

Gravitační vlny – hledání a naděje



Petr Kulháněk
ČVUT v Praze

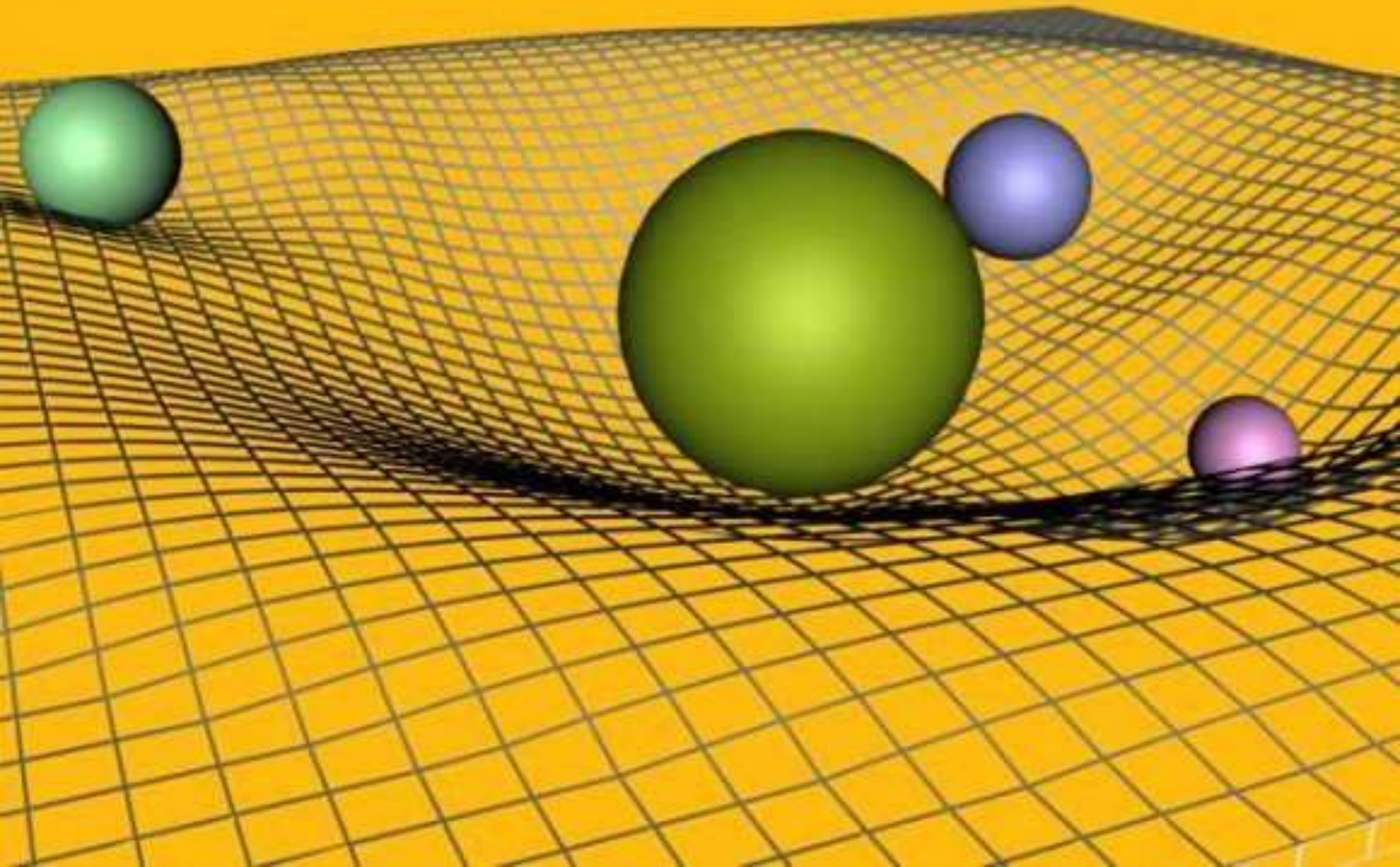
kulhanek@aldebaran.cz

www.aldebaran.cz

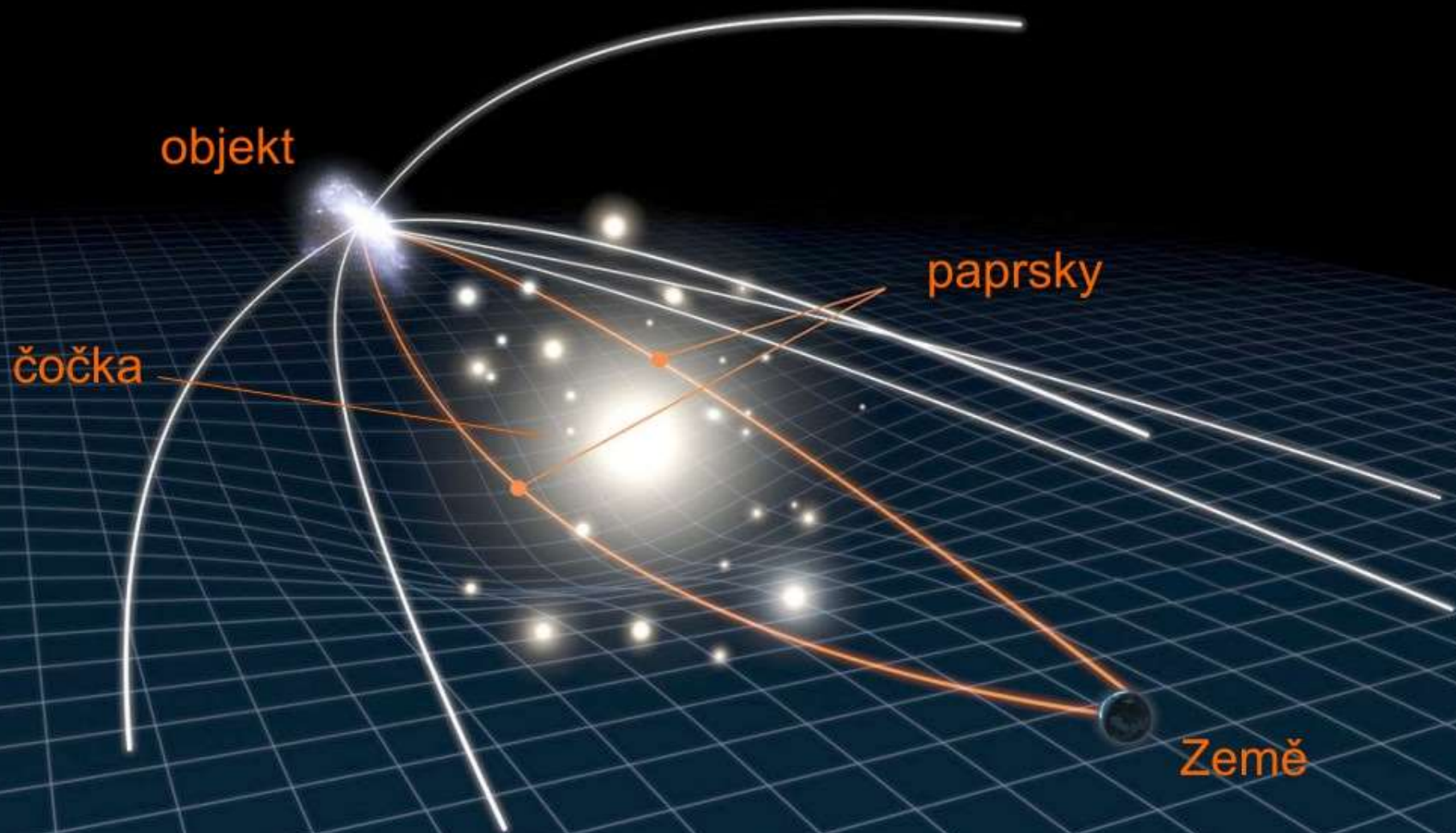


- **Obecná relativita**
- Gravitační vlny
- První pokusy o detekci
- Interferometrické detektory
- LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder
- Další způsoby detekce

Einsteinova geometrická teorie gravitace (1915)

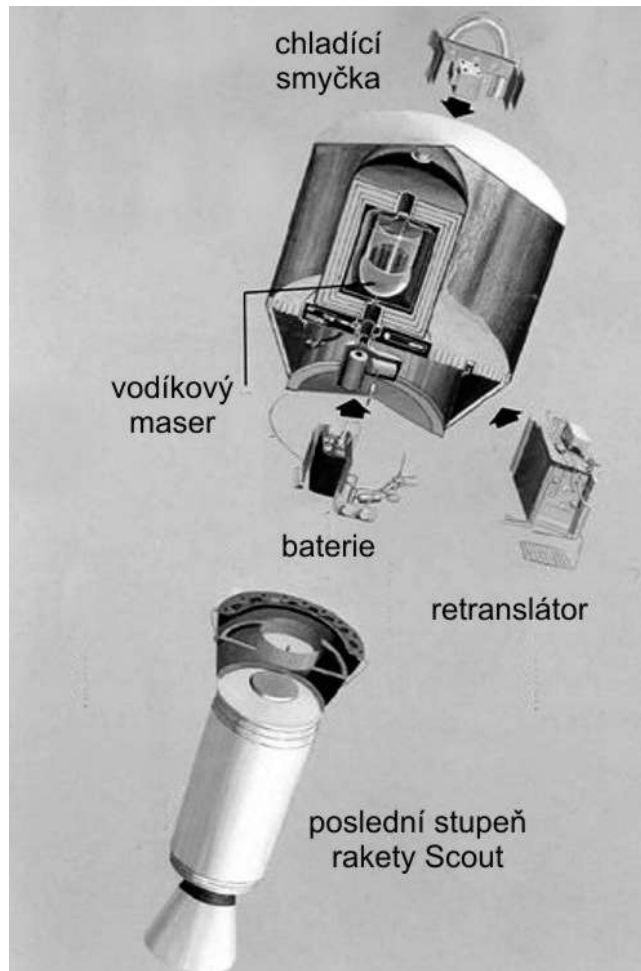


Zakřivení prostoru



1936 Albert Einstein, Rudi Mandl – předpověď gravitační čočky
1979 QSO 0957+561 (Walsh, Carswell, Weynmann)
1987 Obří oblouky (Lynds, Petrosian, Soucailová)

Gravity Probe A, 1976



- Wallopovo letové centrum, Virginie
- Scout-D1
- suborbitální dráha
- apogeum 10 000 km
- 1h 55 minut
- relativní přesnost 2×10^{-4}

Martin Levine a Robert Vessot nesou vodíkový maser



Einsteinova geometrická teorie gravitace (1915)



