



AZ UNIVERZUM SUTTOGÁSA AVAGY MIT HALLANAK A GRAVITÁCIÓSHULLÁM-DETEKTOROK

Vasúth Mátyás

MTA Wigner FK

A Magyar VIRGO csoport vezetője

Gravitációs hullámok

Einstein utolsó jóslata

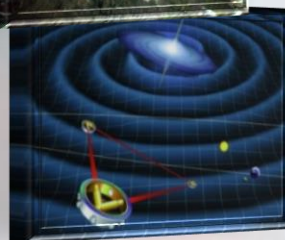
obszervatóriumok

Einstein-teleszkóp

gravitációshullám-csillagászat

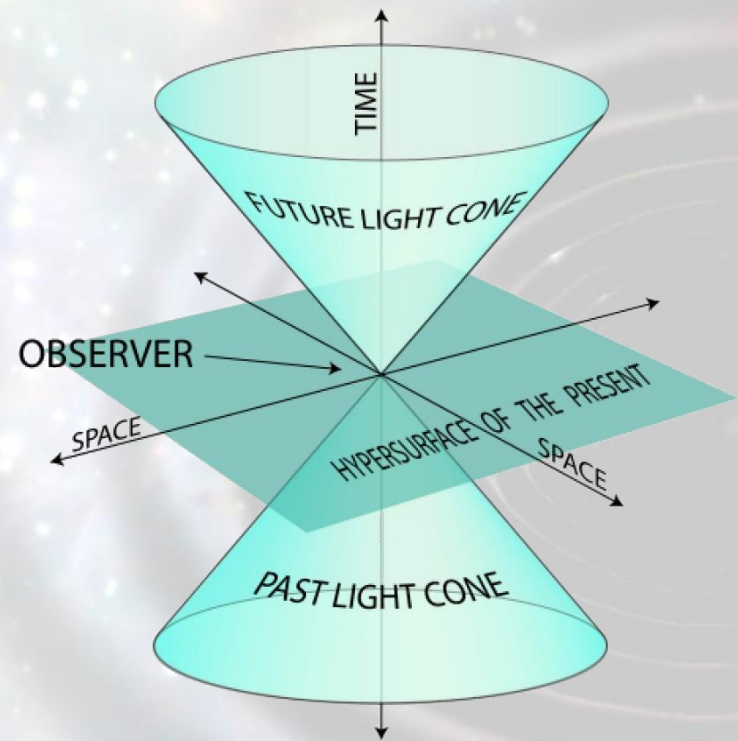
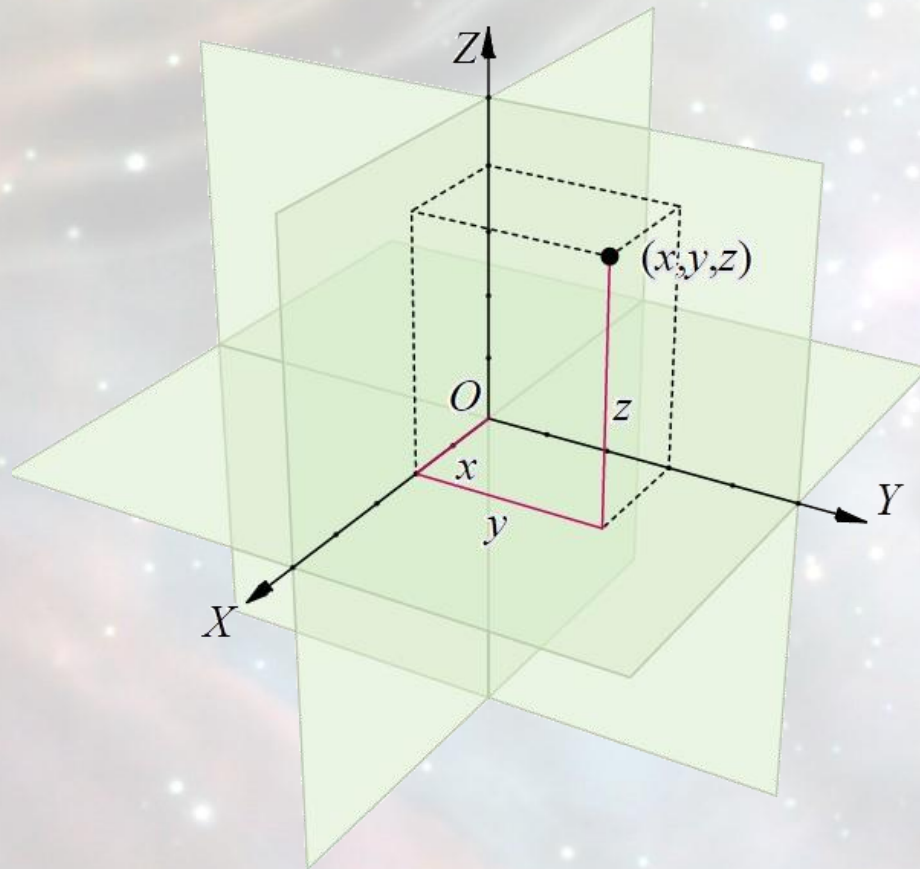
fekete lyukak

első közvetlen megfigyelés

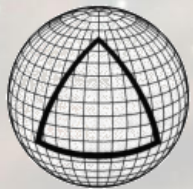


A téridő görbületének hepehupái

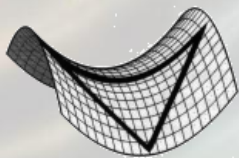
- Speciális / általános relativitáselmélet 1905 / 1915



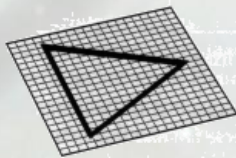
A téridő görbületének hepehupái



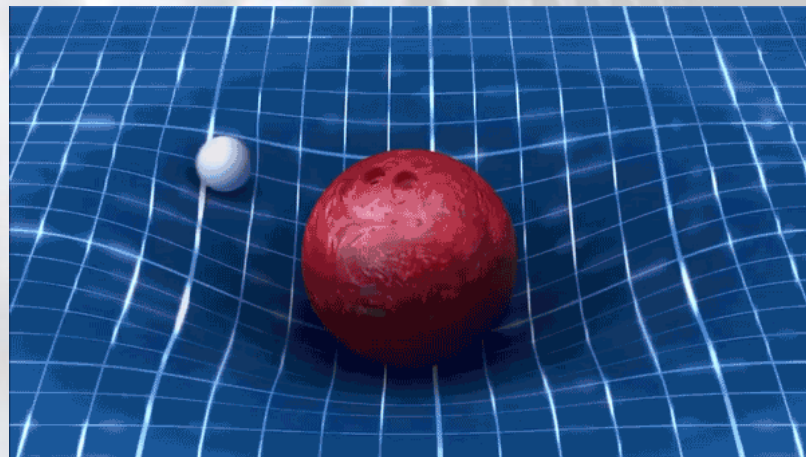
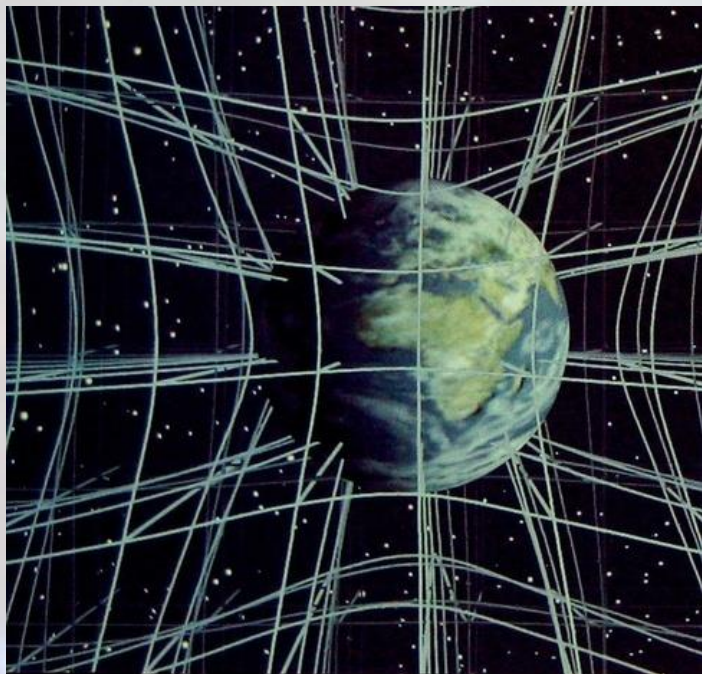
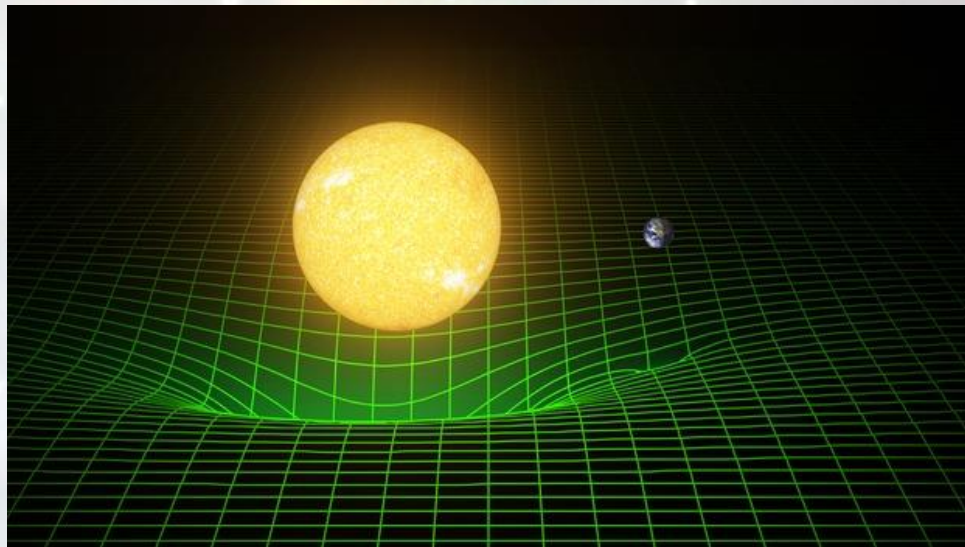
Positive Curvature



