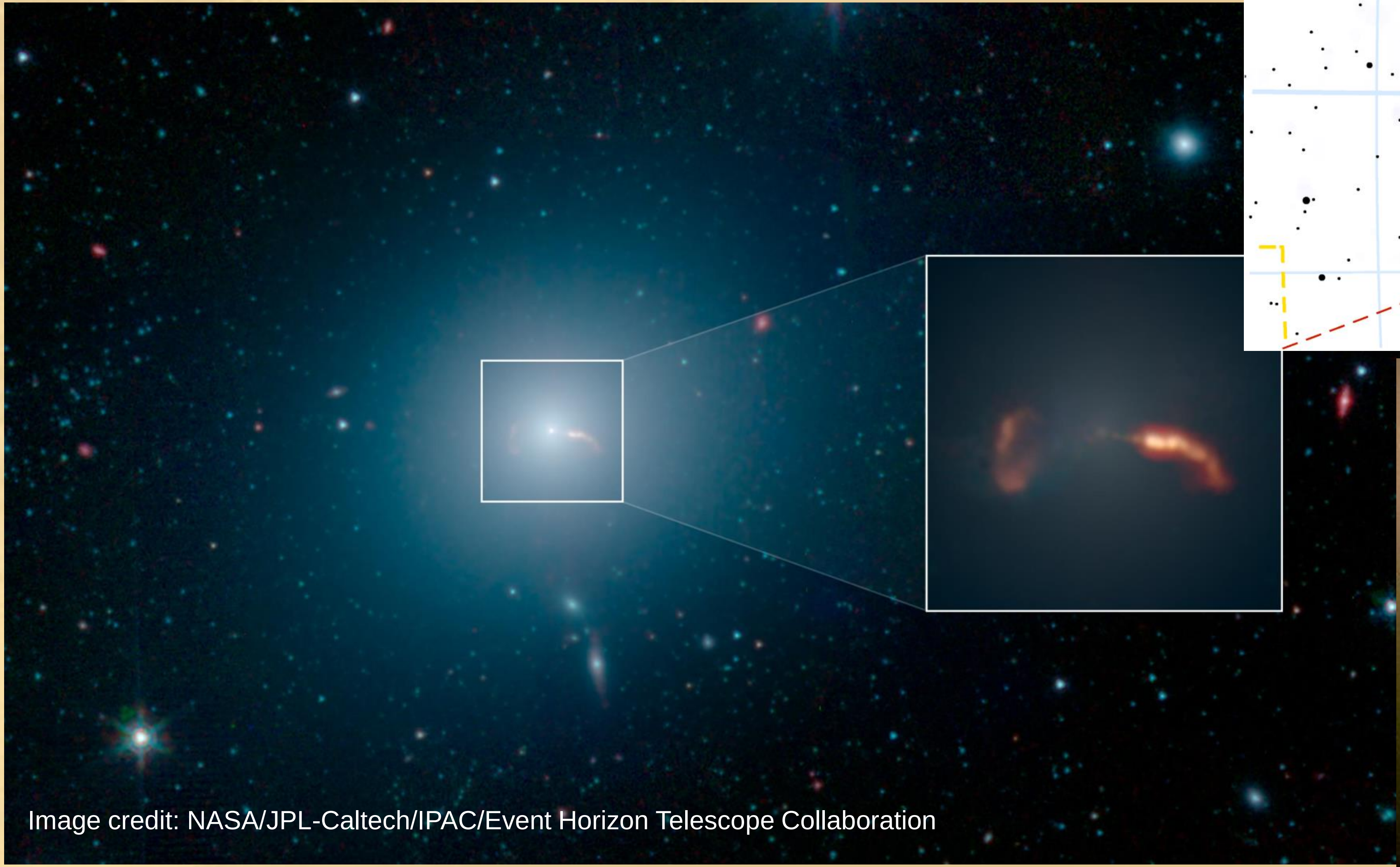
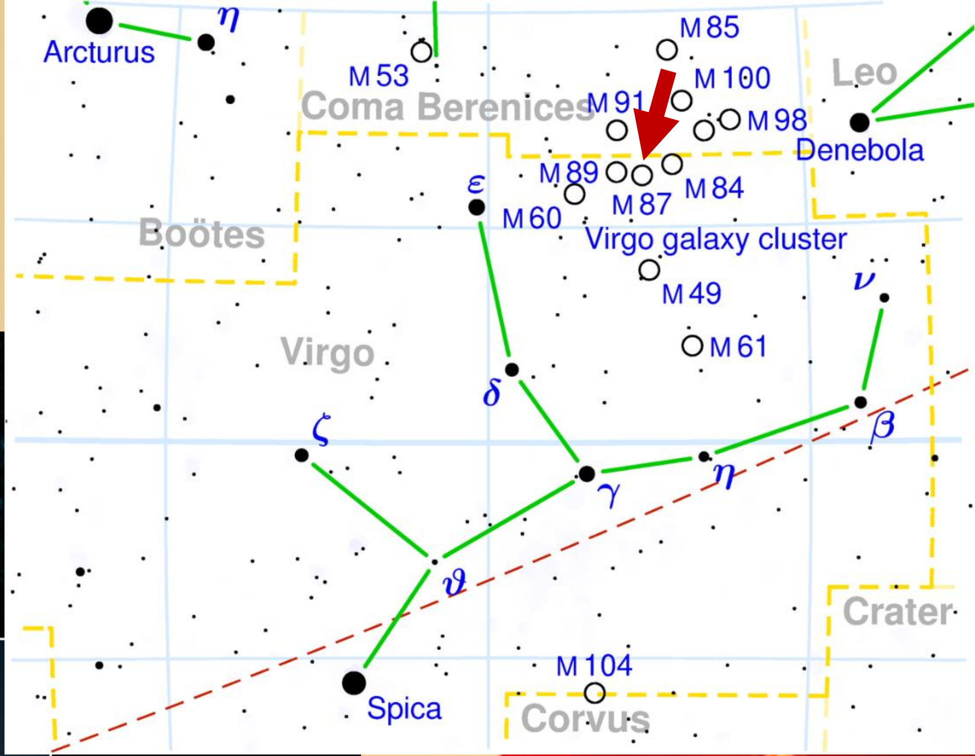
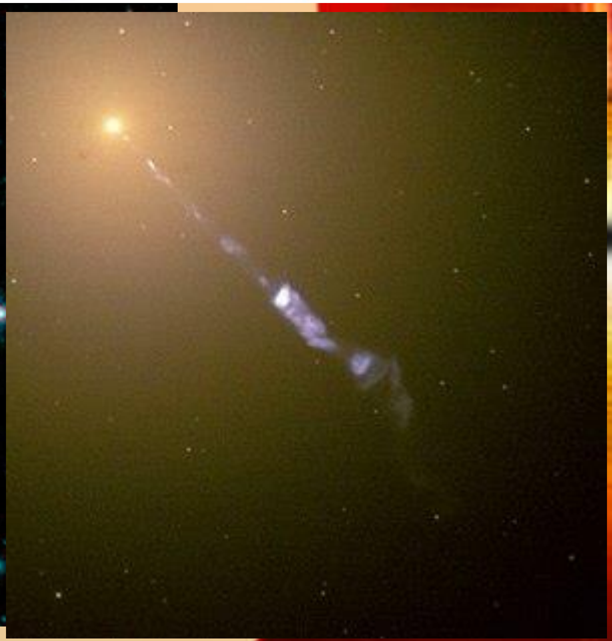


Image credit: NASA/JPL-Caltech/IPAC/Event Horizon Telescope Collaboration





NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Galaksija M87

- Daljina 52 miliona svetlosnih godina
- Dimenzije 125.000 x 100.000 s.g.
- Masa $2{,}6 \cdot 10^{12}\ M_{\odot}$, 4,5 puta masivnija od naše galaksije
- „jet“ (mlaz) 5.000 s.g.
- Ogroman broj zbijenih jata, 12.000; u Mlečnom putu 150-200

Kako videti SMBH?

- Da bi kroz teleskop videli neki objekat potrebno je da prividne dimenzije tog objekta budu veće od razdvojne moći teleskopa

$$\sin\alpha = 1{,}22\frac{\lambda}{D}$$

$$\alpha = \frac{138}{D}$$

Za male uglove i VIS, $\lambda = 550\ nm$
D u milimetrima

- Prosečne SMBH - otprilike 10x manja od mikrolučne sekunde!

- Takvim teleskopom mogla da se vidi jabuka na površini Meseca

Dimenzije & rastojanje

https://www.youtube.com/watch?v=S_GVbuddri8

Teleskop veličine Zemlje

- Takav optički teleskop ne postoji ☹
- Radio teleskop, tačnije radio interferometar
  - Početak 1946. godine
  - 1970-tih mogućnost povezivanja prijema radio signala iz celog sveta
  - Povezivanje antena zamenilo sinhronizovano spajanje snimljenih signala (korelacija)

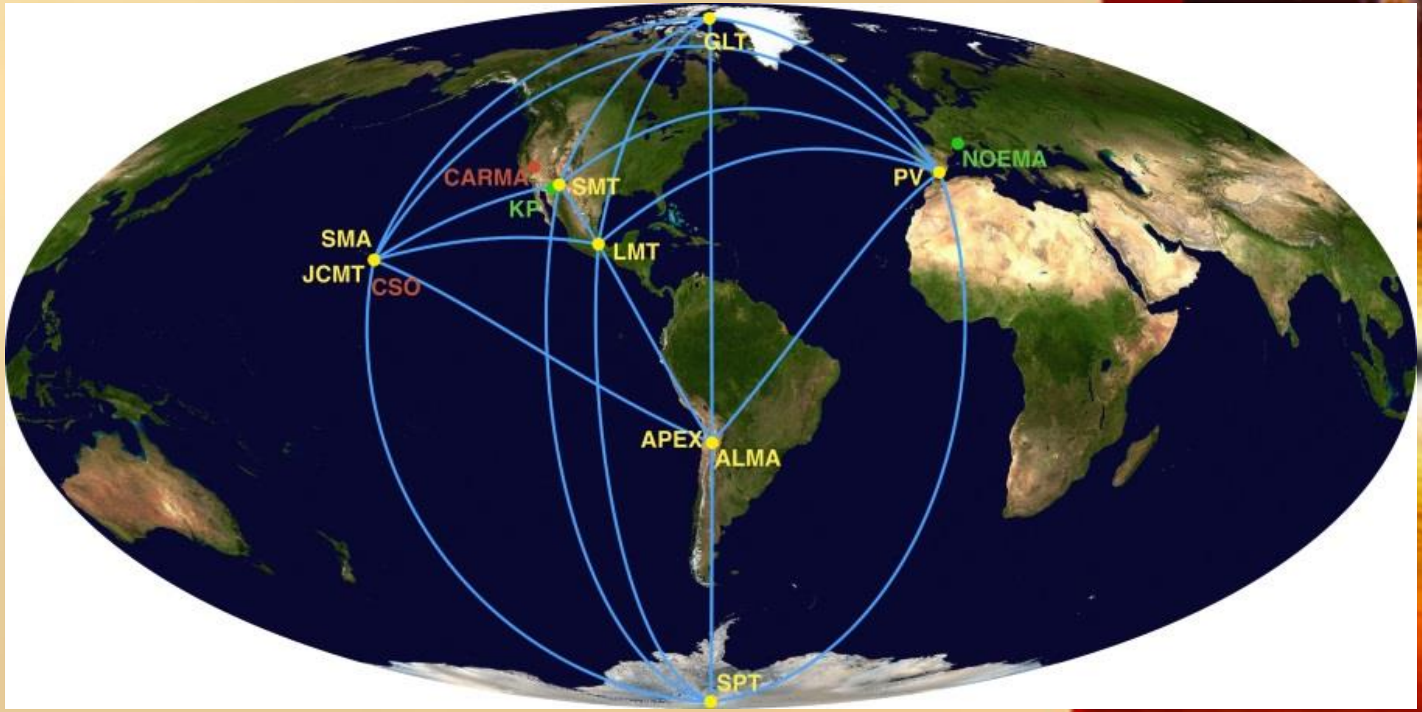

Iztok Bončina/ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)