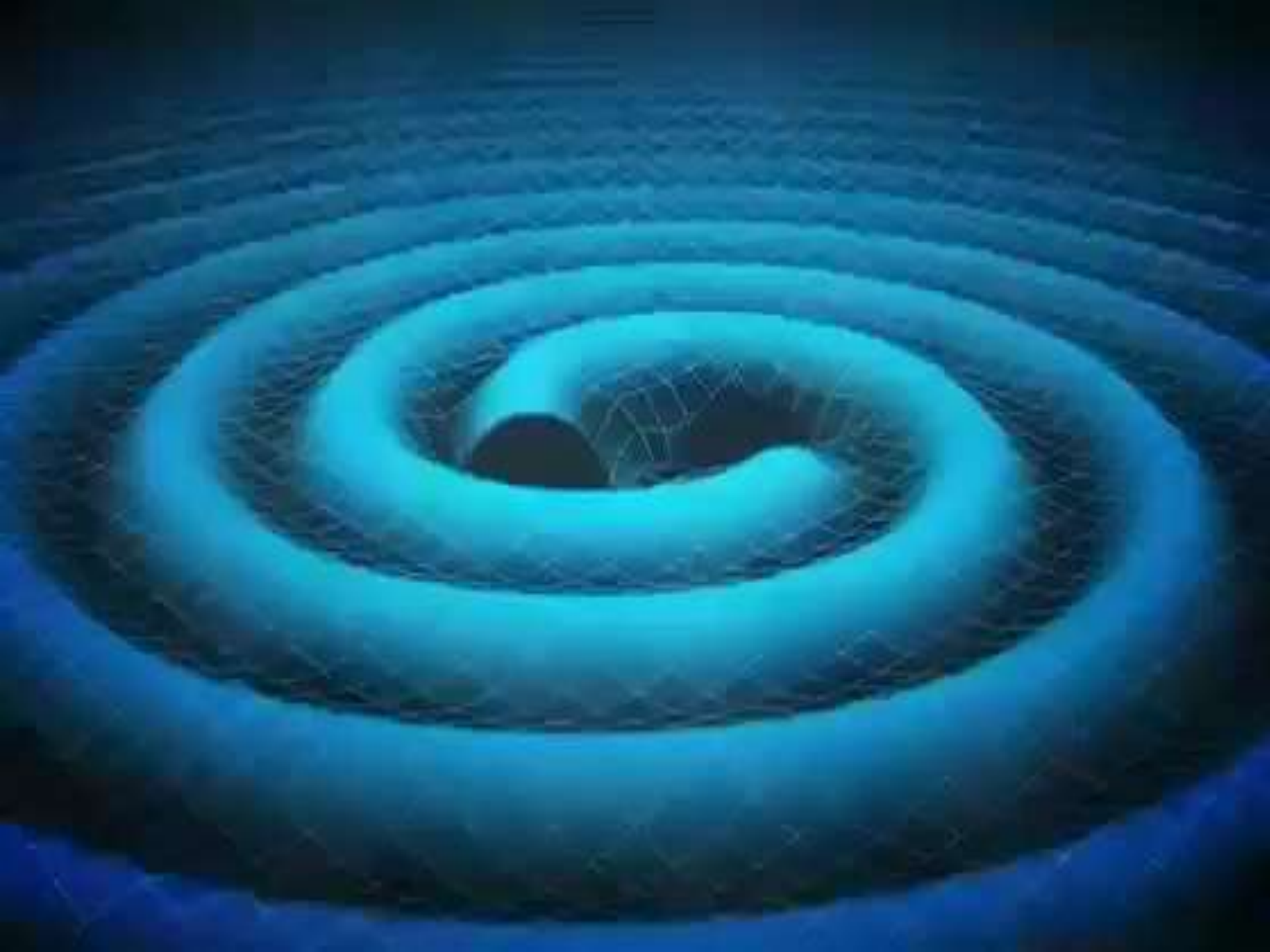


- Obecná relativita
- **Gravitační vlny**
- První pokusy o detekci
- Interferometrické detektory
- LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder
- Další způsoby detekce

Gravitační vlny

- nenulový kvadrupólový moment
 - dva módy skloněné o 45°
 - vlní se sám prostoročas
-
- dvojhvězdy
 - asymetrické exploze
 - magnetary
 - gravitační kolaps, supernovy
 - spojení černých děr
 - rotace osově nesymetrických objektů
 - reliktní gravitační vlny (stochastické zdroje)

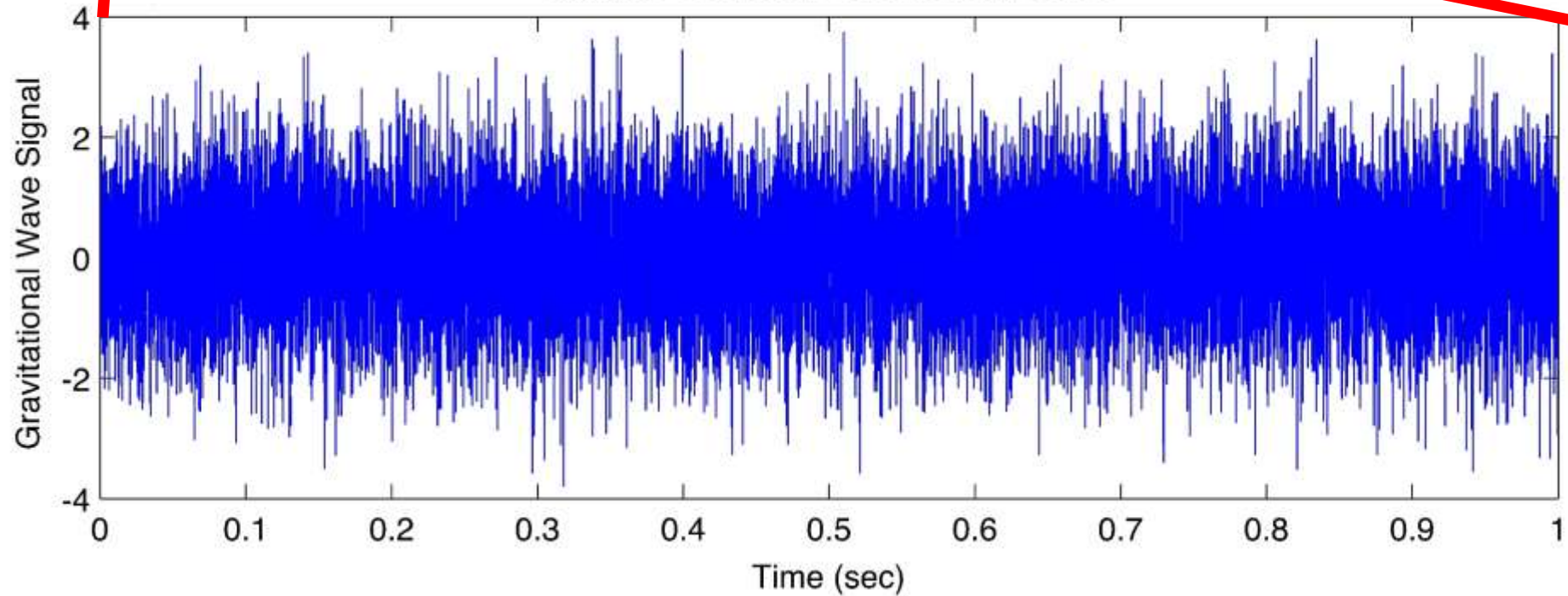




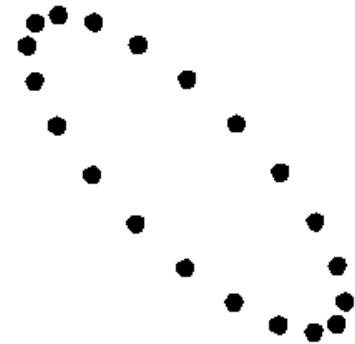
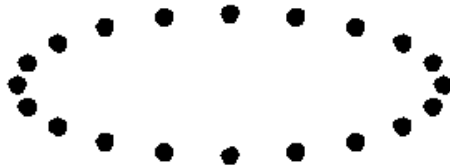
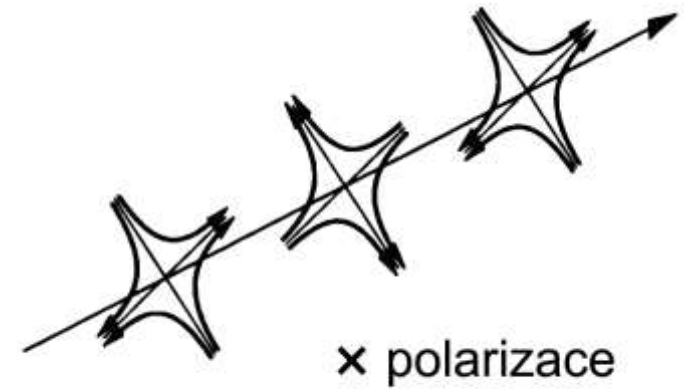
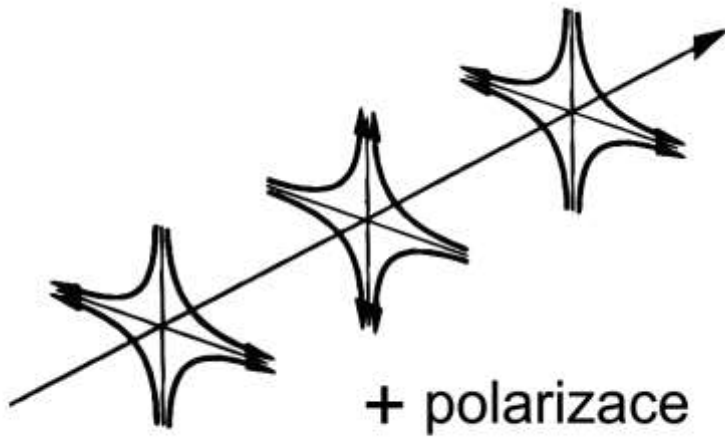
Inflame



Example Stochastic Gravitational Wave

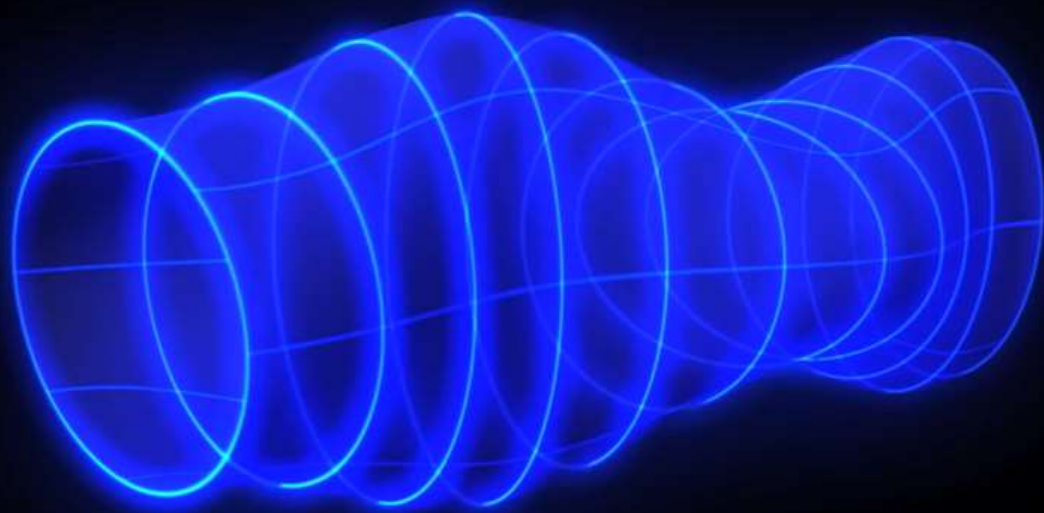


Gravitační vlny



$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$$

$$\left(\Delta - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right) h_{\mu\nu} = 0$$





