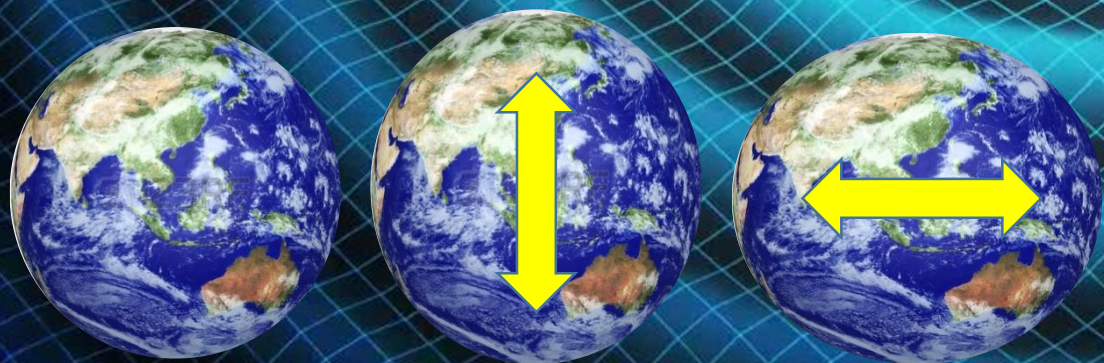


# Gravitační vlny hýbou světem



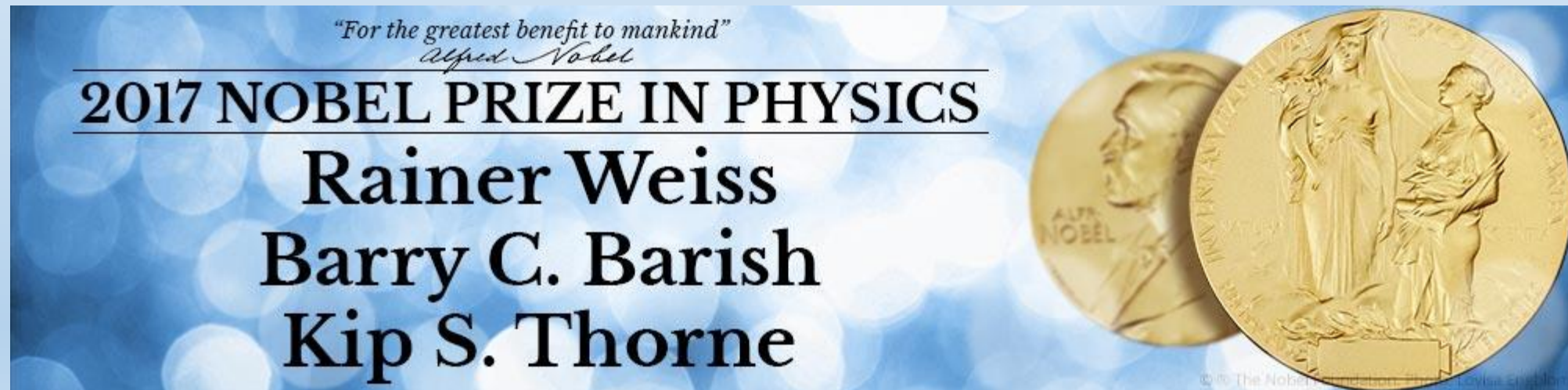
**Jiří Svoboda**

*Astronomický ústav AV ČR*

*Týden vědy a techniky, 11.11.2017*

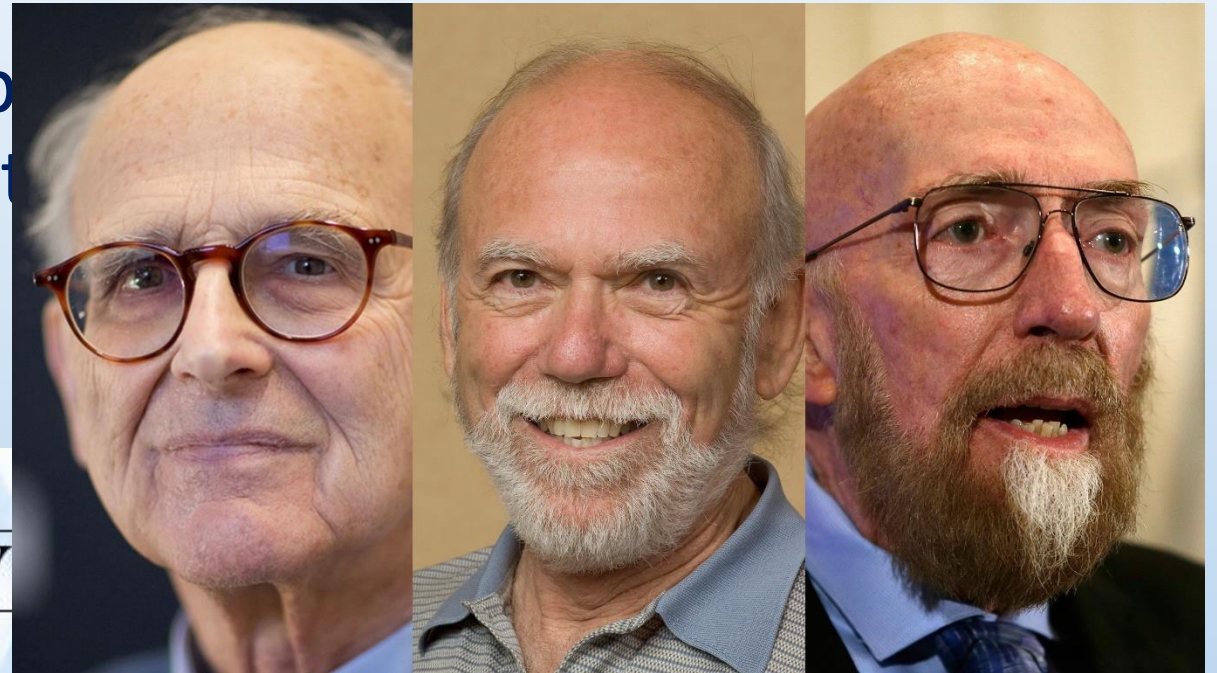
# Nobelova cena za fyziku 2017

- za rozhodující příspěvek k vybudování detektoru LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) a pozorování gravitačních vln



# Nobelova cena za fyziku 2017

- za rozhodující příspěvek k vybudování LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) a pozorování gravitačních vln



*"For the greatest benefit to mankind"*  
*Alfred Nobel*

**2017 NOBEL PRIZE IN PHYSICS**

**Rainer Weiss  
Barry C. Barish  
Kip S. Thorne**



© The Nobel Prize in Physics 2017

# Teorie relativity

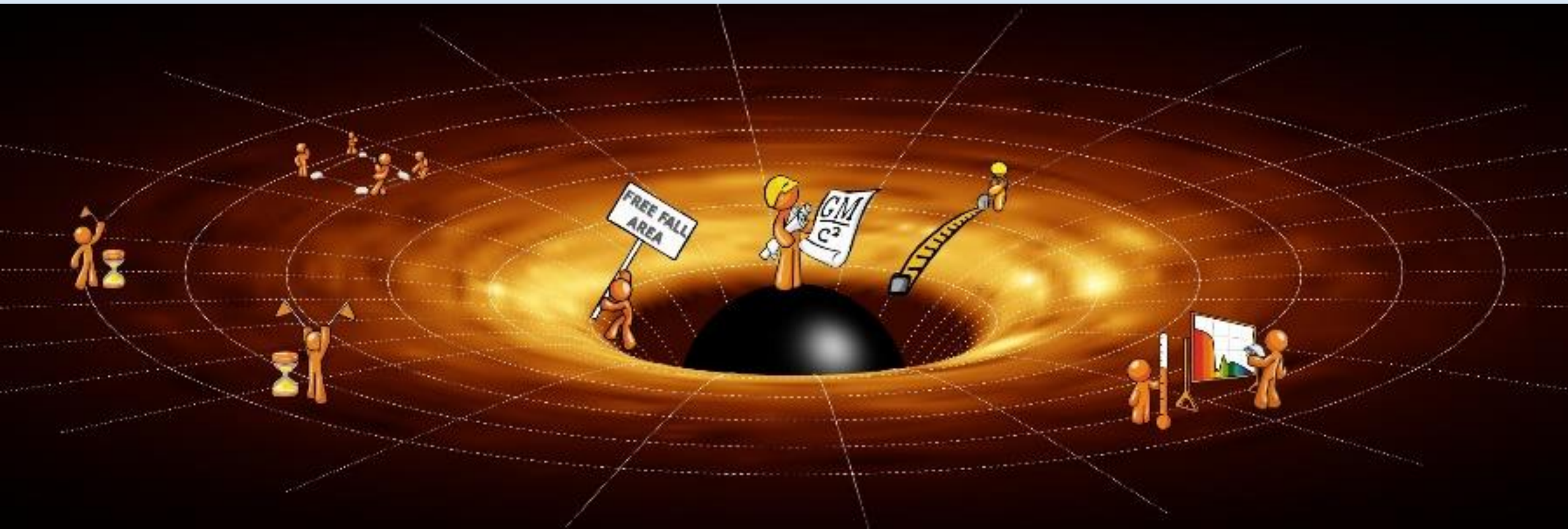
- speciální (1905) – rychlost světla je konečná ( $c = 299\,792\,458$  m/s)
- obecná (1915) – gravitační pole je zakřivením prostoročasu



Albert Einstein

# Černé díry

- jsou ohraničené tzv. **horizontem událostí**, zpod kterého se nedostane nic ani světlo




# Velikost černé díry

- odvíjí se od **hmotnosti**

- gravitační poloměr:  $R = \frac{(2)GM}{c^2}$





Opravdu existují  
černé díry?  
Kde je ve vesmíru  
hledat?

