



RNDr. Roman Nagy, PhD.
FMFI UK

Čierne diery a ich úloha vo vesmíre

SNM
6.12.2018

Prehľad

- Všeobecná teória relativity ako základný kameň čiernych dier
- Kde ich hľadať?
- A ako ich detegovať?
- Dátum spotreby čiernych dier

Čierne diery za čias Newtona

- John Michell
- Koniec 18. st.
- Čierne hviezdy, ktorých úniková rýchlosť by bola väčšia ako rýchlosť svetla
- 500 krát väčšia ako Slnko (pri rovnakej hustote)

Prielom v našom poznaní

-

Všeobecná teória relativity

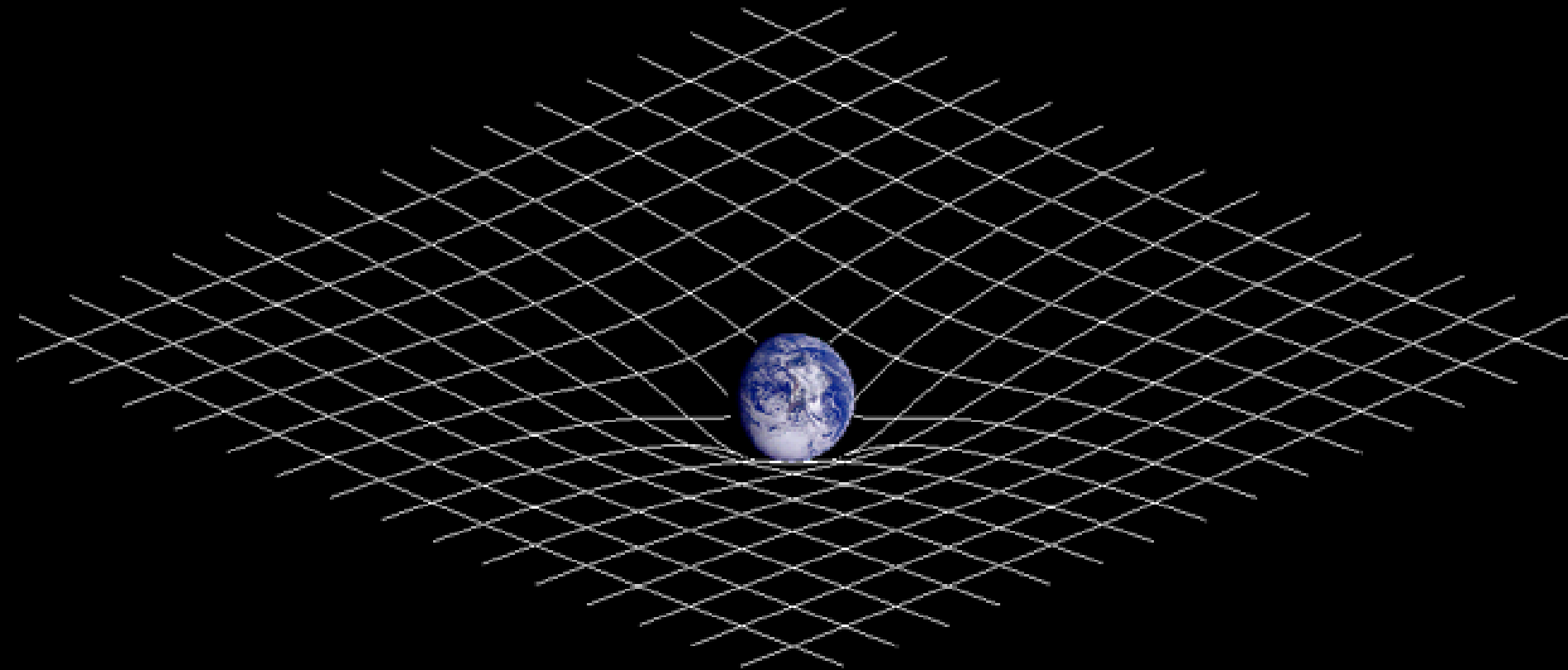
Všeobecná Teória Relativity

- 1911 – 1916
- Obohatenie ŠTR o gravitáciu
- Gravitácia je prejavom zakrivenia priestoročasu
- Základ je princíp ekvivalencie

Zakrivenie priestoročasu

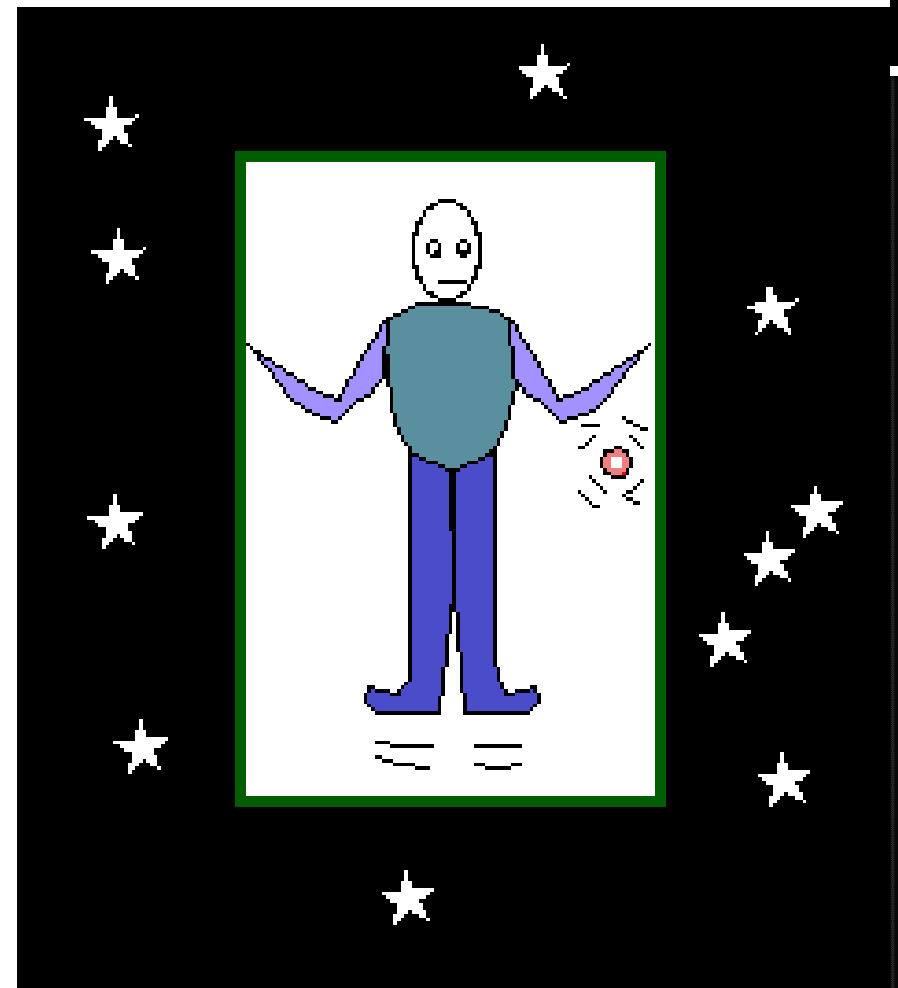
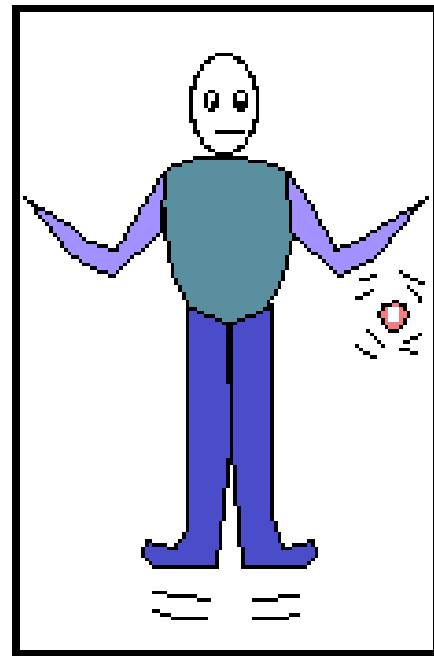
- Hmota zakrivuje priestoročas vo svojom okolí
- Bez prítomnosti hmoty je priestoročas úplne plochý
- Objekt (na ktorý nepôsobí žiadna sila) sa pohybuje po najpriamočiarejšej trajektórii - geodetike

Zakrivenie priestoročasu



Princíp ekvivalencie

- Už od Galilea vieme, že všetky telesá, bez ohľadu na hmotnosť, padajú v gravitačnom poli rovnako = geodetika nezávisí od hmotnosti
- VTR zovšeobecnenie: pozorovateľ v uzavretom priestore bez informácie zvonku nemôže žiadnym pokusom zistiť, či je v stave beztiaže alebo vo voľnom páde

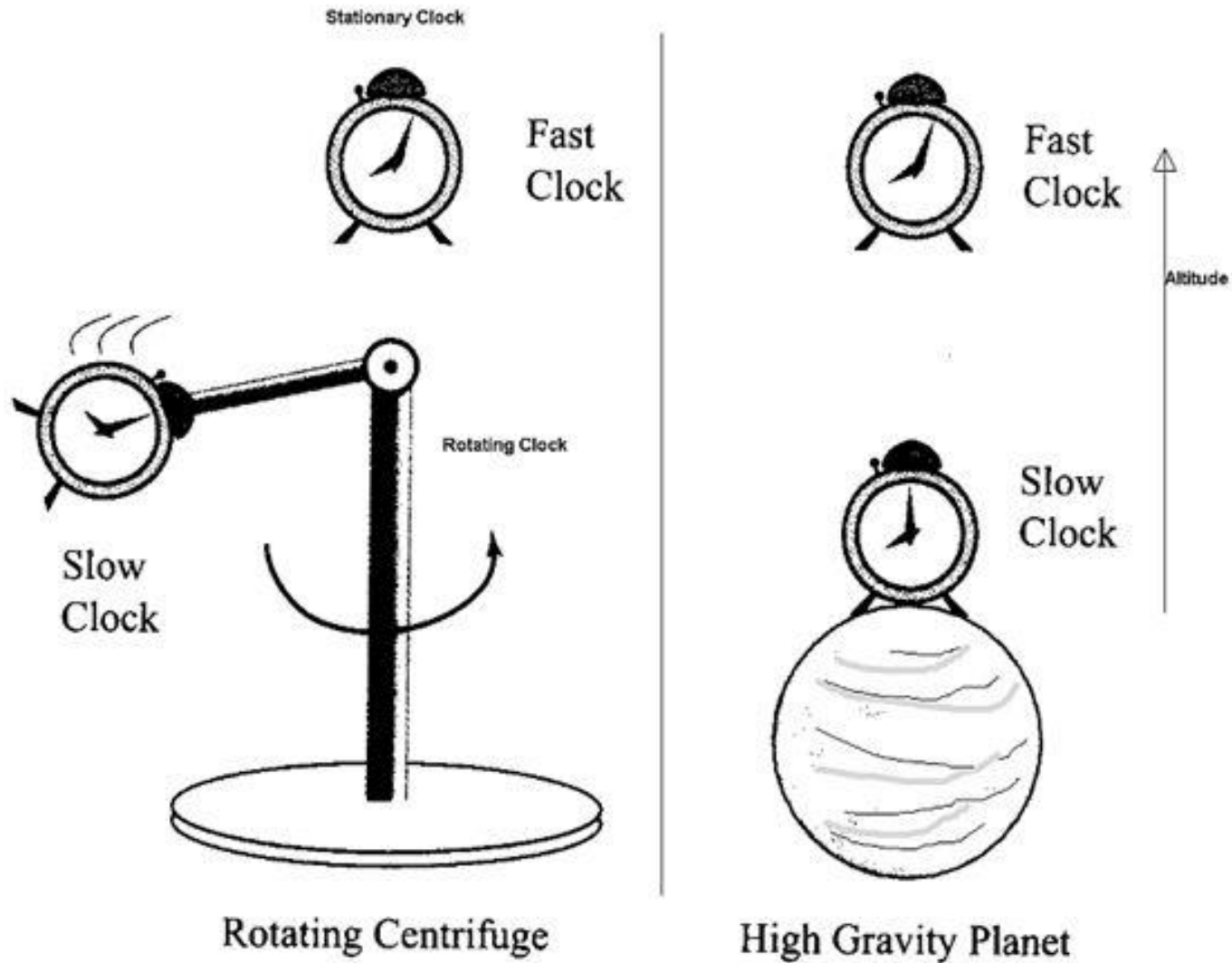


Things falling freely in a gravity field all accelerate by the same amount, so they move the same way as if they were in a region of zero gravity — “weightlessness”!