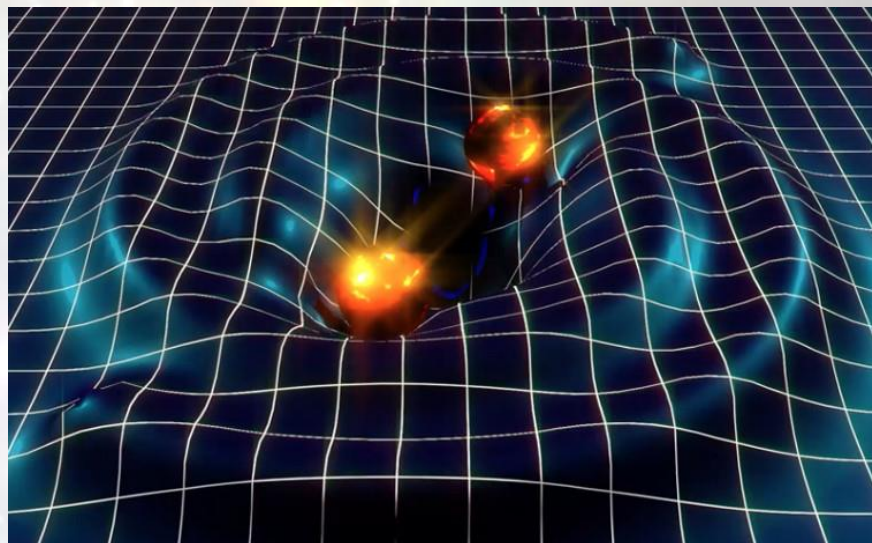
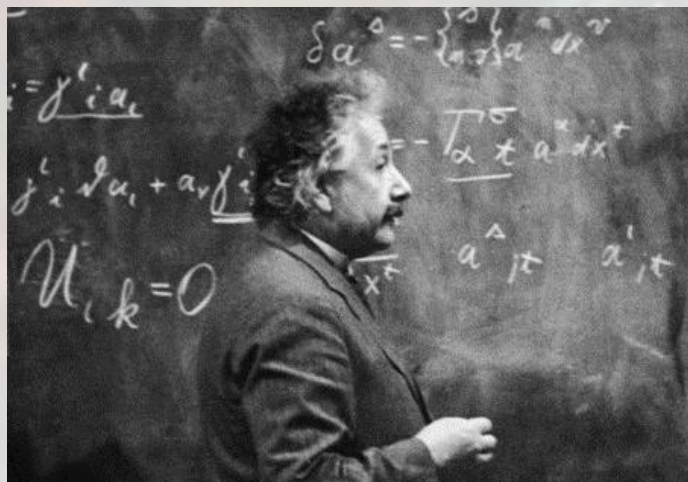
Negative Curvature



Flat Curvature

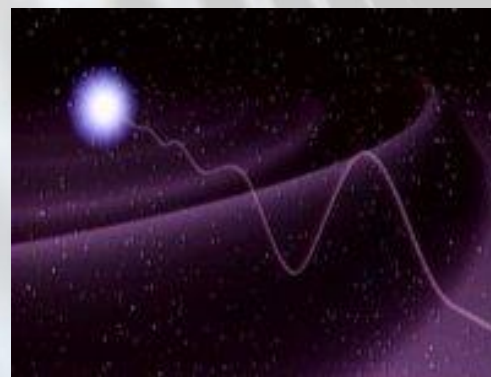


A téridő görbületének hepehupái

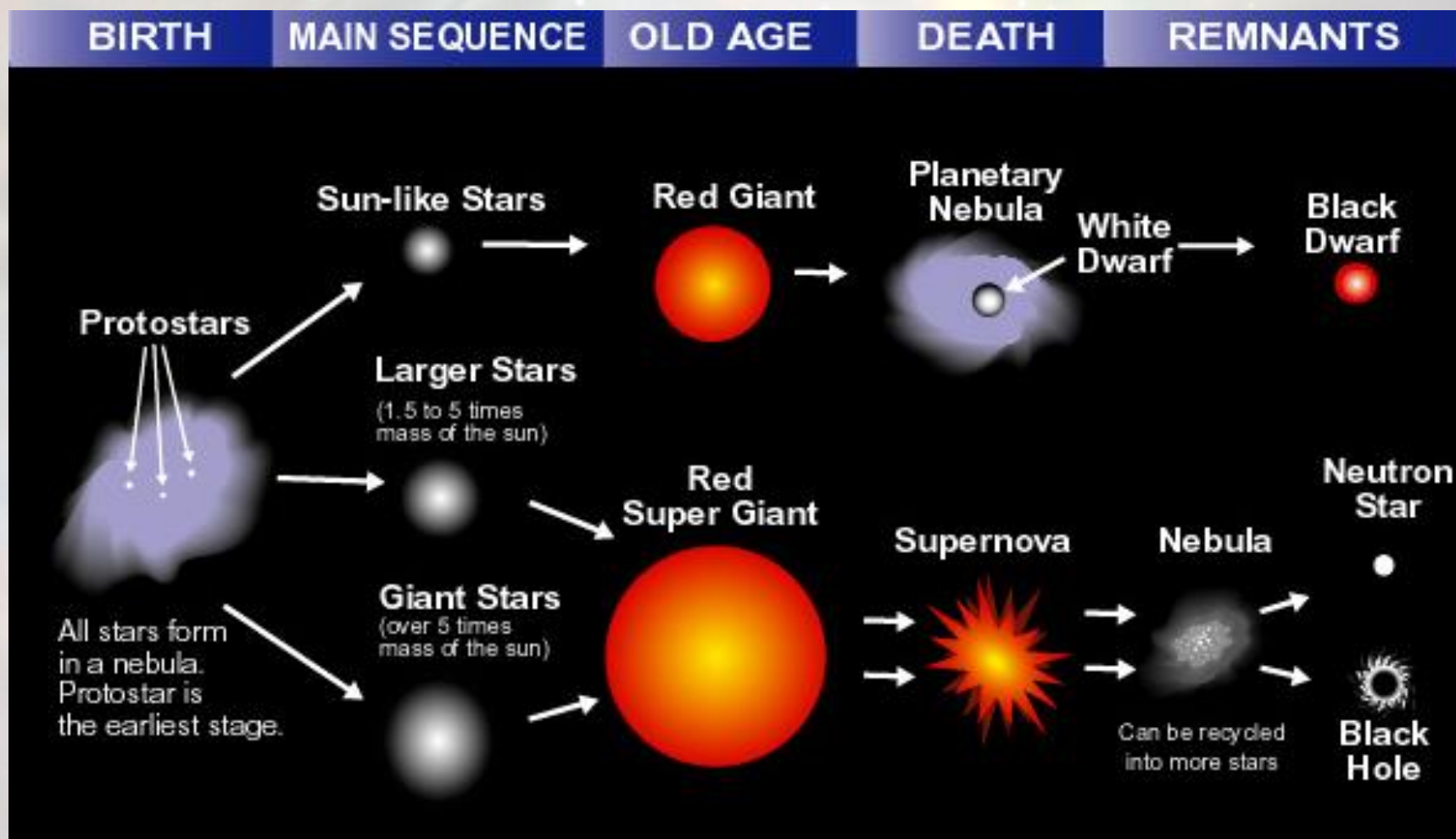


- Gravitációs hullámok, a gravitációs hatás fénysebességgel tovaterjedő változásai, a téridő fodrozódásai

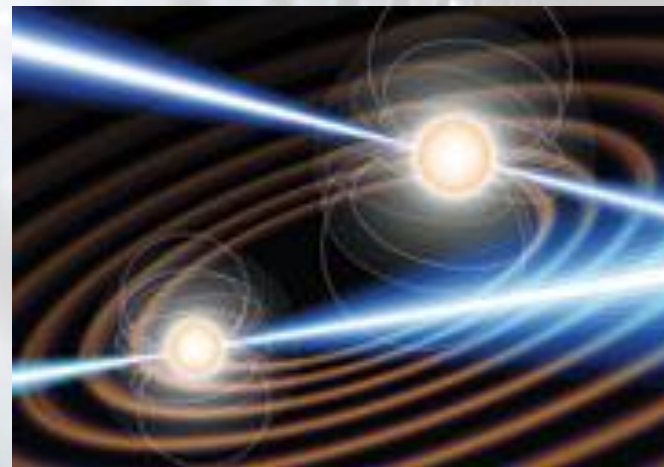
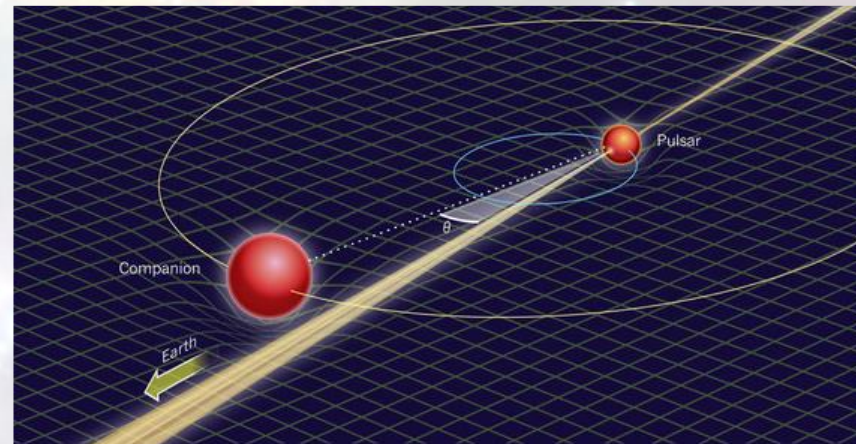
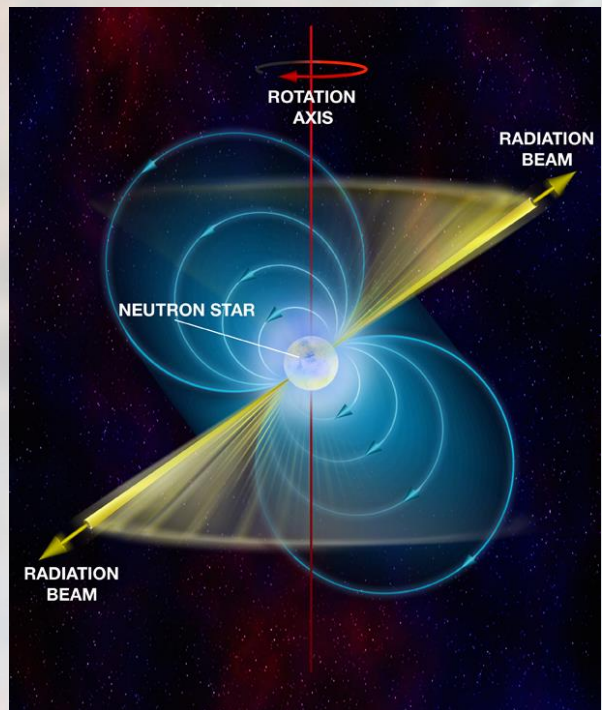
$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$$
$$\eta^{\rho\sigma} h^{\mu\nu}_{,\rho\sigma} = -16\pi\tau^{\mu\nu}$$