Mléčná dráha



~ 100 miliard hvězd

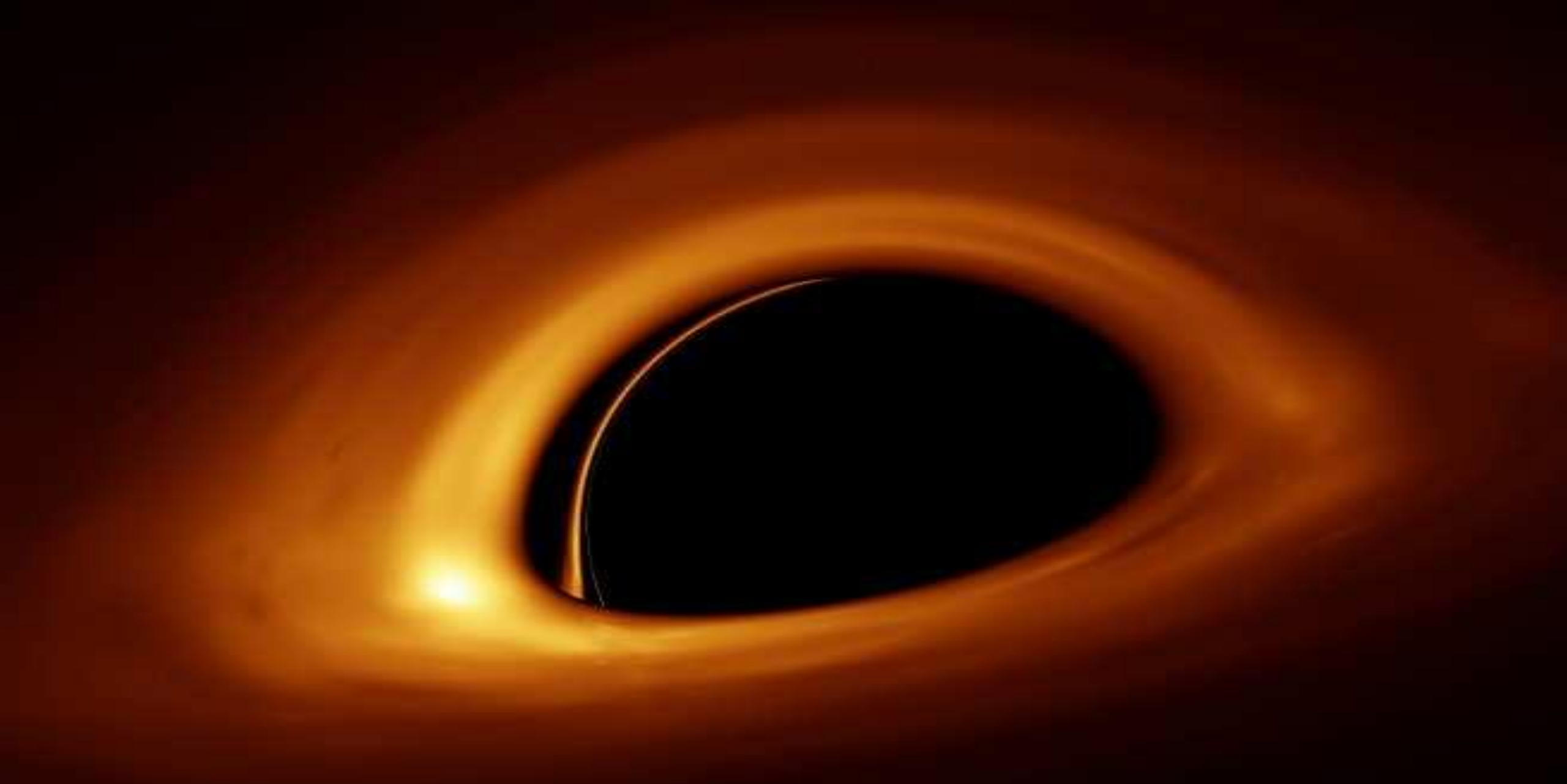


# Mléčná dráha



~ 100 miliard hvězd  
~ 100 milionů černých děr

**jak ale černé díry objevit?**



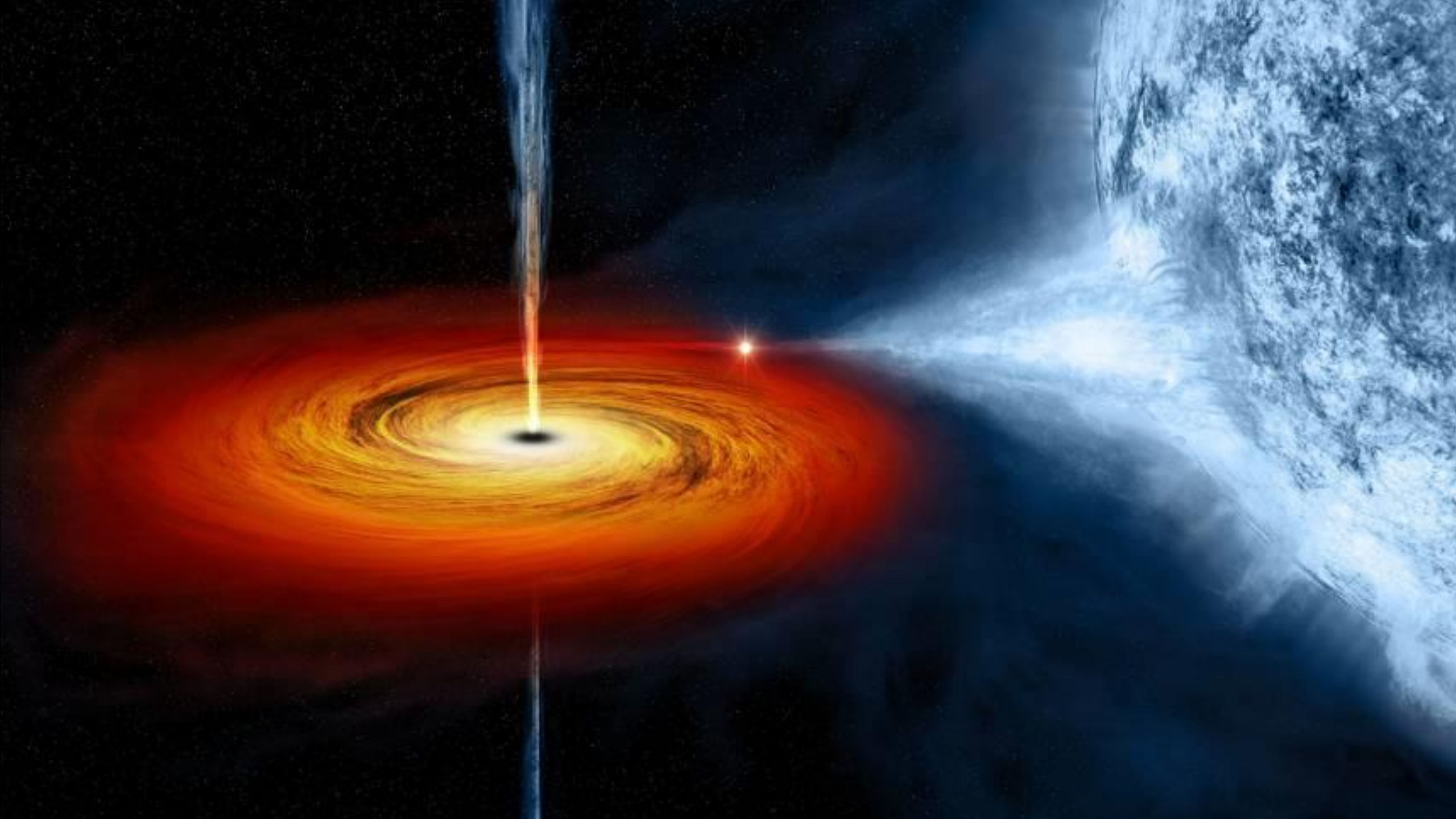
Kredit: Michal Bursa,  
Astronomický ústav AV ČR