- Obecná relativita
- Gravitační vlny
- První pokusy o detekci
- Interferometrické detektory
- LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder
- Další způsoby detekce

1966 – Weberovy válce

$d = 66 \text{ cm}$

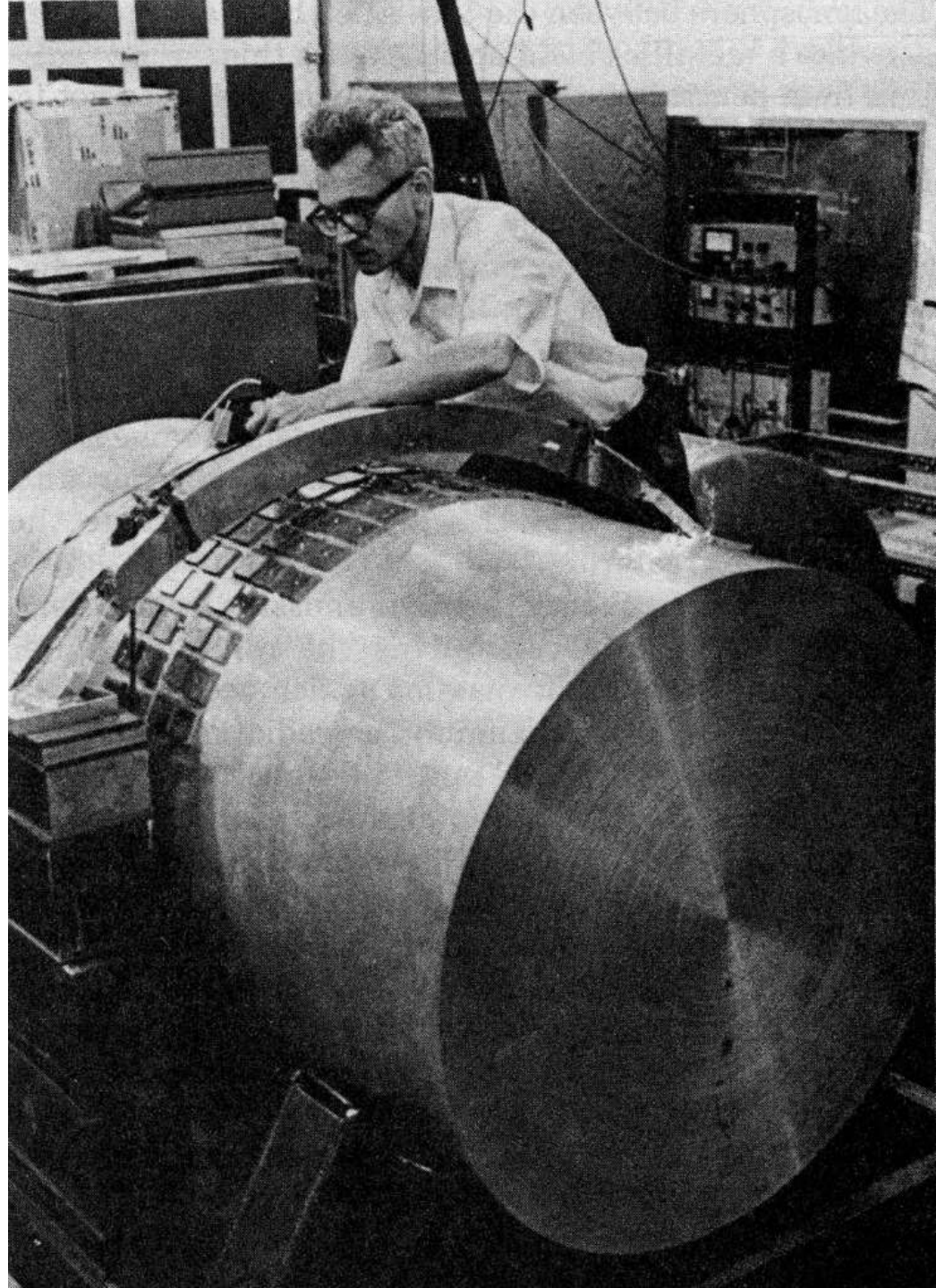
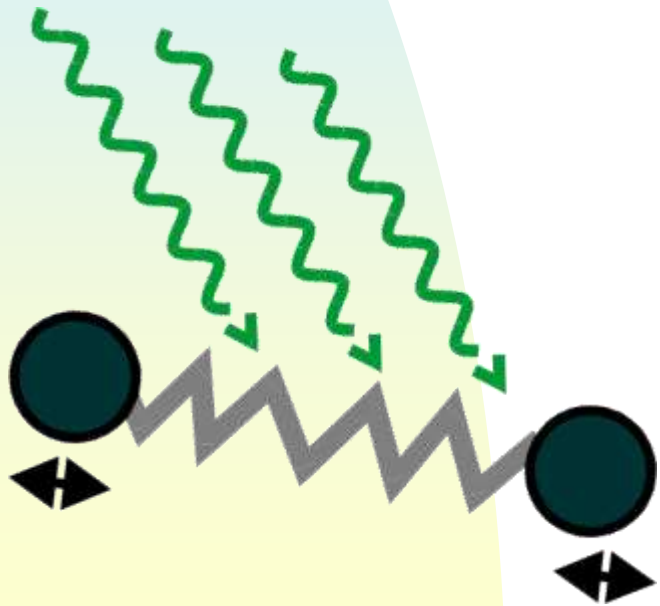
$l = 153 \text{ cm}$

$m = 1.4 \text{ tuny}$

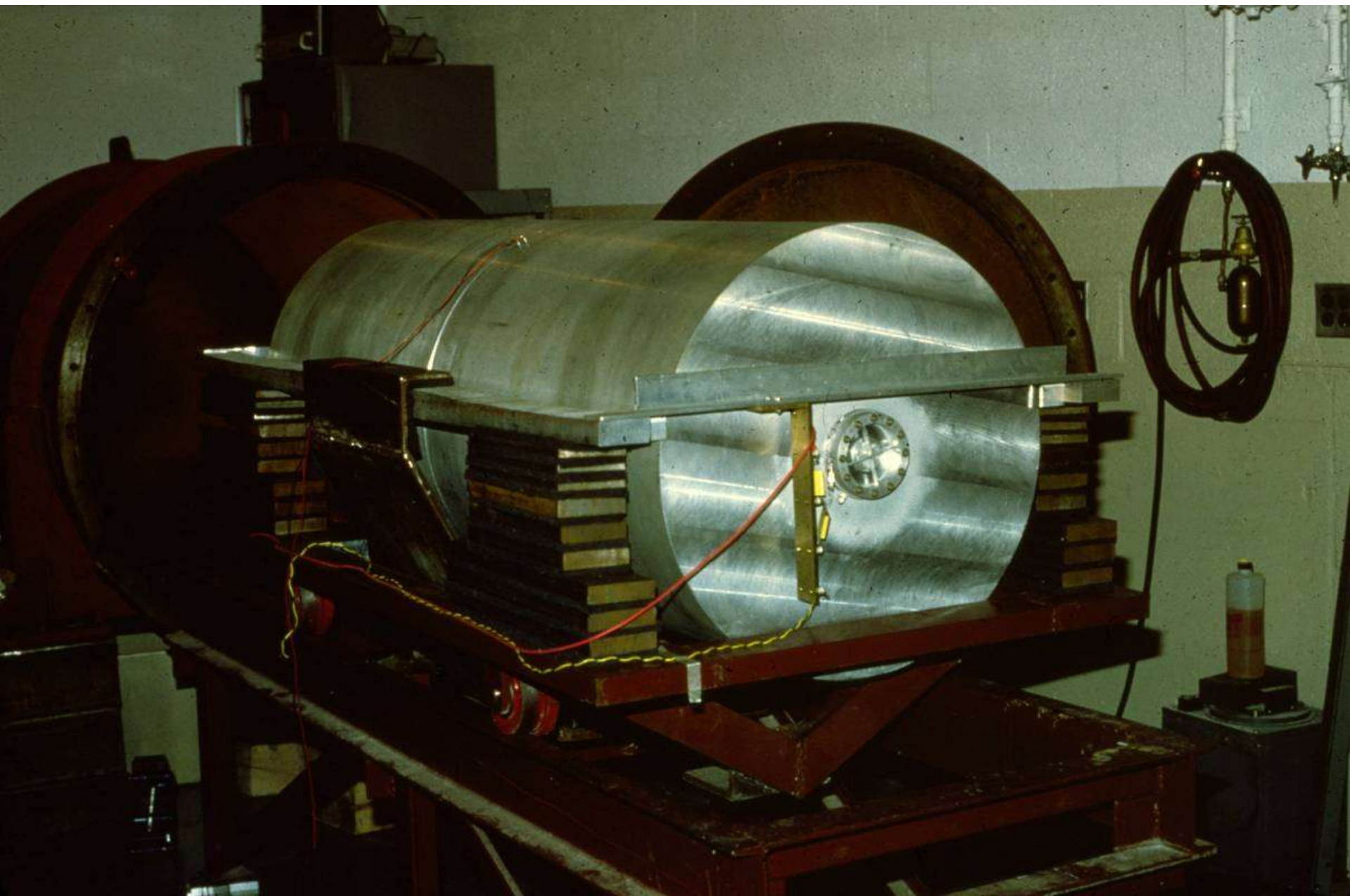
$f = 1\,660 \text{ Hz}$

$L = 1\,000 \text{ km}$ (Mariland – Aragon)