Nagy tömegű csillagok

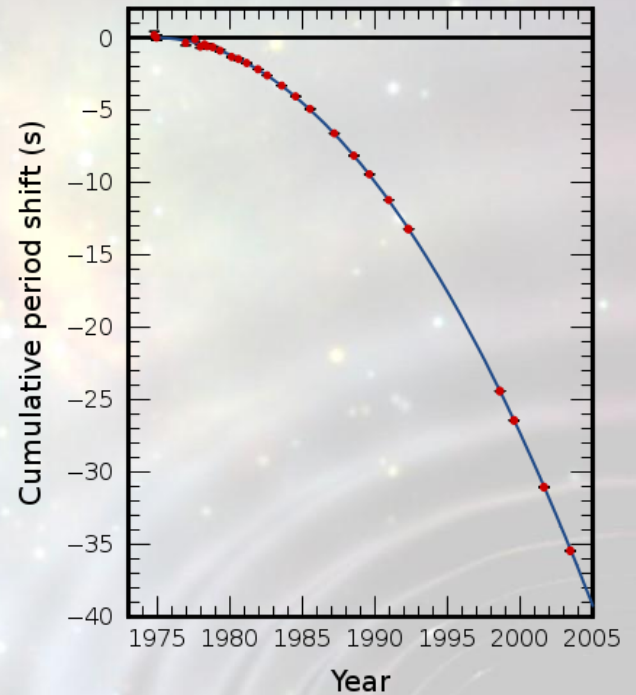
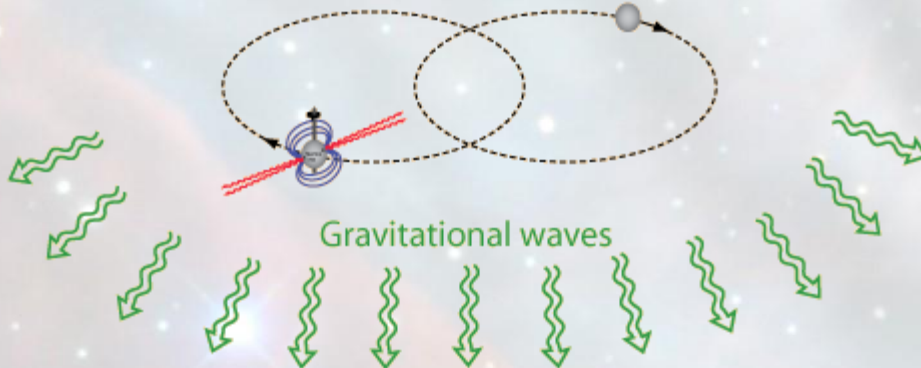


Neutroncsillagok, fekete lyukak



Közvetett megfigyelés

- Valóban léteznek? Fizikai Nobel-díj 1993
 - PSR 1913+16: neutroncsillagokból álló kettős
 - 1974, az első pulzár kettős rendszerben
 - $T = 7,75$ óra
 - $a = 1,95 \cdot 10^6$ km
 - $v_{\max} = 1,5 \cdot 10^{-3}$ km/s
 - $d = 6,4$ kpc
- A relativitáselmélet szerint a rendszer gravitációs hullámokat bocsát ki, a keringési idő csökken. A megfigyelések ezt 0,2% pontossággal igazolták



The Nobel Prize in Physics 1993

"for the discovery of a new type of pulsar, a discovery that has opened up new possibilities for the study of gravitation"

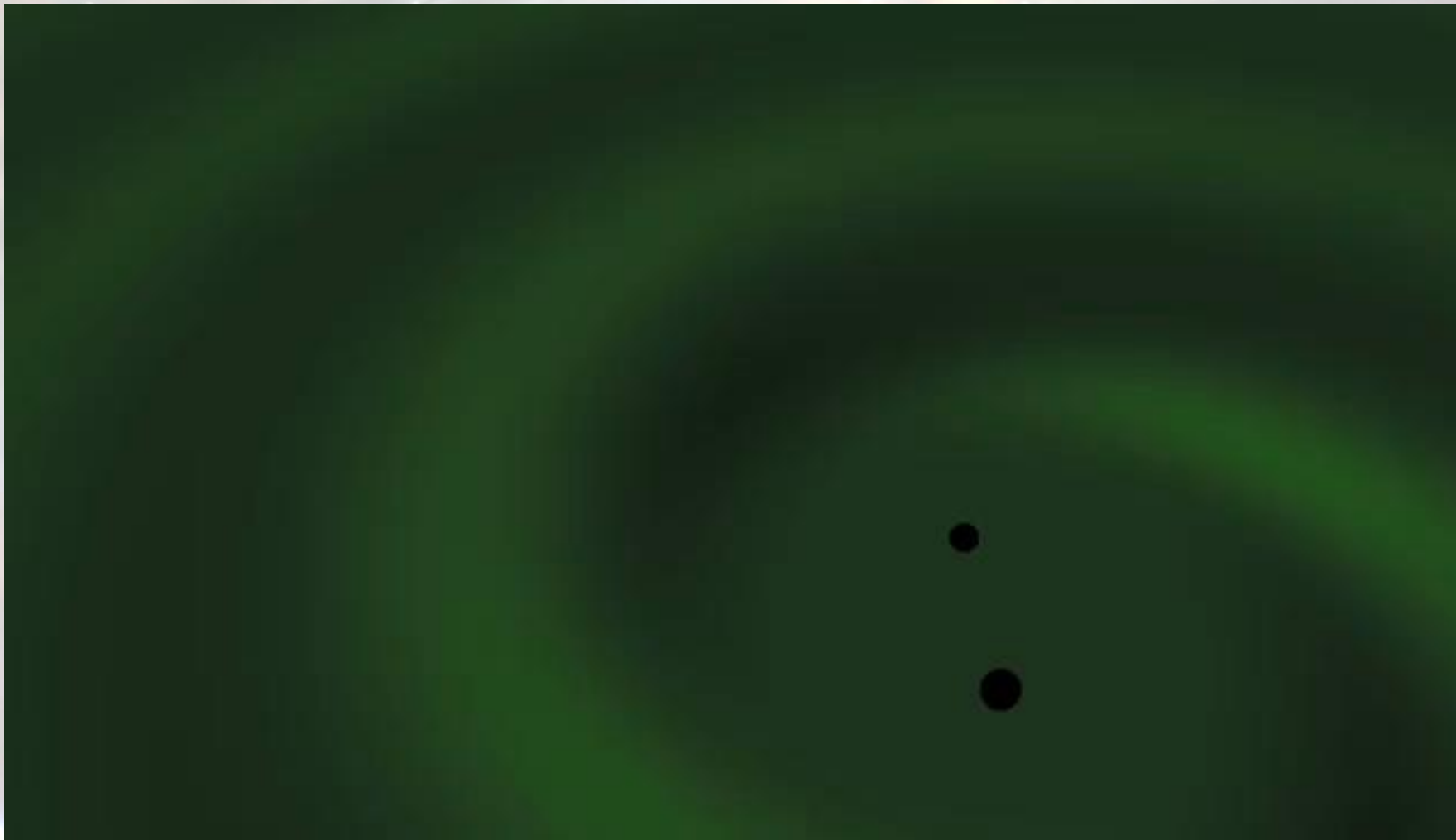


Russell A. Hulse



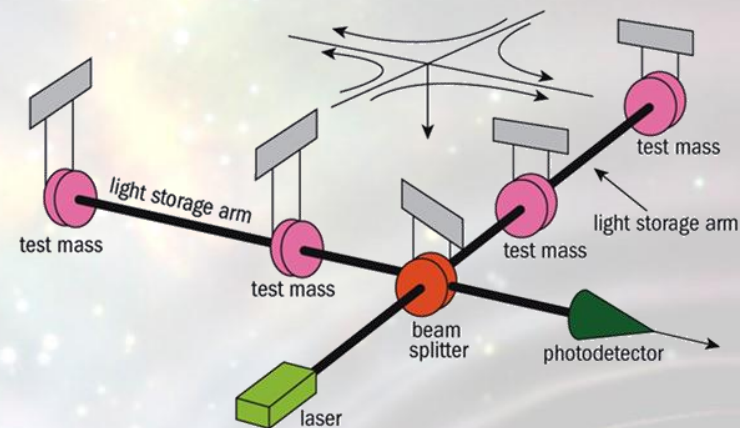
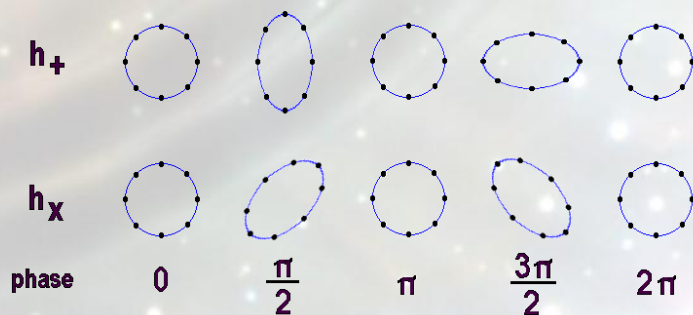
Joseph H. Taylor Jr.