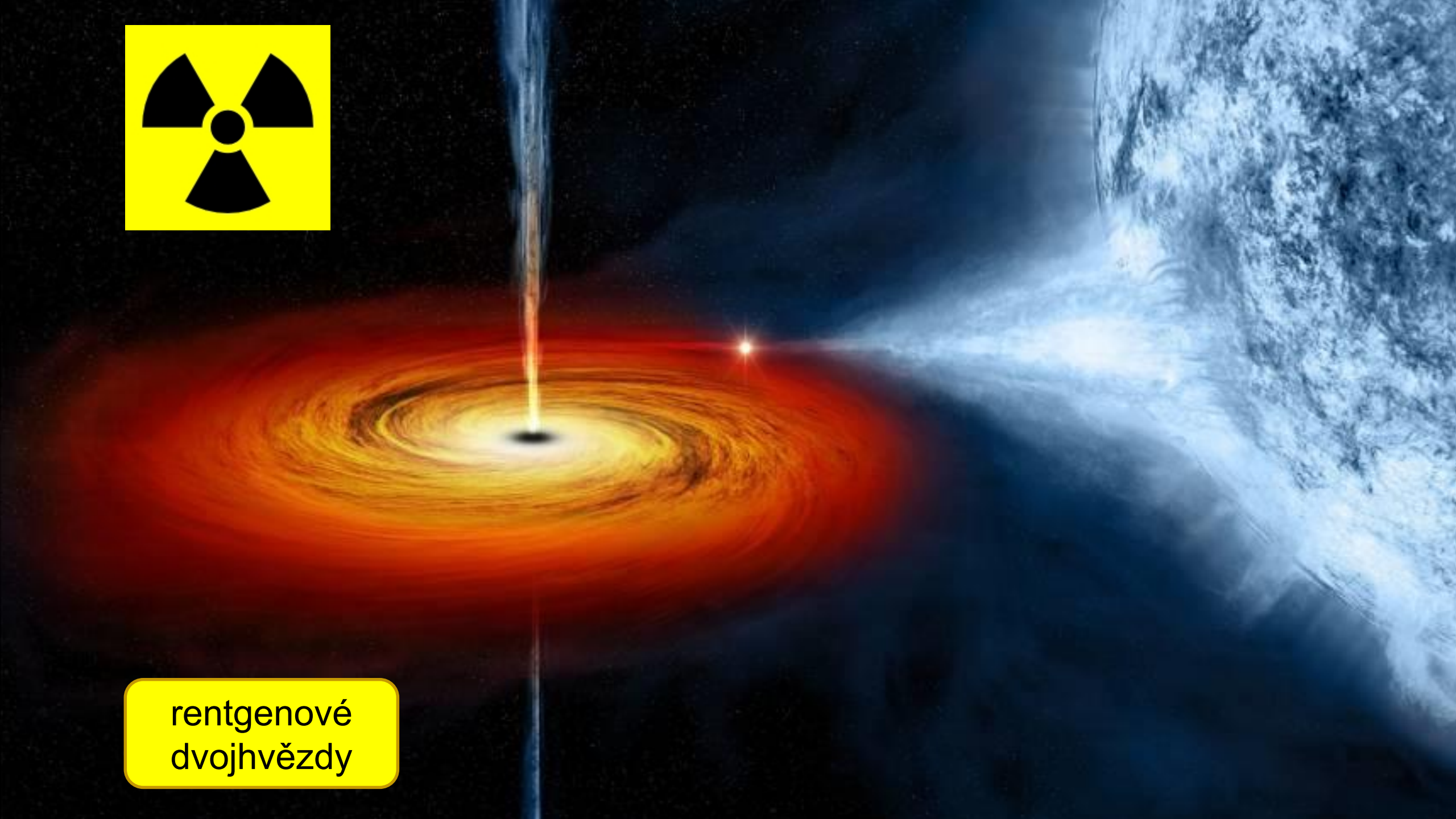
# stelární černé díry



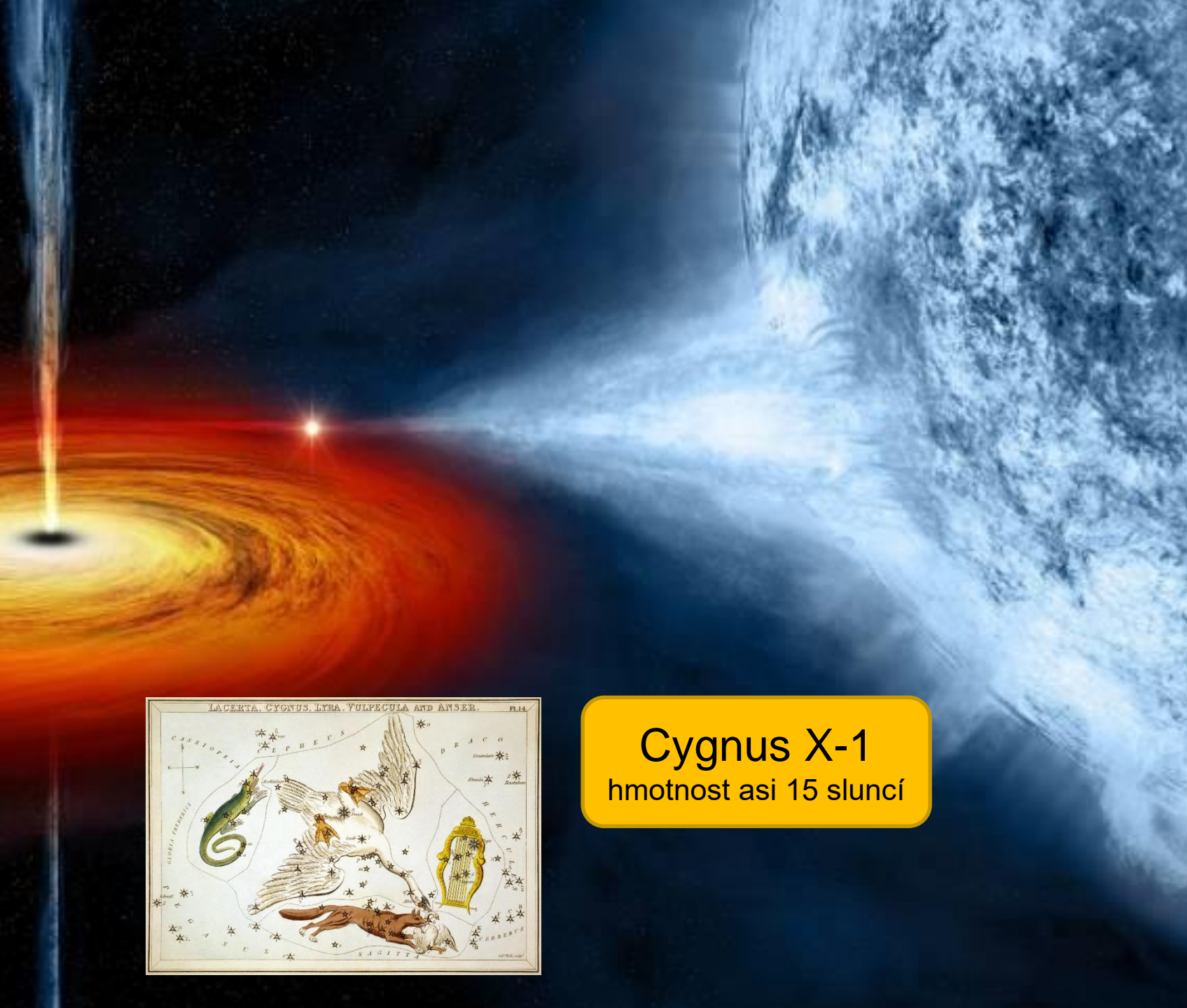
pouze několik km

nejbližší černá díra: A0620-00  
~ 1 kiloparsek ( $3 \times 10^{16}$  km) ?