Teleskop veličine Zemlje

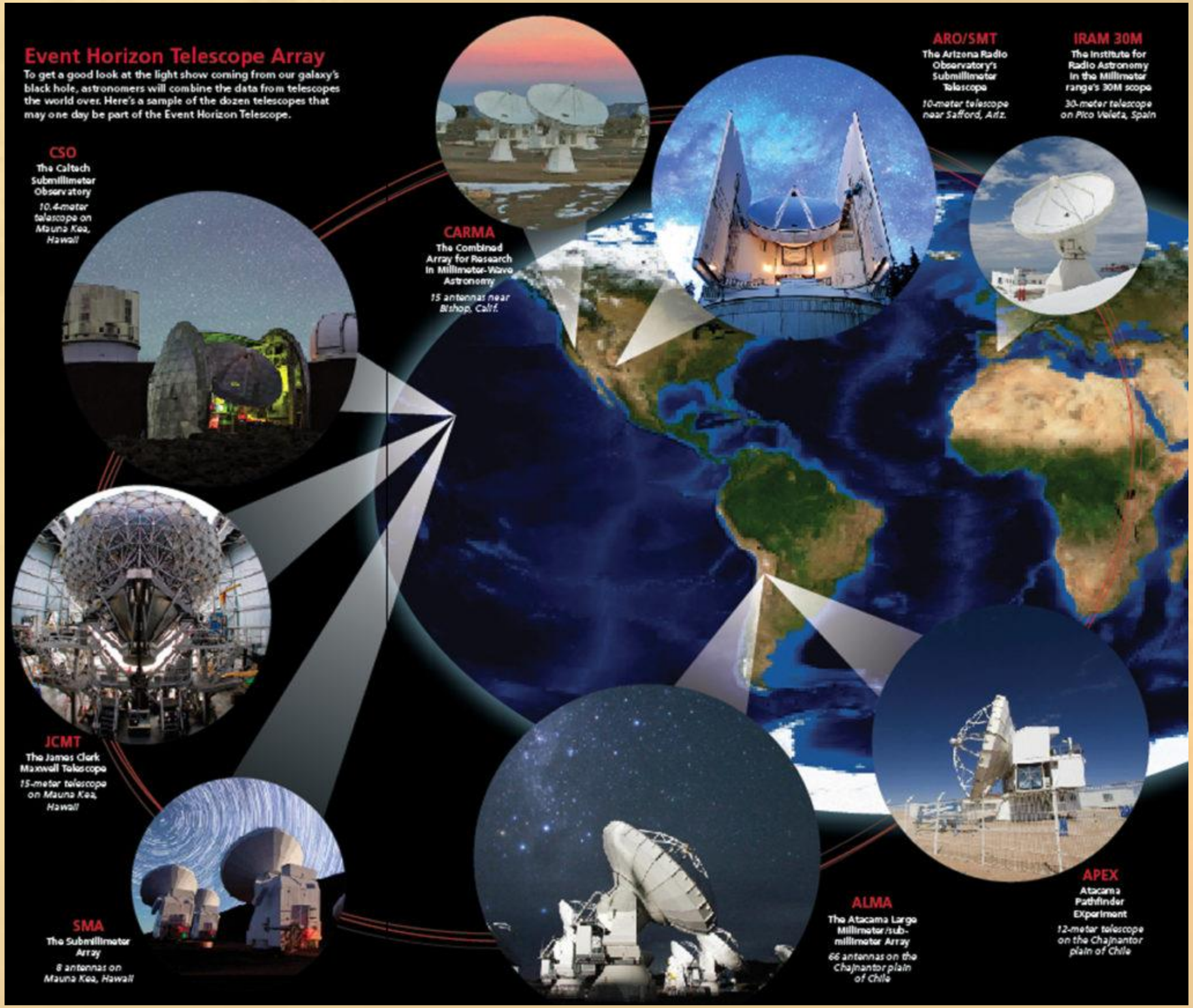
- *Event Horizon Teleskop*, radi od 2007. godine
  - 8 radio teleskopa koji se nalaze na različitim kontinentima

- Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) u Čileu, South Pole Telescope (SPT) na Antarktiku, IRAM 30 metarski teleskop u Španiji itd.

- Mreža EHT teleskopa. Žutom bojom označene su stanice koje su korišćene 2017. i 2018. godine, crvenom oni teleskopi koji više nisu u upotrebi, zeleno su označeni teleskopi koji su se kasnije uključili u mrežu



Event Horizon Teleskop

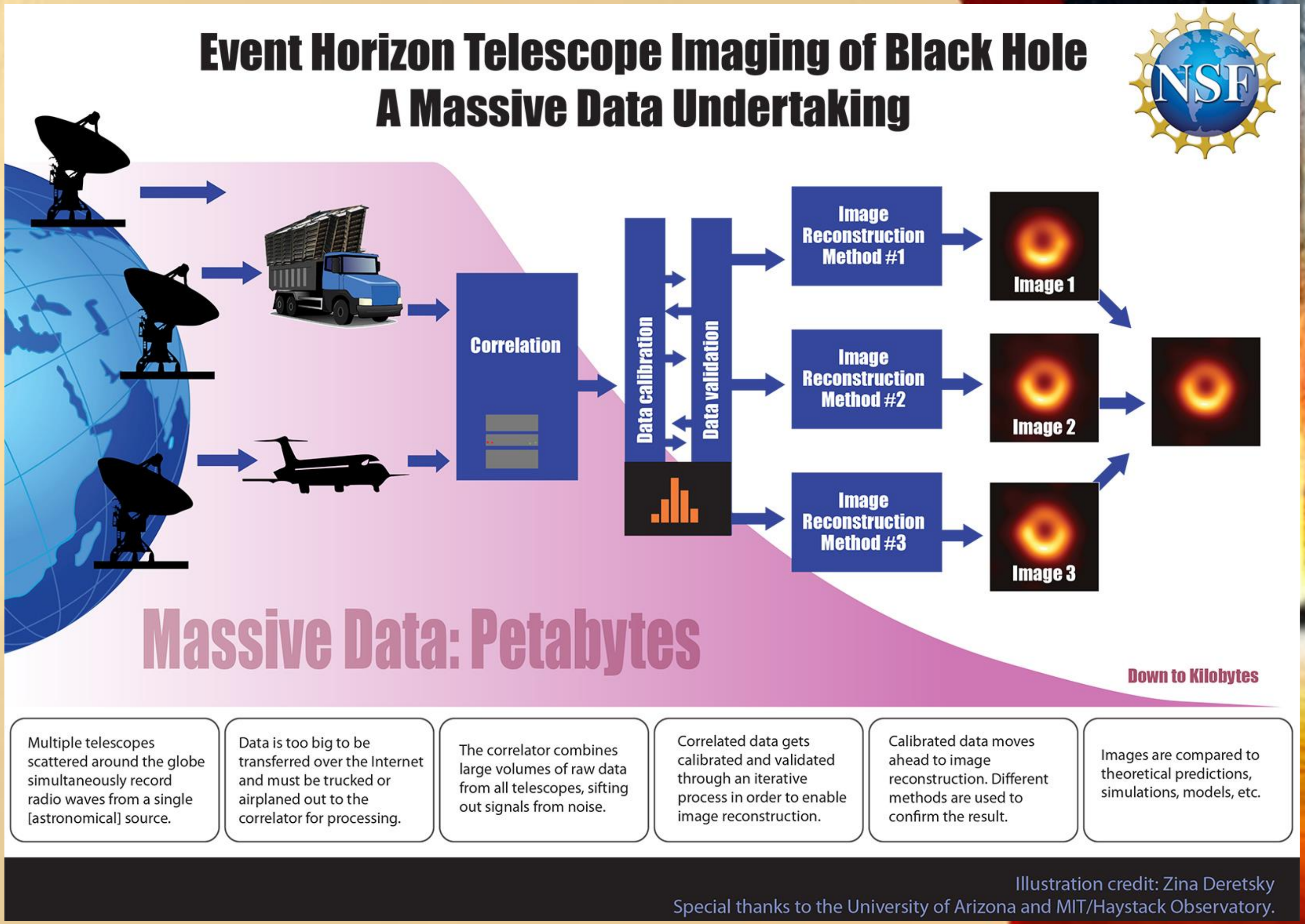


Teleskop veličine Zemlje

- Rastojanja 160 m do 10.700 km
- Posle nekoliko godina pauze EHT ponovo uključen 4. aprila 2017. godine, posmatranje završilo 11. aprila
- Snimali su na talasnoj dužini 1,3 mm
- Za 5 dana svaki teleskop 900 TB podataka
- Obični HDD – 85% otkazalo zbog niskog pritiska
  (korišćeni diskovi punjeni helijumom i zatvoreni hermetički)