Gravitációs hullámok

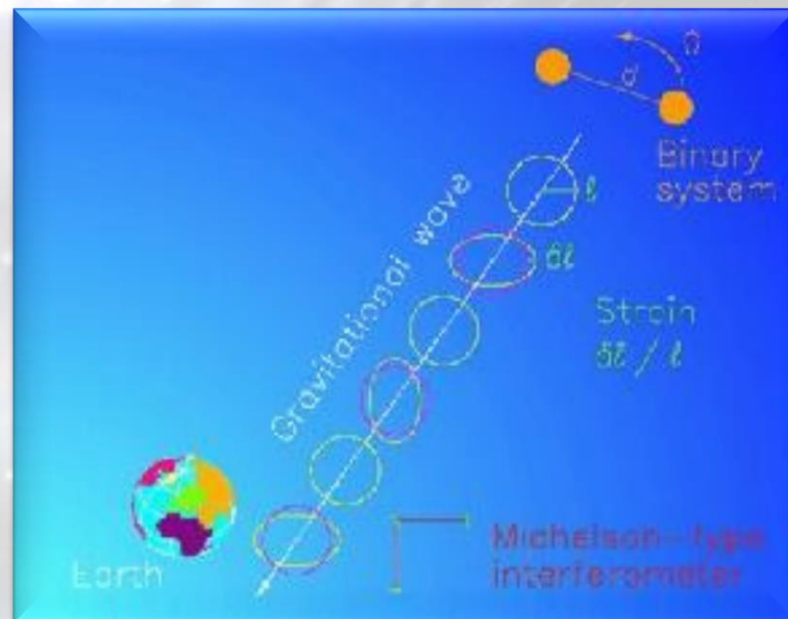


Gravitációs hullámok

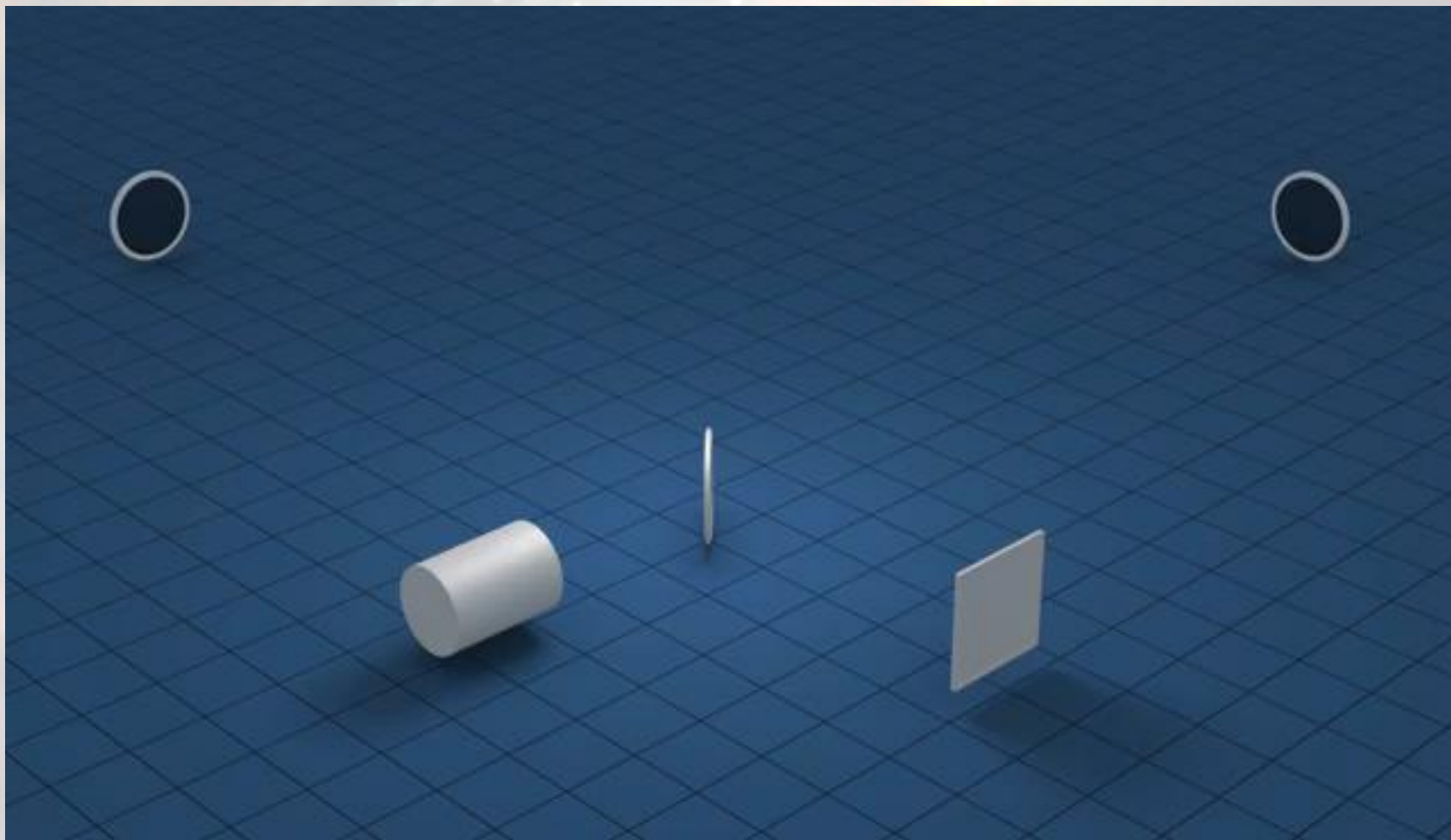
- Mértékrögzítés, kétféle polarizációs állapot



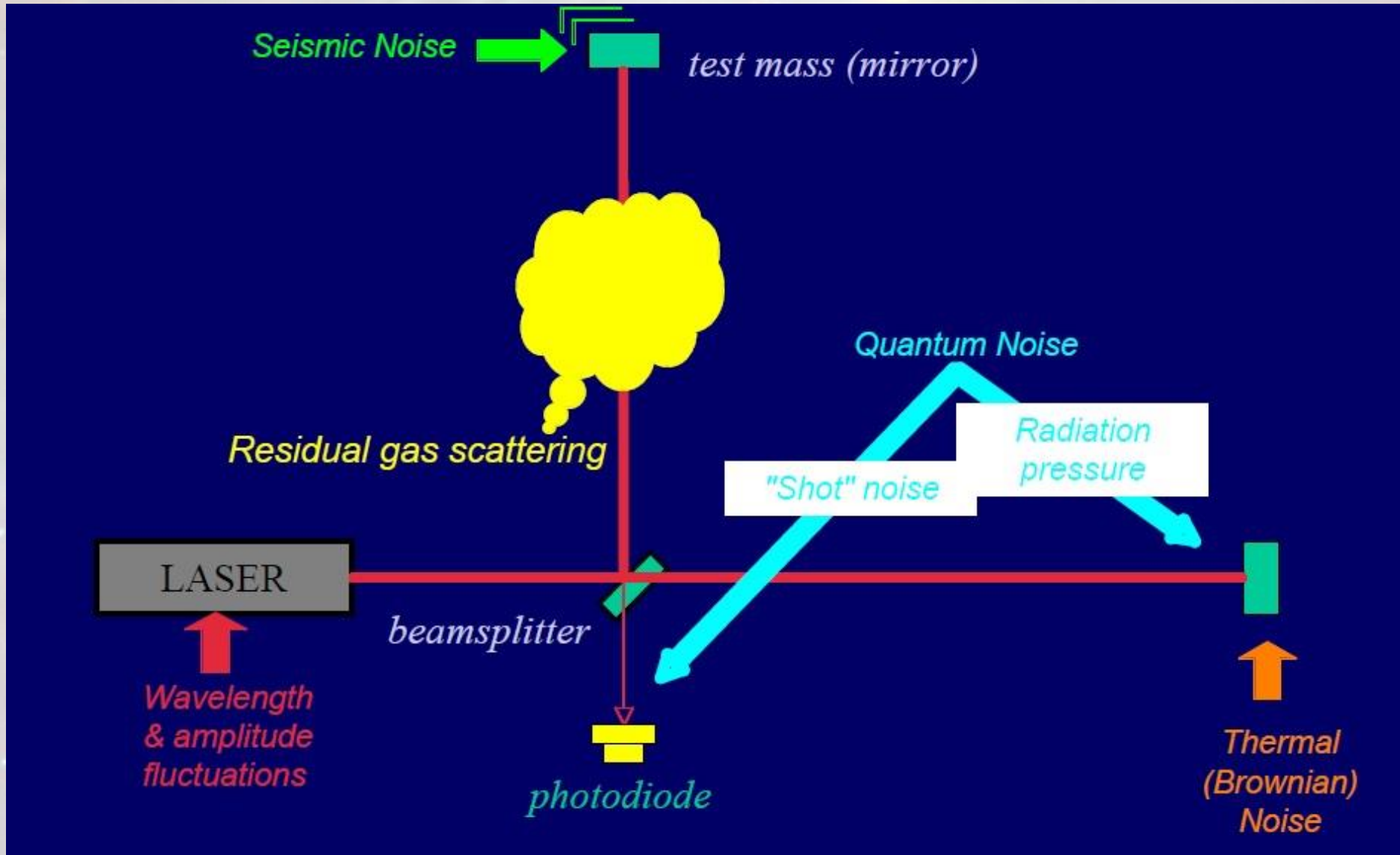
- Az árapályerők által okozott relatív hosszváltozások megfigyelése