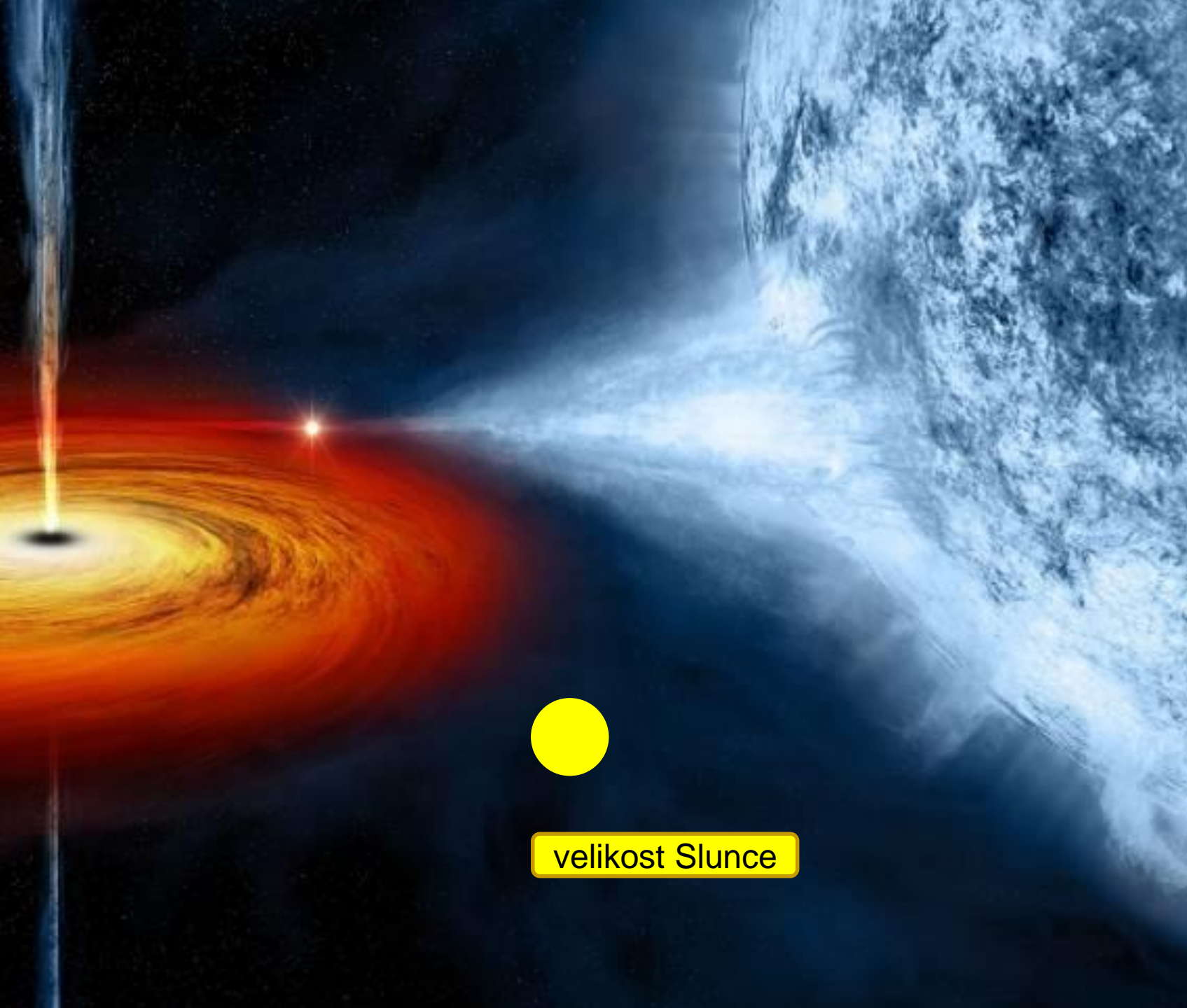
rentgenové  
dvojhvězdy



rentgenové  
dvojhvězdy



Cygnus X-1  
hmotnost asi 15 sluncí

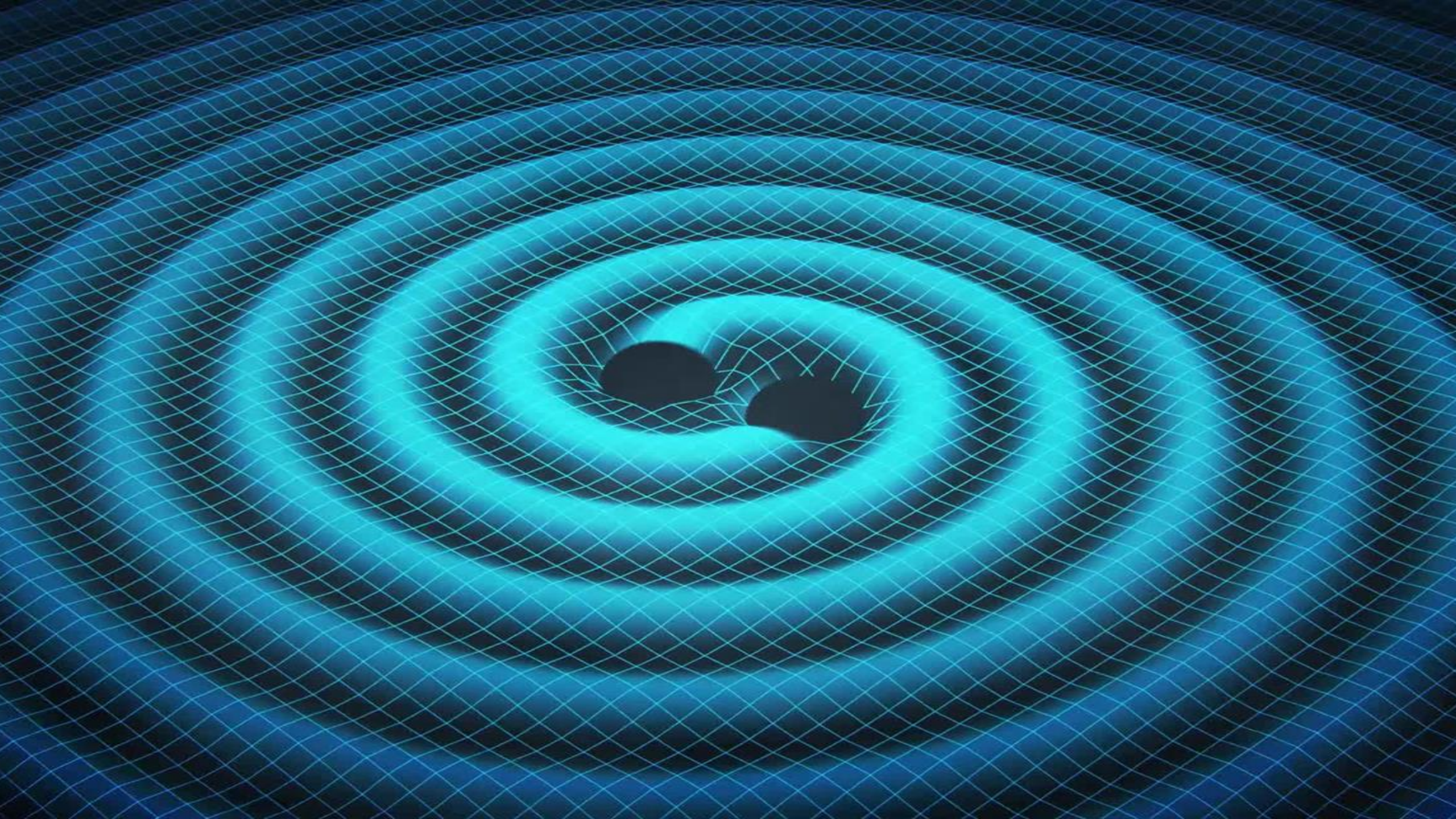


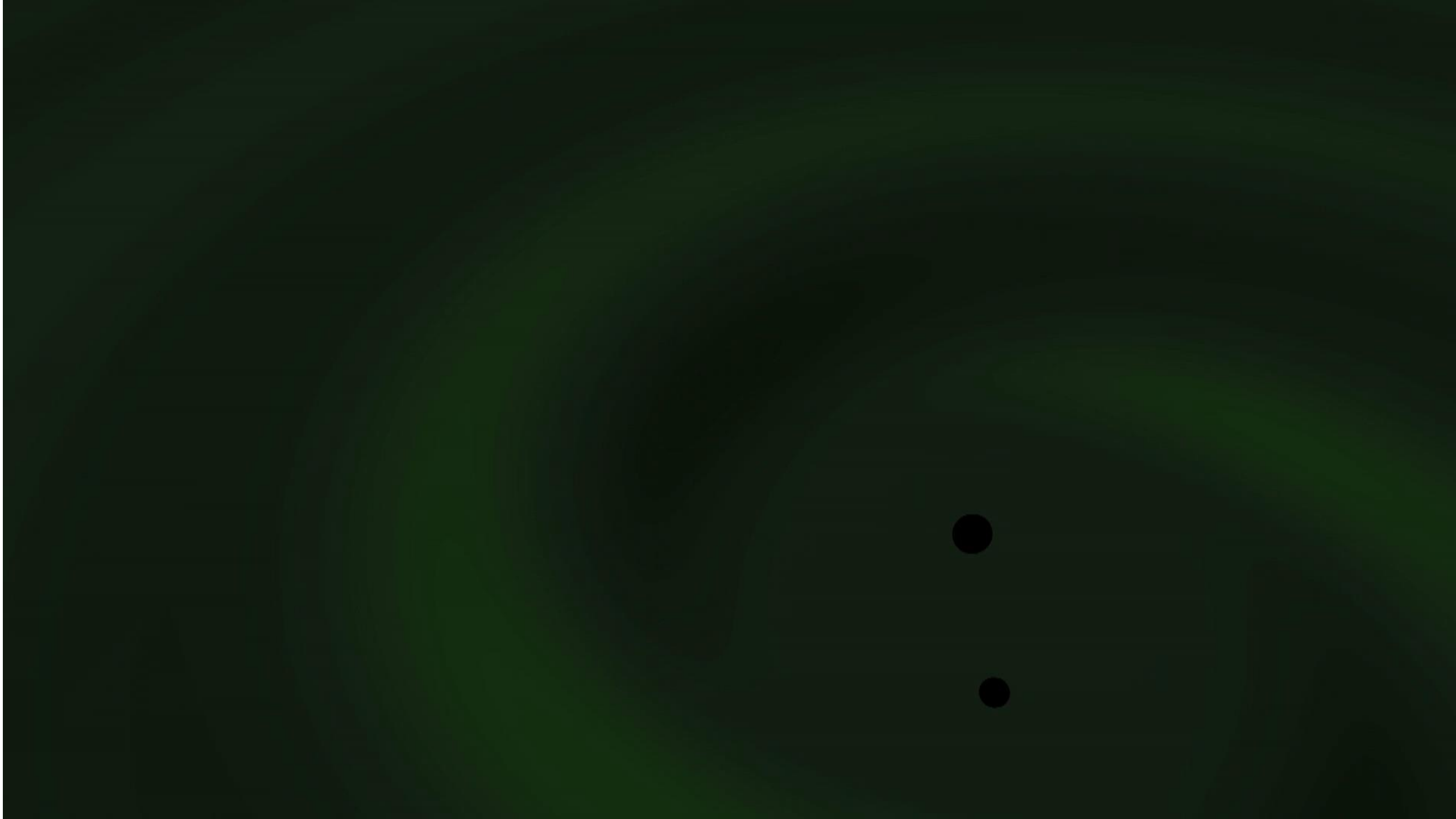
rentgenové  
dvojhvězdy

velikost Slunce



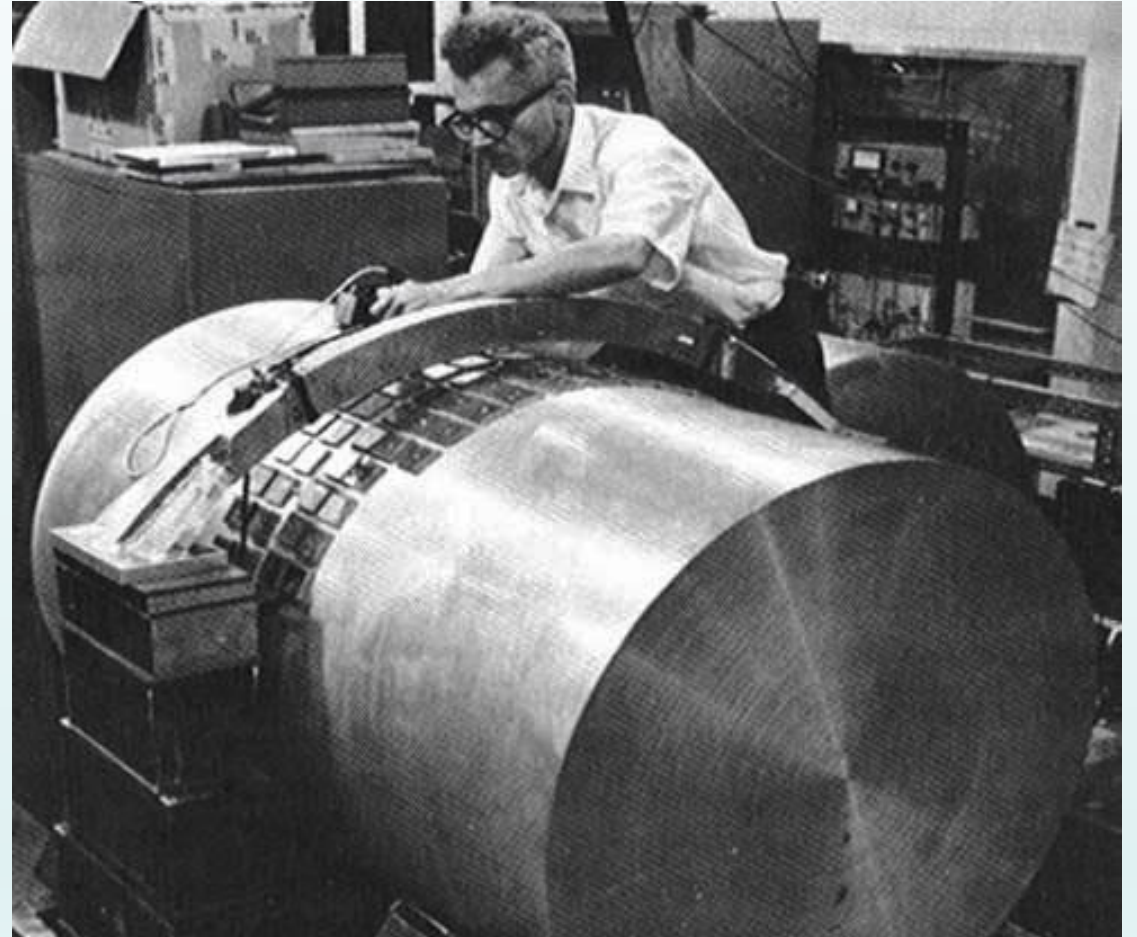
**mohou existovat dvojhvězdy, kde  
obě složky jsou černé díry?**