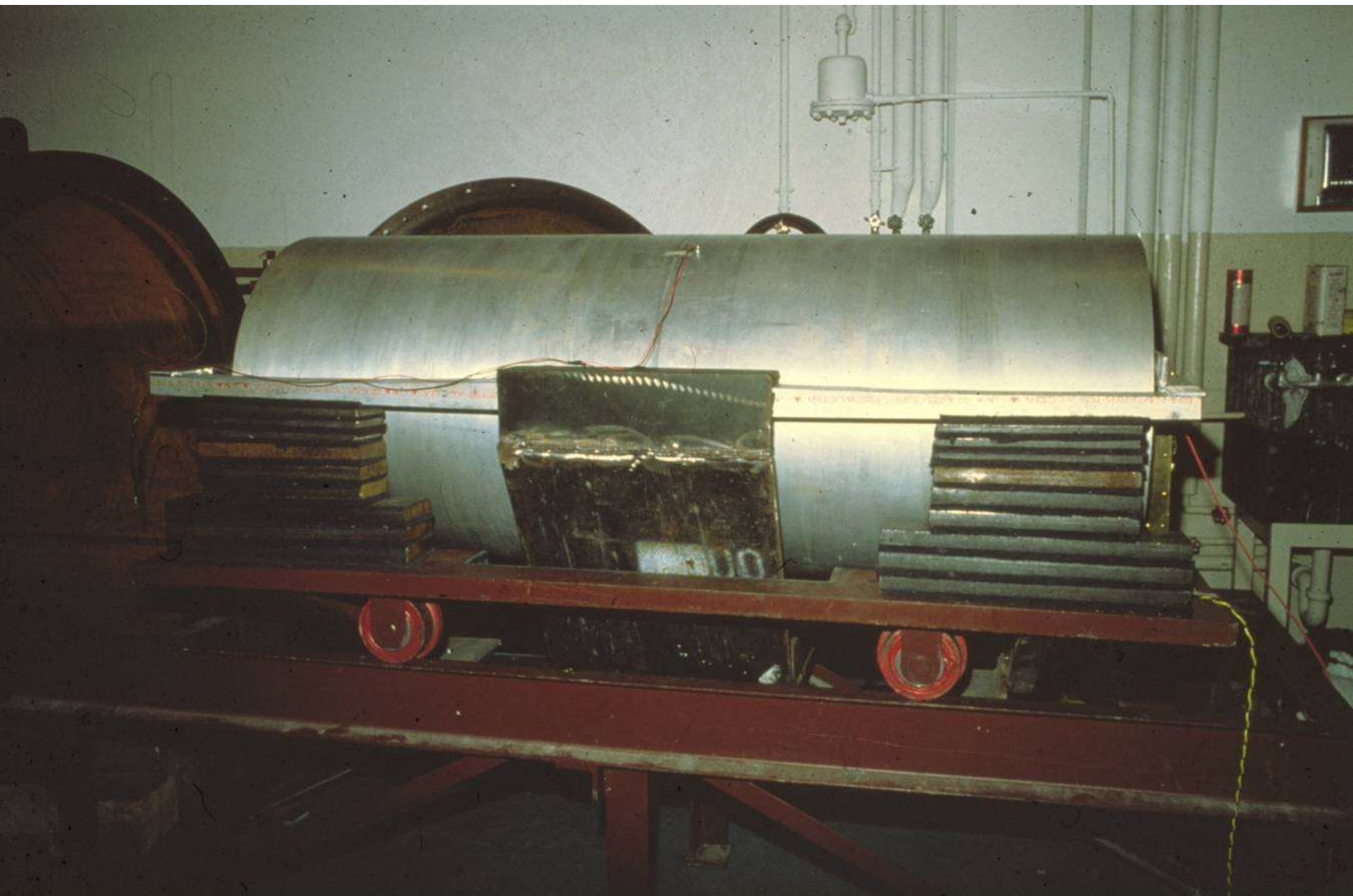
hliník



Weberovy válce



Weberovy válce



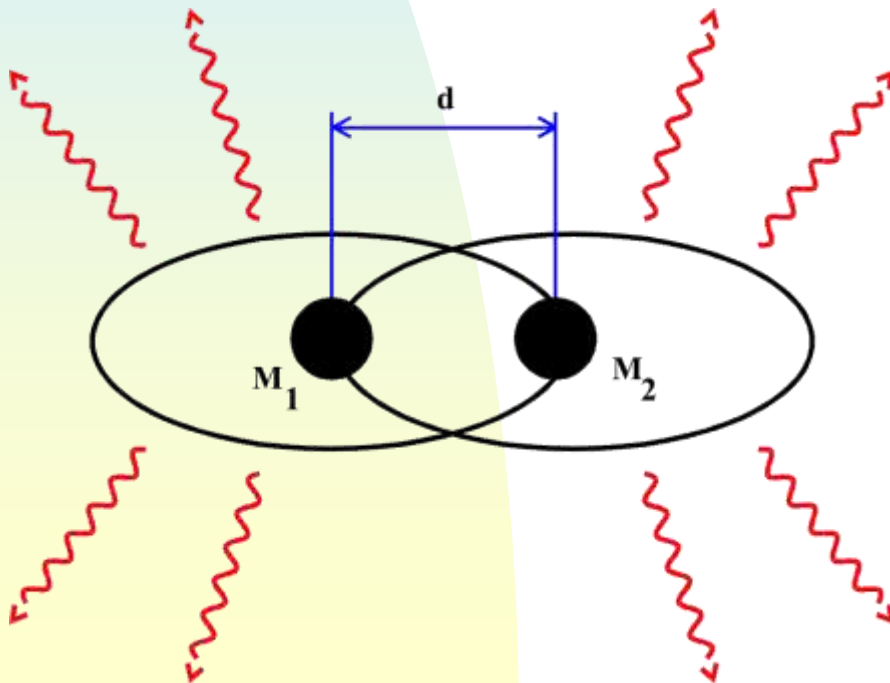
Weberovy válce



PSR 1913+16

- stáčení periastra 4° za rok !!!
- relativistický Dopplerův jev
- červený gravitační posuv
- dilatace času způsobená oběhem
- stáčení světelných paprsků
- zkracování periody (vyzařování gravitačních vln)

- **1974** Arecibo
- **1993** R. Hulse, J. Taylor – Nobelova cena



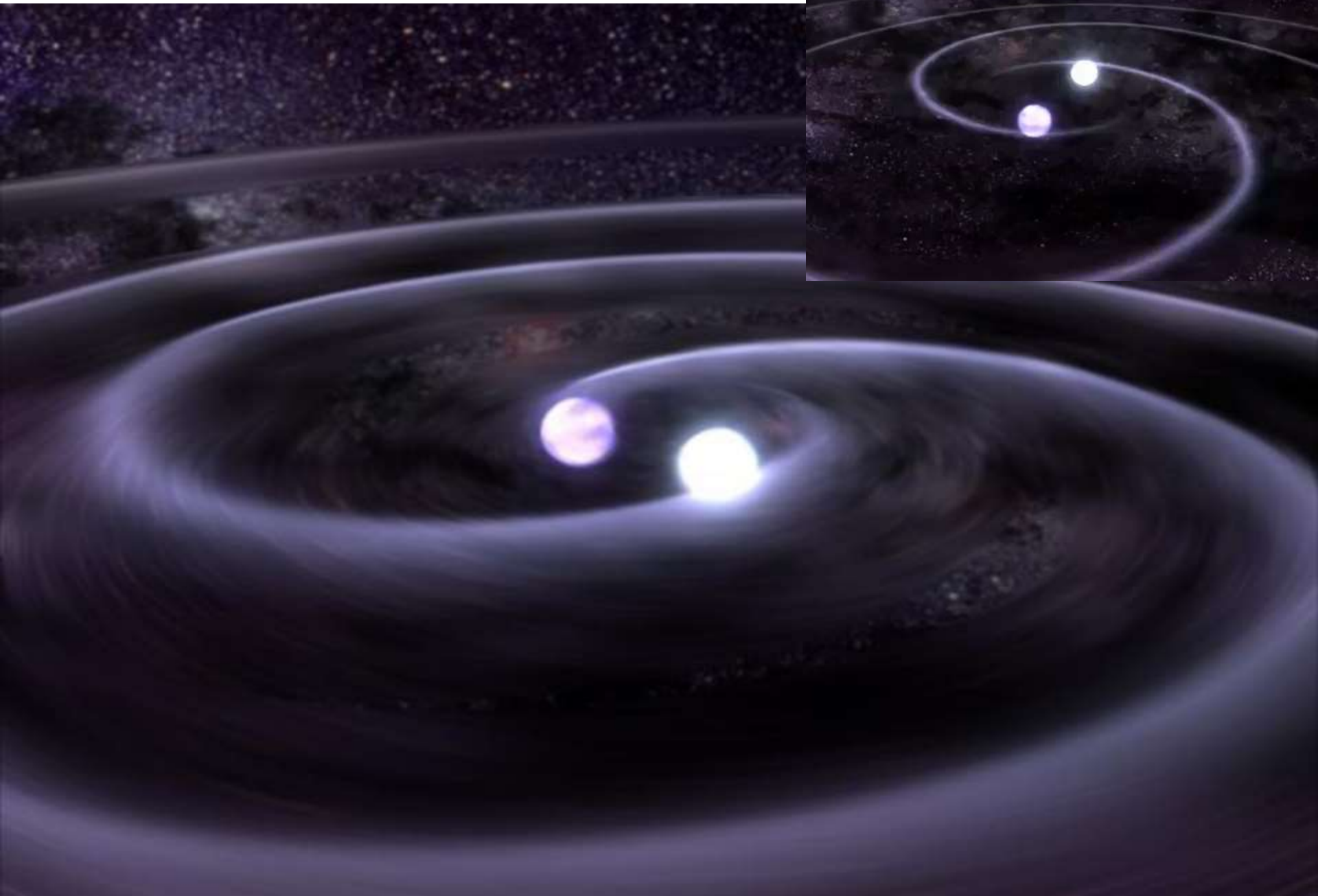
Russel Hulse (1950)



Joseph Taylor (1941)

$$\begin{aligned}M_1 &= 1,44 M_S \\M_2 &= 1,39 M_S \\P_R &= 0,059 \text{ s} \\P_O &= 7\text{h } 45 \text{ min} \\d &= 700\,000 \text{ km}\end{aligned}$$