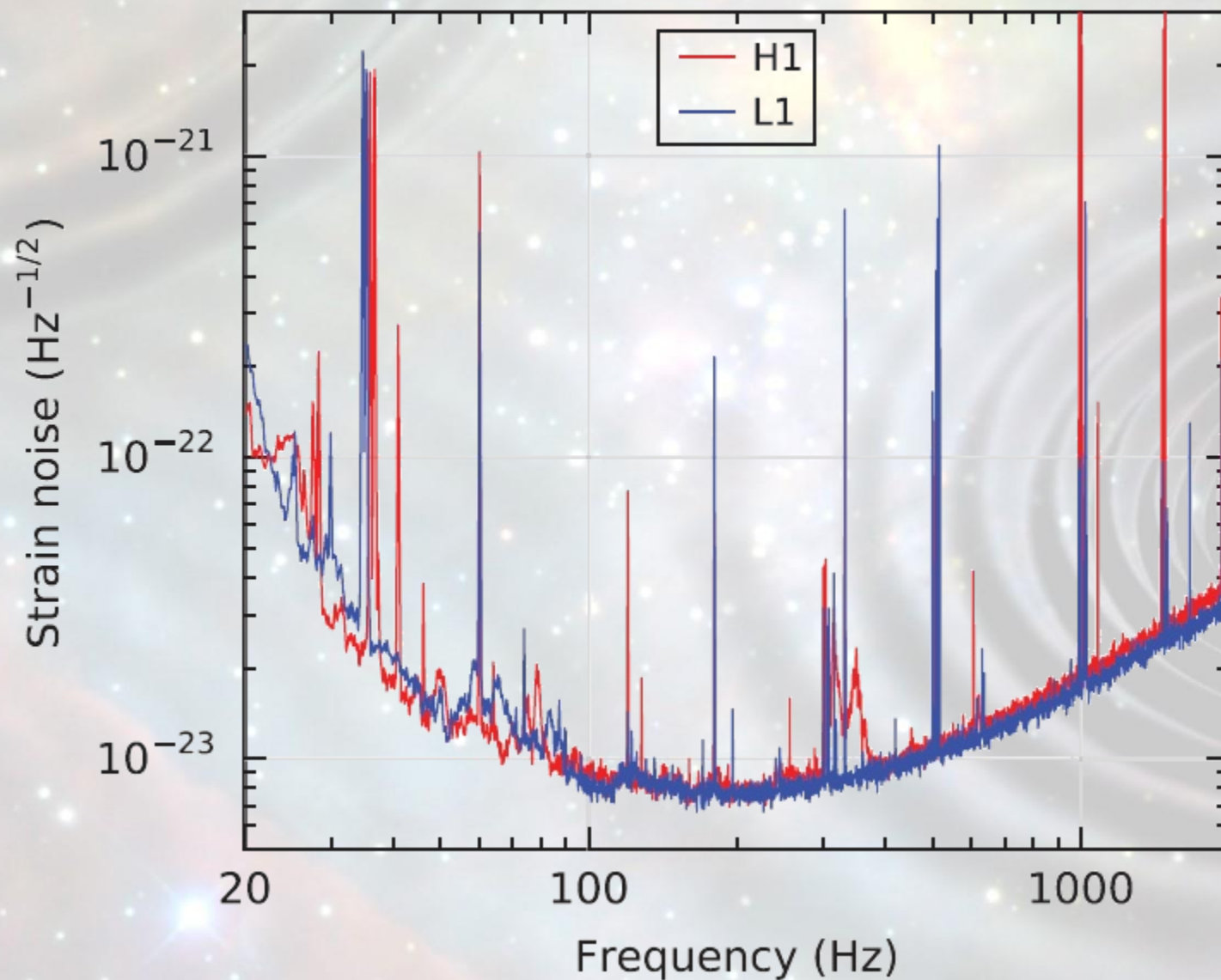
A gravitációs hullámok mérése



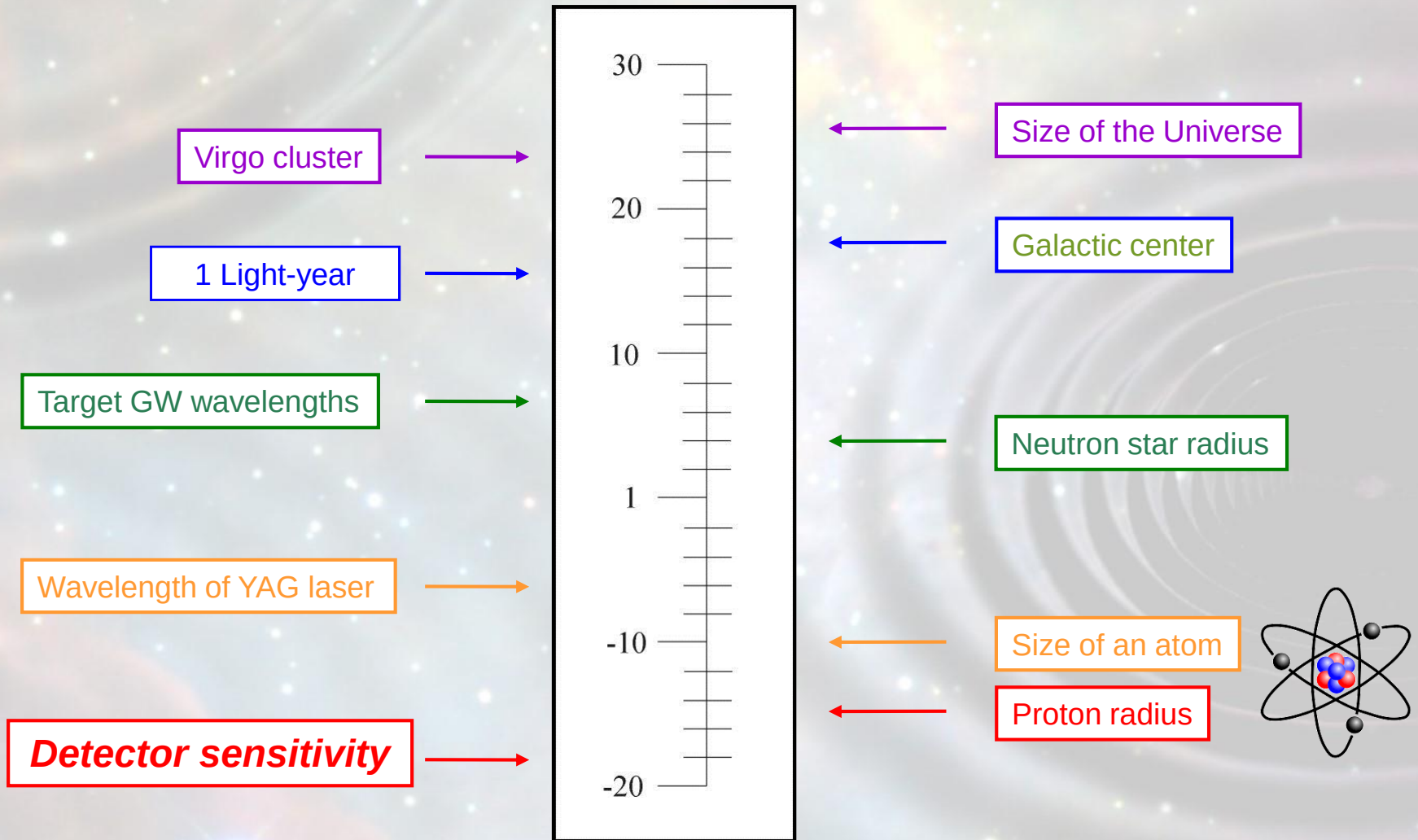
Zajforrások



A detektor érzékenysége - aLIGO



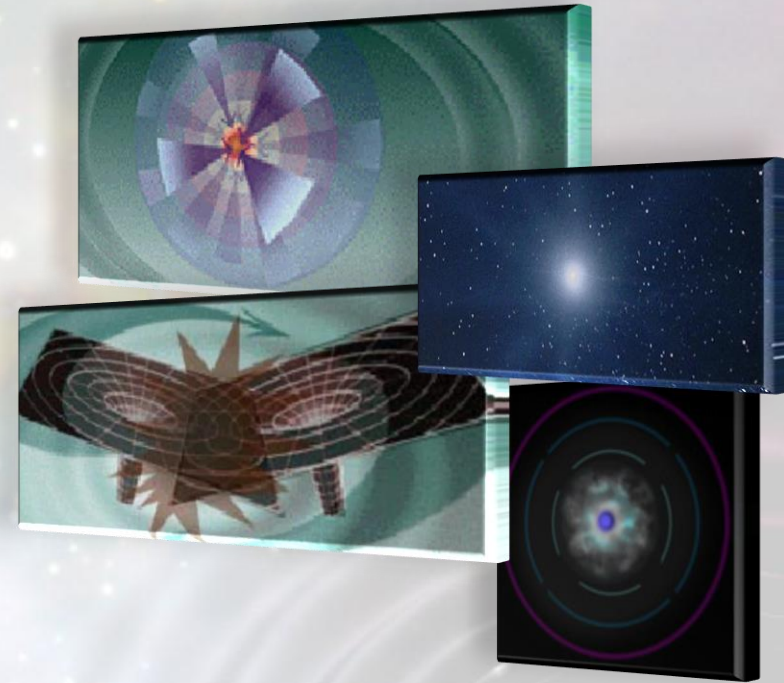
Távolságok



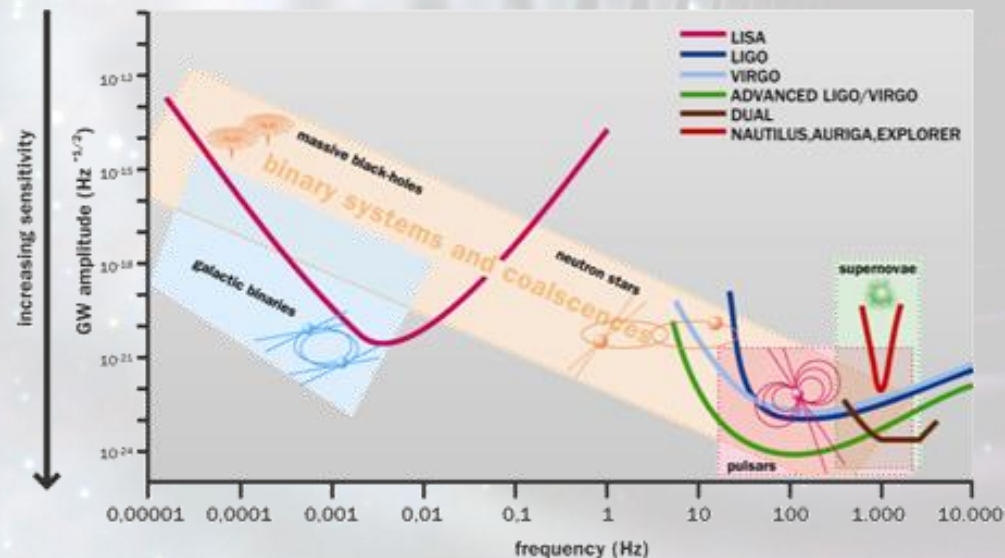
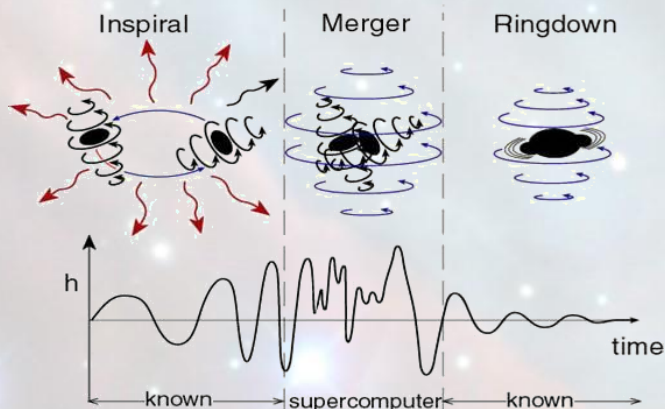
A hullámok forrásai

Frekvencia

- Szupernóva robbanás 1Khz
- Forgó neutroncsillagok 1 ... 10Khz
- Véletlenszerű források
- Összeolvadó kettős rendszerek 200Hz ... 2Khz



A kompakt kettősök, mint a gravitációs hullám obszervatóriumok jelentős forrásai, jól meghatározott hullámformával jellemezhetők fejlődésük korai és késői szakaszában