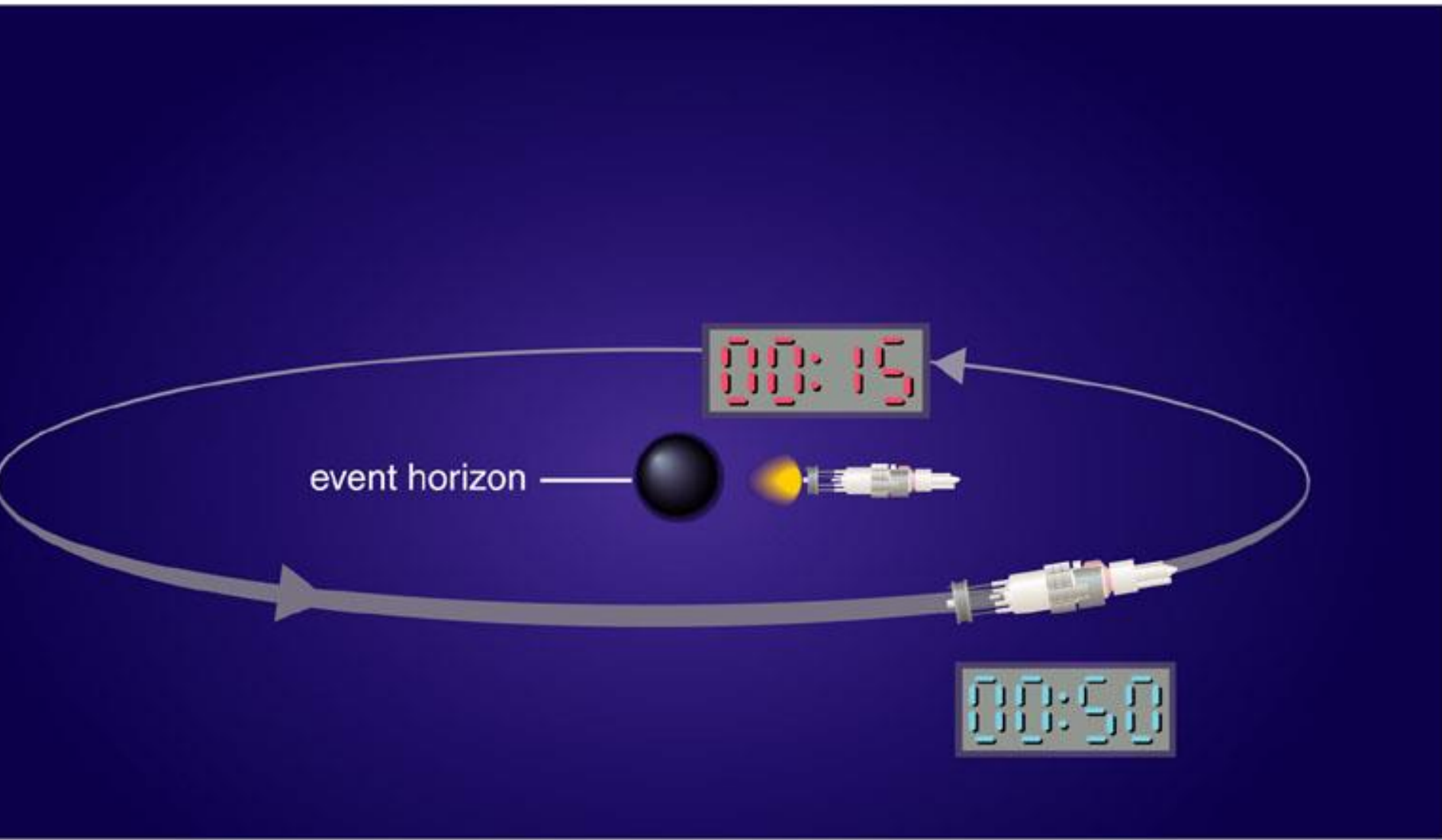
Čas

- Čas – chod hodín už nezávisí len od ich rýchlosti (tak ako v ŠTR), ale už aj od polohy v gravitačnom poli
- Čas plynie na úrovni mora pomalšie ako na vrchole hory
- Družice GPS

Dilatácia času



Dilatácia času

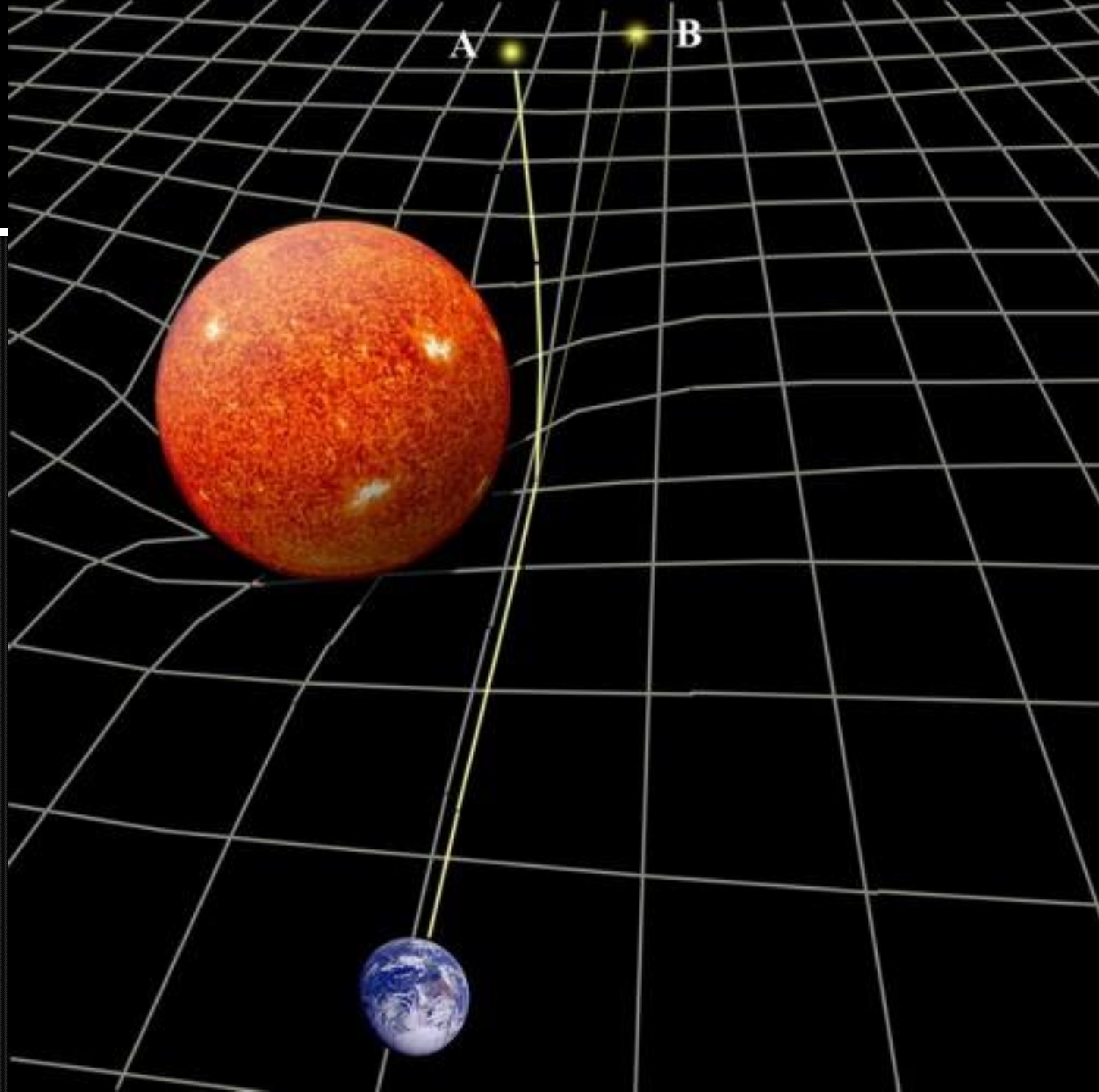


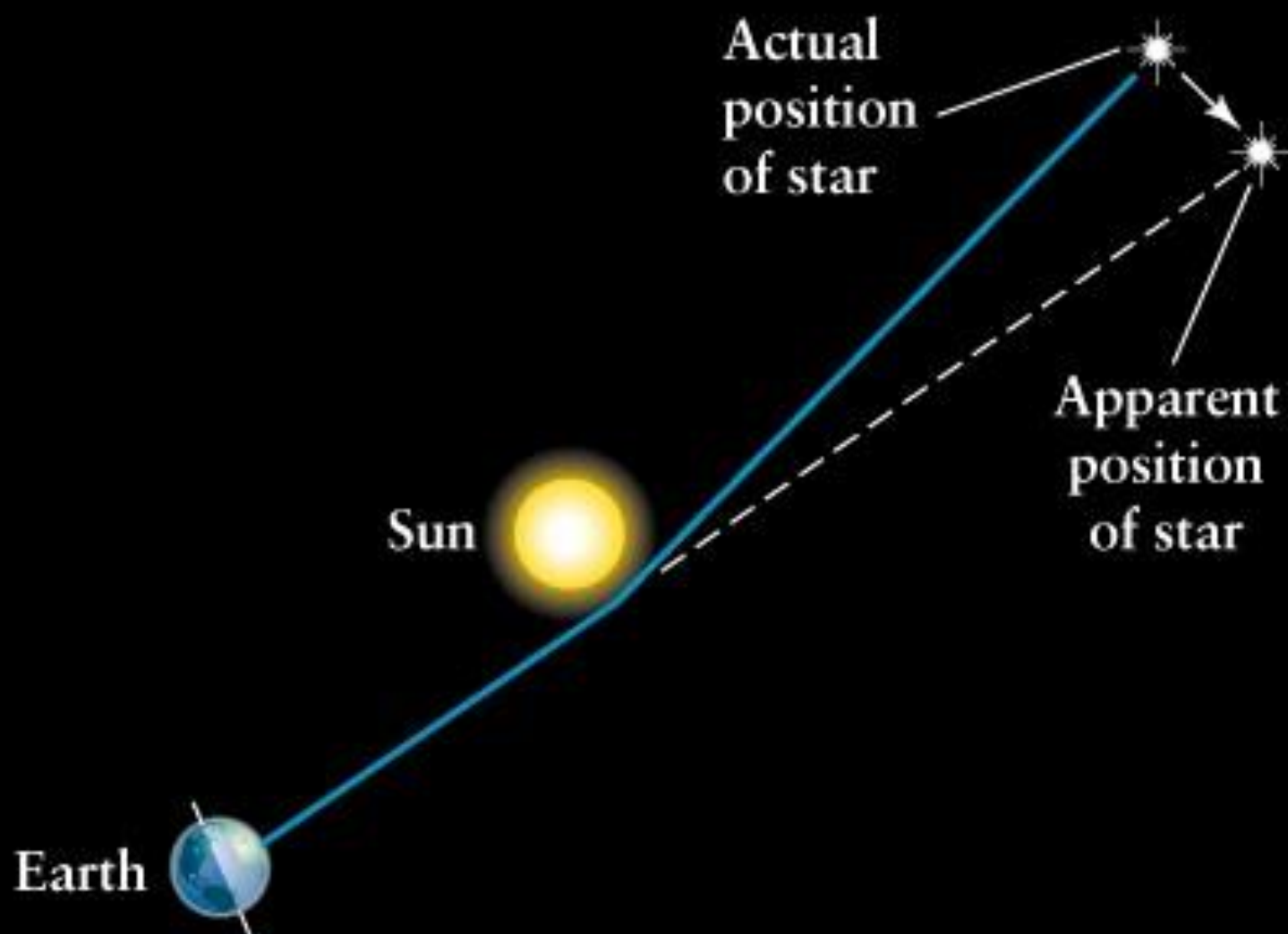
Dôsledky VTR

- Čierne diery – sám Einstein ich považoval za nereálne. Tvrdil, že musí existovať mechanizmus, ktorý by zabránil ich vzniku
- Gravitačné vlny – vlnenie samotného priestoročasu
- 1987 supernova produkovala pozorovateľné gravitačné vlny

Testy VTR – ohyb svetla

- Predpovedala ho už Newtonova teória
- VTR ale predpovedá 2x väčší ohyb
- Zatmenie 1919 – Eddington
- Potvrdenie VTR