# Detekce gravitačních vln

- první pokusy již na konci 50.let



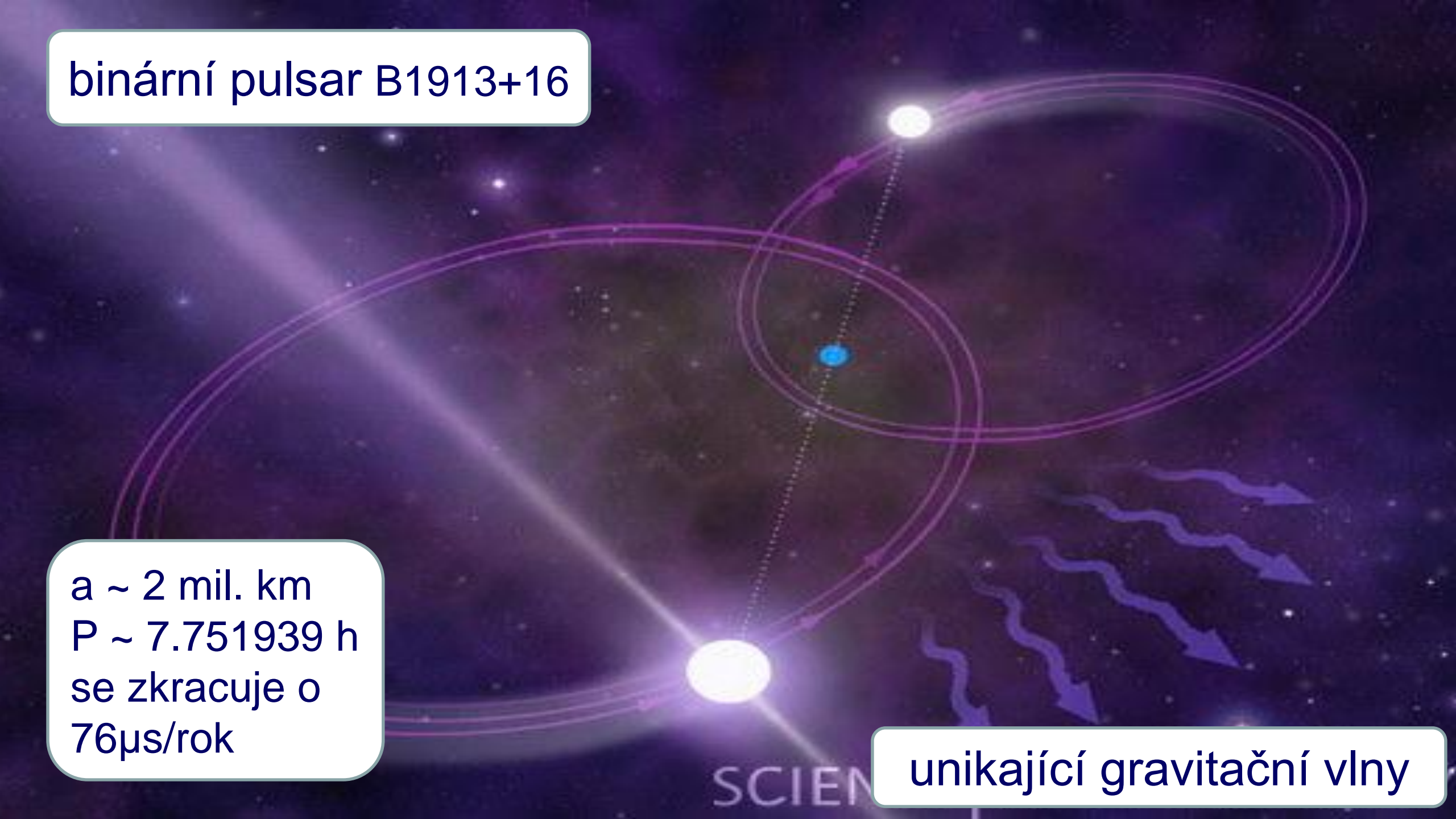
J. Weber, rezonanční detektor, 1965

# binární pulsar B1913+16

a ~ 2 mil. km  
P ~ 7.751939 h  
se zkracuje o  
76 $\mu$ s/rok

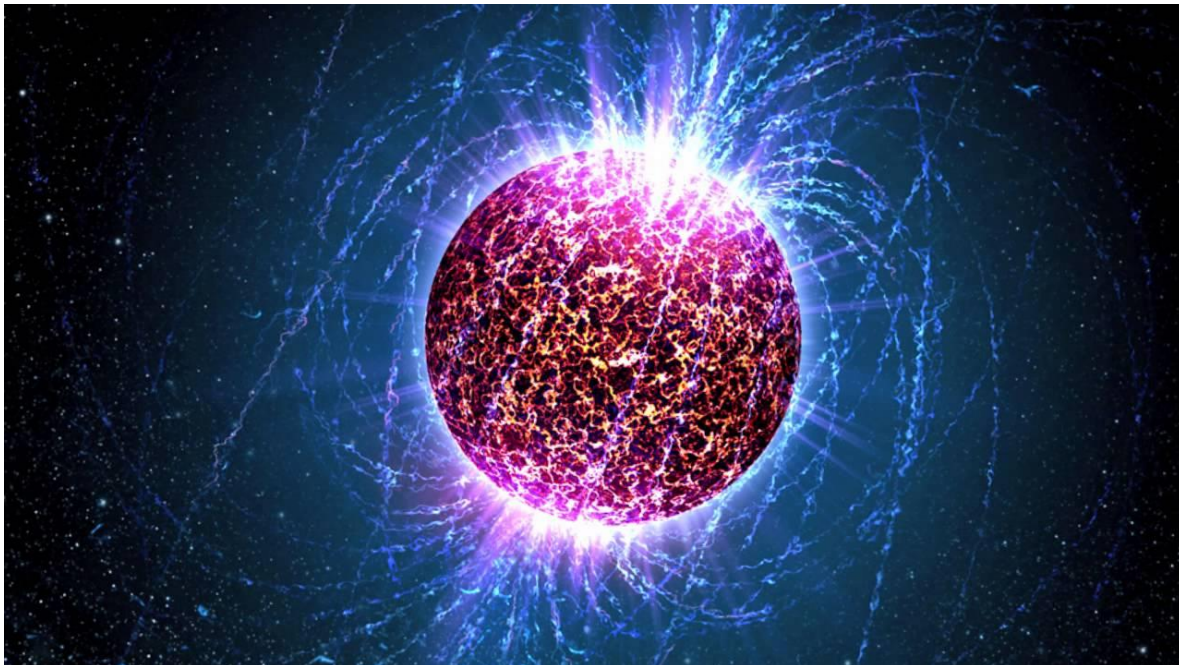
unikající gravitační vlny

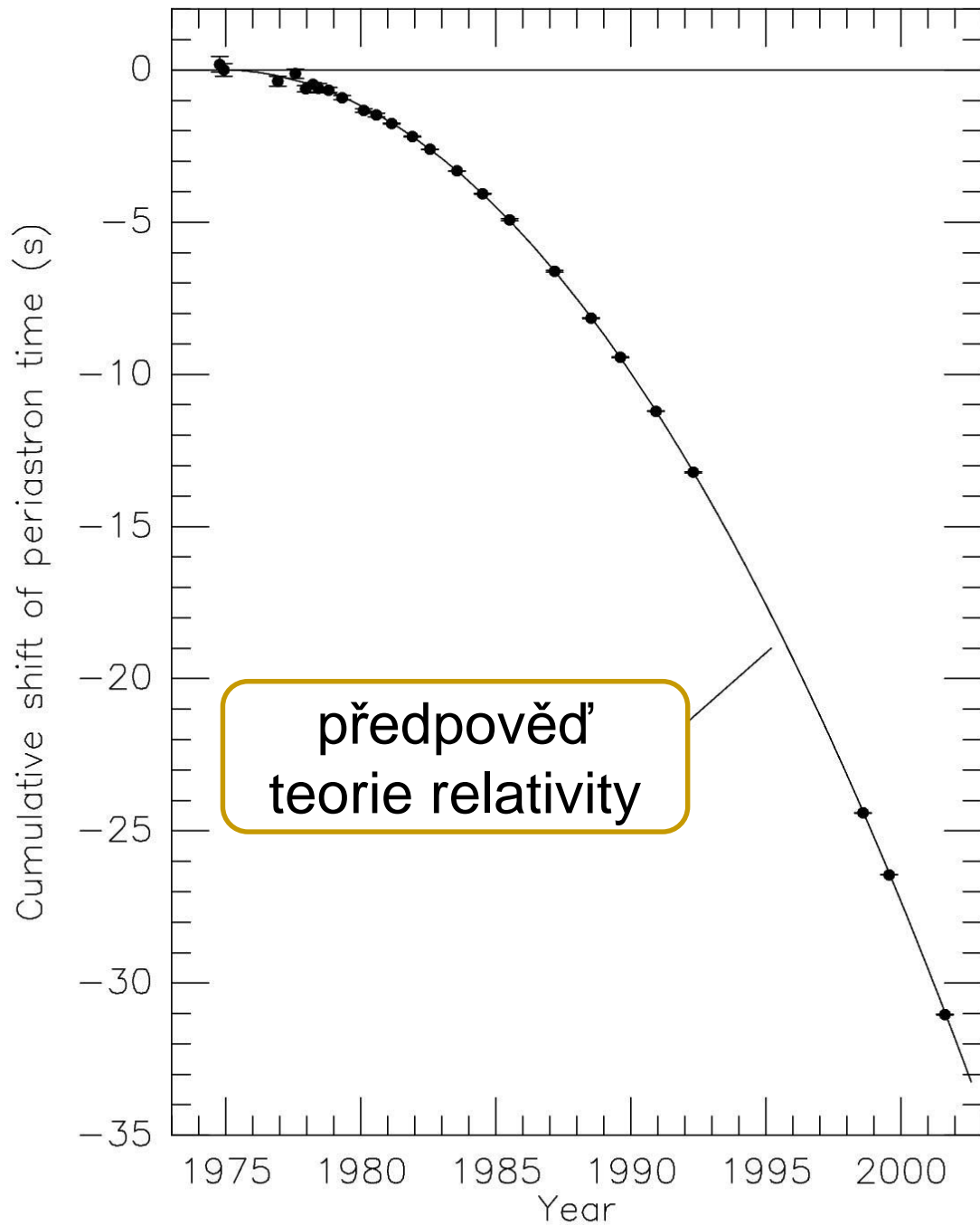
SCIEN



# Pulsary - neutronové hvězdy s majákem

- veškerá hmota je v ní stlačena do atomových jader ( $p^+ + e^- \rightarrow n^0$ )
- nesmírně hustá hmota
  - jedna čajová lžička  $\approx$  hmotnost veškerého lidstva





- měření změny rotační periody binárního pulsaru v průběhu desetiletí

- přesně sedí podle teorie relativity!
- důkaz existence gravitačních vln!