Obszervatóriumok világszerte



GEO600

LIGO Hanford

LIGO Livingston

VIRGO

KAGRA

LIGO India



Operational

Under Construction

Planned

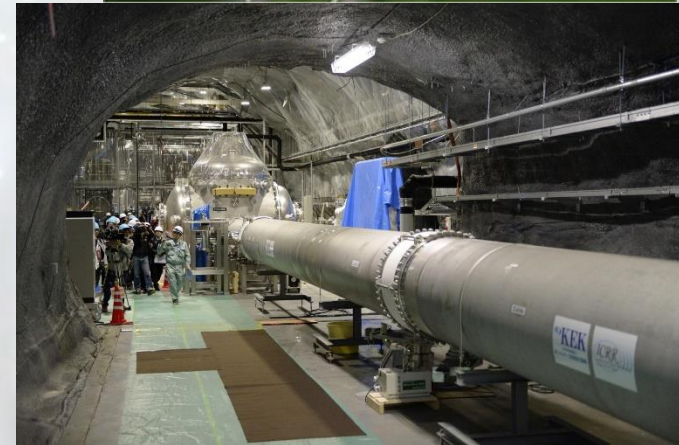
Gravitational Wave Observatories



Karhossz: 3 km

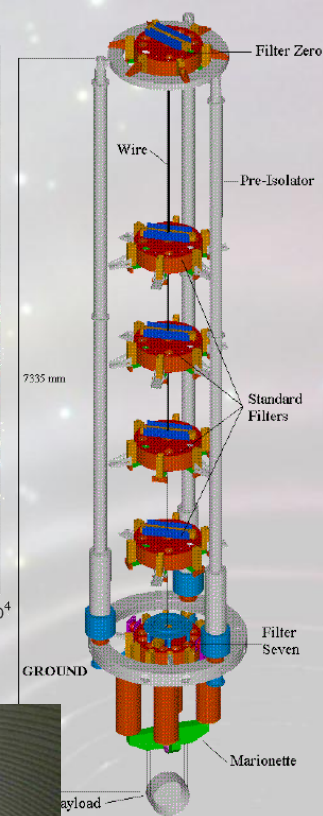
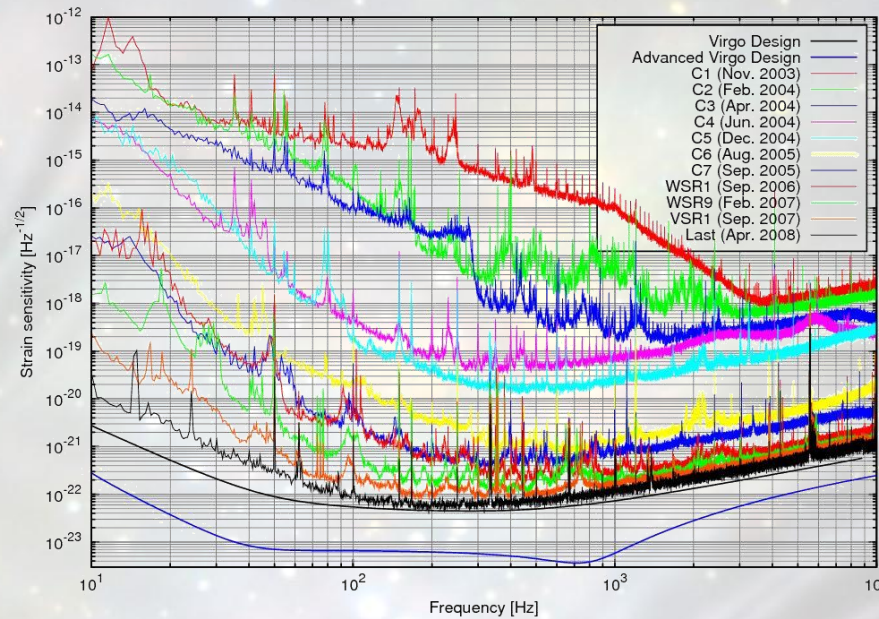
- A MEXT támogatásával (Ministry of Education)
\$156M + további \$8M kérelem
- Az első földalatti IFO, alacsony hőm.
- 2 szint, fejlett szeizmikus izoláció (Nikhef)
- iKagra: 2010.10 – 2015.12, szobahőm.
bKagra: 2016-17, recycling
- Tükrök: zafír, borítás: LMA
- járatok: 2014.03, vákuumcsövek: 2015.03
- vákuumkamrák: 8K és 80K rétegek

Első teszt mérések: március 26-tól



VIRGO

Karhossz: 3 km



- Tudományos mérések 2004 – 2011
- 6800 m³, 10⁻¹⁰ mbar vákuum
- 20 kHz-es mintavételezési frekvencia, analízis 4/16 kHz -en, 200 TB/detektor adat évenként
- Szeizmikus izoláció (superattenuátor)
10⁻⁹ - 10⁻¹³ csillapítás (4 – 200 Hz)
- Felújítás alatt,
első tudományos mérések: 2016, O2



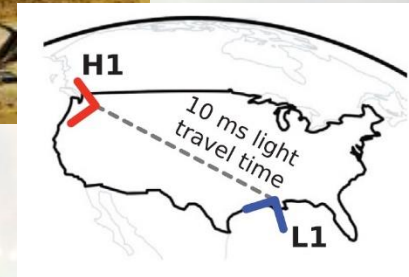
Advanced LIGO

Karhossz: 4 km

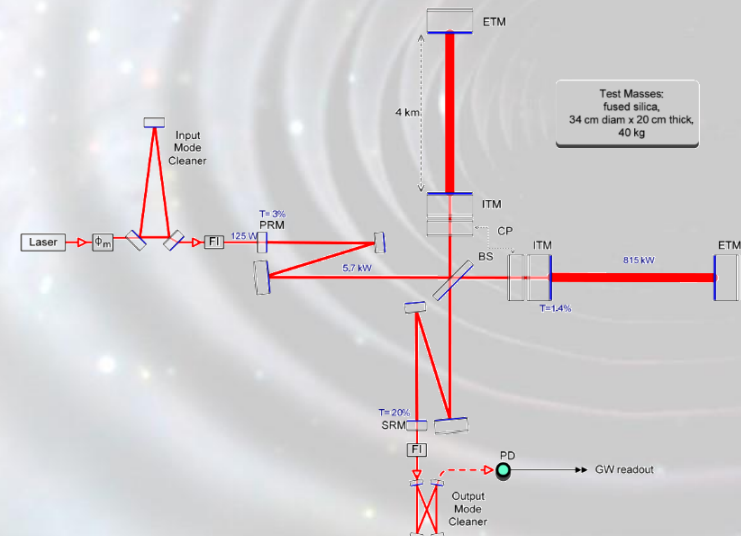
- A rendszer teljes újratervezése
\$205M NSF, \$30M UK, Ausztrália, Németország
- Power and signal recycling
- Aktív szeizmikus izoláció
- Automatic locking system
- Tükrök borítása: LMA
abszorpció: 0.3 – 0.5 ppm
szóródás: 5 – 14 ppm
- 3. aLIGO, ami eredetileg Hanfordba készült
Indiába települ
- Probléma: elektrosztatikus feltöltődés
- O1: 2015.09.18 – 2016.01.12