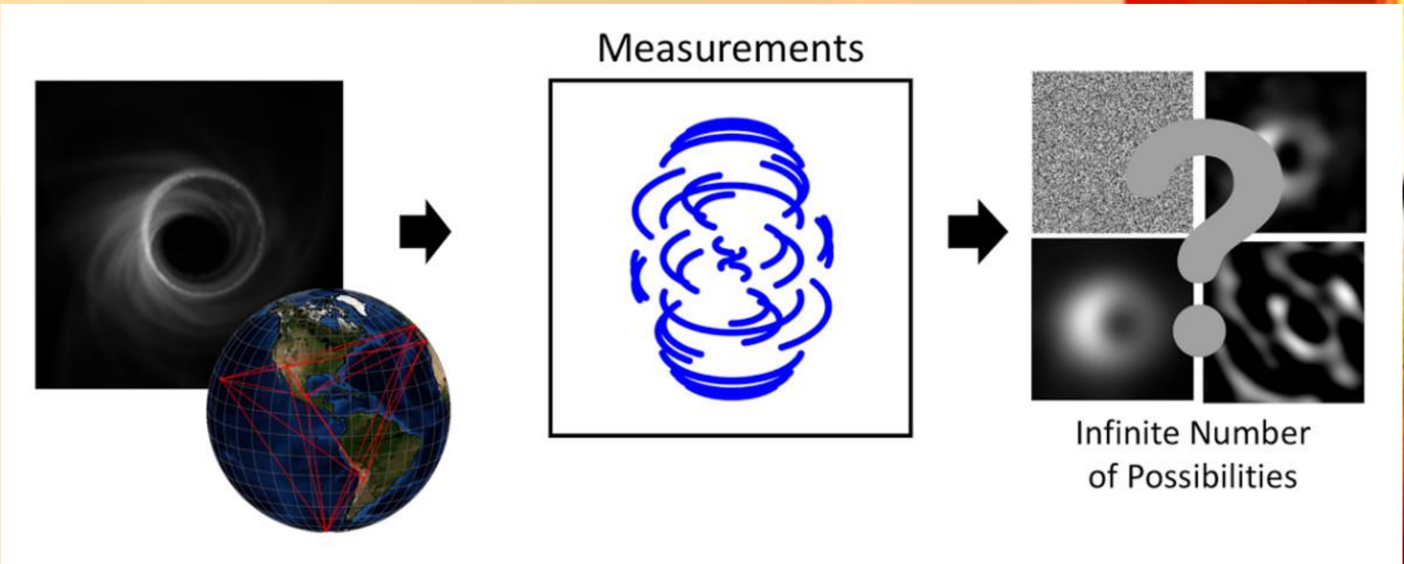
Mnogo podataka ☺

- 200+ istraživača
- ½ tone hard diskova
- Opservatorija Mauna Kea
  - Oko 700 TB podataka
  - 8000 km od MIT
  - 50.400 sekundi (kamion + avion)
    - Brzina: 14 gigabajta/s (tj. 112 gigabita/s)
    - Najbrži internet: nekoliko gigabita/s ☺



Big Data, AI, Mašinsko učenje

- Obrada i analize sačuvanih podataka pomoću superračunara
  - Max Planck institutu za radio astronomiju u Bonu, Nemačka,
  - MIT Haystack opservatoriji u SAD.
- Na ovakav način EHT postiže oko 2000 puta bolju rezoluciju od teleskopa Habl.



“Žaba u bunaru”

Žabu koja je živela u okeanu, iznenada izbaci talas i prebaci u bunar. Na dnu bunara, ona srete krastaču, tu rođenu, koja nikada iz njega nije izašla. Druga pita prvu:

– Odakle dolaziš?

– Dolazim iz okeana.

– Kakav je taj okean?

– Ogroman.

Krastača skoči pet centimetara.

– Je l’ ovako veliki?

– Ne! Mnogo veći!

Ona skoči do dvadeset centimetara.

– Ovoliko veliki?

– Još veći!

Krastača skoči do polovine bunara.

– Ovoliko?

– Ne!

Krastača pređe čitavo dno bunara.

– Ovoliko?

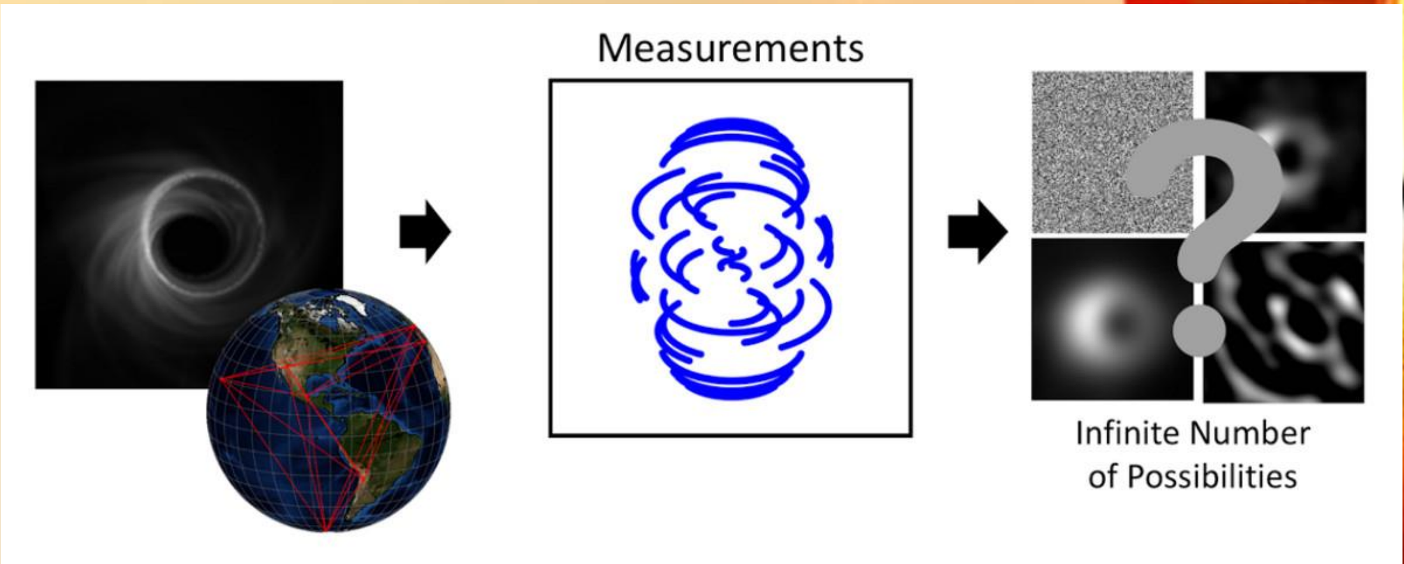
– Ne. Mnogo veći.

Potom krastača, uzviknuvši besno: “Lažljivice!” – ujede žabu.

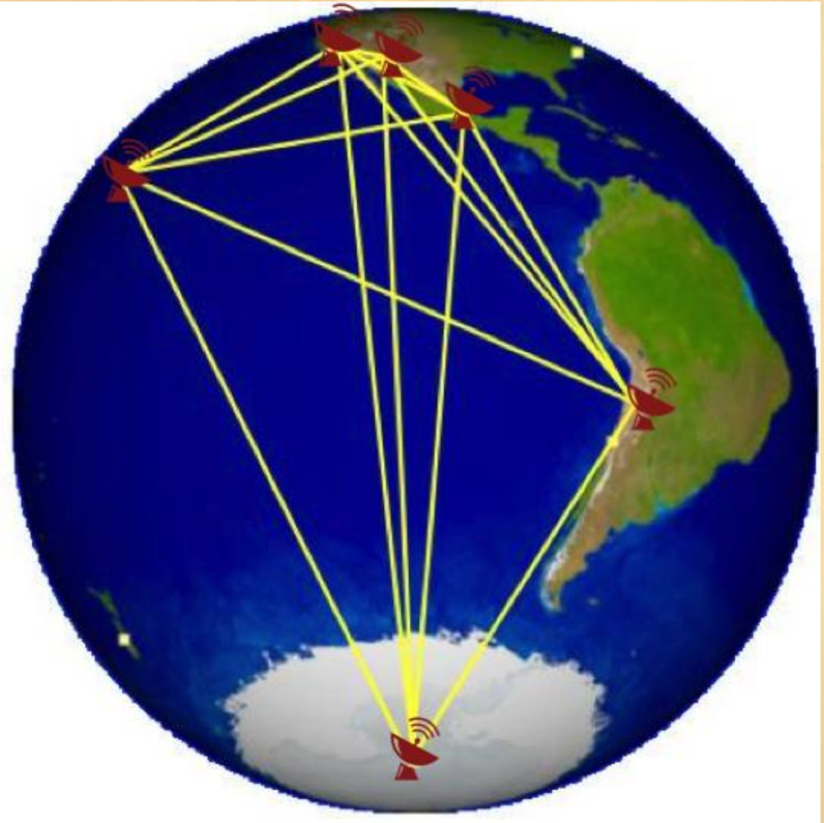
“Mistični kabare”, Alehandro Hodorovski

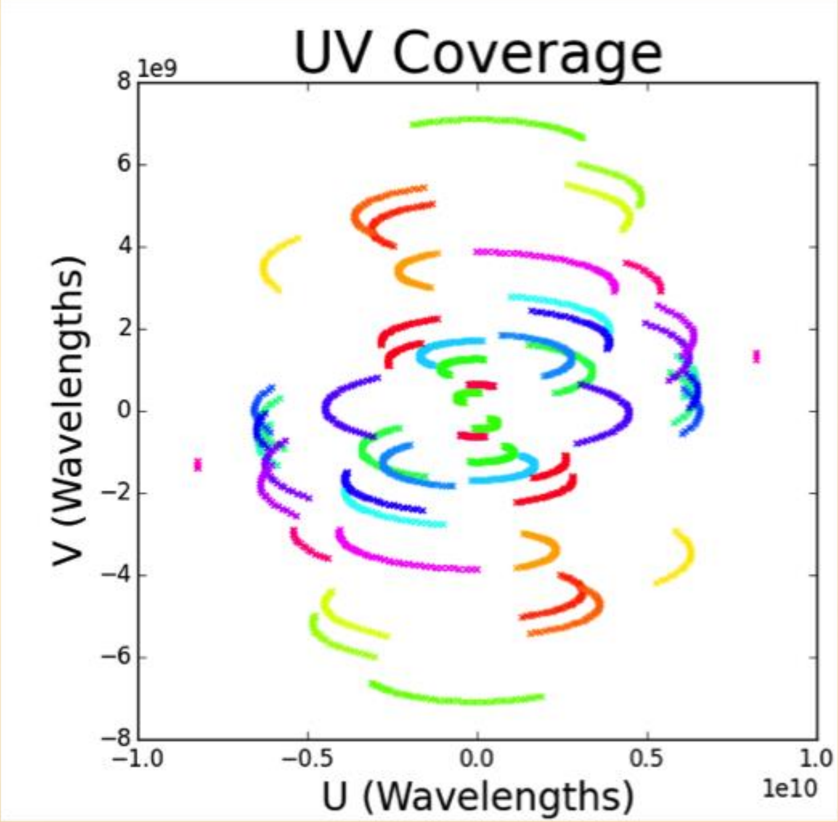
Big Data, AI, Mašinsko učenje

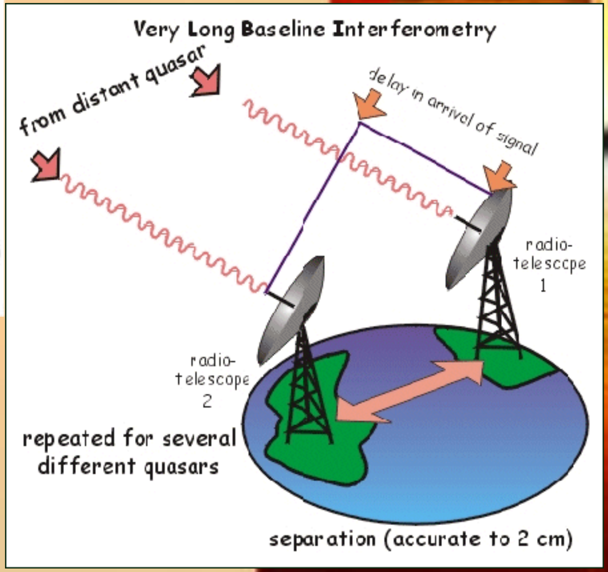
- Obrada i analize sačuvanih podataka pomoću superračunara
  - Max Planck institutu za radio astronomiju u Bonu, Nemačka,
  - MIT Haystack opservatoriji u SAD.
- Na ovakav način EHT postiže oko 2000 puta bolju rezoluciju od teleskopa Habl.