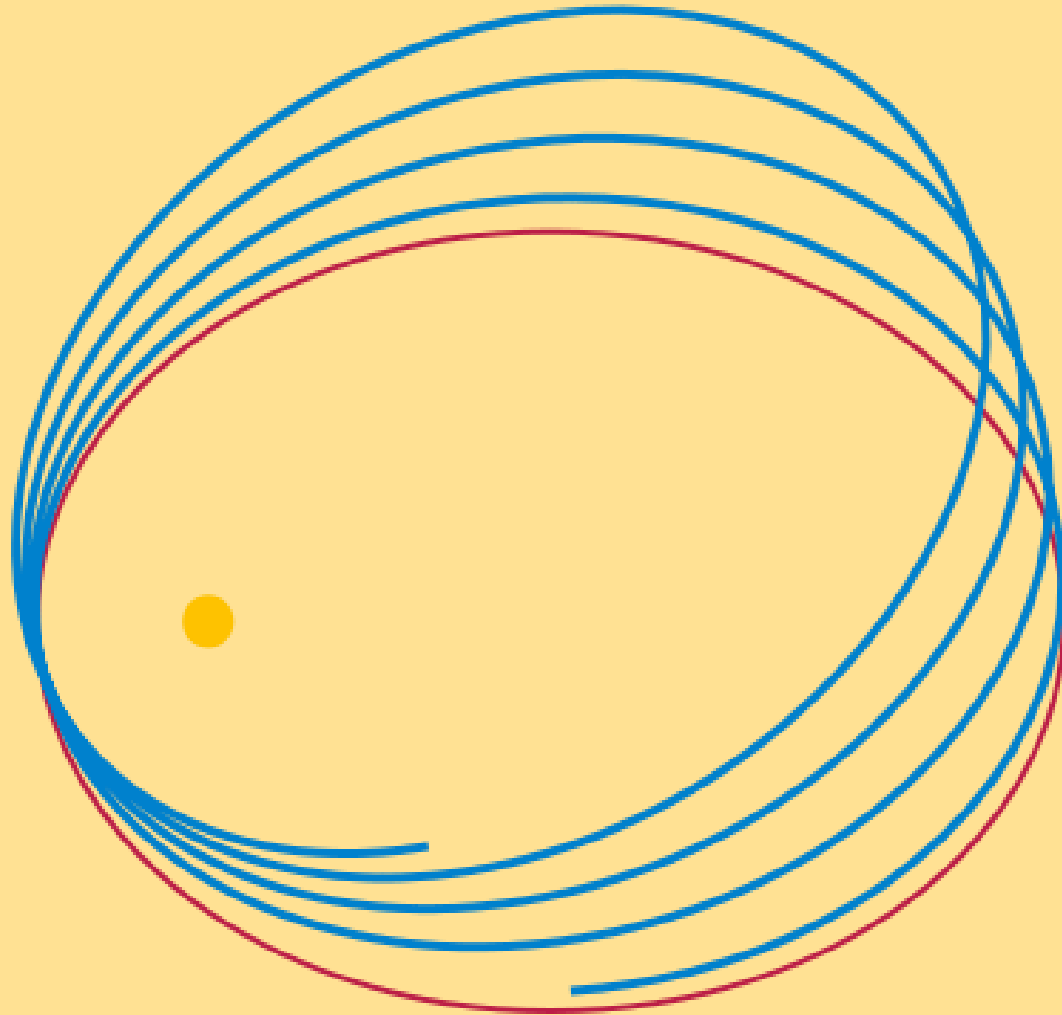




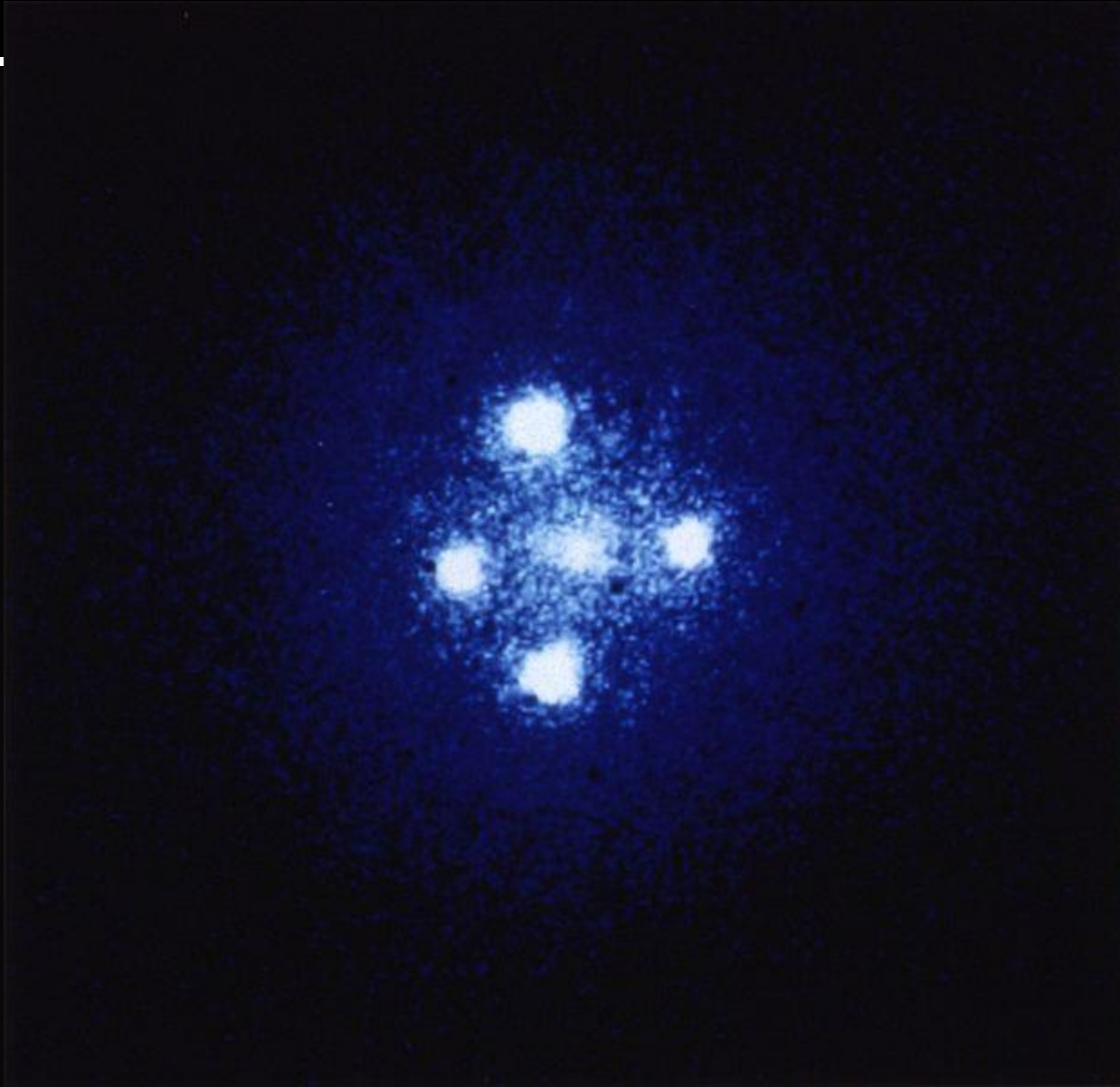
Merkúr

- perihélium (bod dráhy najbližší k Slnku)
Merkúra sa postupne mení, ako predpovedá
Newtonova teória – od 18.st
- Rozdiel je 43" za 100 rokov

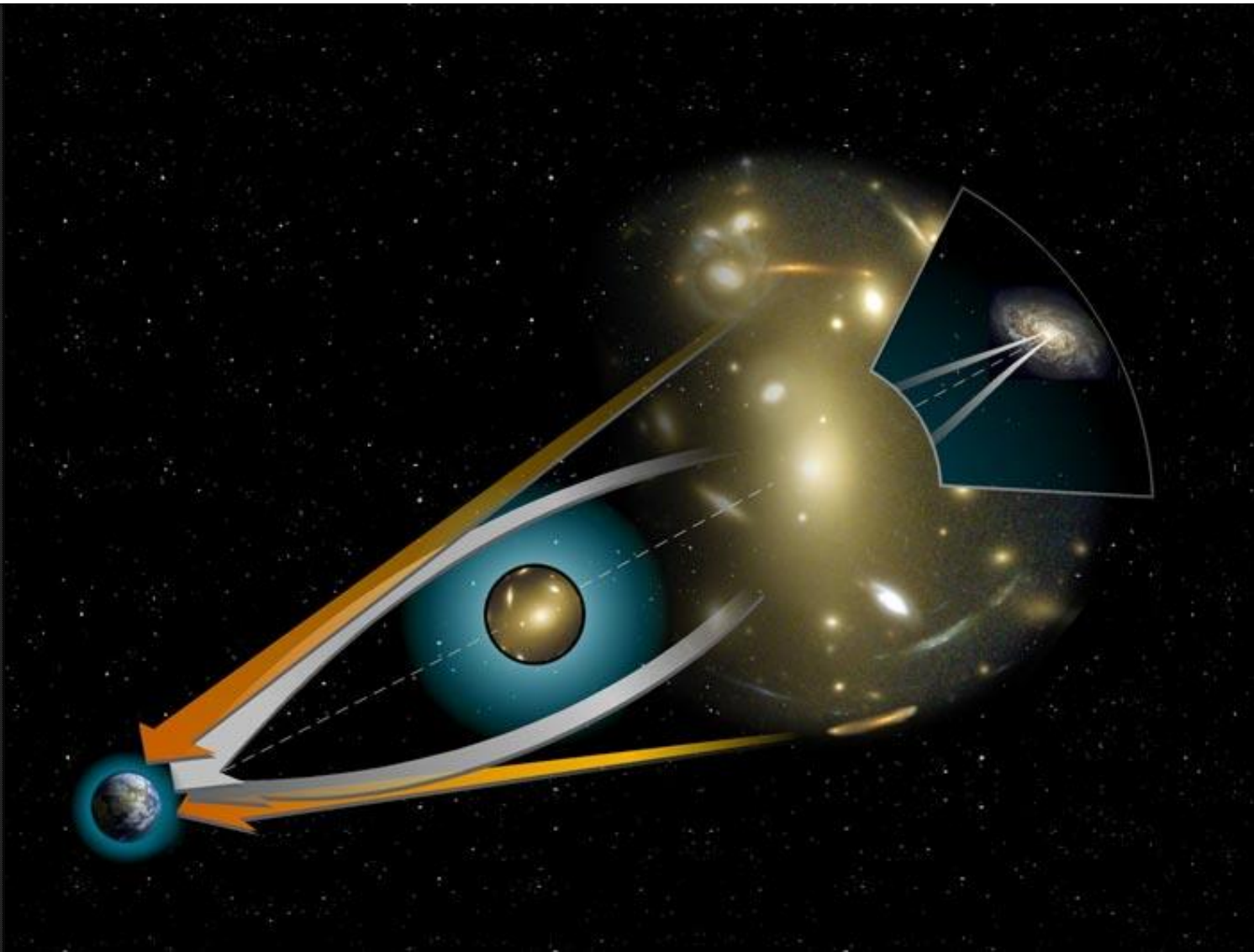
Perihélium Merkúra



Gravitačné šošovkovanie



Gravitačné šošovky





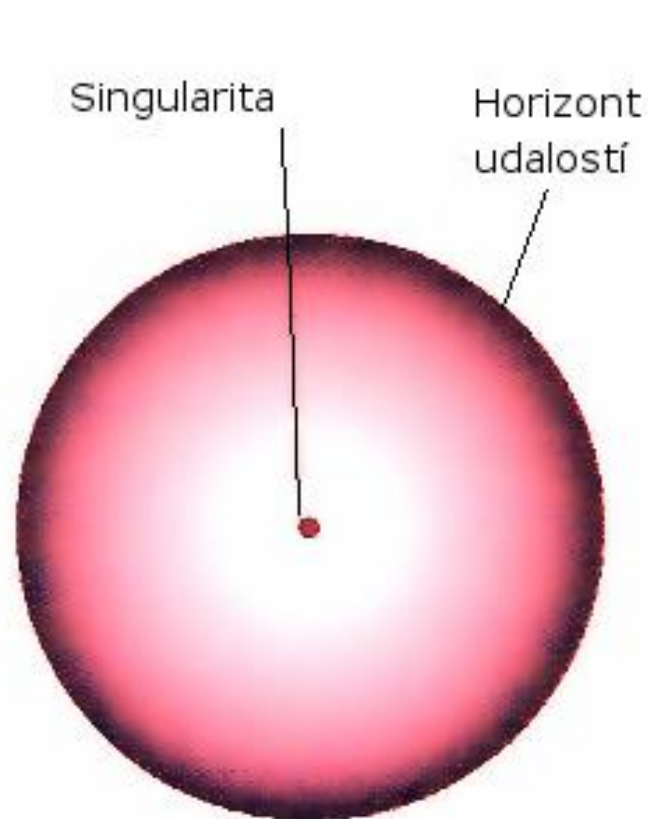
**Čierna diera, čo to
vlastne je?**

Čierna diera

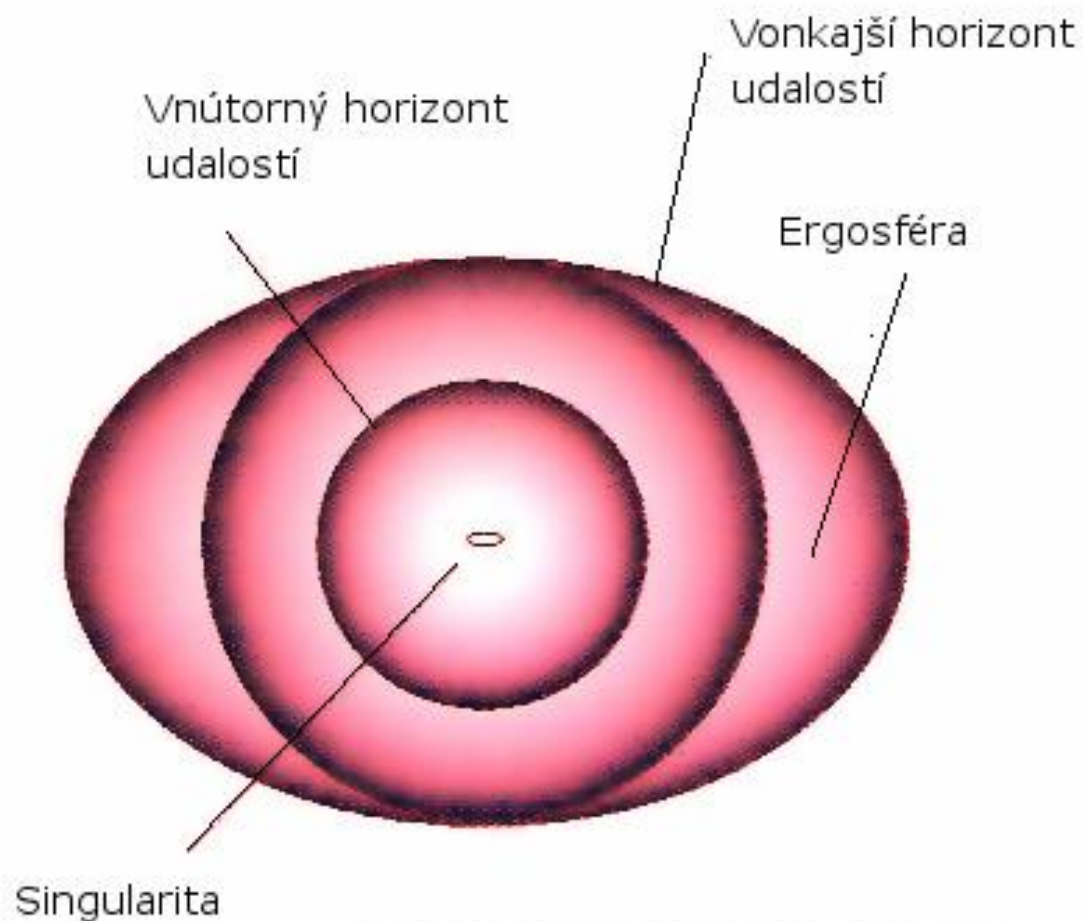
- Bod s nekonečnou hustotou = singularita
- Hranica, odkiaľ ani svetlo neunikne = horizont udalostí
- Schwarzschildov polomer čiernej diery:

$$R_s = \frac{2 G M}{c^2}$$

Čierna diera



STATICKÁ ČIERNA DIERA



ROTUJÚCA ČIERNA DIERA

Čierna diera

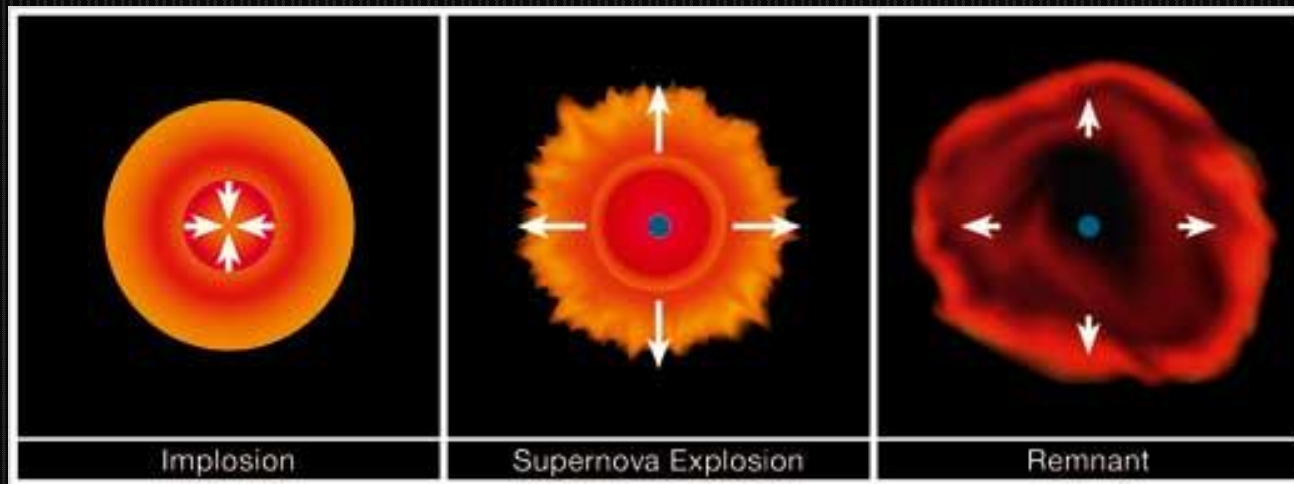
čierna diera	hmotnosť	rozmer
superhmotná	10 000 až 10 000 000 000 M_{slnko}	0,001 až 400 AU
stredne-hmotná	cca 1 000 M_{slnko}	cca 1 000 R_{zem}
hviezdna	cca 10 M_{slnko}	cca 30 km
mikro	do M_{mesiac}	do 0,1 mm

Vznik čiernej diery

- Záverečné štádium života veľmi hmotnej hviezdy = supernova
- Gravitácia bude taká veľká, že vnútorný tlak hviezdy jej už nedokáže vzdorovať
- Mohutná explózia veľmi hmotných hviezd

Vznik čiernej diery

- Svietivosť dosahuje až $\sim 10^8 L_{\text{slnko}}$ (100 000 000 L_{slnko}), čo je porovnateľné so svietivosťou celej galaxie



**Kde všade sa čierne diery
skrývajú?**

Mliečna cesta

Mliečna cesta, naša rodná zem

Galaxia = priečka + disk + ramená + halo

CENTRAL BLACK HOLE

MOLECULAR CLOUDS

GALACTIC BULGE

SPIRAL ARMS

STAR-FORMING
REGIONS

THE SUN

GALACTIC PORTRAIT

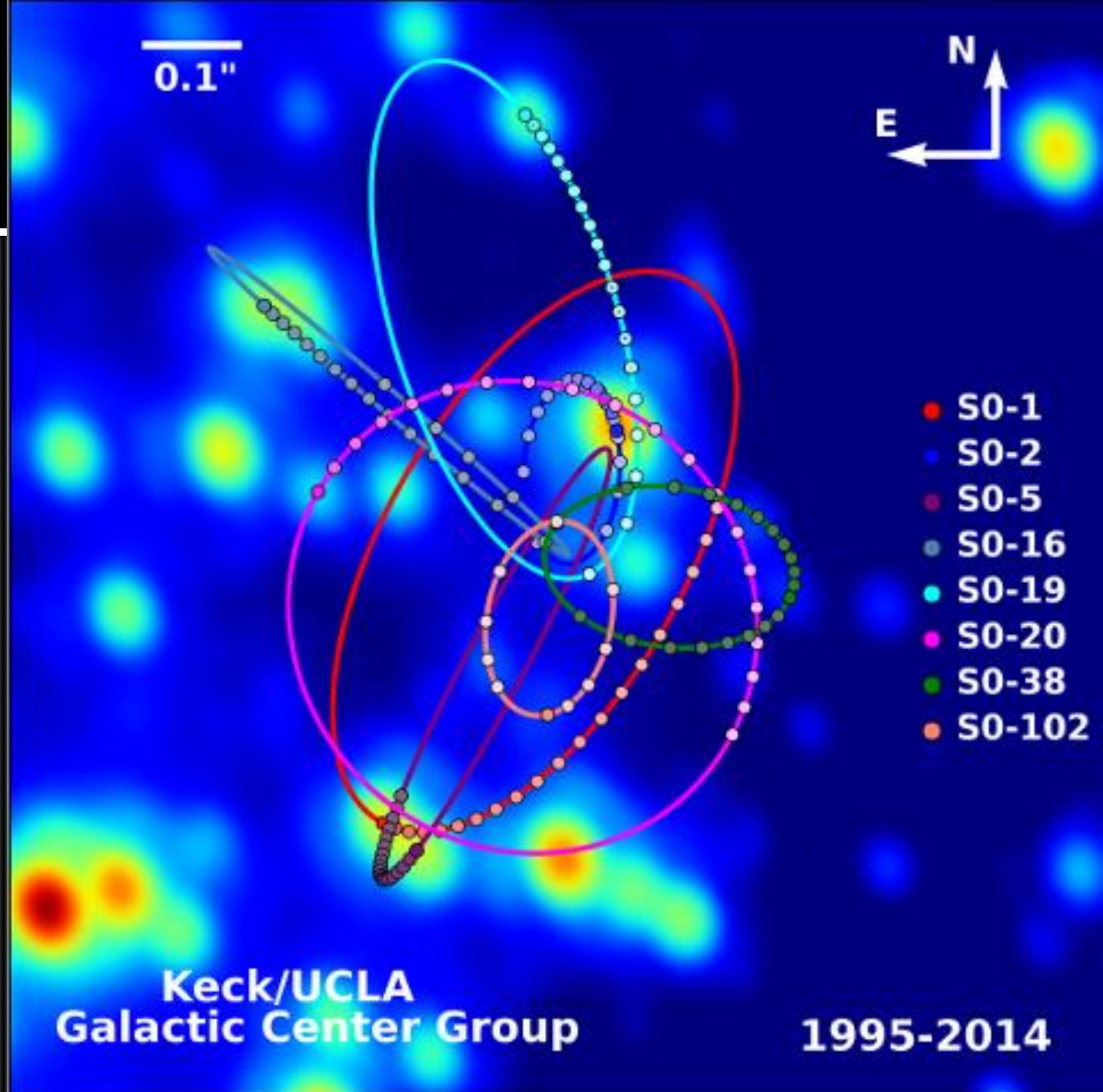
This artist's impression, based on the latest data from telescopes and simulations, shows the Milky Way viewed from outside the Galaxy.

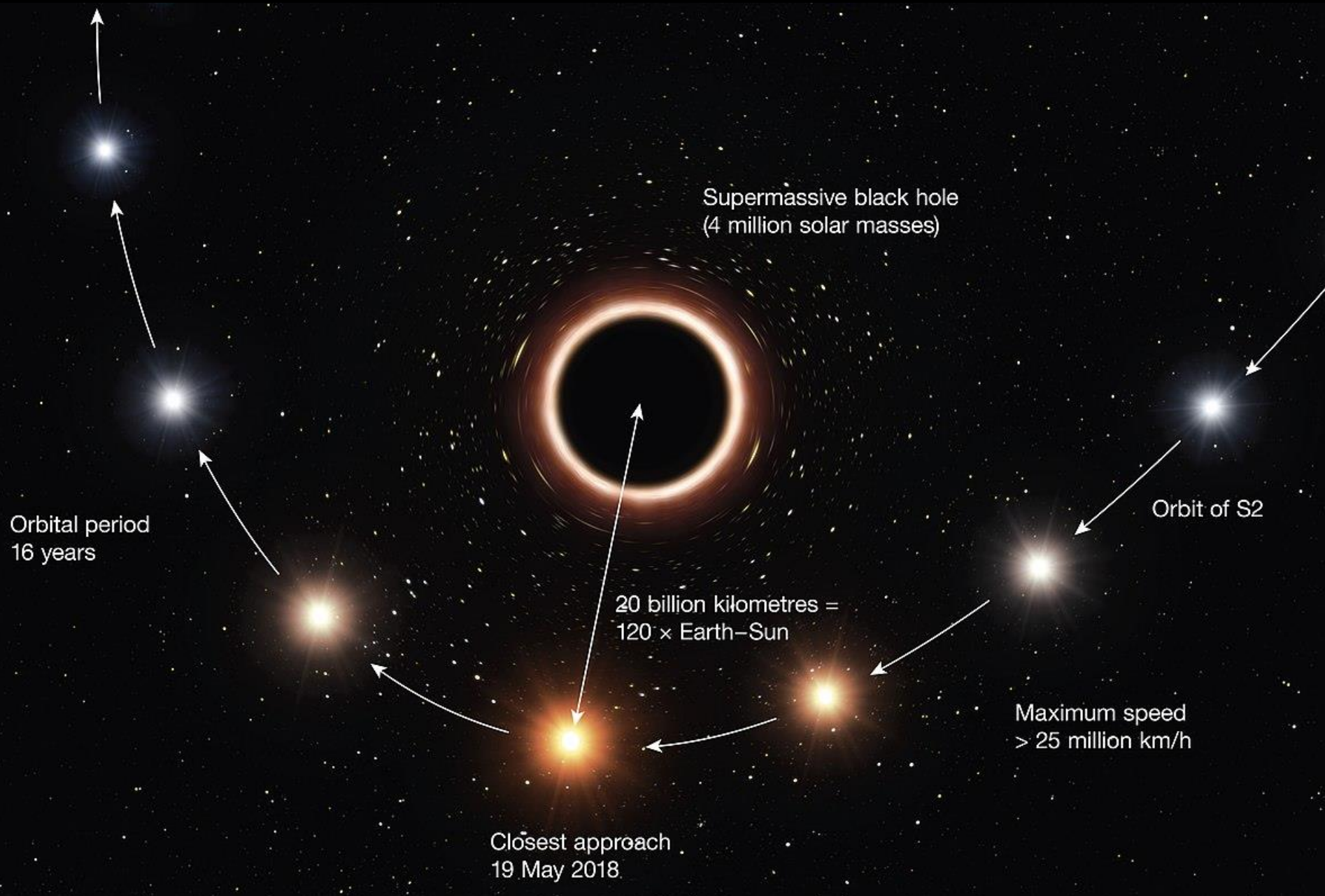
Mliečna cesta – základné info

- Špirálová galaxia s priečkou v centrálnej oblasti
- Galaxia kategórie SBc
- Polomer disku 50 000 svetelných rokov
- Hrúbka disku je približne 1 000 svetelných rokov
- Okolo 400 miliárd hviezd
- Hmotnosť 1 bilión hmotností Slnka

Centrálna oblasť – čierna diera

- Centrum je zároveň silným rádiovým zdrojom Sagittarius A*
- Superhmotná čierna diera – 4,5 milióna hmotností Slnka (z pohybov hviezd pri strede)





Supermassive black hole
(4 million solar masses)