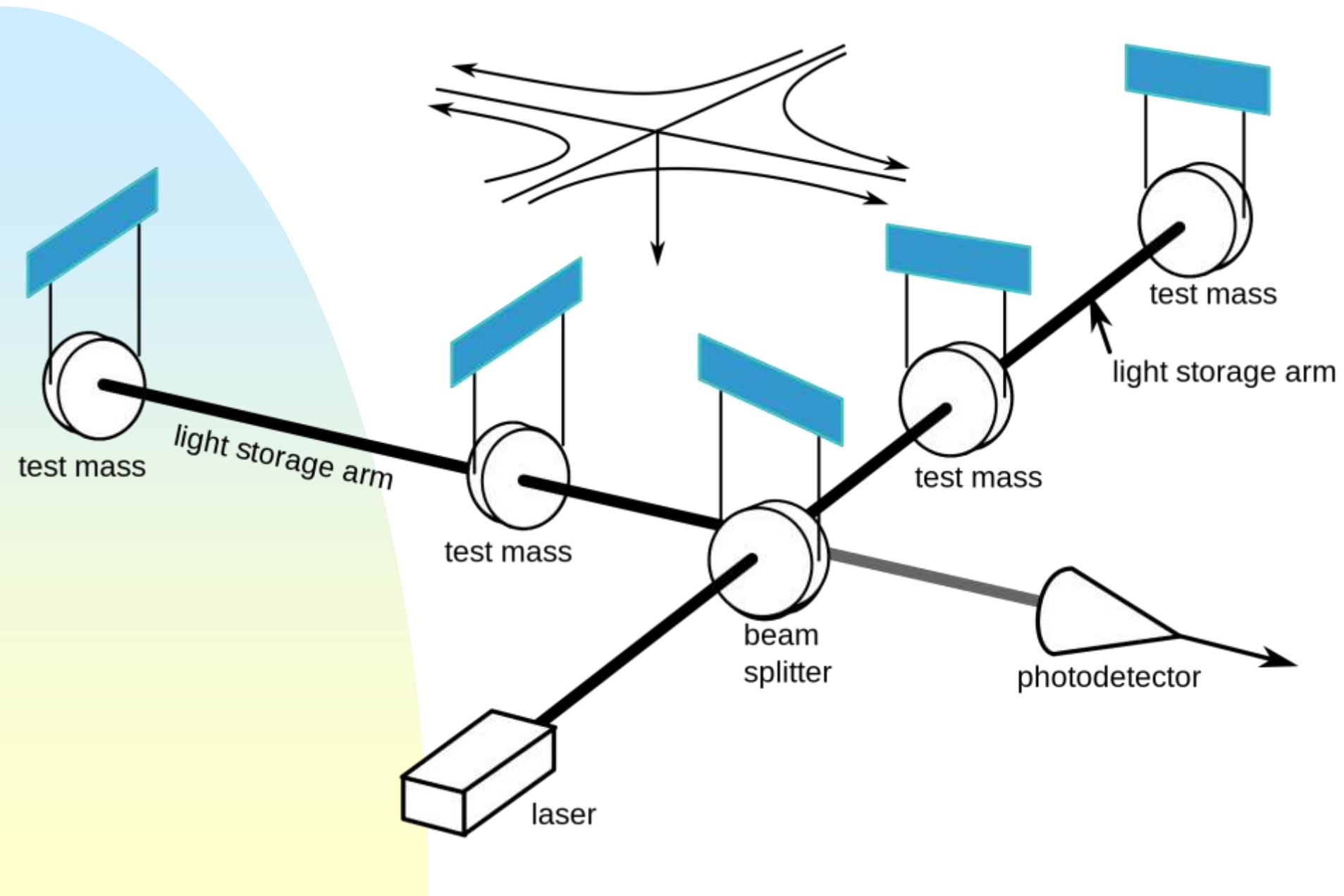
PSR 1913+16





- Obecná relativita
- Gravitační vlny
- První pokusy o detekci
- **Interferometrické detektory**
- LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder
- Další způsoby detekce

Interferometrické detektory



Detektory

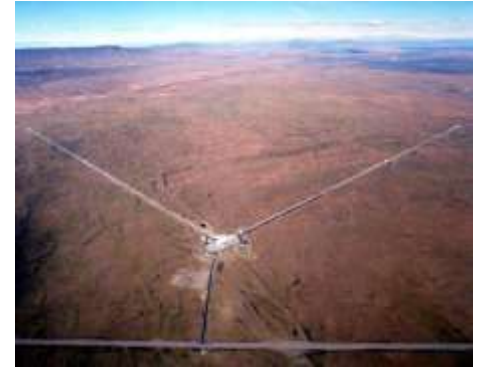
Detektor	Umístění	Velikost	Provoz
MARK 2	USA (Pasadena)	40 m	1991
TAMA 300	Japonsko (Tokyo)	300 m	1999
GEO 600	Německo (Hannover)	600 m	2000
LIGO	USA (Hanford, Livingstone)	4 km	2002–2010 2015 Advanced
VIRGO	Itálie (Pisa)	3 km	2007 2015 Advanced
eLISA	oběžná dráha kolem Slunce	5 000 000 km	2032 ?

LIGO – Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory

Handford (Washington, CALTECH), Livingston (Louisiana, MIT)



- $l = 4 \text{ km}$
- $d = 120 \text{ cm}$
- $d/l = 10^{-18} \text{ m}$
- $p = 1,3 \times 10^{-6} \text{ Pa}$
- $h = 10^{-22}$
- $f = 40 \text{ Hz} - 2000 \text{ Hz}$
- laser: Nd:Yag, 10 W
- úplný provoz: 2002