Big Data, AI, Mašinsko učenje







Katherine L. Bouman, Michael D. Johnson, Daniel Zoran, Vincent L. Fish, Sheperd S. Doeleman, William T. Freeman, *Computational Imaging for VLBI Image Reconstruction*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 913-922

https://arxiv.org/abs/1512.01413

CHIRP (*Continuous High-resolution Image Reconstruction using Patch priors*)

Katherine L. Bouman, Michael D. Johnson, Daniel Zoran, Vincent L. Fish, Sheperd S. Doeleman, William T. Freeman, *Computational Imaging for VLBI Image Reconstruction*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 913-922

https://arxiv.org/abs/1512.01413

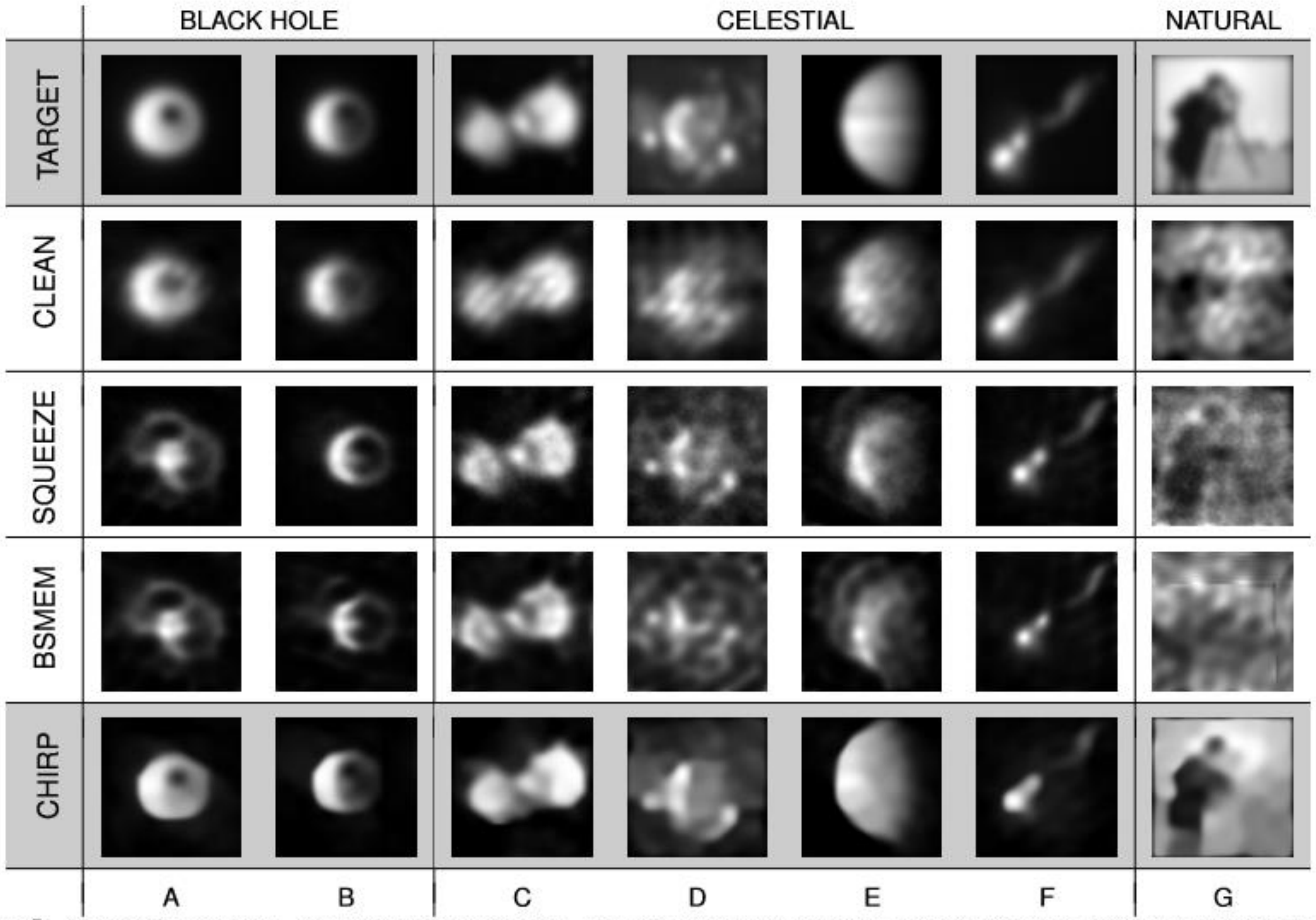
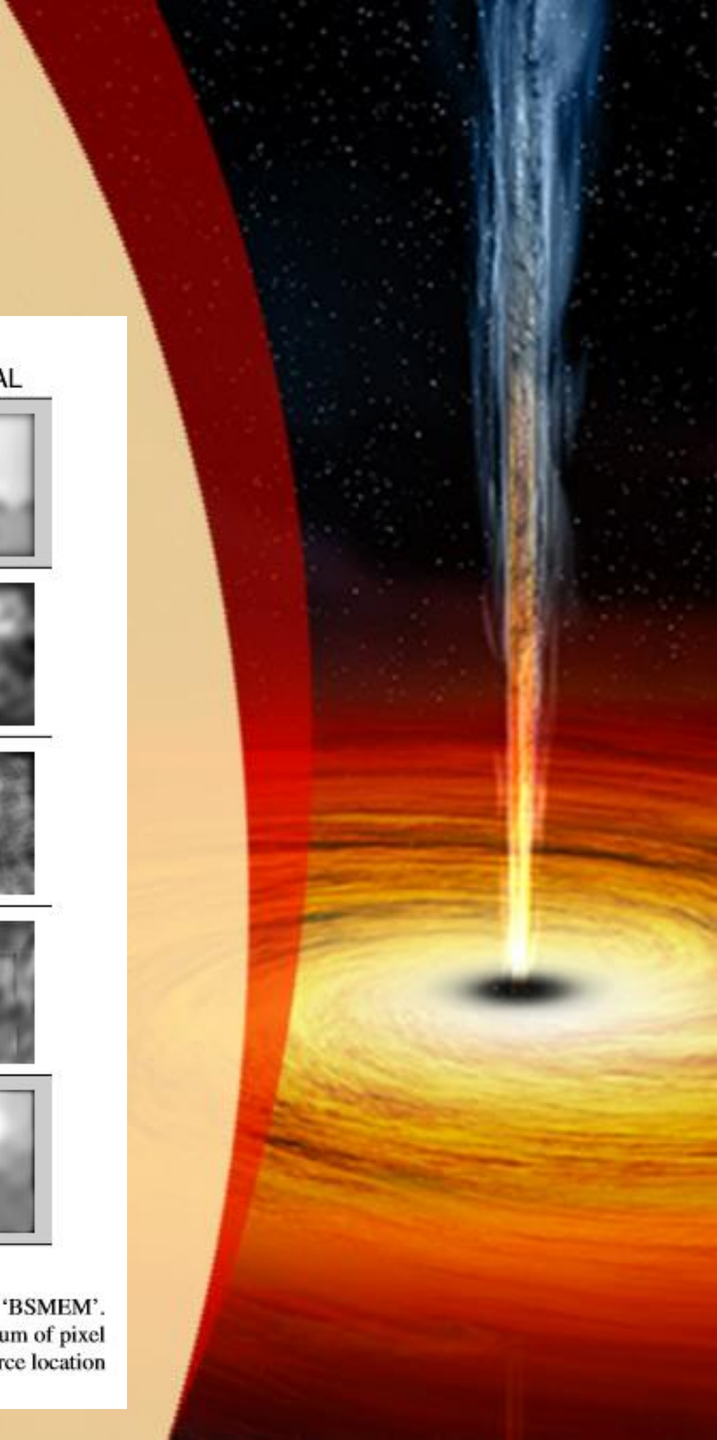
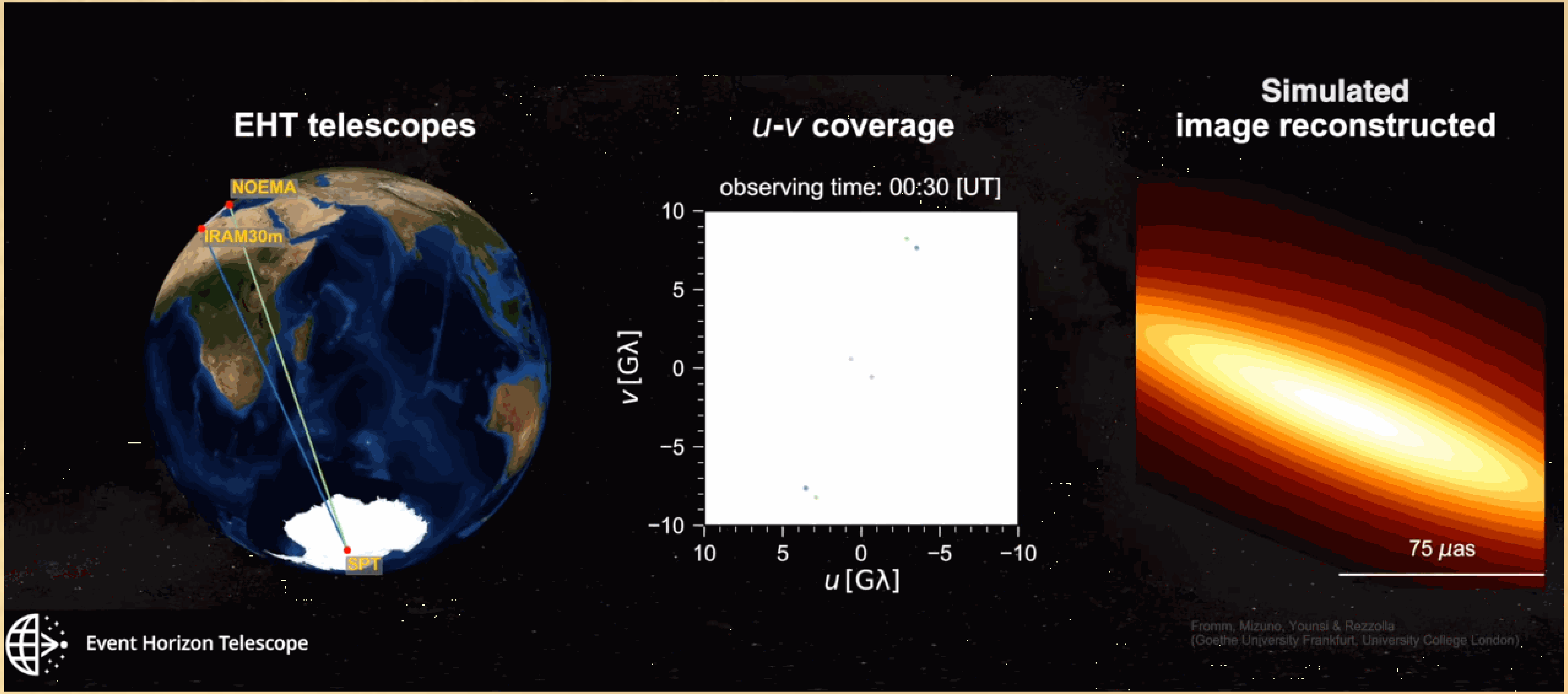


Figure 5. **Method Comparison:** Comparison of our algorithm, 'CHIRP' to three state-of-the-art methods: 'CLEAN', 'SQUEEZE', and 'BSMEM'. We show the normalized reconstruction of a variety of black hole (a-b), celestial (c-f), and natural (g) source images with a total flux density (sum of pixel intensities) of 1 Jansky and a 183.82 μ-arcsecond FOV. Since absolute position is lost when using the bispectrum, shifts in the reconstructed source location are expected. The 'TARGET' image shows the ground truth emission filtered to the maximum resolution intrinsic to this telescope array.