Orbital period
16 years

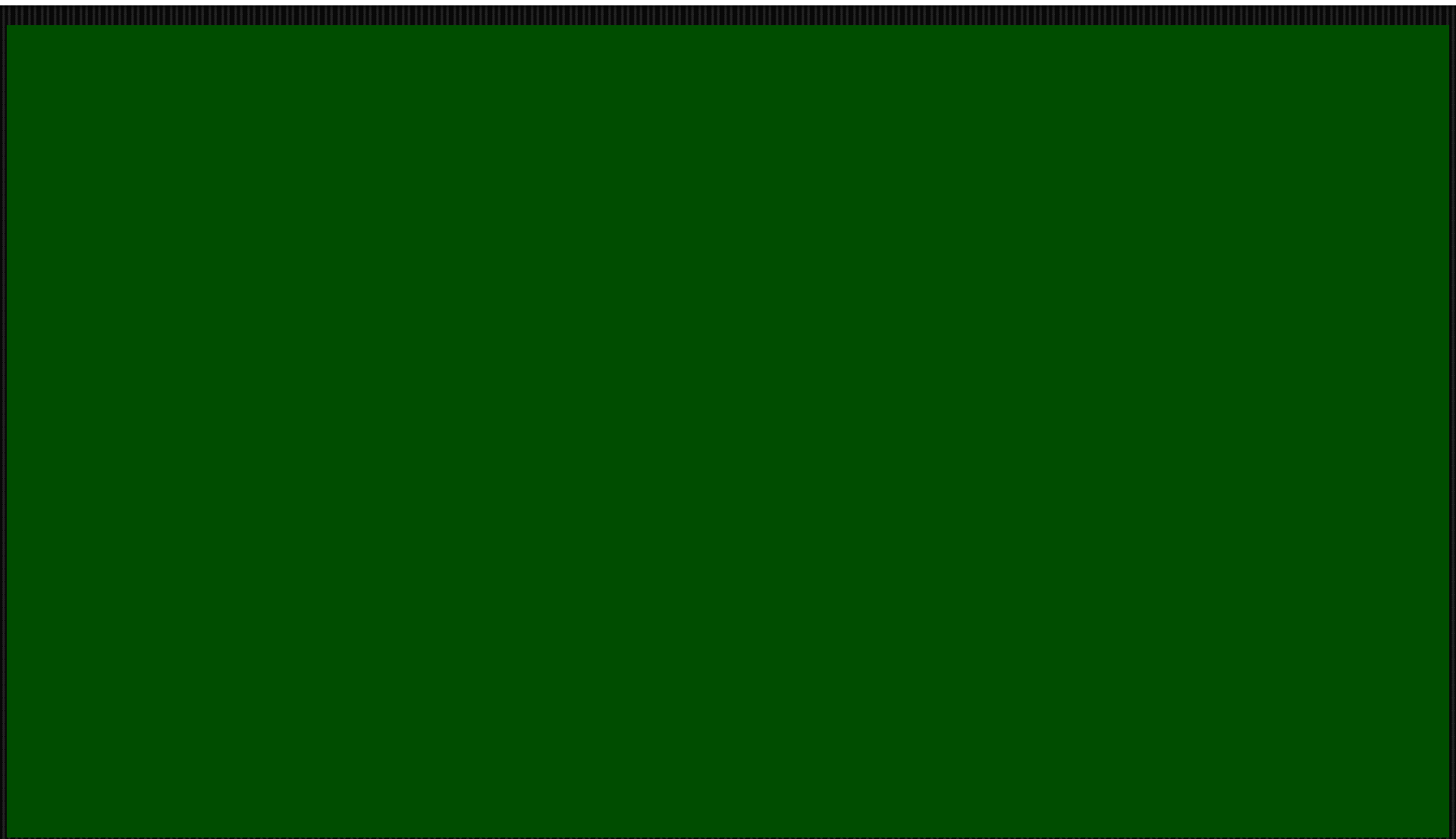
20 billion kilometres =
 $120 \times \text{Earth-Sun}$

Orbit of S2

Maximum speed
> 25 million km/h

Closest approach
19 May 2018

ESO – 26 rokov pozorovaní



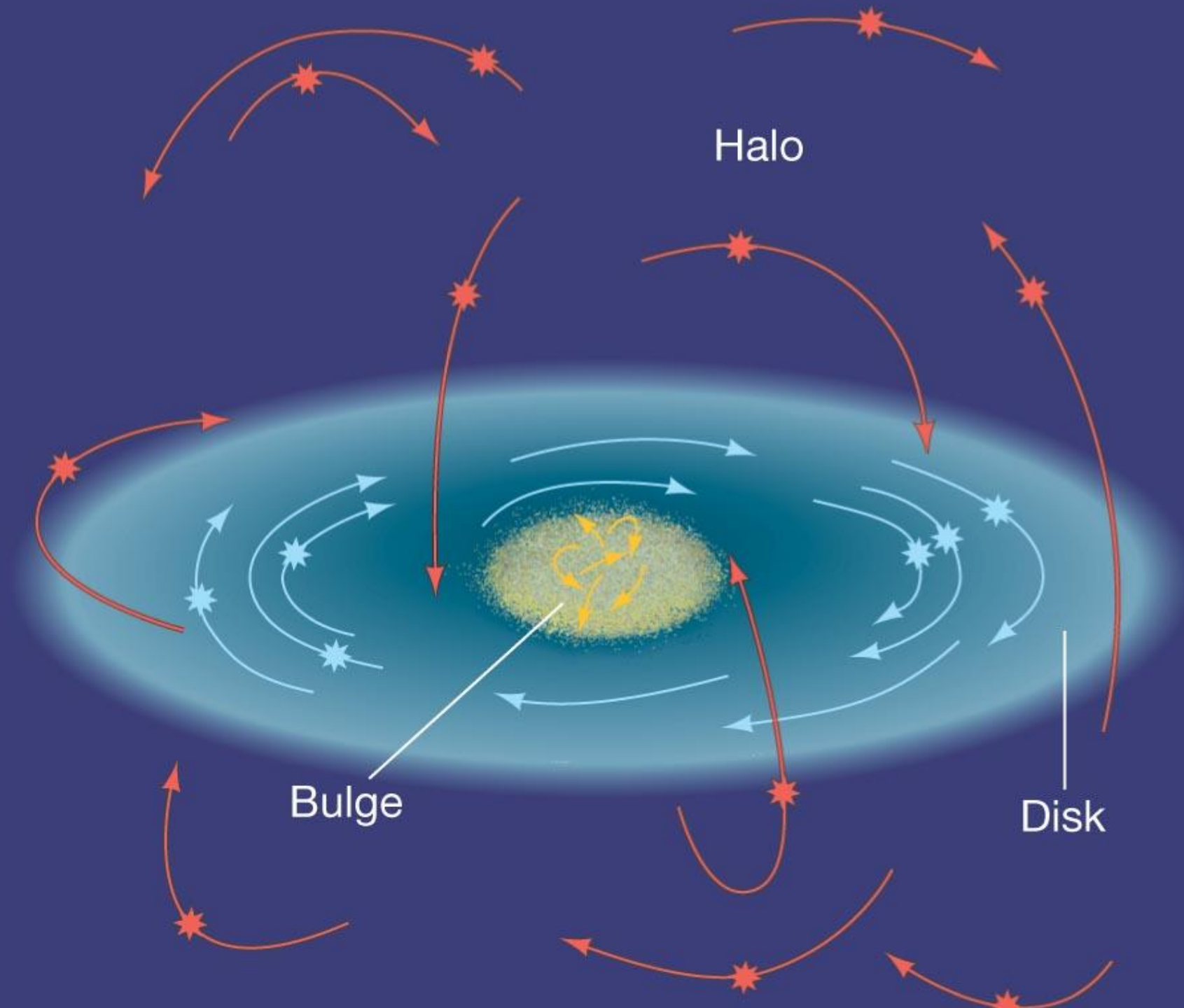
Guľové hviezdokopy

Guľové hviezdokopy

- Sférické zoskupenia hviezd nachádzajúce sa v galaktickom hale (mimo disku)
- V našej Galaxii je ich približne 150
- Polomery okolo 50 ly a obsahujú státisíce hviezd
- Najstaršie hviezdy pochádzajúce z počiatočných fáz formovania vesmíru

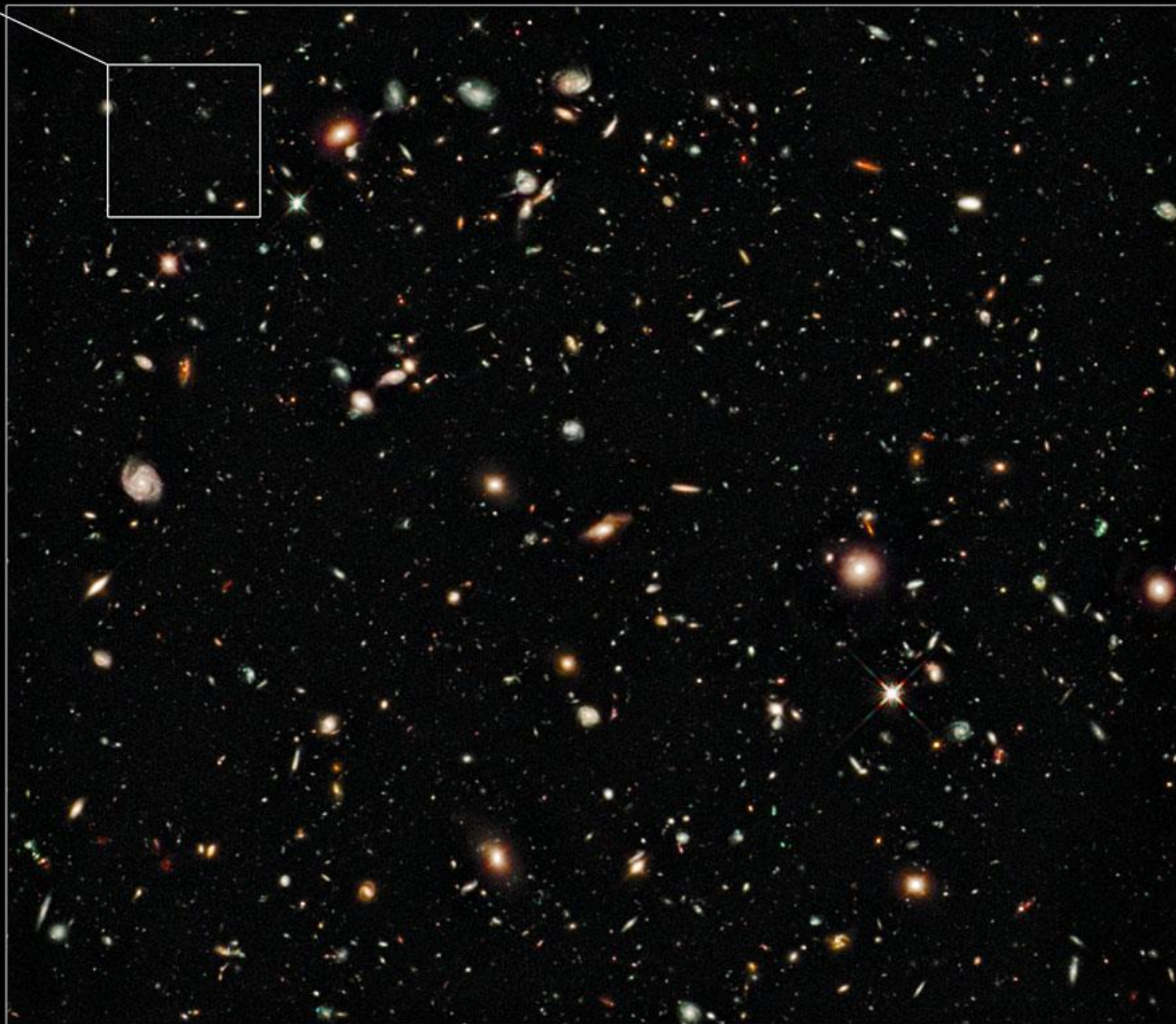
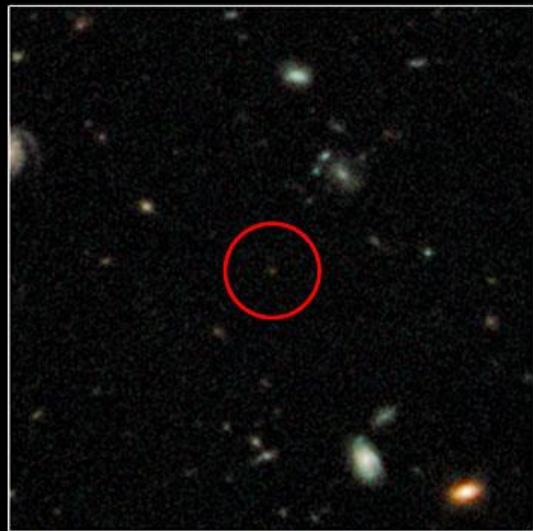
M13