1993

Russel A. Hulse  
Joseph H. Taylor



Hanford,  
Washington



# Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)

Livingston,  
Louisiana





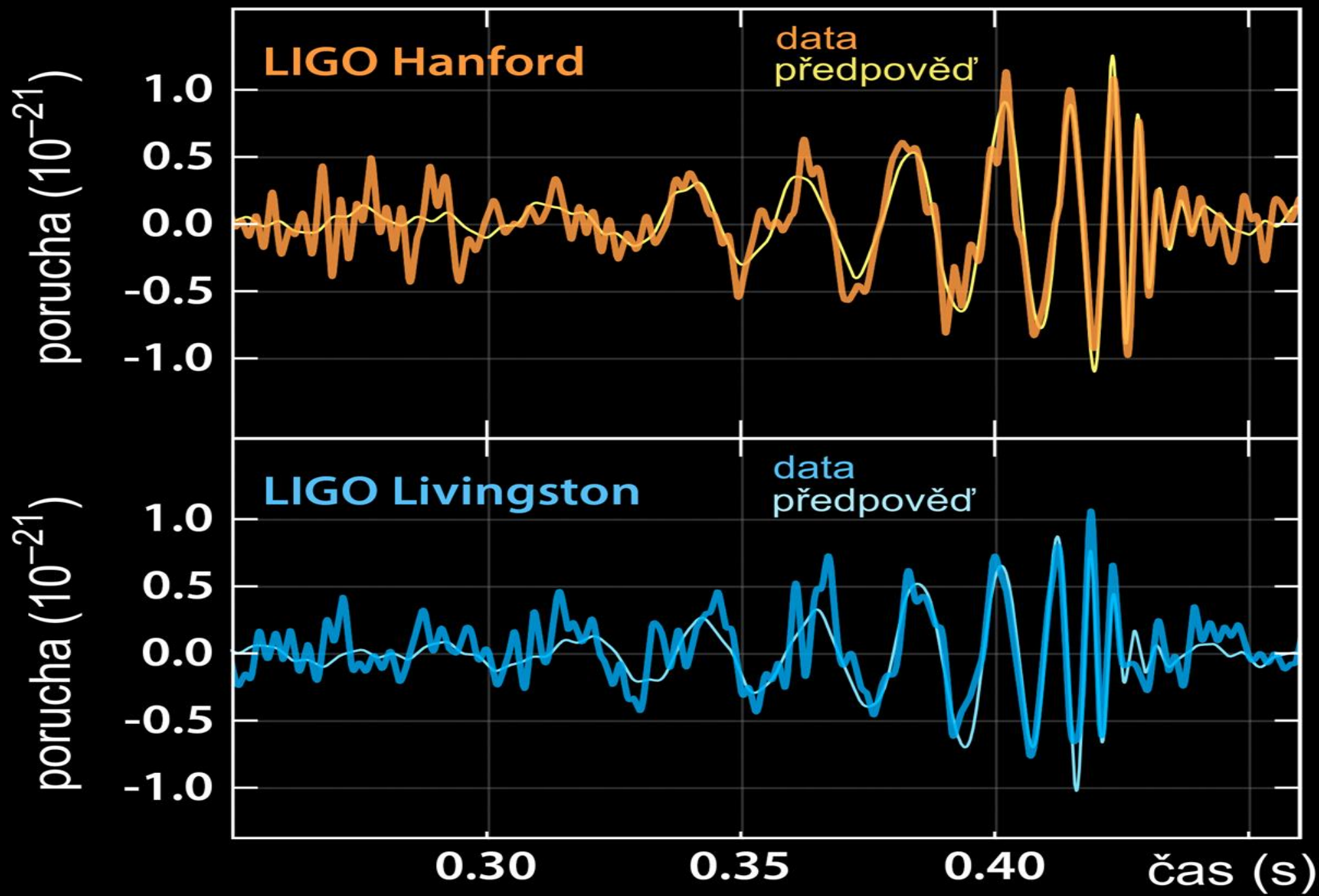
Hanford,  
Washington

# Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)



Livingston,  
Louisiana



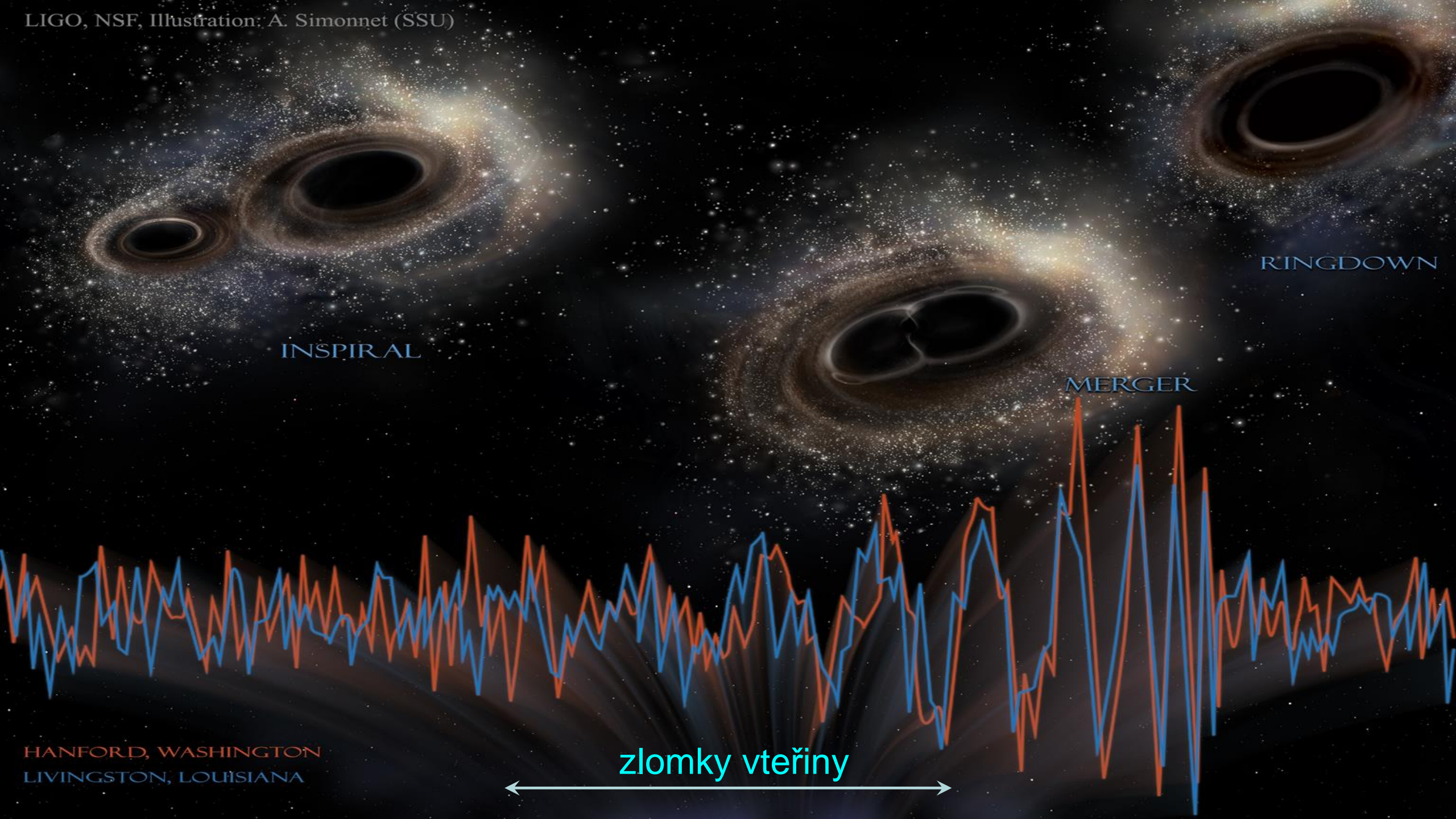




Scale of Effect Vastly Exaggerated

GW 150914

$M_1 = 36 \pm 5 M_{\odot}$   
 $M_2 = 29 \pm 4 M_{\odot}$   
 $M = 62 \pm 4 M_{\odot}$   
 $\Delta E = 3 \pm 0.5 M_{\odot} c^2$   
 $a = 0.67 \pm 0.05 \text{ GM}/c$   
 $D = 410 \pm 180 \text{ Mpc}$