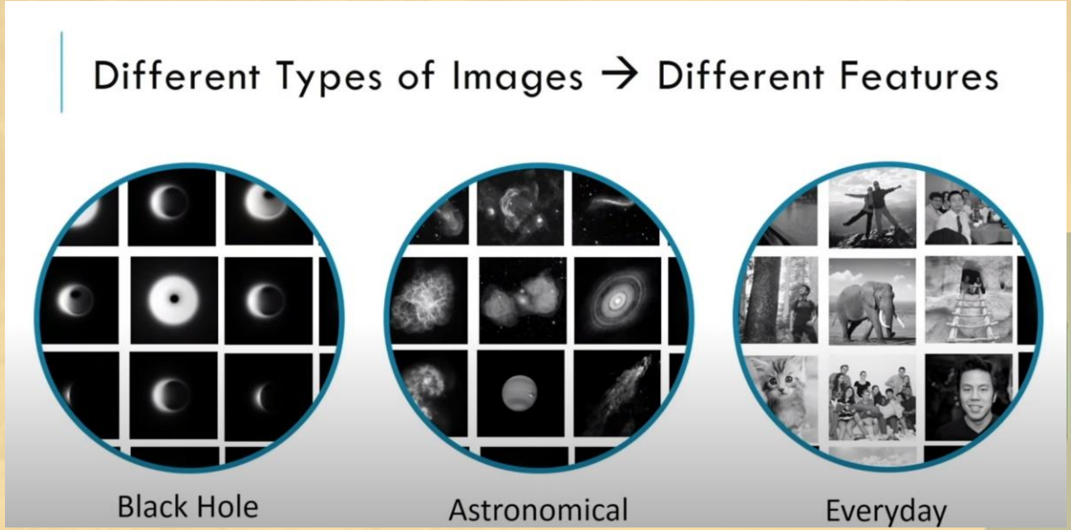


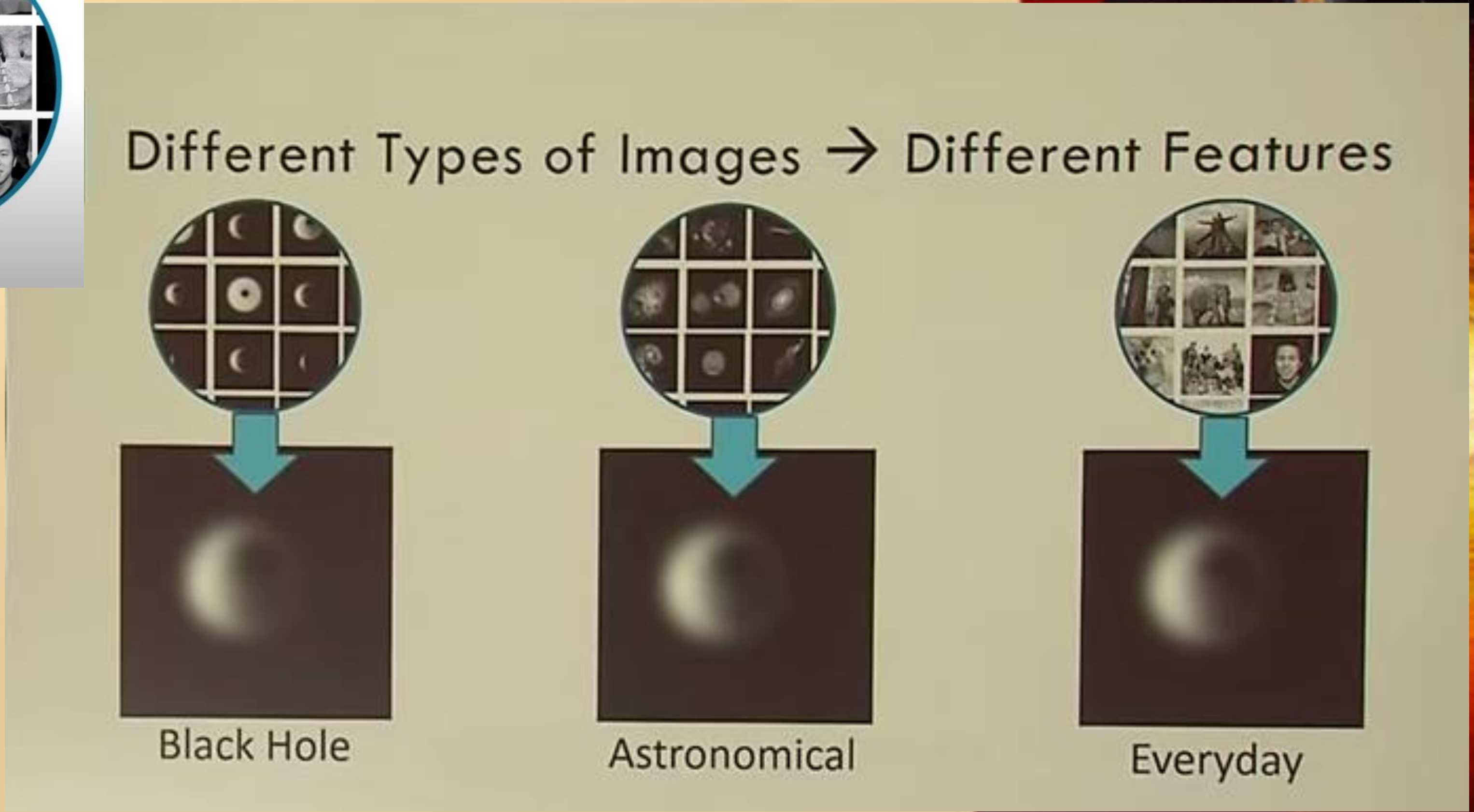
Snimanje i rekonstrukcija



Izvor: Event horizon telescope i [Veritasium]

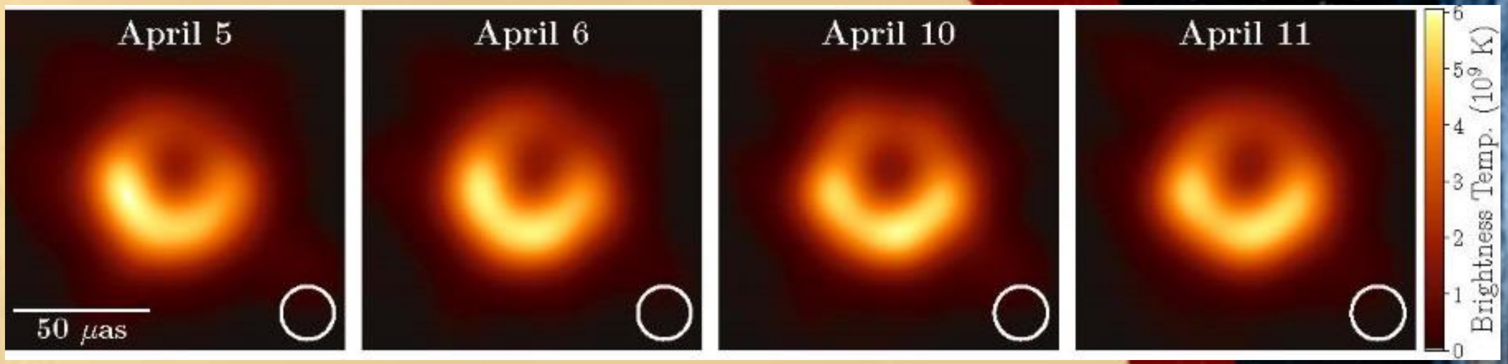
Snimanje i rekonstrukcija





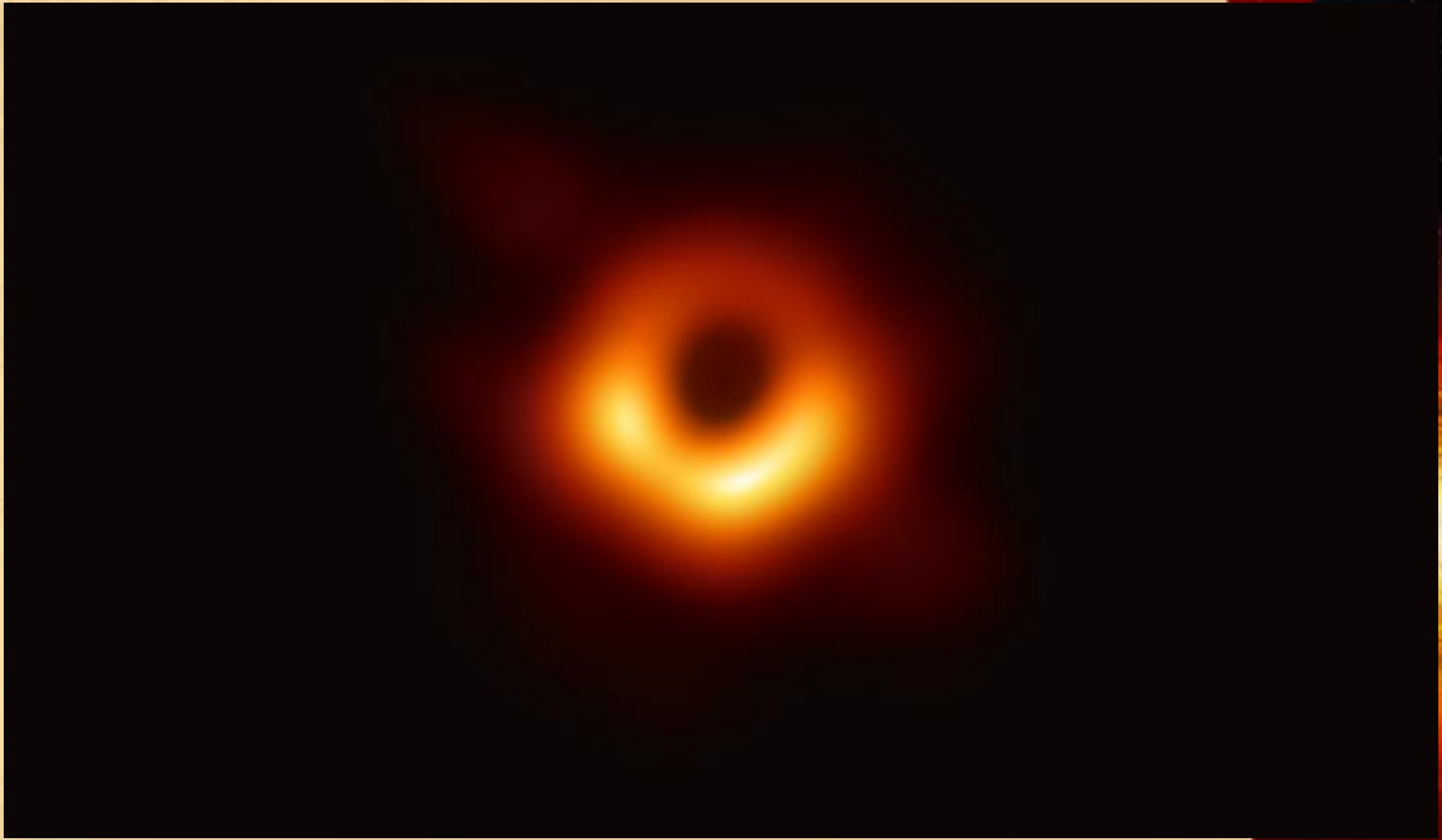
Izvor: [*TED predavanje, Katie Bouman*]()