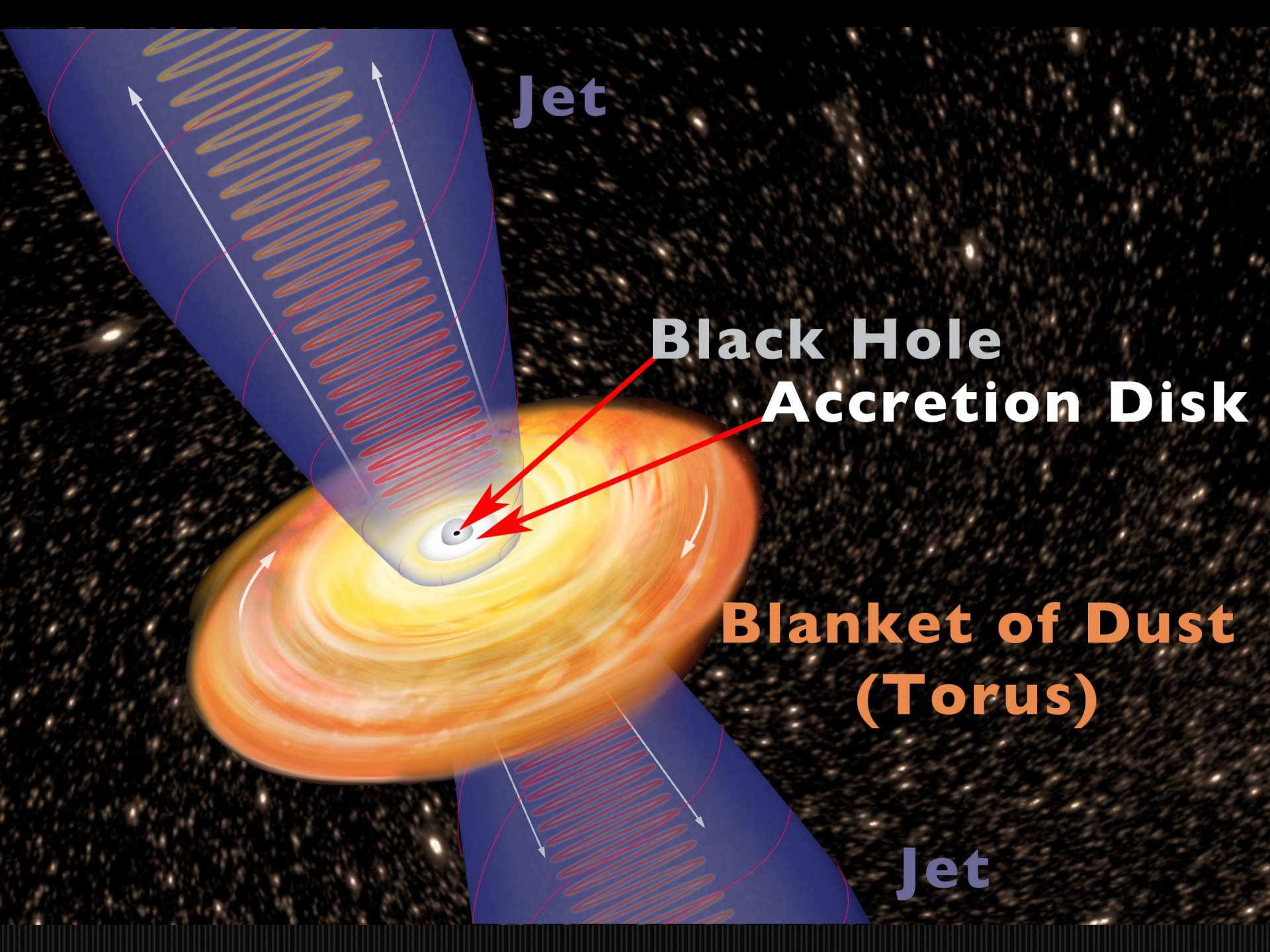




Aktívne čierne diery

Kvazar





Jet

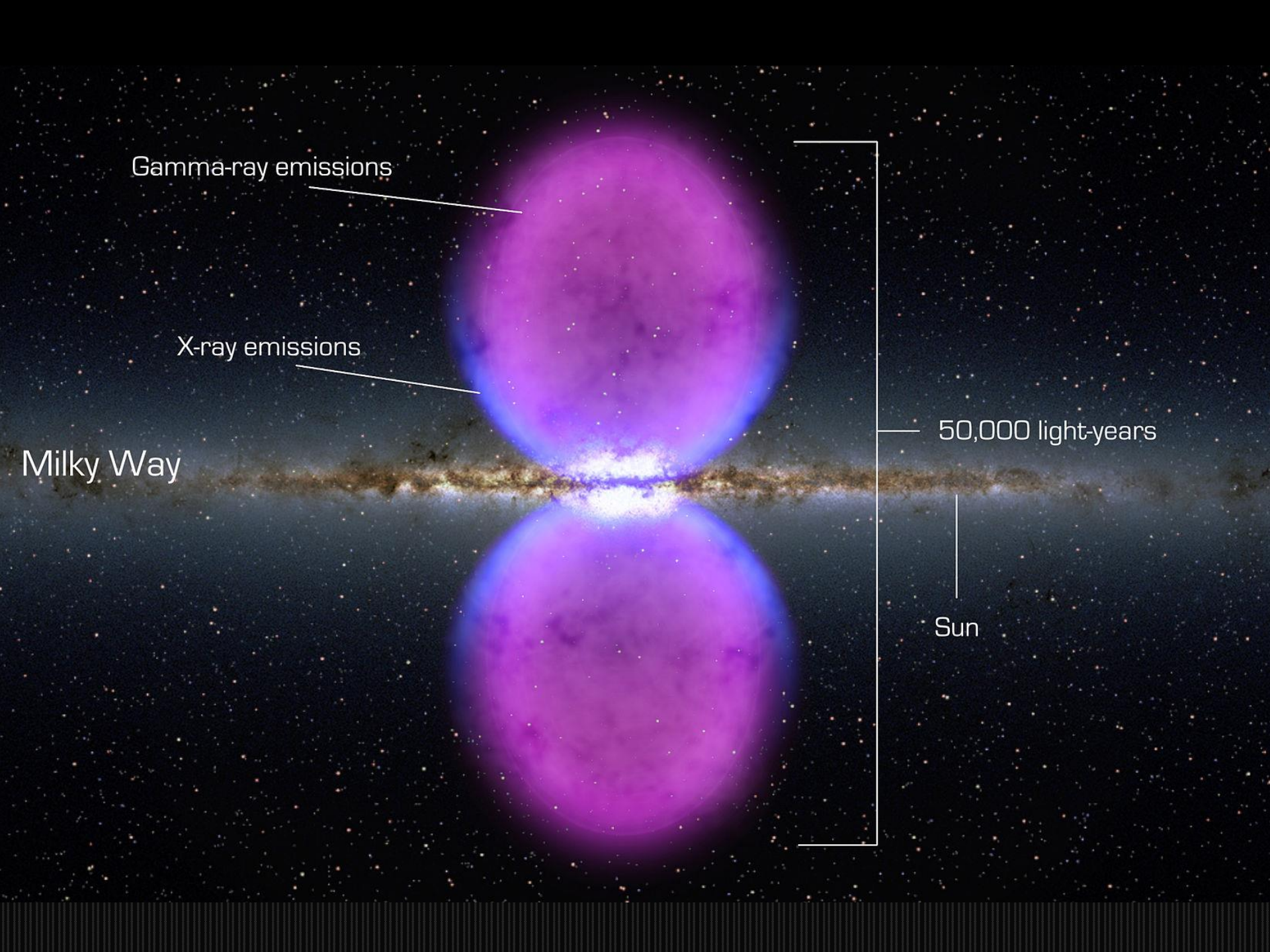
**Black Hole
Accretion Disk**

**Blanket of Dust
(Torus)**

Jet

Fermiho bubliny

- Priemer až 25 000 ly
- Dôsledok aktívneho nabaľovania hmoty centrálnou čiernou dierou
- Vznikli pred 6 – 9 mil. rokov
- Teploty od 10 000 K do 10 mil. K, ktorý žiari v gamma spektre