INSPIRAL

RINGDOWN

MERGER

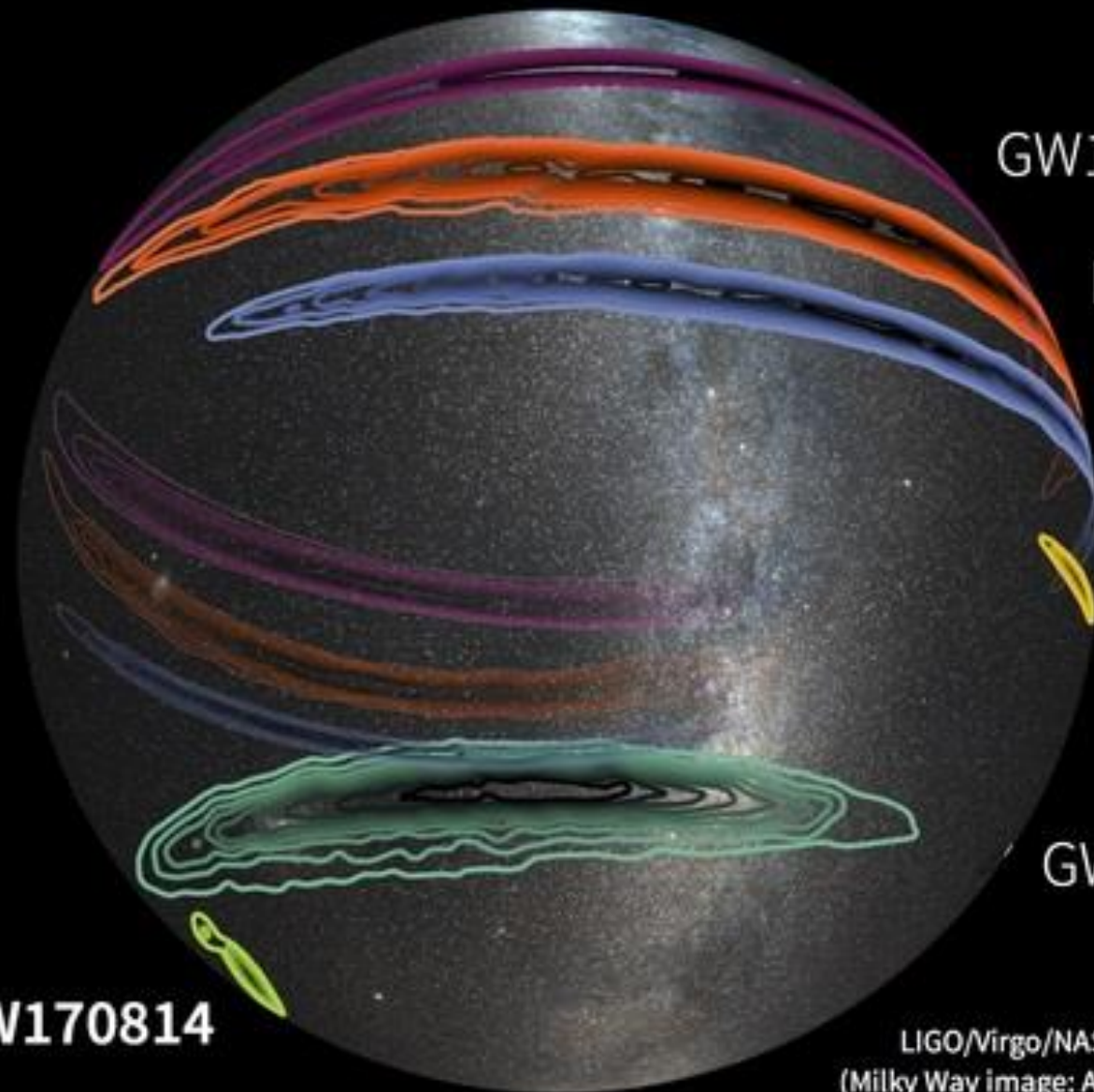
HANFORD, WASHINGTON  
LIVINGSTON, LOUISIANA

zlomky vteřiny

Virgo, Itálie



**GW170814**



GW170104

LVT151012

GW151226

**GW170817**

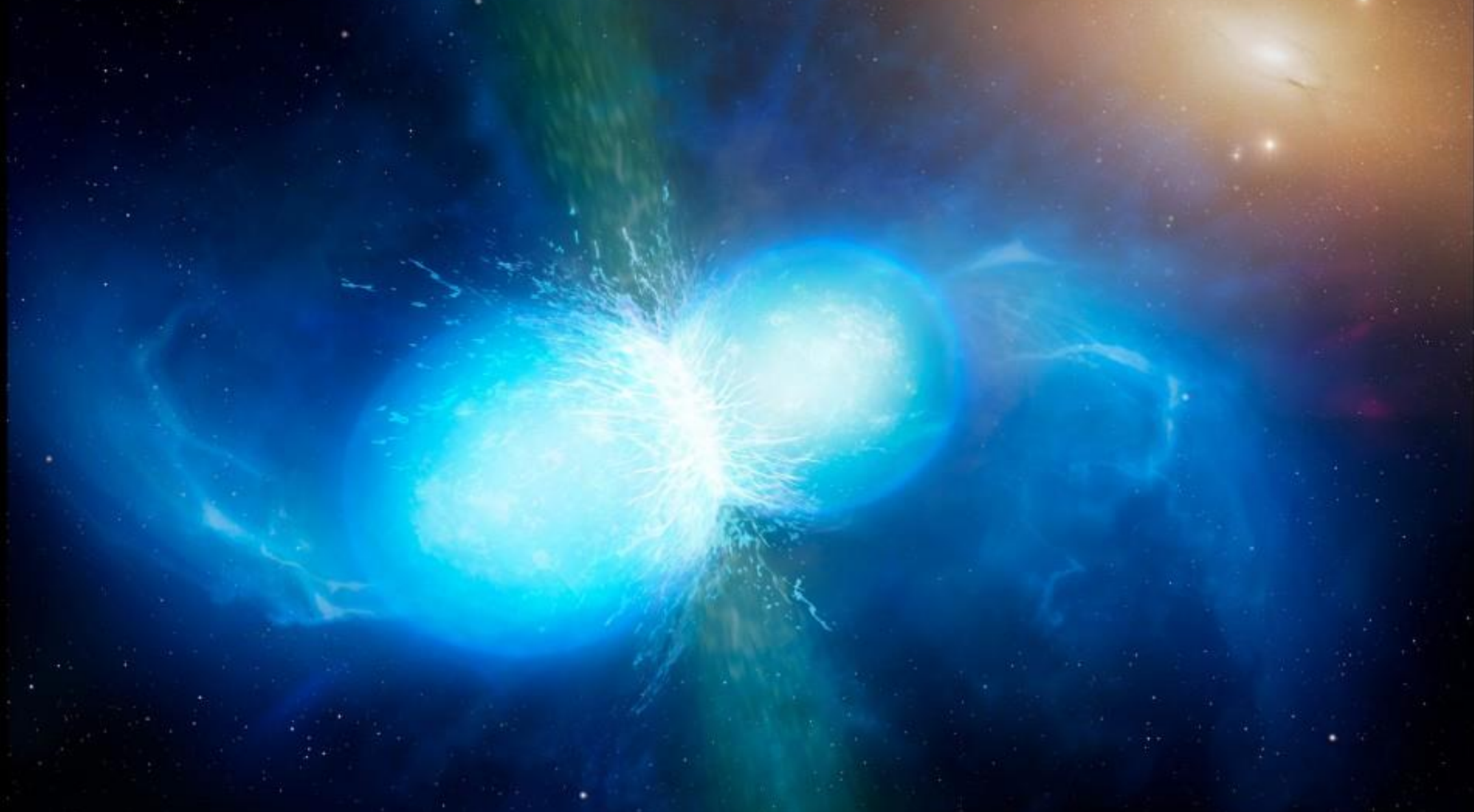
GW150914

LIGO/Virgo/NASA/Leo Singer  
(Milky Way image: Axel Mellinger)