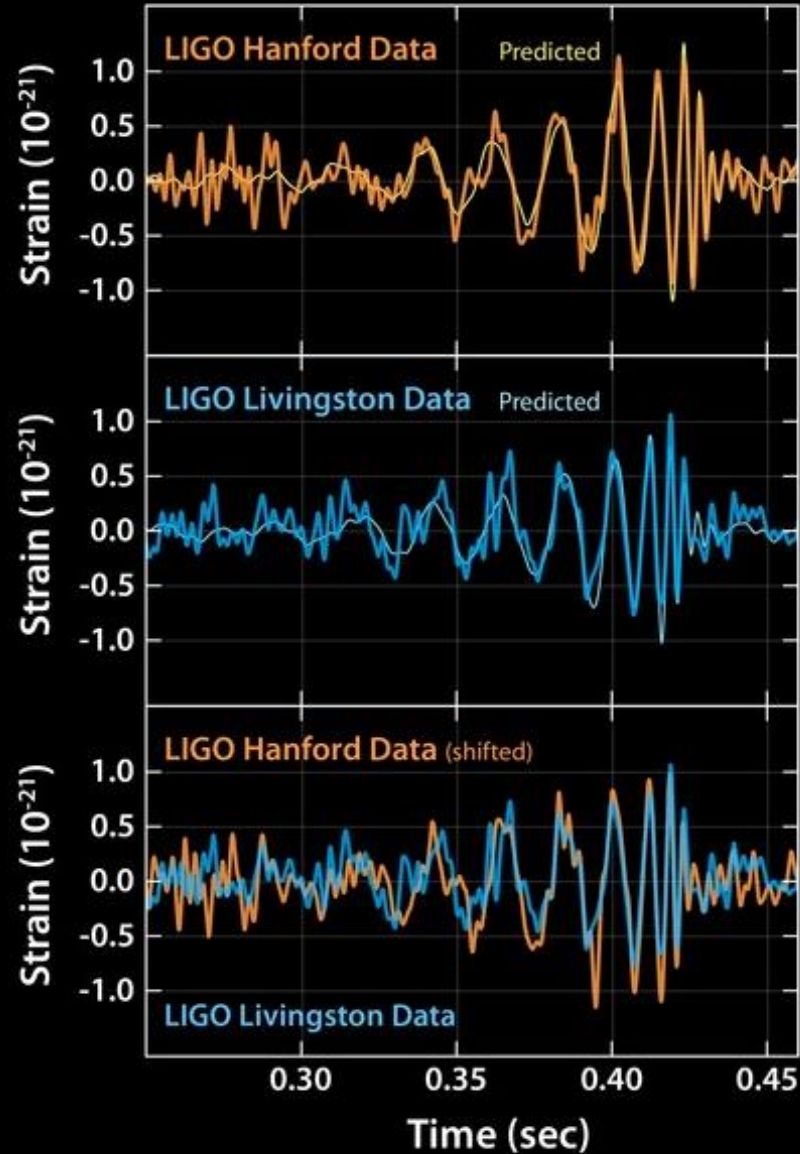
Hanford, WA



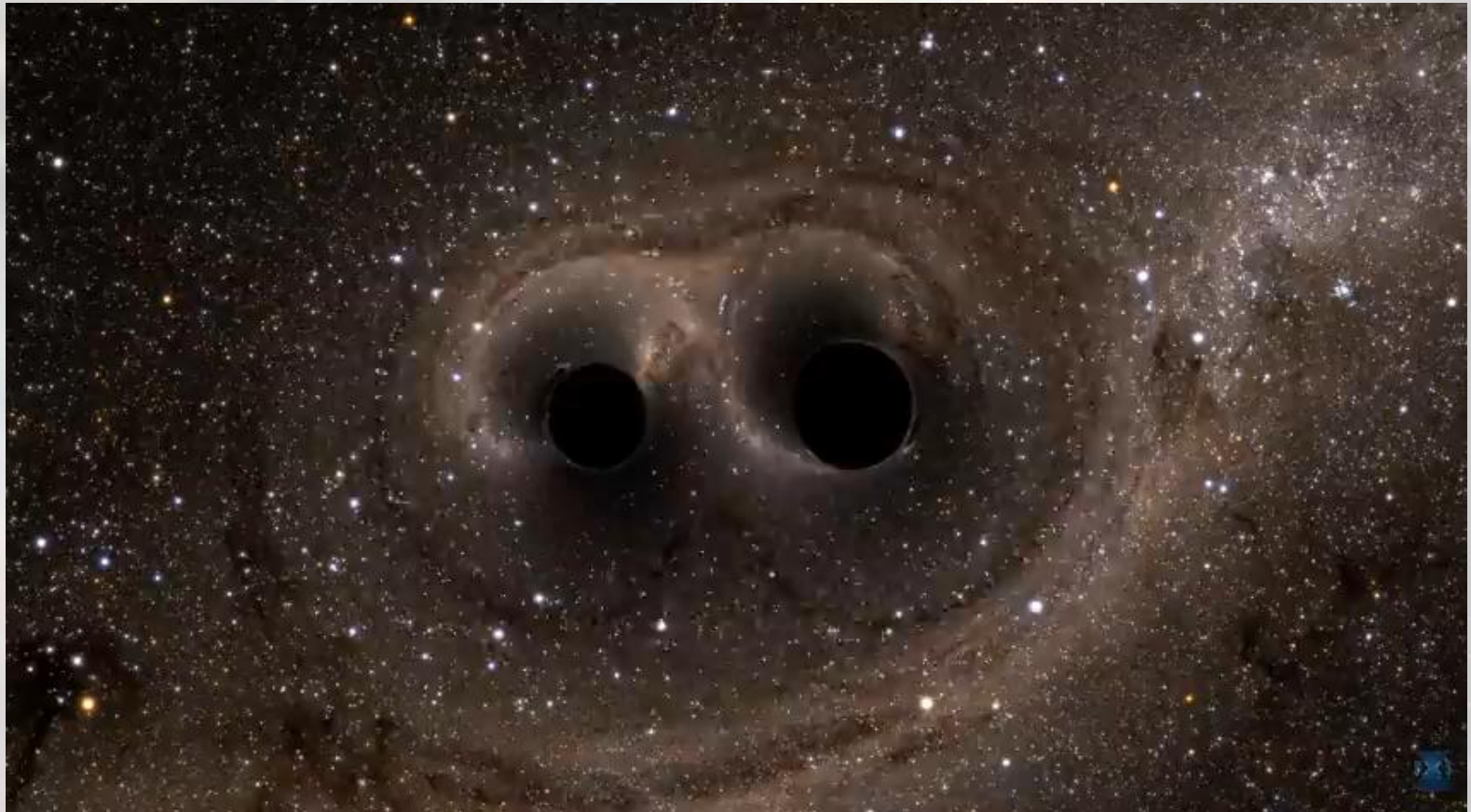
Livingston, LA



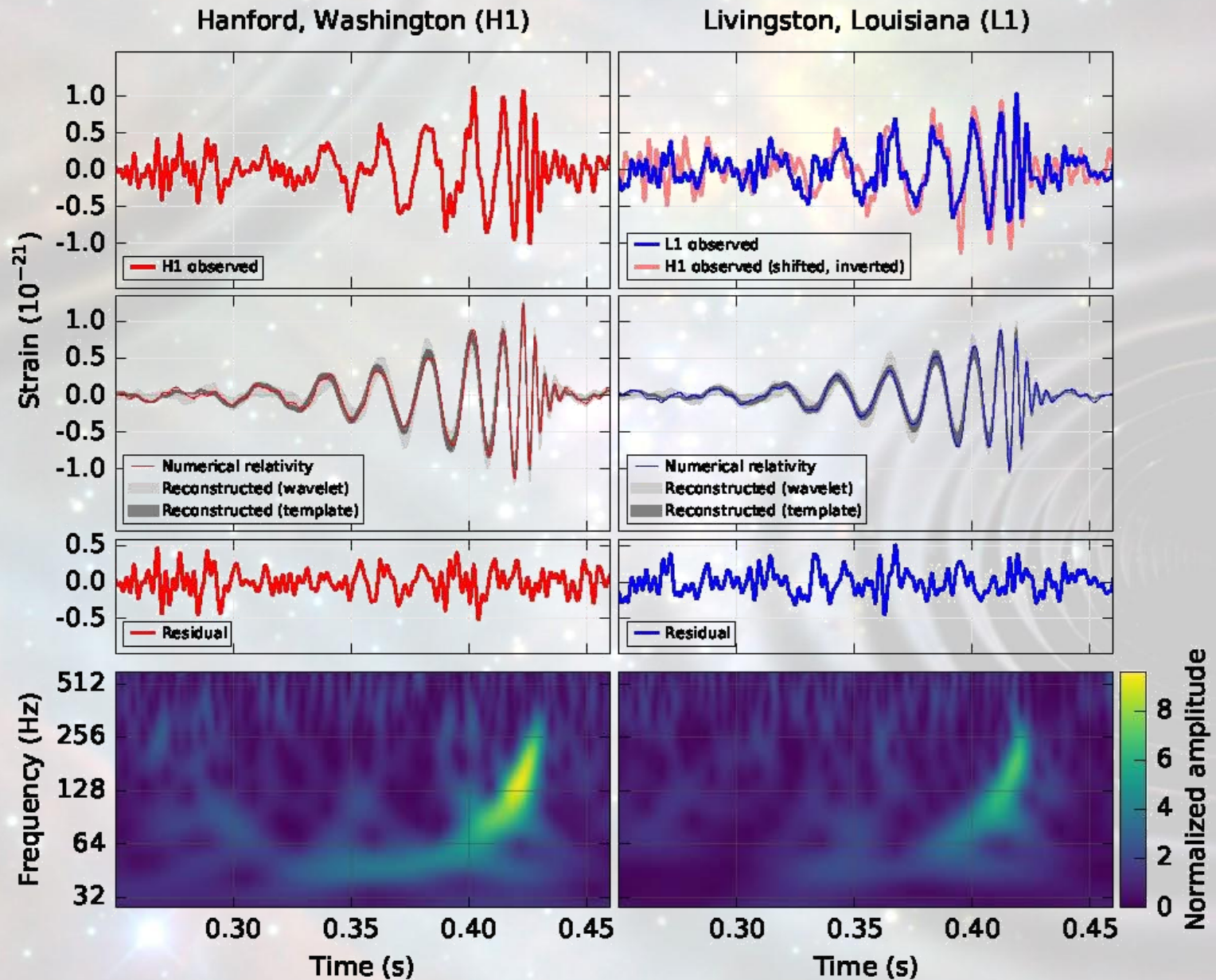
Az első közvetlen megfigyelés - GW150914



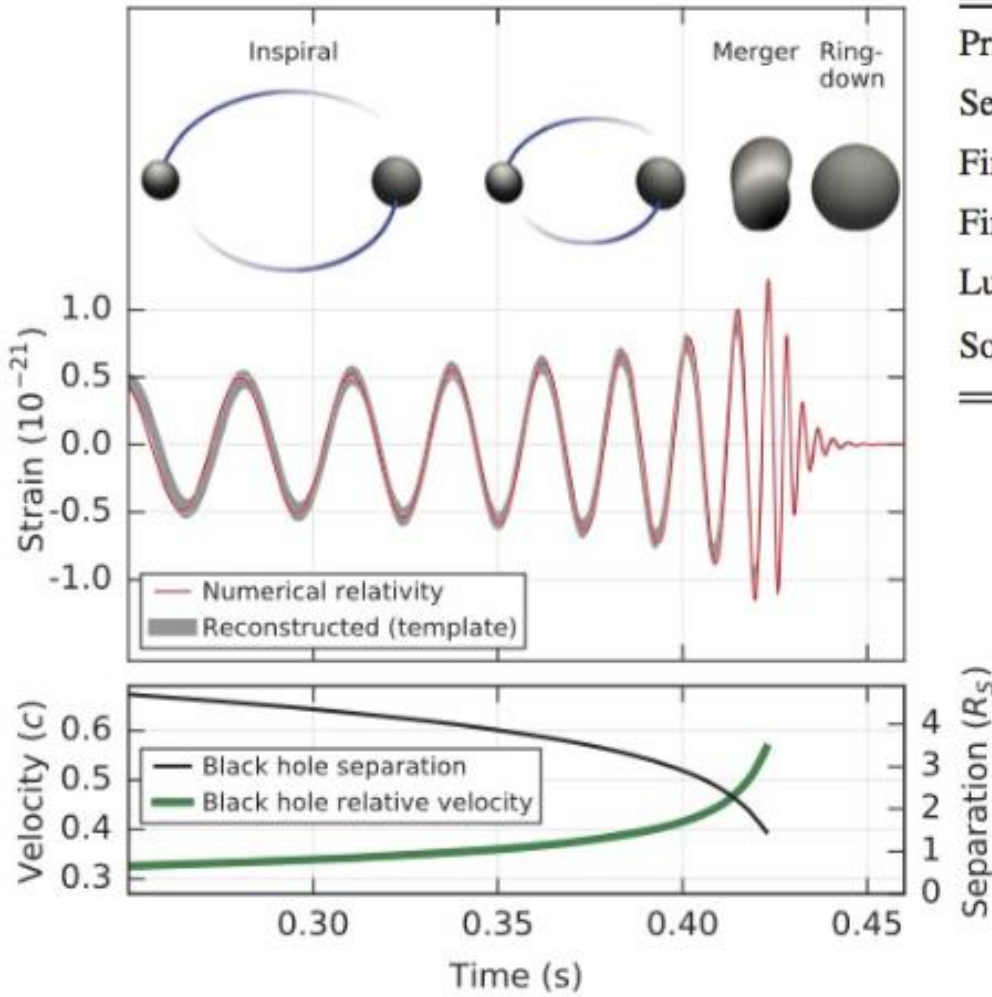
Az első közvetlen megfigyelés - GW150914



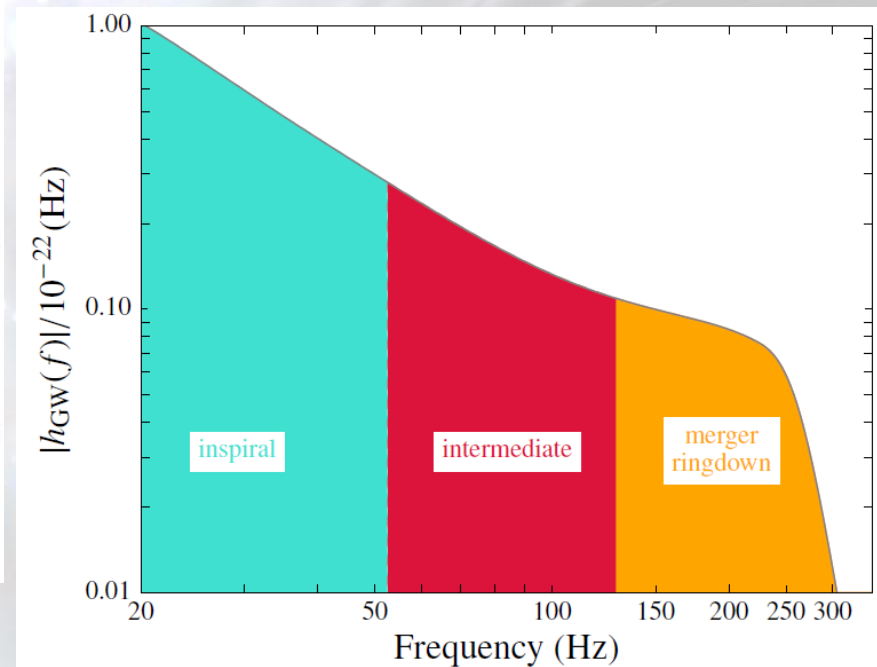
Az első közvetlen megfigyelés - GW150914