Gamma-ray emissions

X-ray emissions

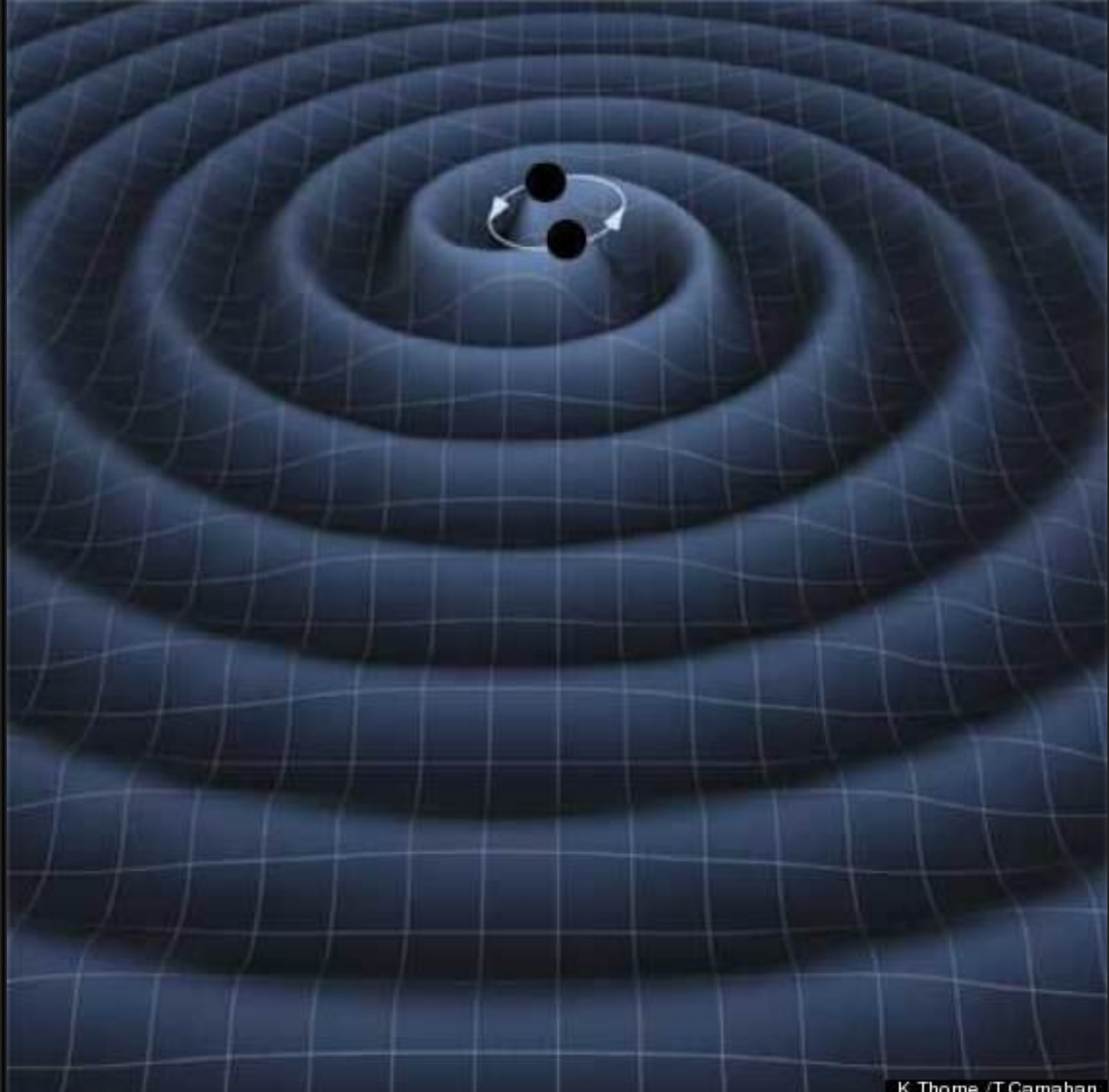
Milky Way

50,000 light-years

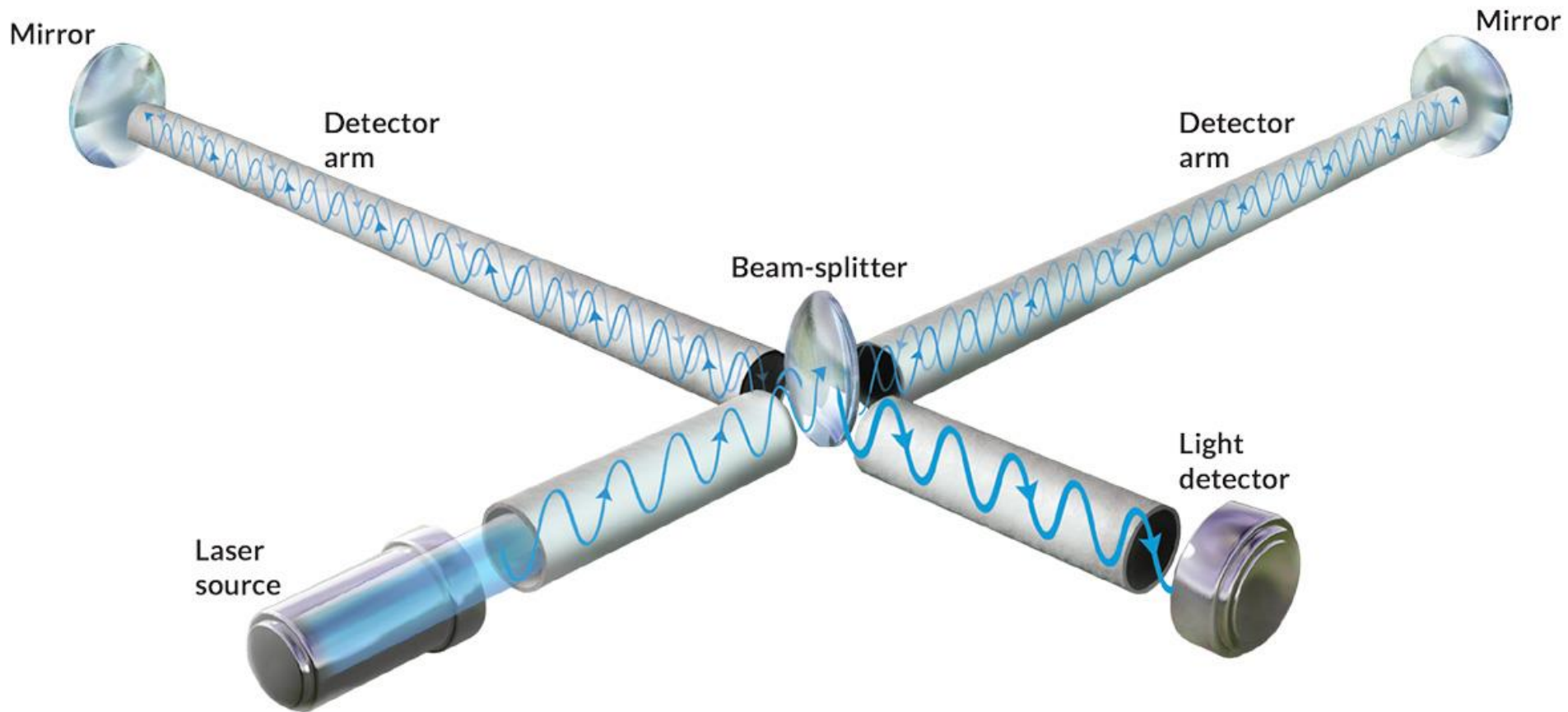
Sun



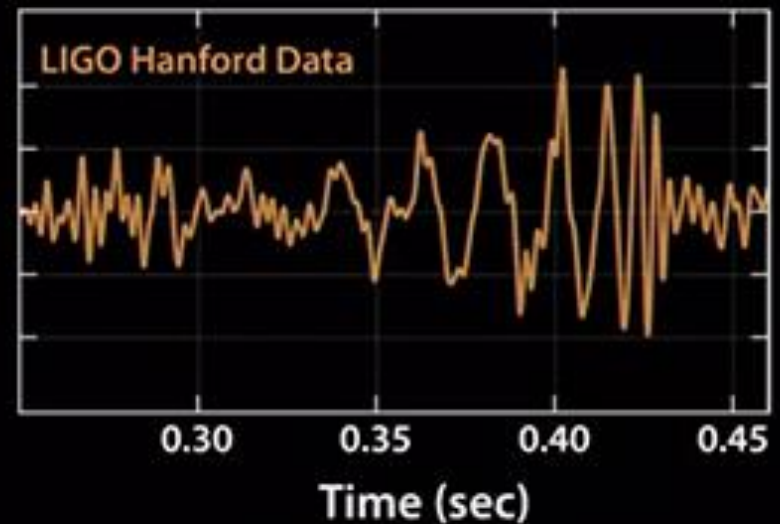
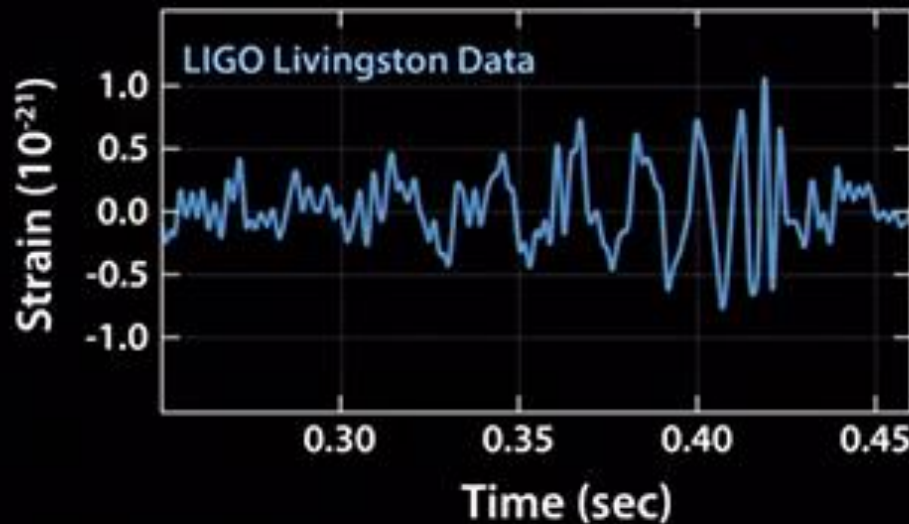
Gravitačné vlny



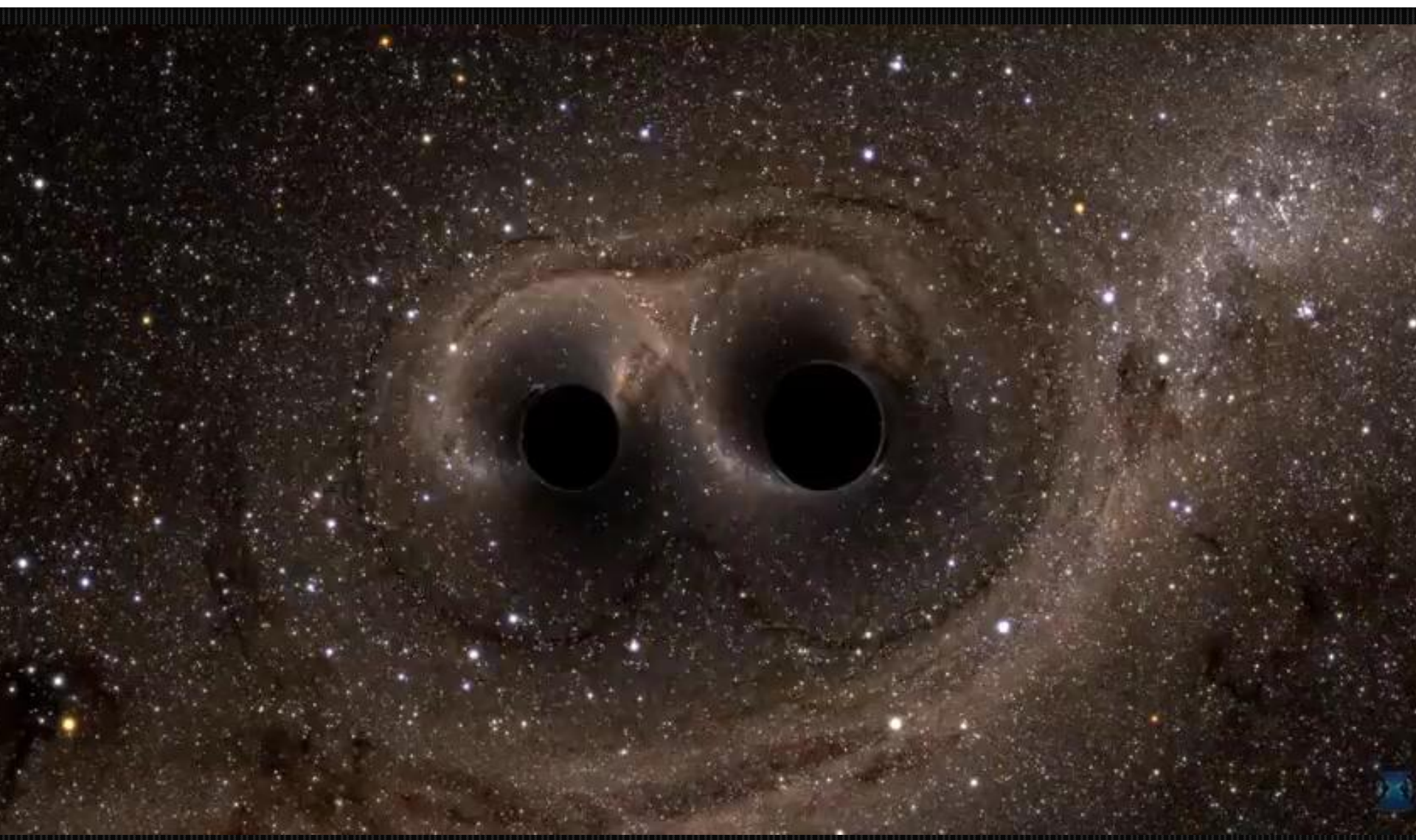
Gravitačné vlny – LIGO 2015



Gravitačné vlny – LIGO 2015

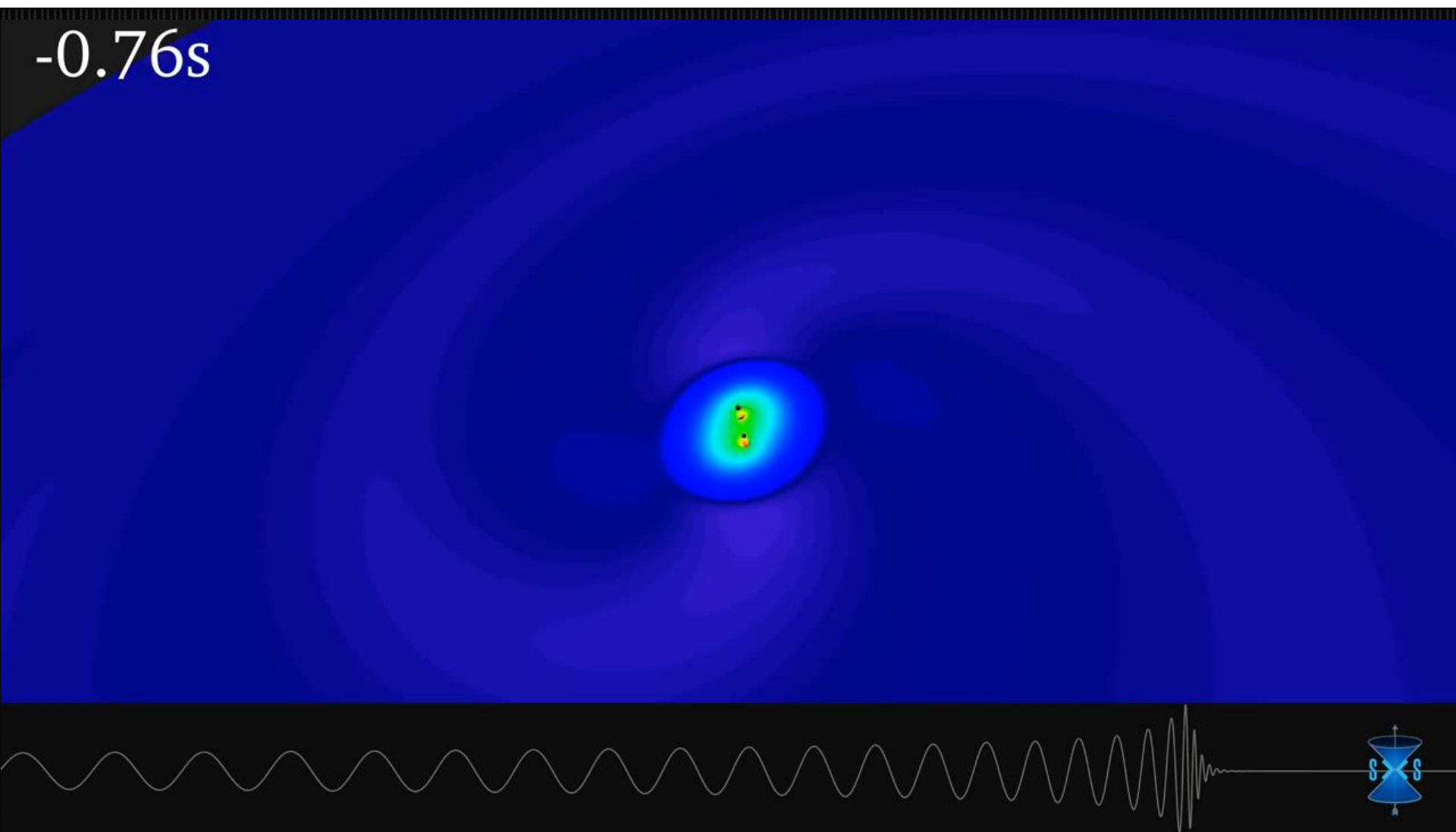


Gravitačné vlny



Gravitačné vlny

-0.76s

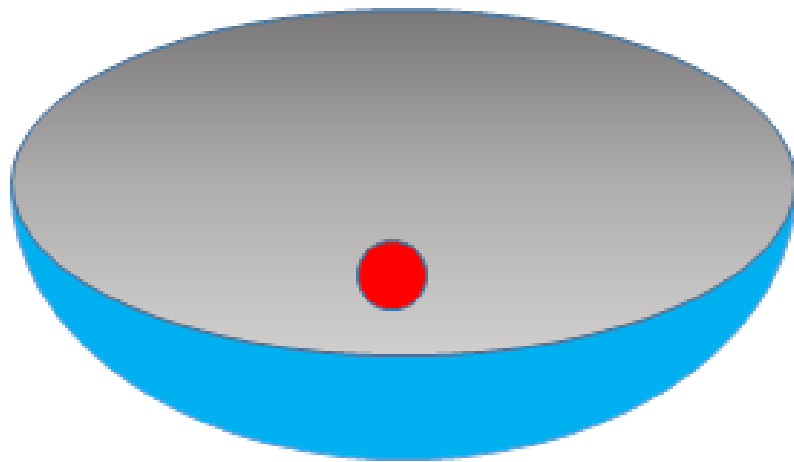


Gravitačné vlny – LIGO 2015

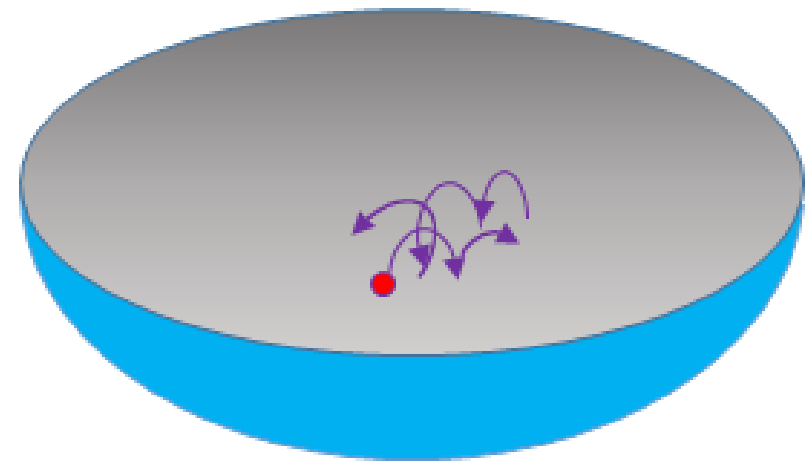


A sú čierne diery nesmrteľné?