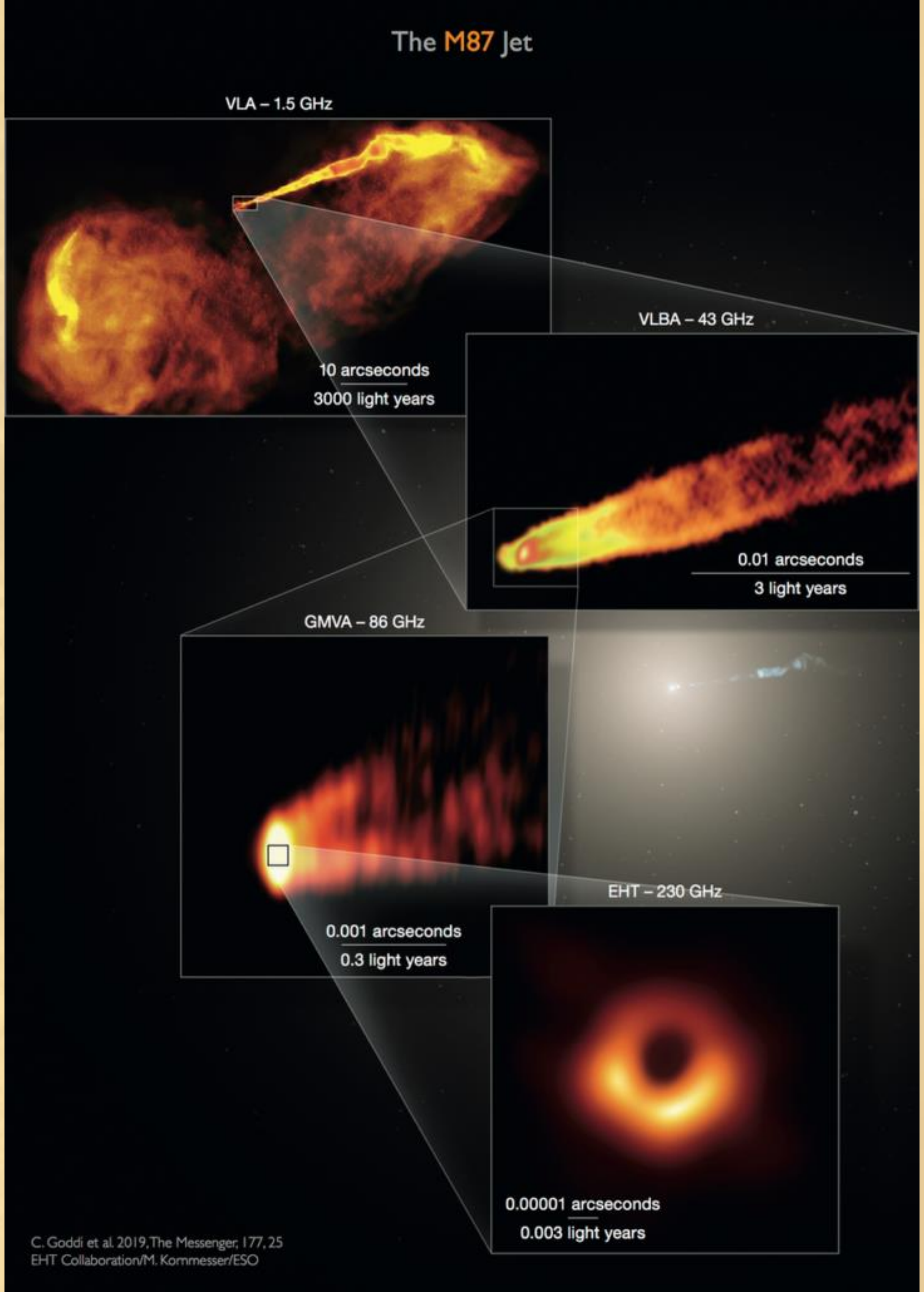
SMBH

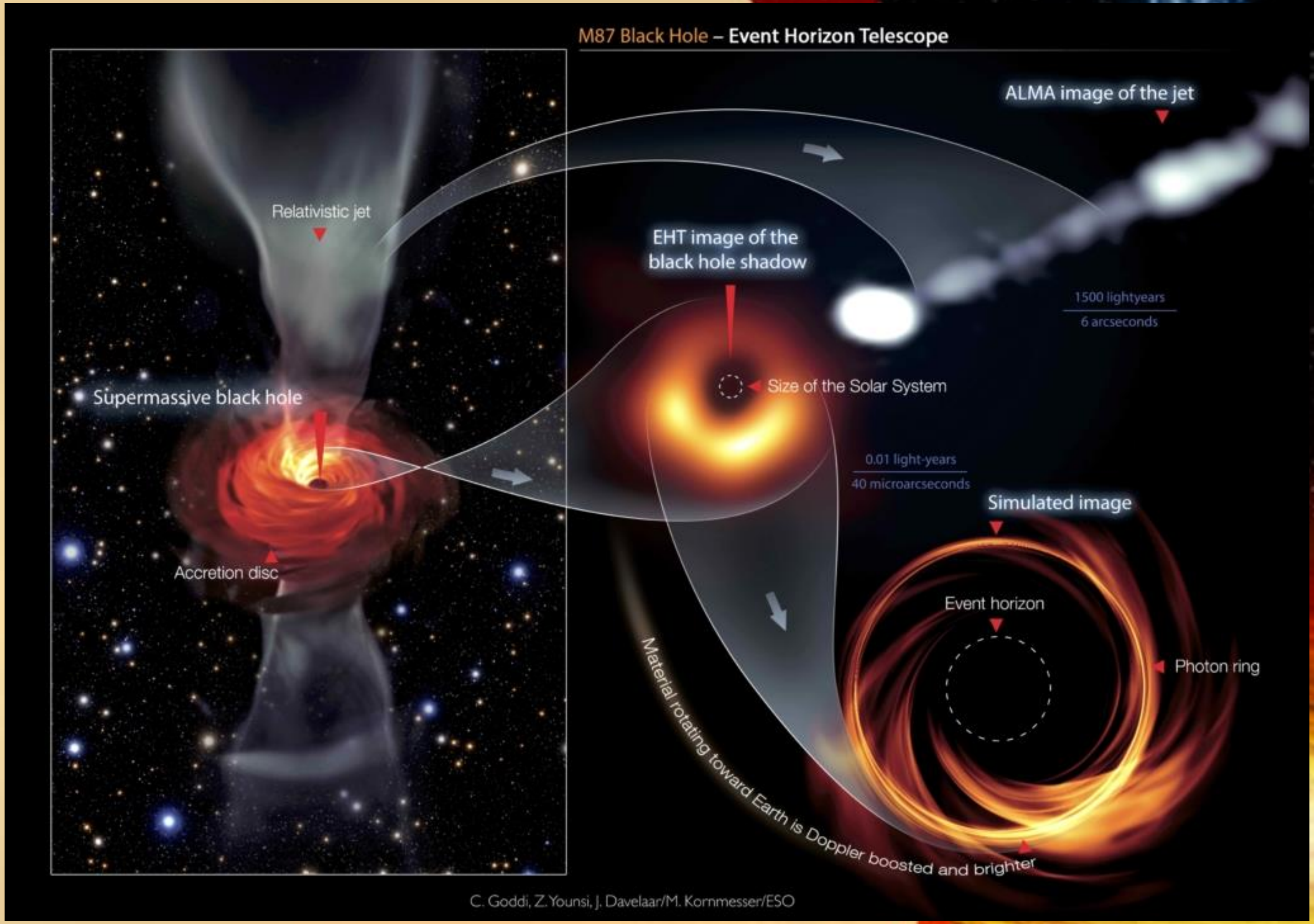


- Serije “fotografija” snimane 5, 6, 10 i 11 aprila 2017. godine, a svaka serija snimana je između 3 i 7 minuta.
- Jasno uočljiv sjajan prsten sa tamnom centralnom oblašću.
- Prečnik prstena iznosi 42, a debljina manje od 20 mikro-lučnih sekundi.
- Upoređivanjem dobijenih fotografija sa simulacijama dobijenim na osnovu magnetohidrodinamičke teorije relativnosti (GRMHD) - tzv. Kerova crnoj rupi, tj. nenaelektrisanoj crnoj rupi koja rotira oko centralne ose.
- Procenjeno da horizont događaja ima dimenzije od 3,8 mikro-lučnih sekundi i da crna rupa rotira u smeru kazaljke na satu.