LIGO – Laser Interferometry Gravitational-Wave Observatory



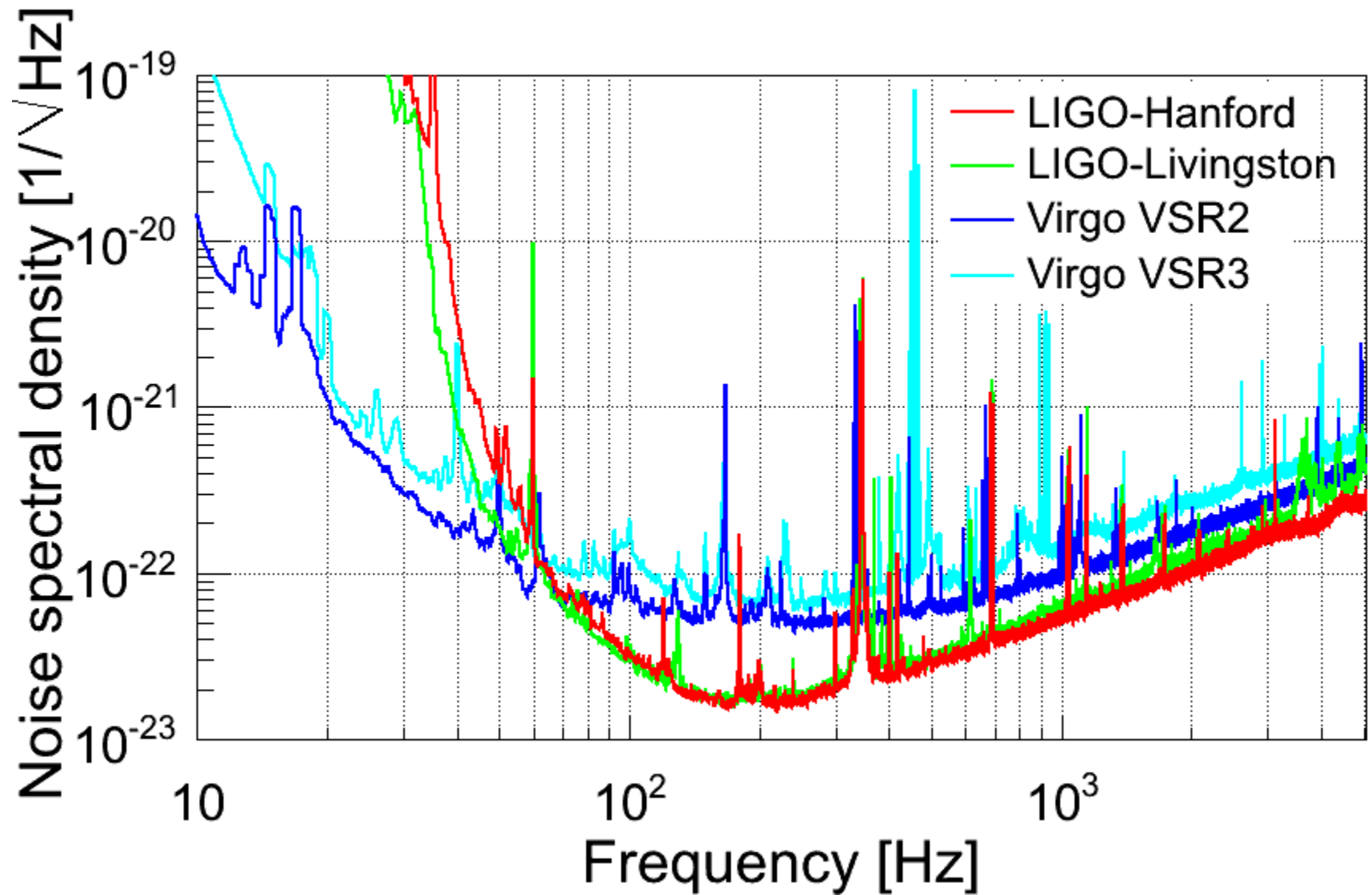
VIRGO

Cascina,
10 km od městečka Pisa, Itálie,
ramena 3 km





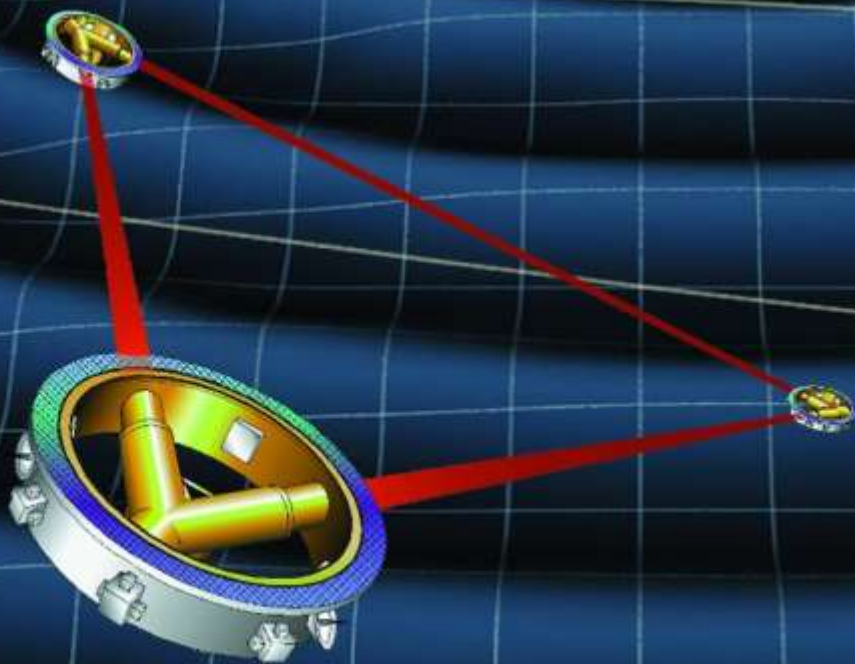
LIGO, VIRGO – 2012

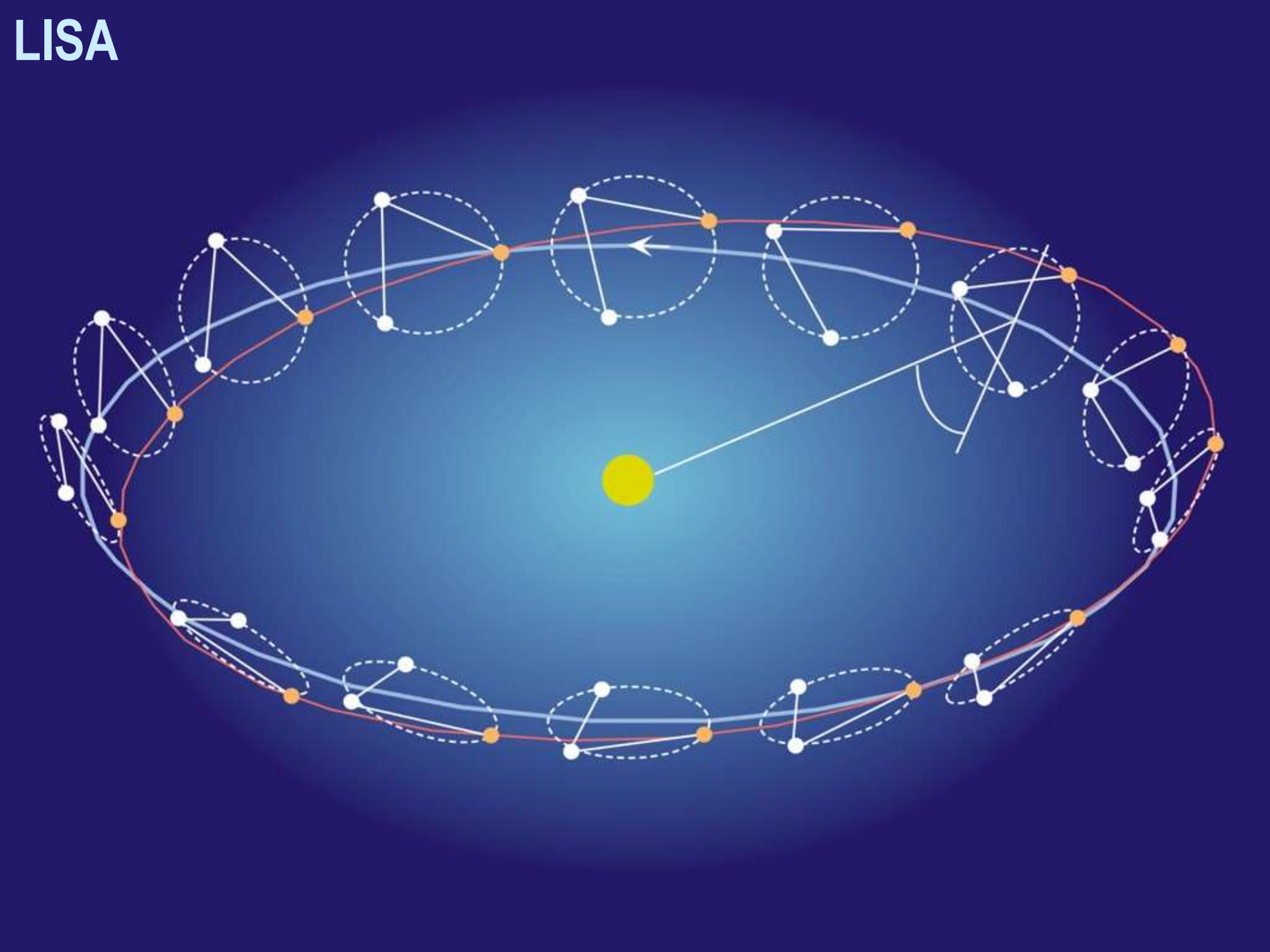


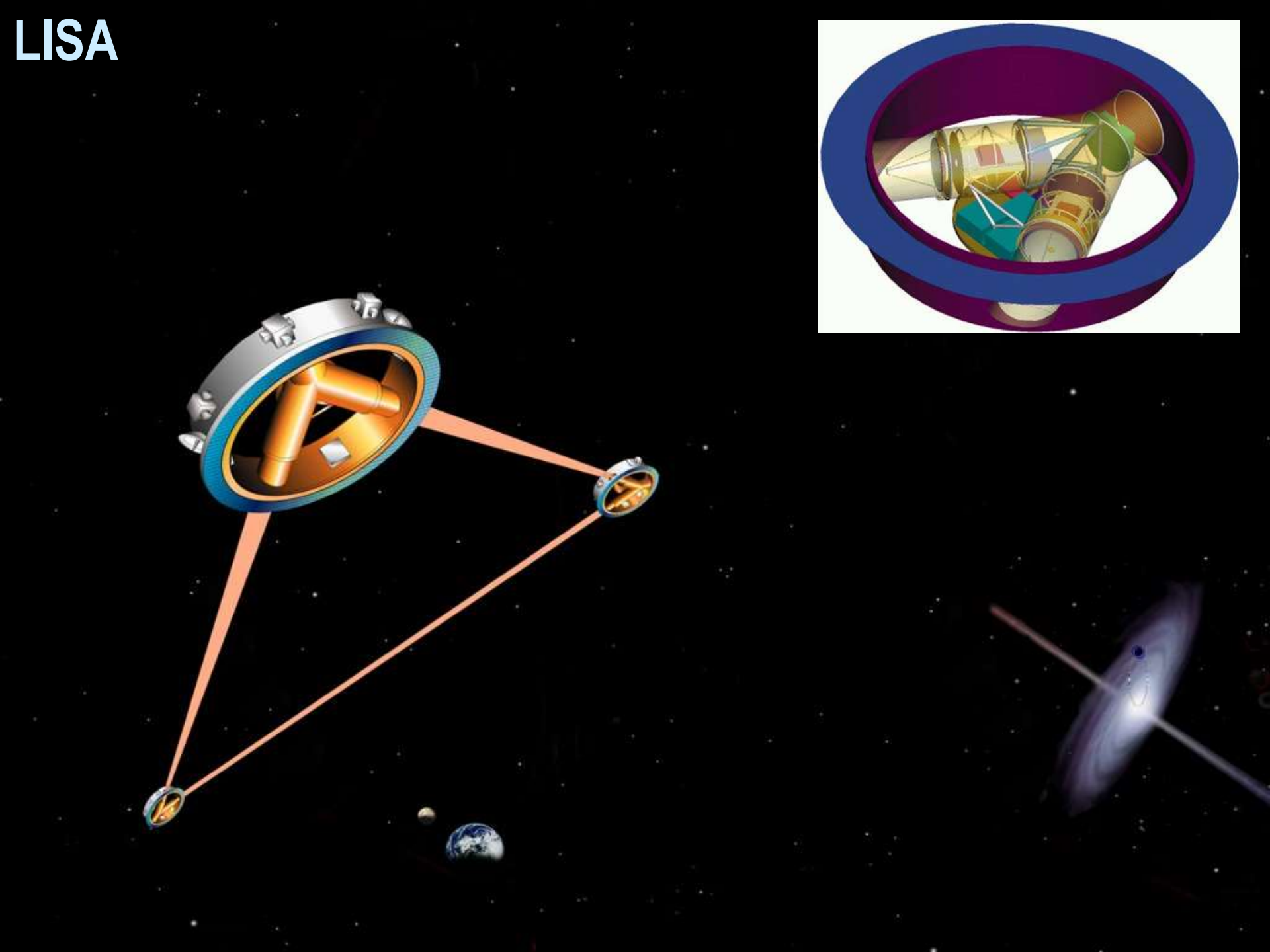
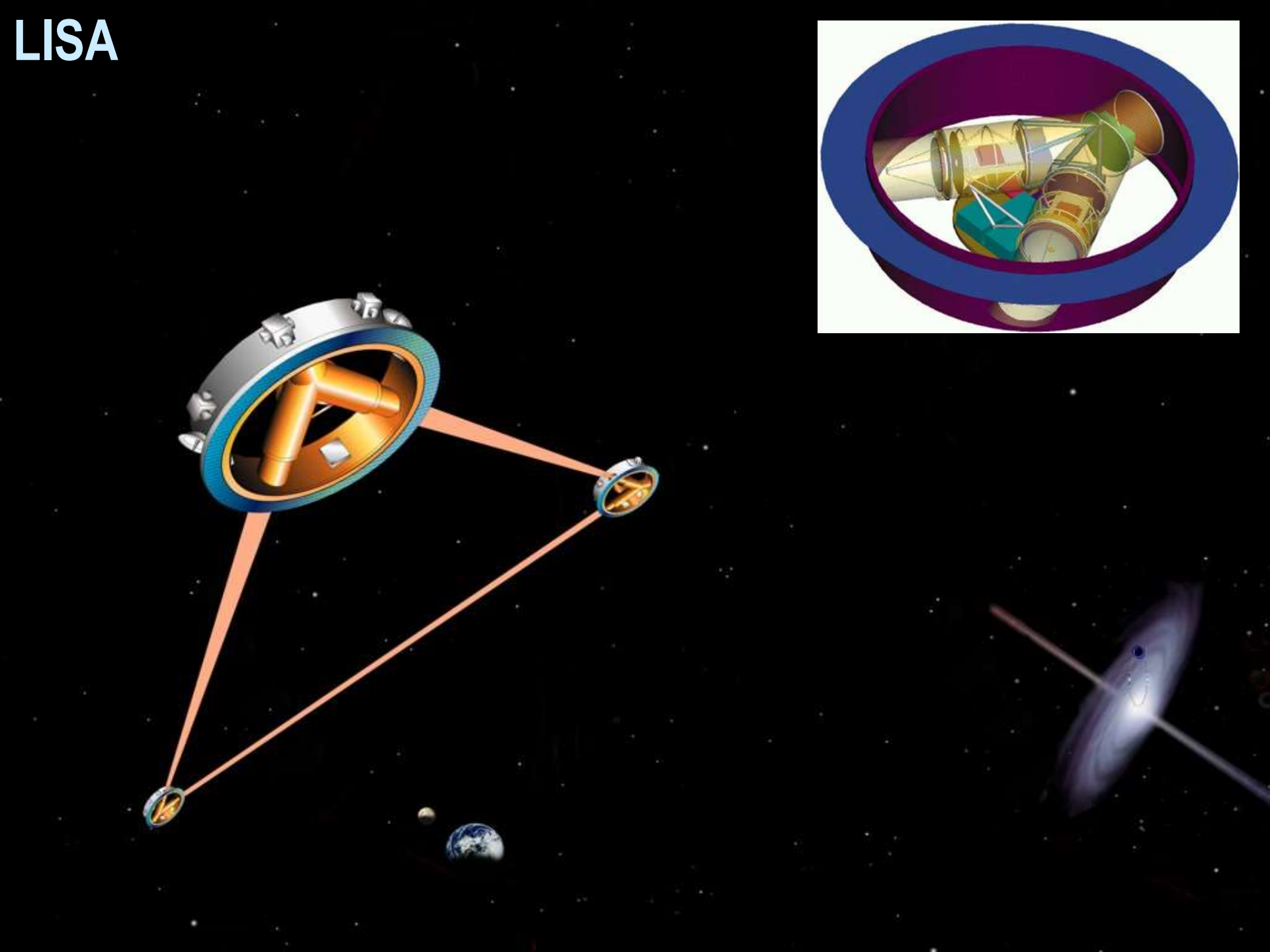