GW 170817 – srážka dvou neutronových hvězd, kilonova





Earth

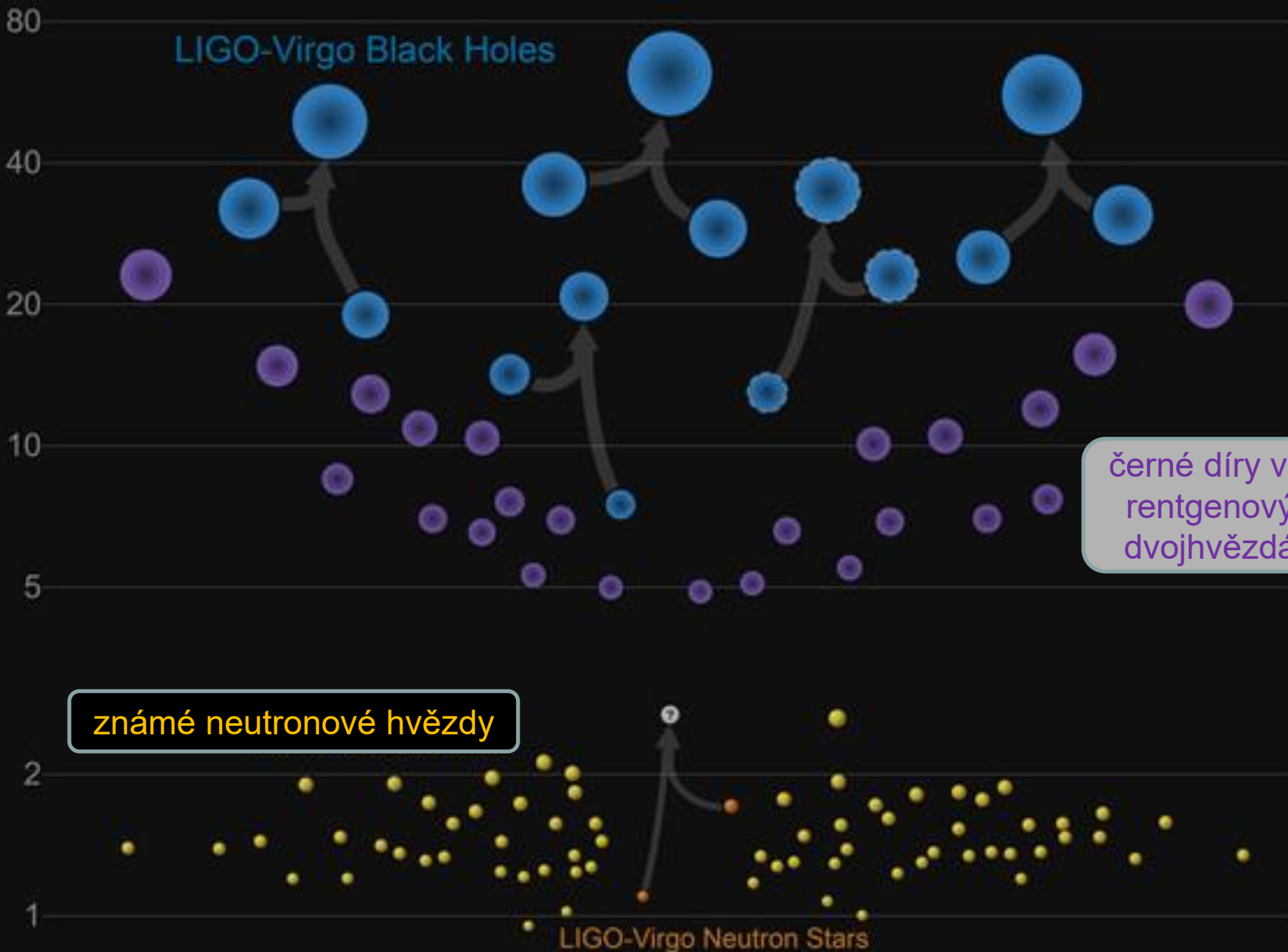
Space



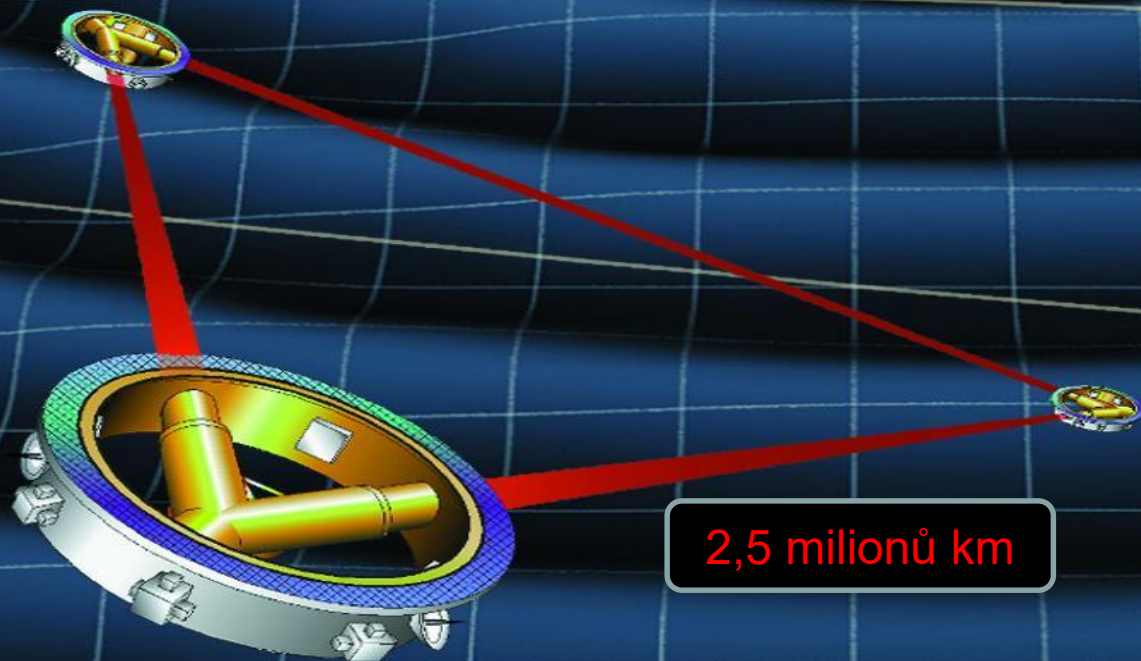
**Jaká je budoucí  
perspektiva studia  
gravitačních vln?**

# hmotnost

[v násobcích hmotnosti Slunce]



vesmírná mise  
Evropské kosmické  
agentury LISA



2,5 milionů km

zdroje

perioda

frekvence

detektory

kvantové fluktuace raného vesmíru

dvojice obřích černých děr

dvojice kompaktních hvězd

objekty zachycené obří černou dírou

supernovy

miliardy roků

roky

hodiny

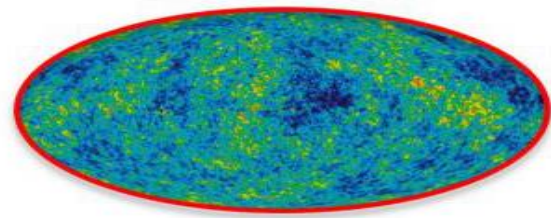
sekundy

ms



$10^{-16}$   $10^{-14}$   $10^{-12}$   $10^{-10}$   $10^{-8}$   $10^{-6}$   $10^{-4}$   $10^{-2}$   $10^0$   $10^2$  (Hz)

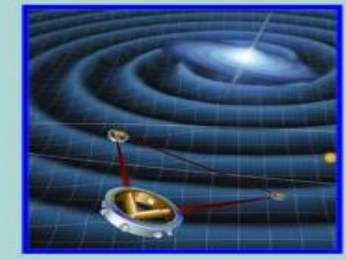
polarizace reliktního záření



síť pulzarů

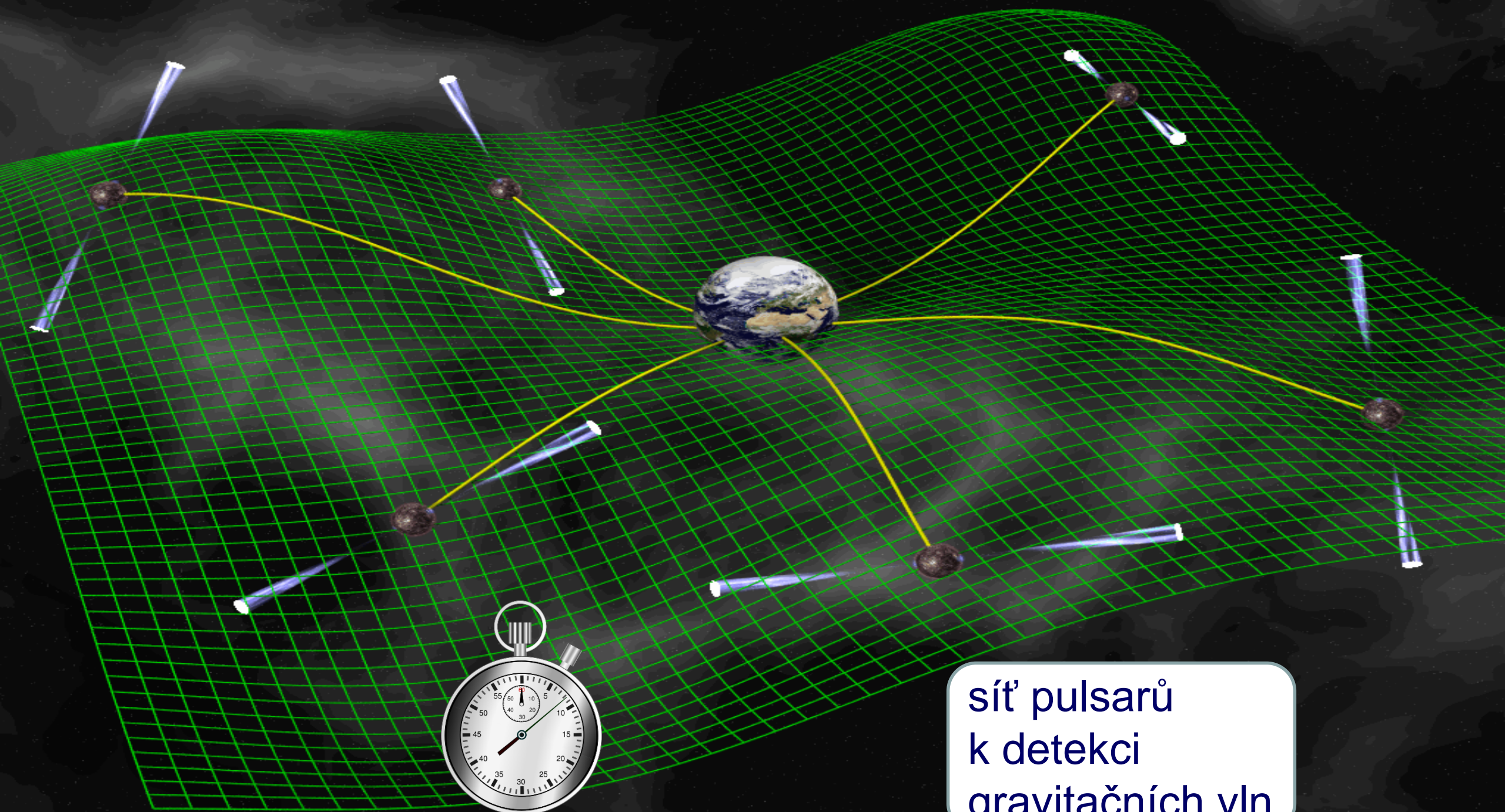


vesmírné interferometry



pozemské interferometry





síť pulsarů  
k detekci  
gravitačních vln



# Závěr

- gravitační vlny skutečně detekovány!
- otevřely nové okno do vesmíru
  - dvojhvězdné systémy černých děr existují
    - jak časté jsou? do jakých hmotností narůstají černé díry podobnými srážkami?
  - při srážce neutronových hvězd dochází k výbuchu, tzv. kilonově
    - provází ji krátké gamma záblesky, které pozorujeme již desetiletí
    - do okolního prostoru se dostávají vzácné kovy (zlato, platina, atp.)
    - co vzniká? černá díra?

# Závěr

- gravitační vlny skutečně detekovány!
- otevřely nové okno do vesmíru
  - dvojhvězdné systémy černých děr existují
    - jak časté jsou? do jakých hmotností narůstají černé díry podobnými srážkami?
  - při srážce neutronových hvězd dochází k výbuchu, tzv. kilonově
    - provází ji krátké gamma záblesky, které pozorujeme již desetiletí
    - do okolního prostoru se dostávají vzácné kovy (zlato, platina, atp.)
    - co vzniká? černá díra?
- **potvrdily (opět) platnost Einsteinovy obecné relativity!**



Děkuji Vám  
za  
pozornost  
!!!

[jiri.svoboda@asu.cas.cz](mailto:jiri.svoboda@asu.cas.cz)