SMBH u M87

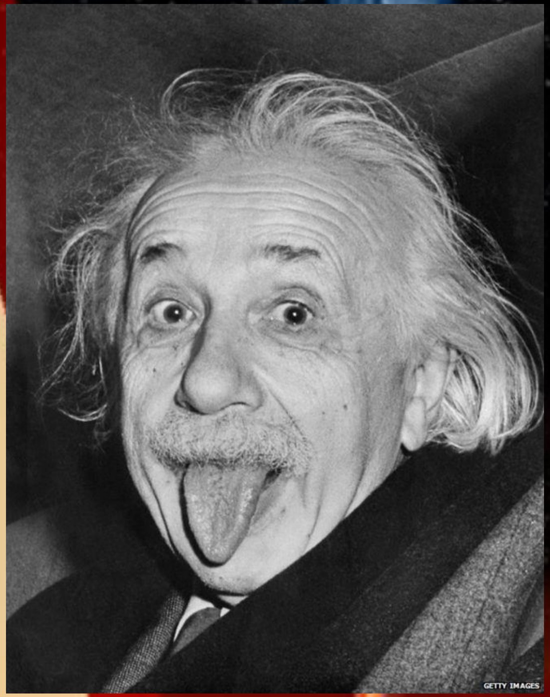




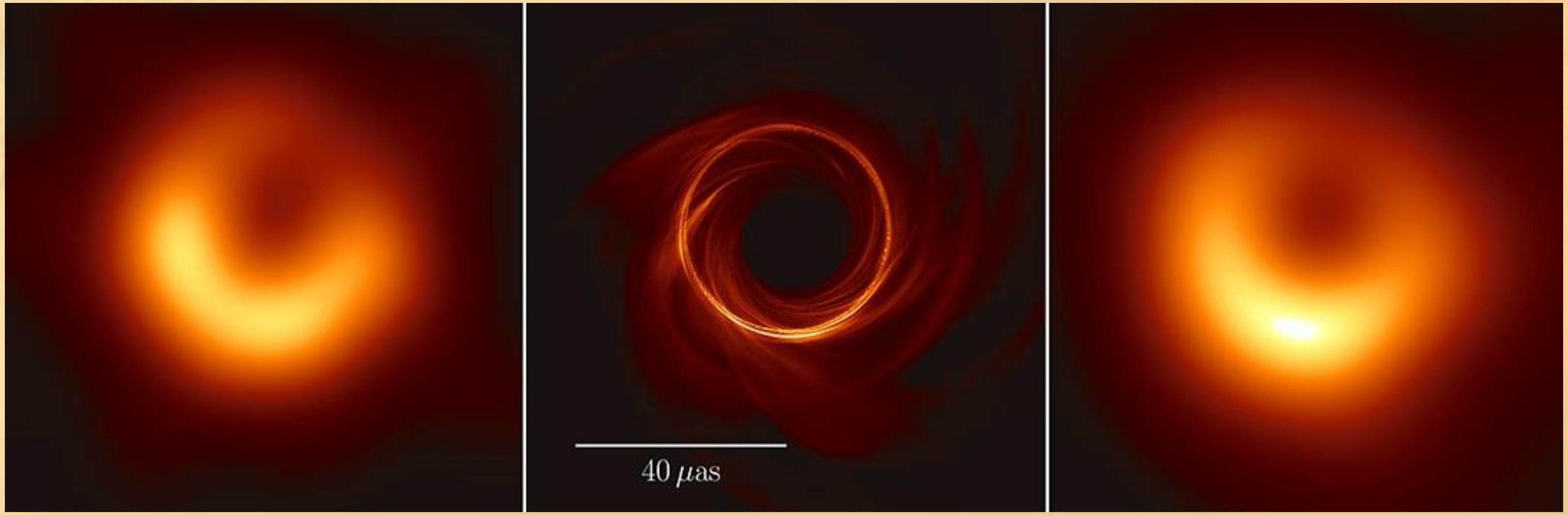


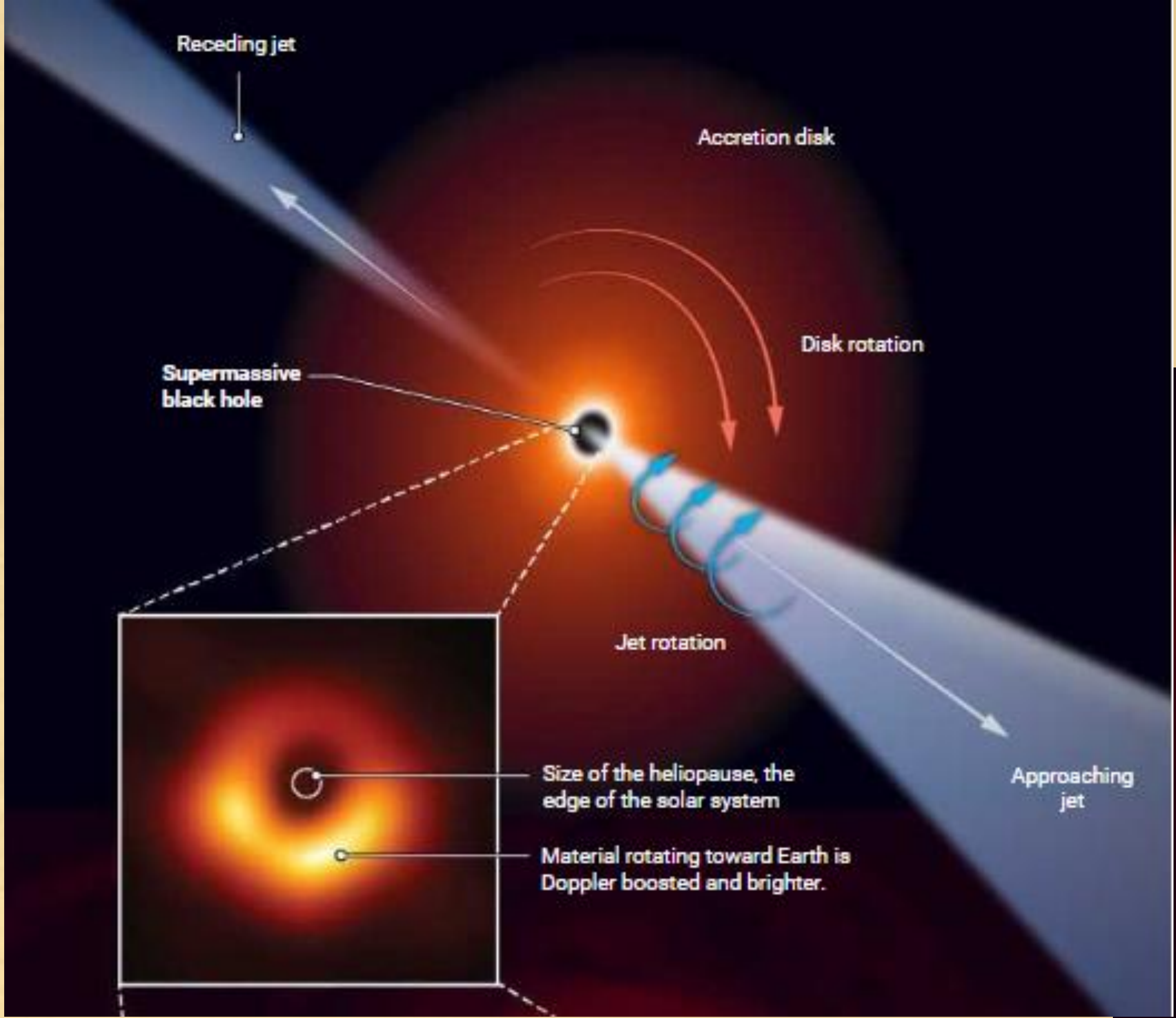
Rad: [C. Goddi et al. 2019, The Messenger, 177, 25]
Izvor: https://blackholecam.org/eht-m87-eso-messenger177/

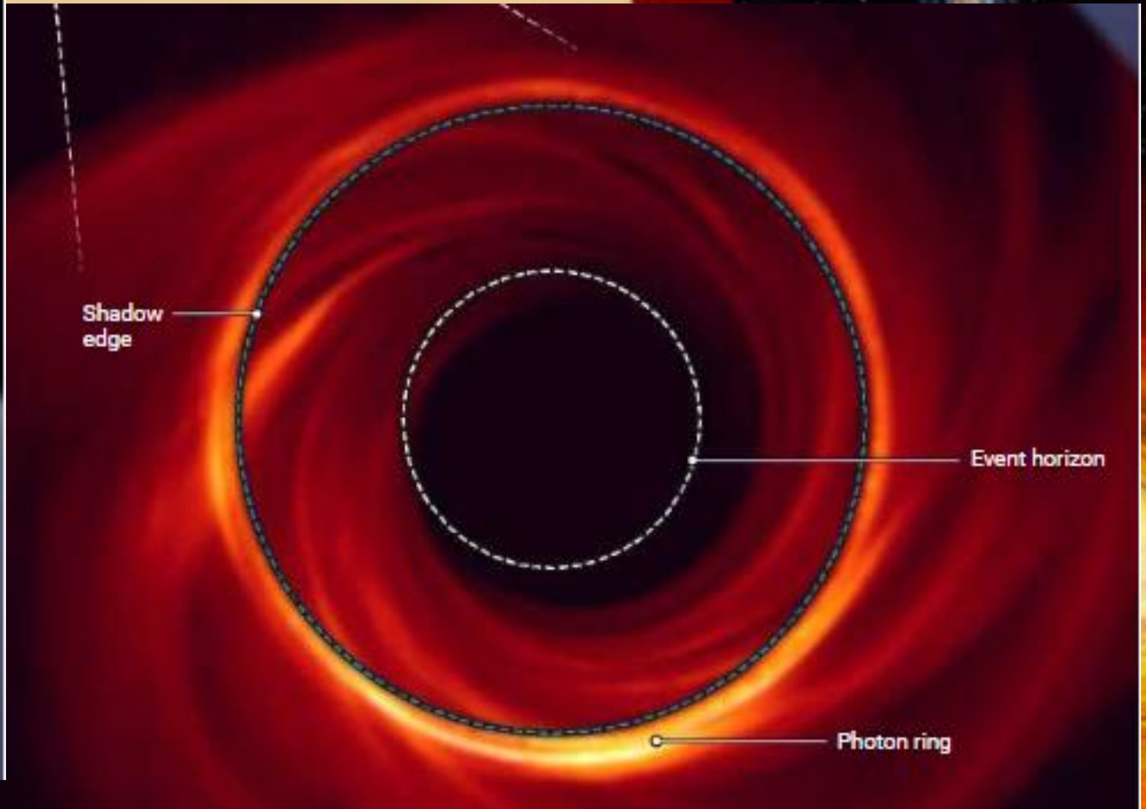
SMBH u M87



- Procena mase ove crne rupe, na osnovu ranijih posmatranja, kretala se u intervalu od 3,5 do 7,22 milijarde masa Sunca
- Na osnovu posmatranja EHT procenjeno da masa prve snimljene crne rupe iznosi **6,5 milijardi** masa Sunca.