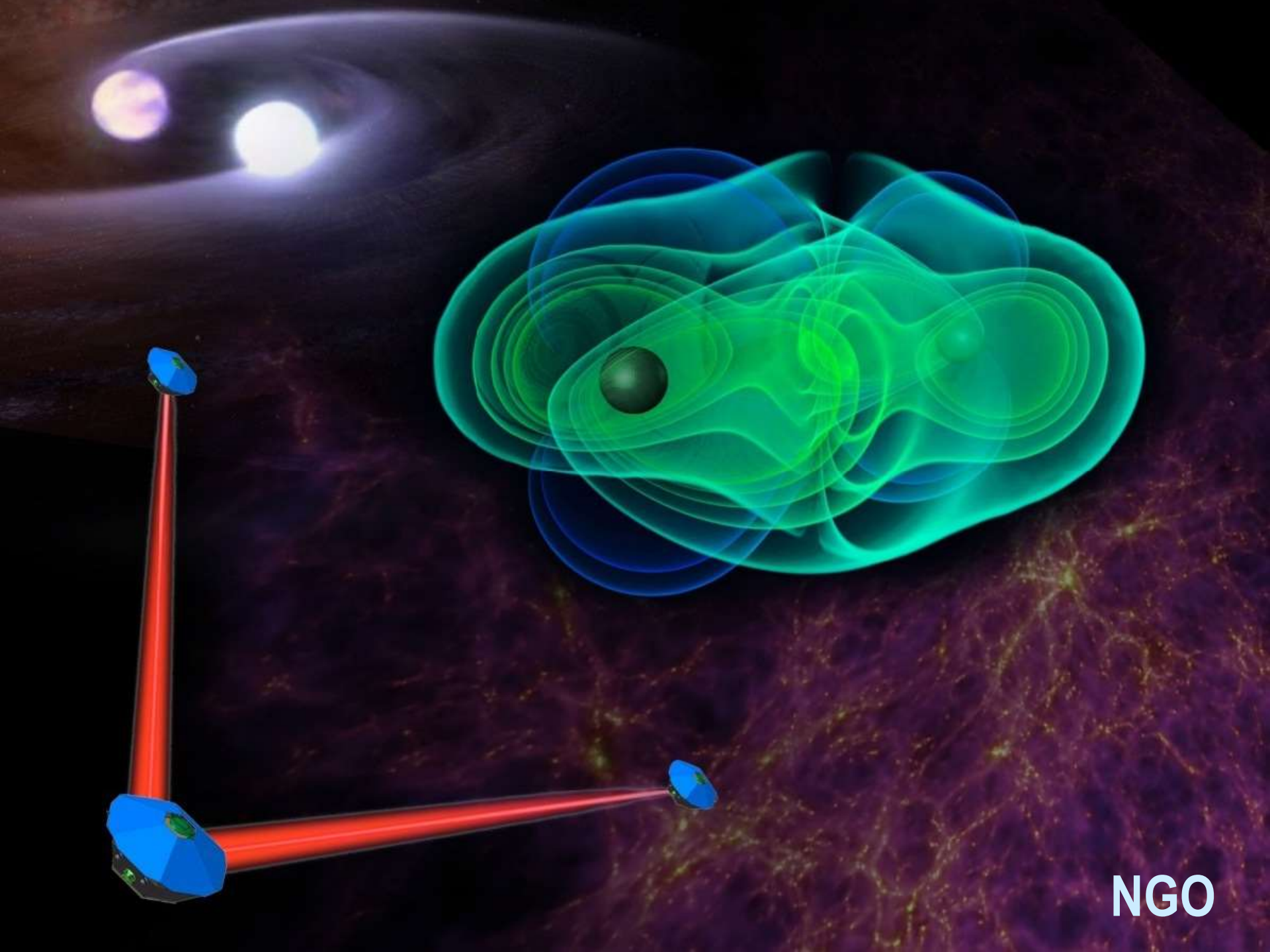
- Obecná relativita
- Gravitační vlny
- První pokusy o detekci
- Interferometrické detektory
- **LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder**
- Další způsoby detekce

LISA (Laser Interferometer Space Antenna)







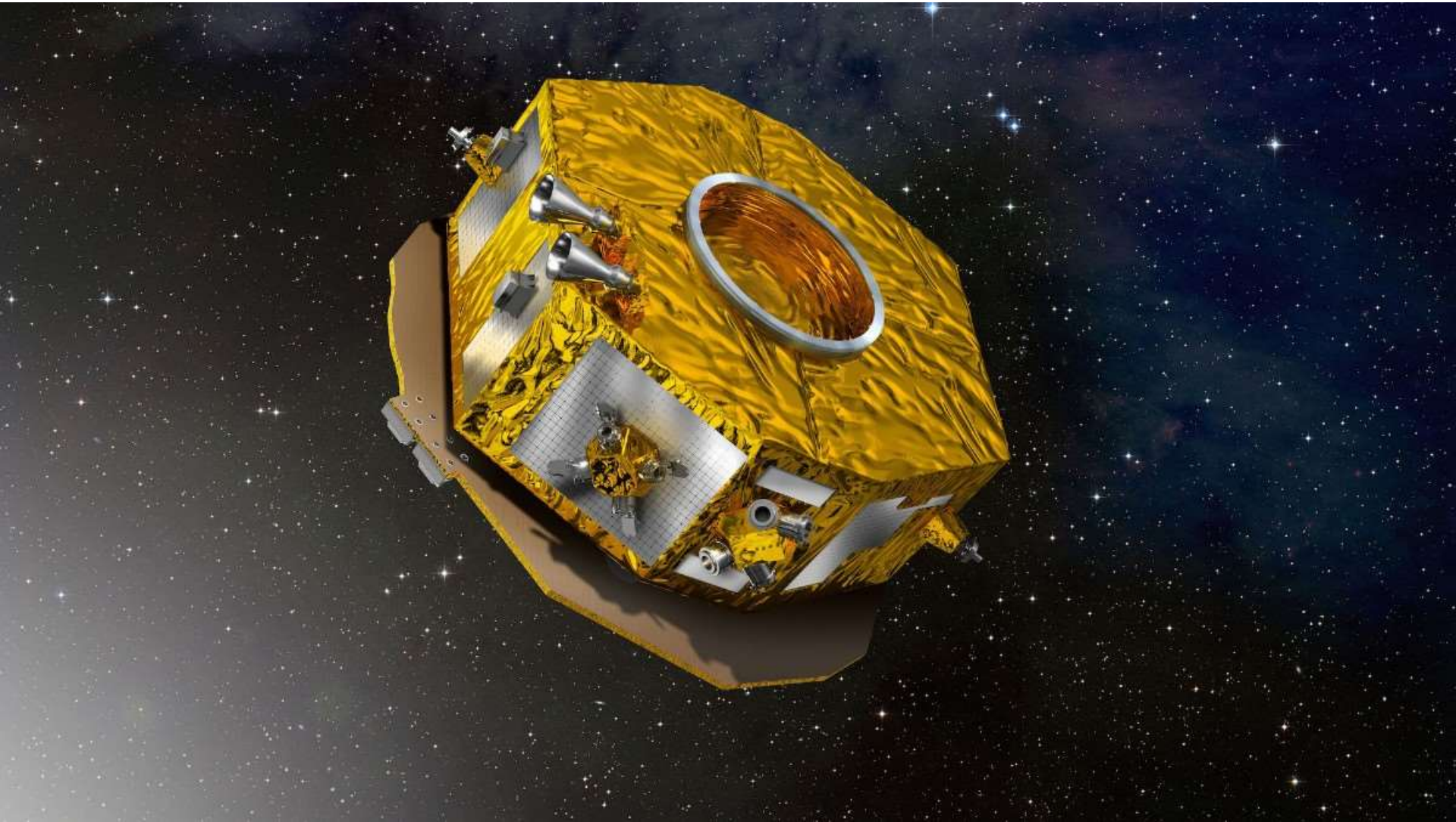


NGO

eLISA (2032?)



LISA Pathfinder (2. 12. 2015?)

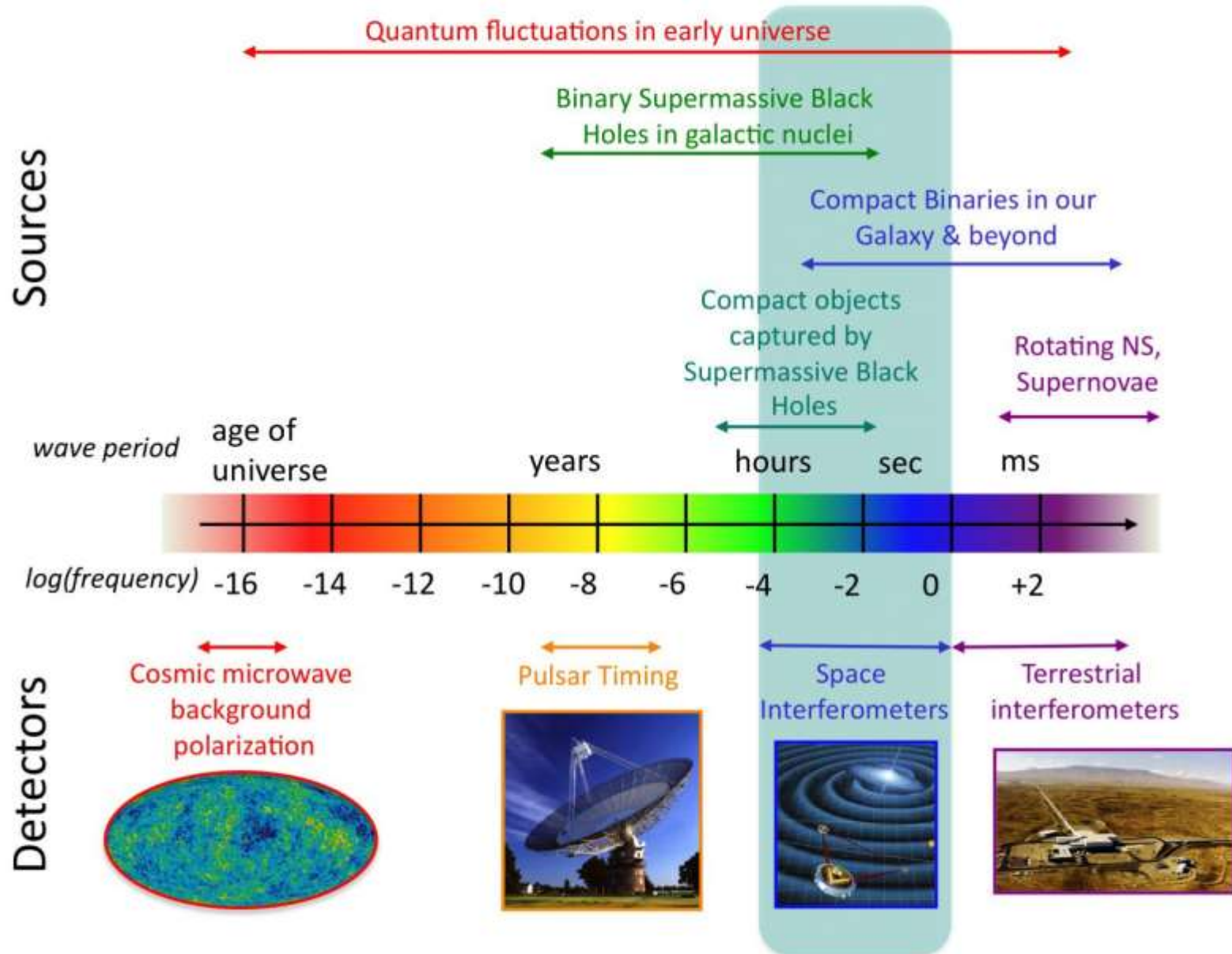


- Cold Gas Micro thrusters (mikrotrysky)
- Colloid Thruster System (nabité kapičky v elektrickém poli)