Relativita vs. kvantovka



Naïve Expectation
(ordinary experience)



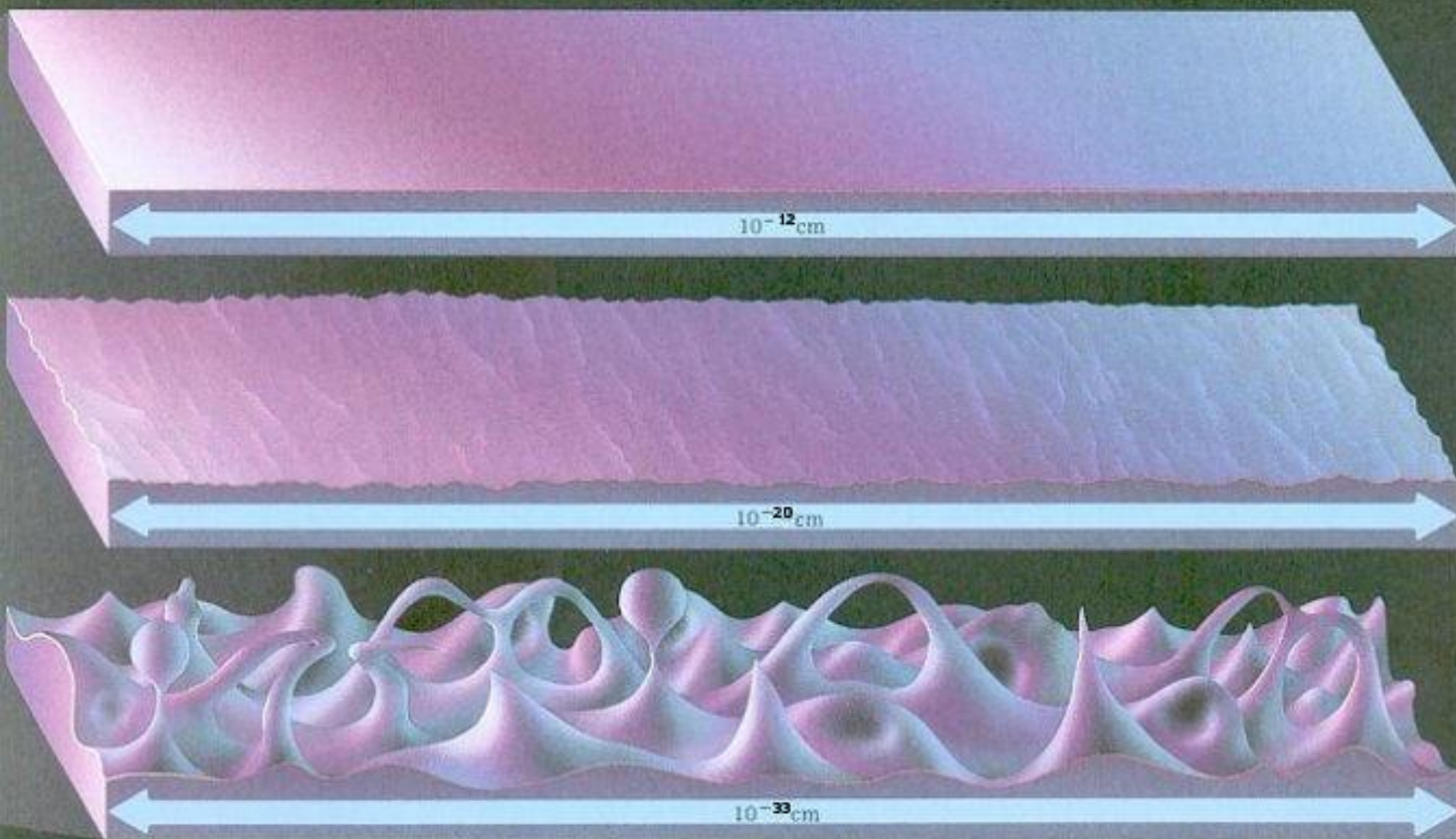
Quantum Fluctuation
(imperfect representation)

M. Strassler 2013

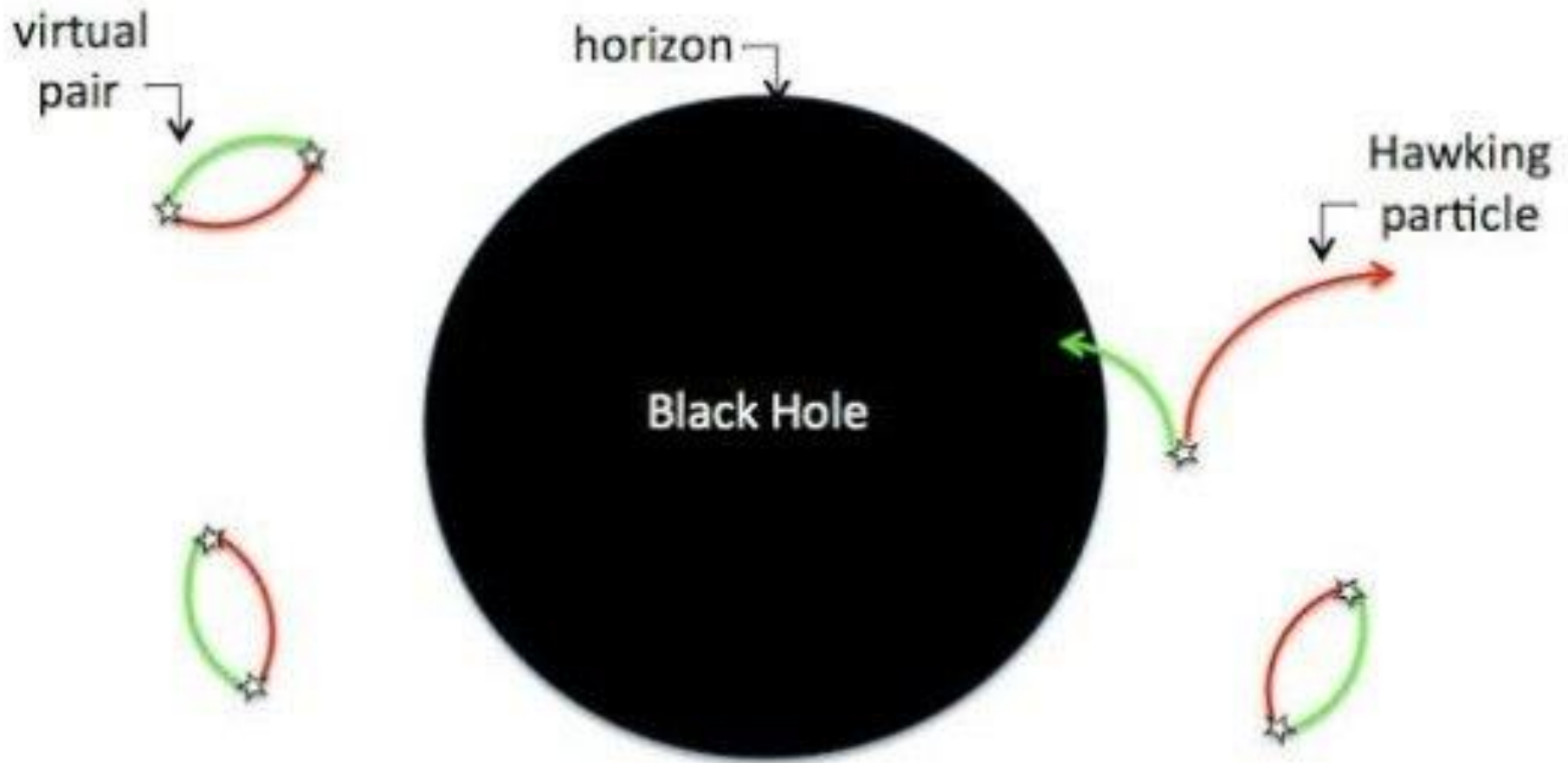
Relativita vs. kvantovka

- Máme hmotu aj v dokonale plochom priestore
- Ale táto hmota musí priestoročas zakrivit'
- Teda by sme mali zakrivený priestoročas bez existencie skutočnej hmoty

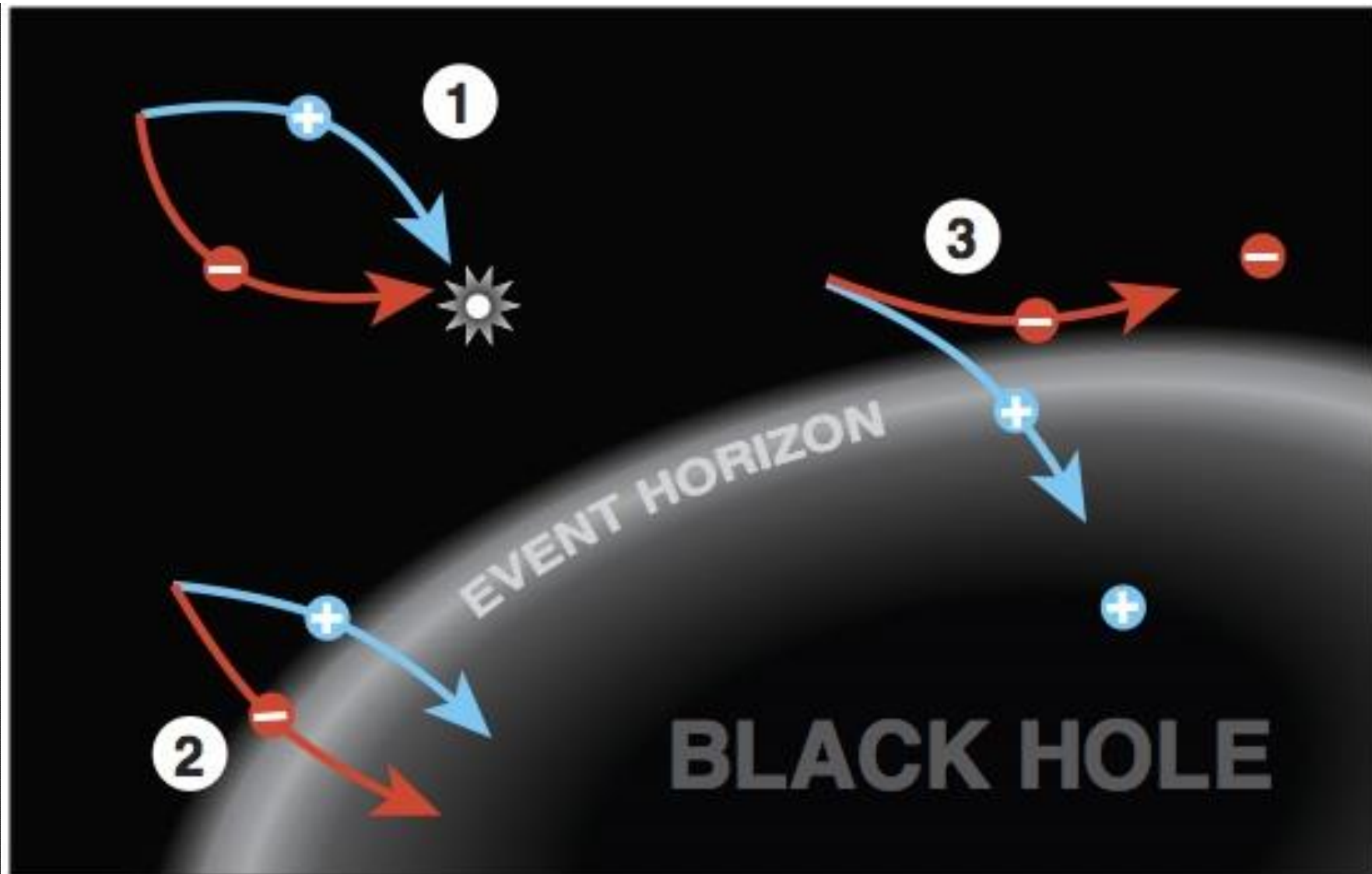
Kvantová pena



Hawkingovo žiarenie



Hawkingovo žiarenie



Hawkingovo žiarenie

- Kvantové vyparovanie je veľmi pomalý proces
- Za googol rokov = 10^{100} rokov sa všetky čierne diery vo vesmíre vyparia
- Zostane len prázdny a chladný vesmír = teória veľkého chladu

Záver

- Všeobecná teória relativity
- Čierne diery vo vesmíre
- Gravitačné vlny
- Kvantové vyparovanie

Ďakujem za pozornosť

Podporené: ERASMUS+ IAC, AÚ SAV, UK Bratislava, MU Brno, AÚ AVČR - 2017-1-CZ01-
KA203-035562