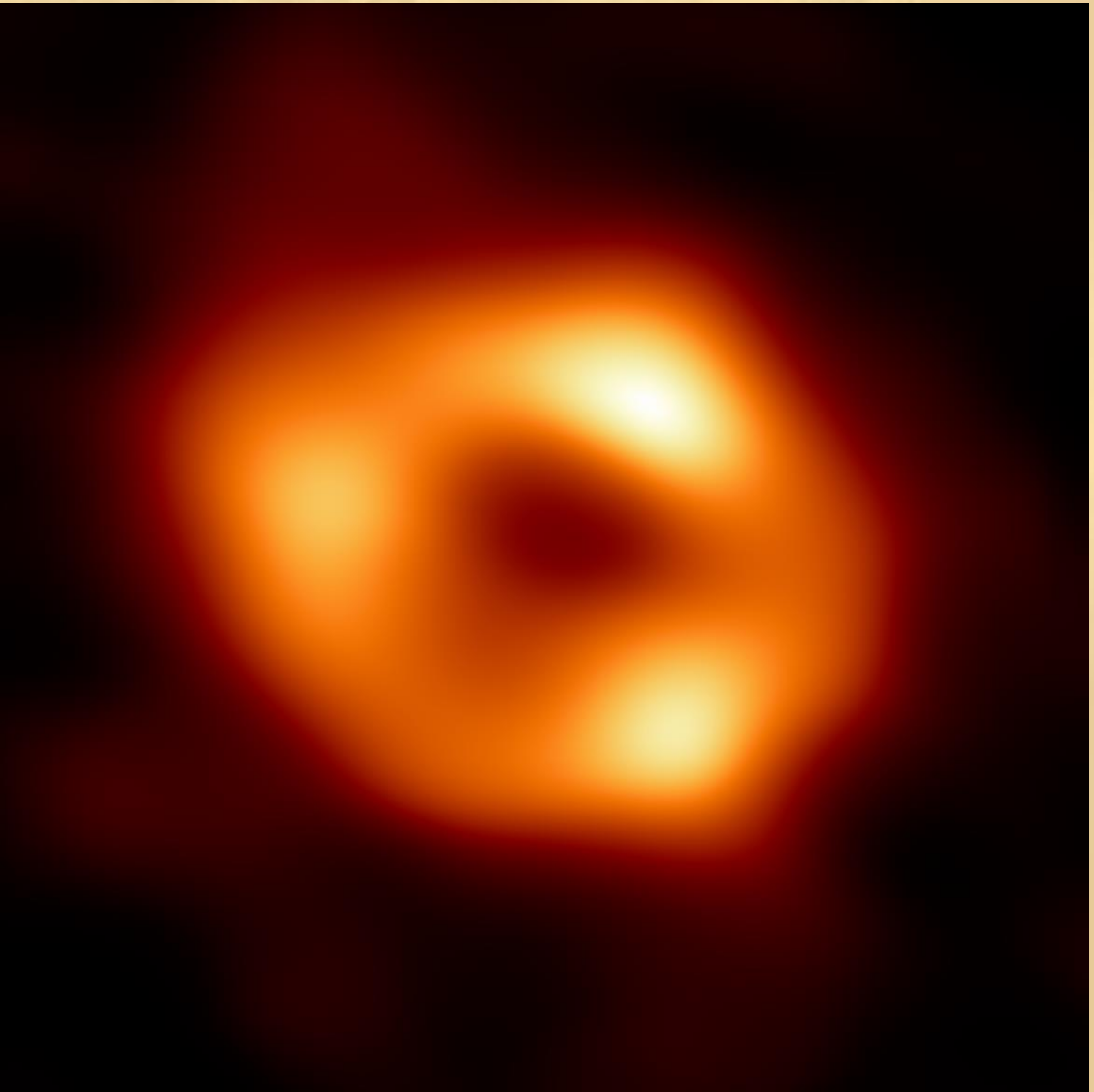


Connecting the dots
Simulations (bottom) helped connect the EHT's fuzzy image (middle) to a physical model of M87's black hole (top), and suggest that the accretion disk spins clockwise.

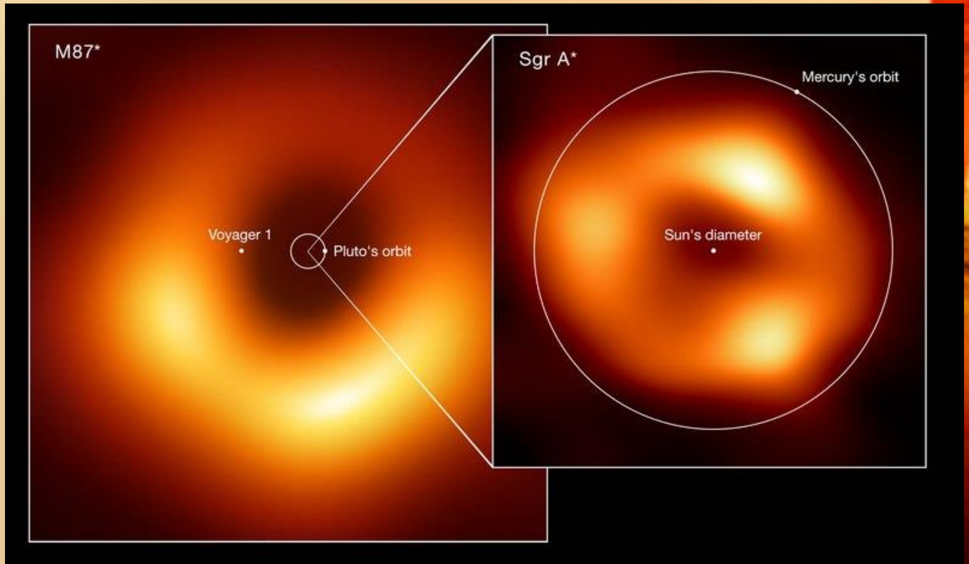
https://www.sciencemag.org/news/2019/04/black-hole

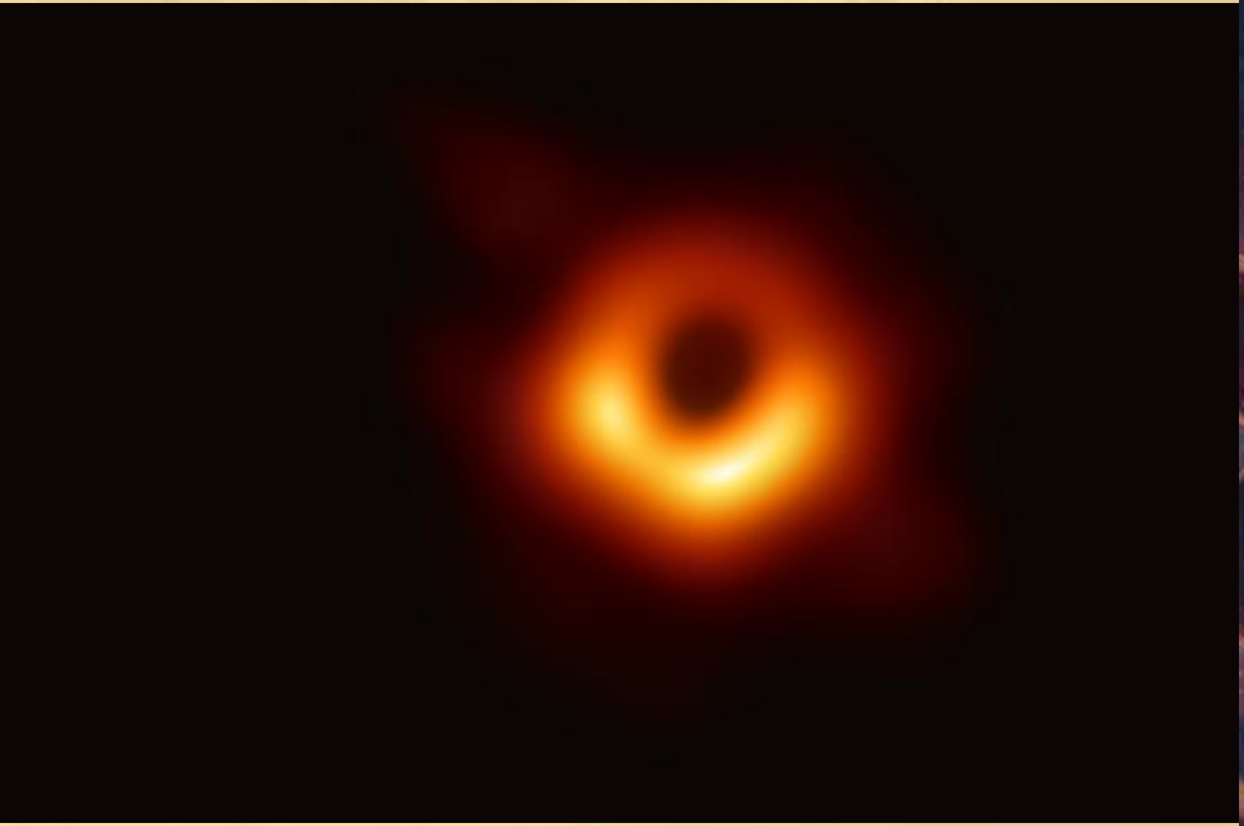
C. Bickel/Science; Event Horizon Telescope Collaboration Et Al., Astrophysical Journal Letters, Vol. 875, 3, 2019

SMBH u Mlečnom putu



- Sagittarius A*
- 12. maj 2022. godine
- 27.000 svetlosnih godina od nas
- Slične crne rupe
- Masa oko 4 miliona masa Sunca






@DELUCEART

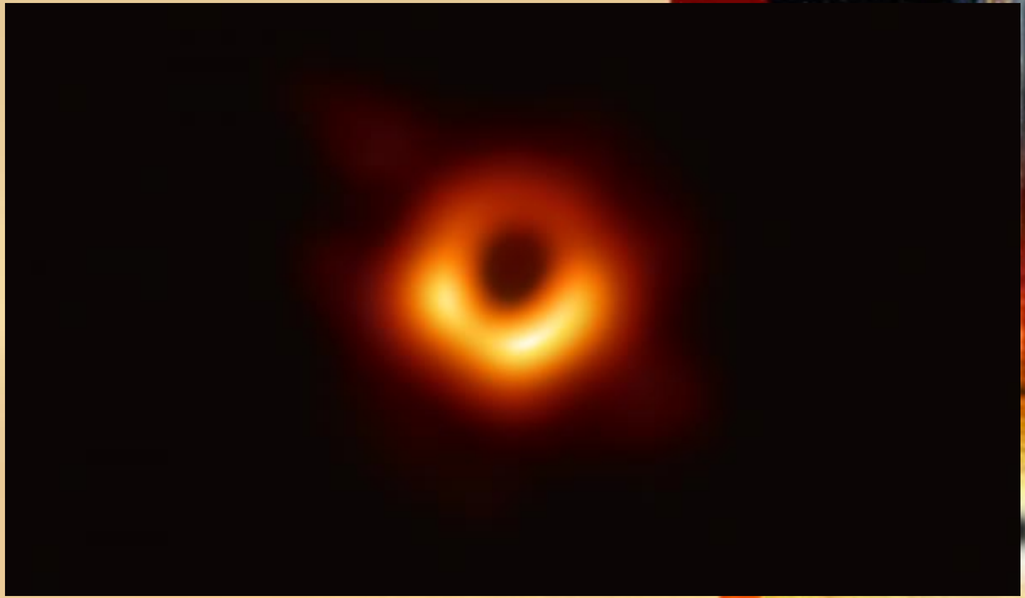
Pitanja…

- **dr Milan Milošević**
  Departman za fiziku
  Prirodno-matematički fakultet
- mmilan@svetnauke.org
  www.facebook.com/mmilan
  www.linkedin.com/in/mmilann/

- **Departman za fiziku PMF-a**
  http://fizika.pmf.ni.ac.rs
  www.facebook.com/fizika.nis

- **Astronomsko društvo Alfa**
  http://www.alfa.org.rs
  www.facebook.com/alfa.nis

- **Svet nauke**
  www.svetnauke.org
  www.facebook.com/svetnauke.org



Deo aktivnosti AD Alfa u 2022/23. godini realizuju se u okviru projekta
„Kako dohvatiti zvezde“, uz podršku Centra za promociju nauke