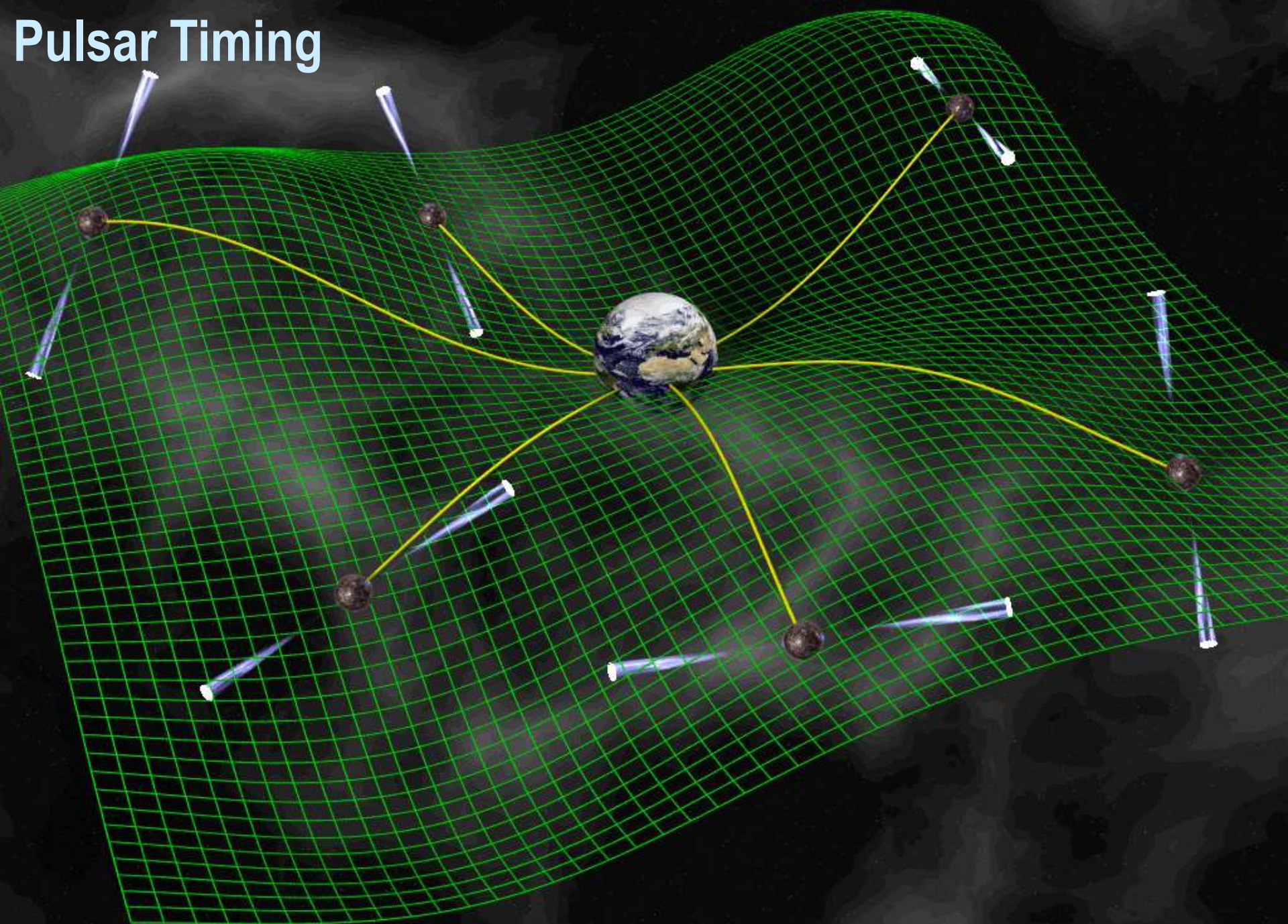


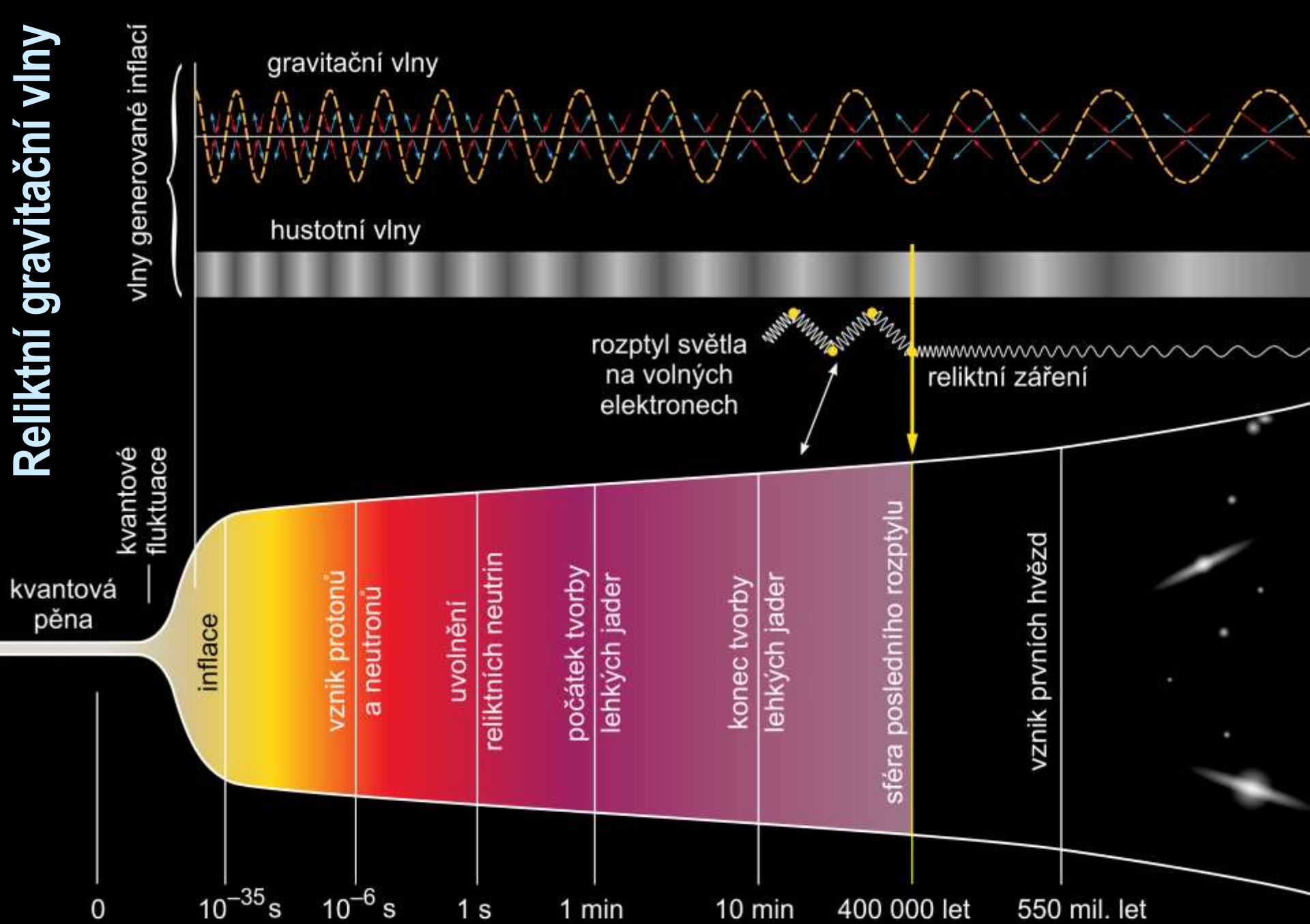
- Obecná relativita
- Gravitační vlny
- První pokusy o detekci
- Interferometrické detektory
- LISA, NGO, eLISA, LISA Pathfinder
- Další způsoby detekce

The Gravitational Wave Spectrum

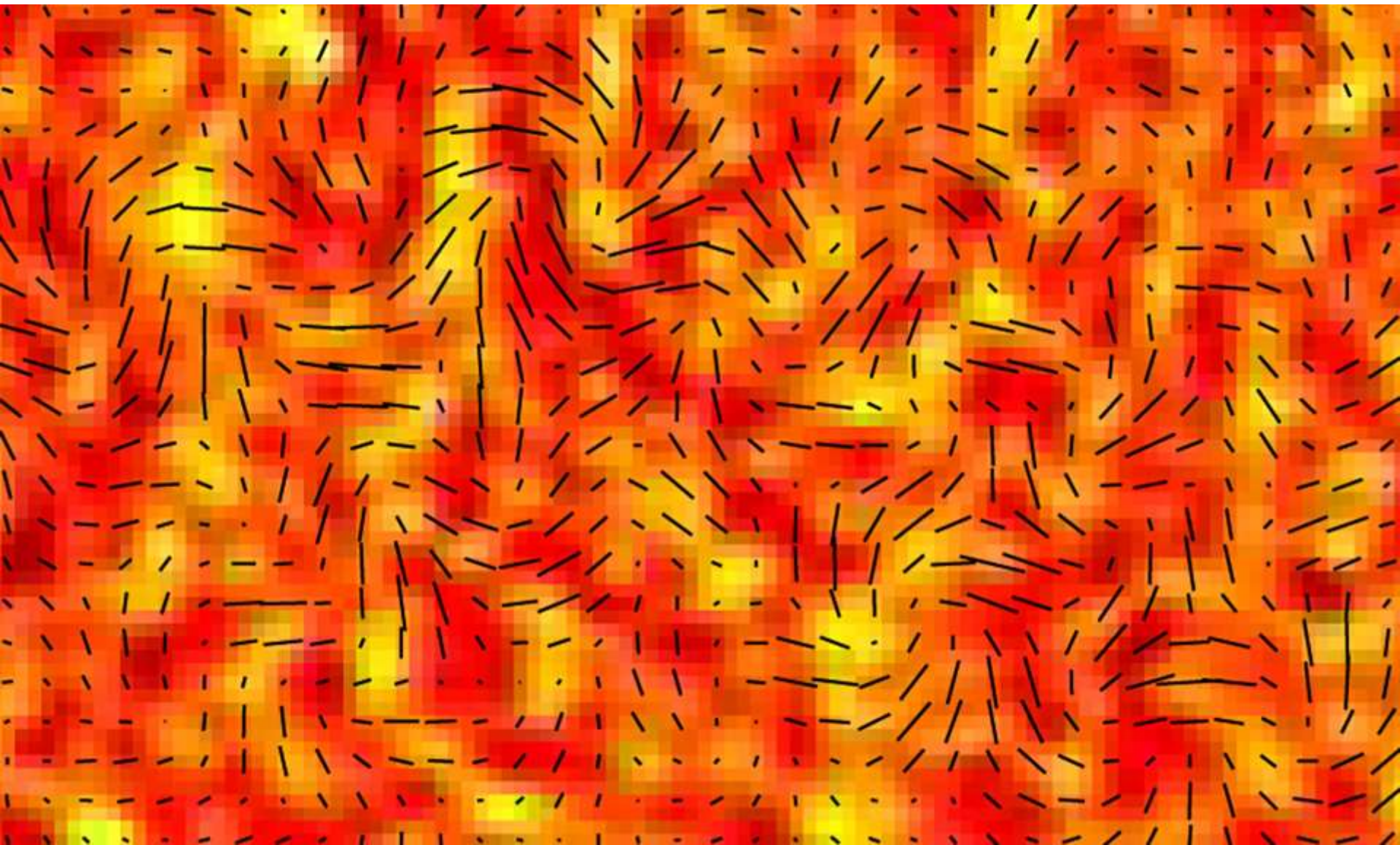


Pulsar Timing





Reliktní gravitační vlny / reliktní záření



Reliktní gravitační vlny / reliktní záření





A to je zatím vše...