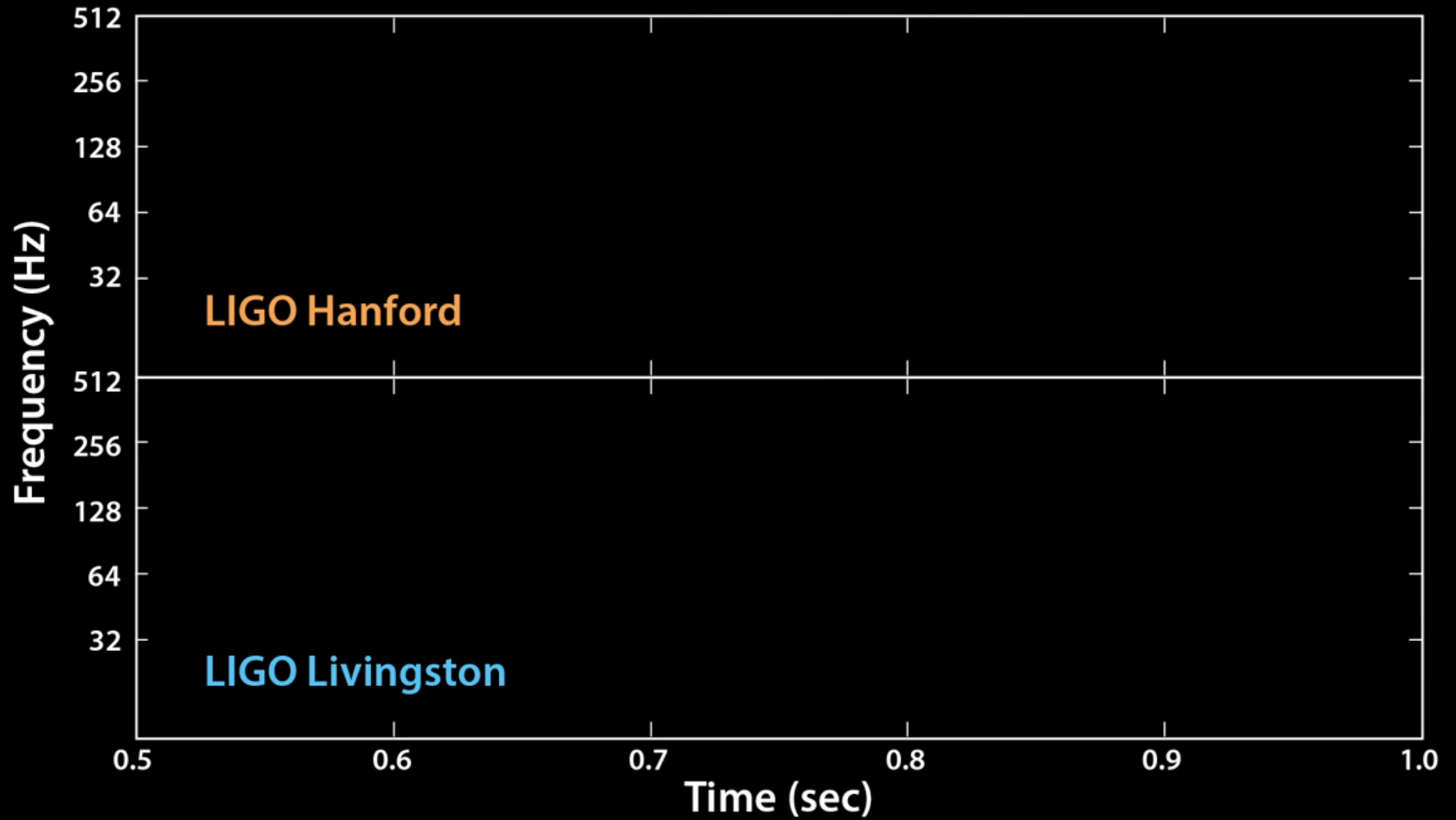
Az első közvetlen megfigyelés - GW150914



Primary black hole mass	$36^{+5}_{-4} M_{\odot}$
Secondary black hole mass	$29^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole mass	$62^{+4}_{-4} M_{\odot}$
Final black hole spin	$0.67^{+0.05}_{-0.07}$
Luminosity distance	410^{+160}_{-180} Mpc
Source redshift z	$0.09^{+0.03}_{-0.04}$



Az ütközés „hangja”



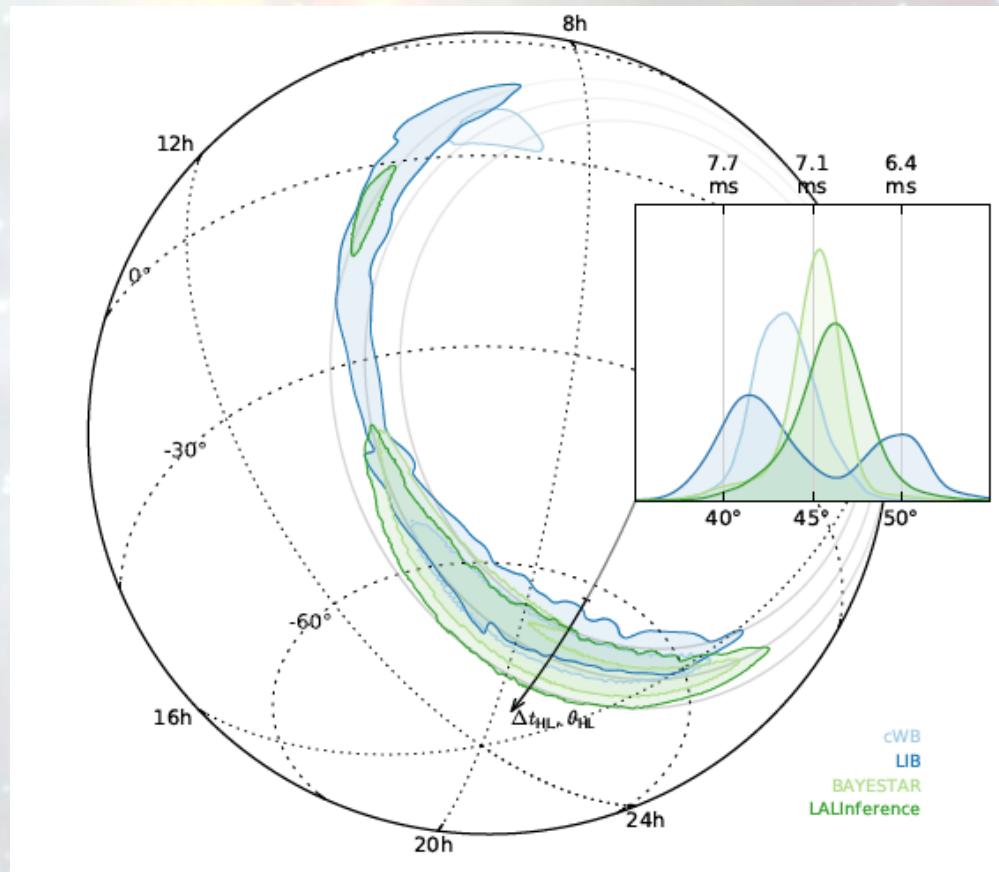
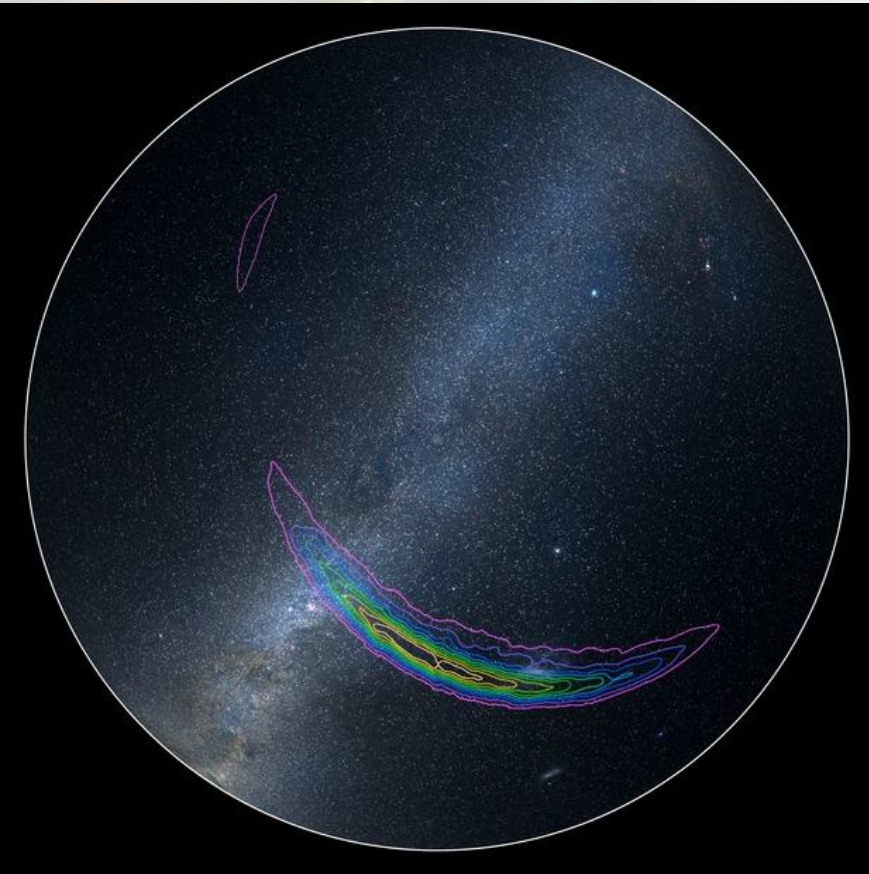
Aki először látta a gravitációs hullámokat

- Max Planck Institute for Gravitational Physics,
Hanover, Németország, **Marco Drago**



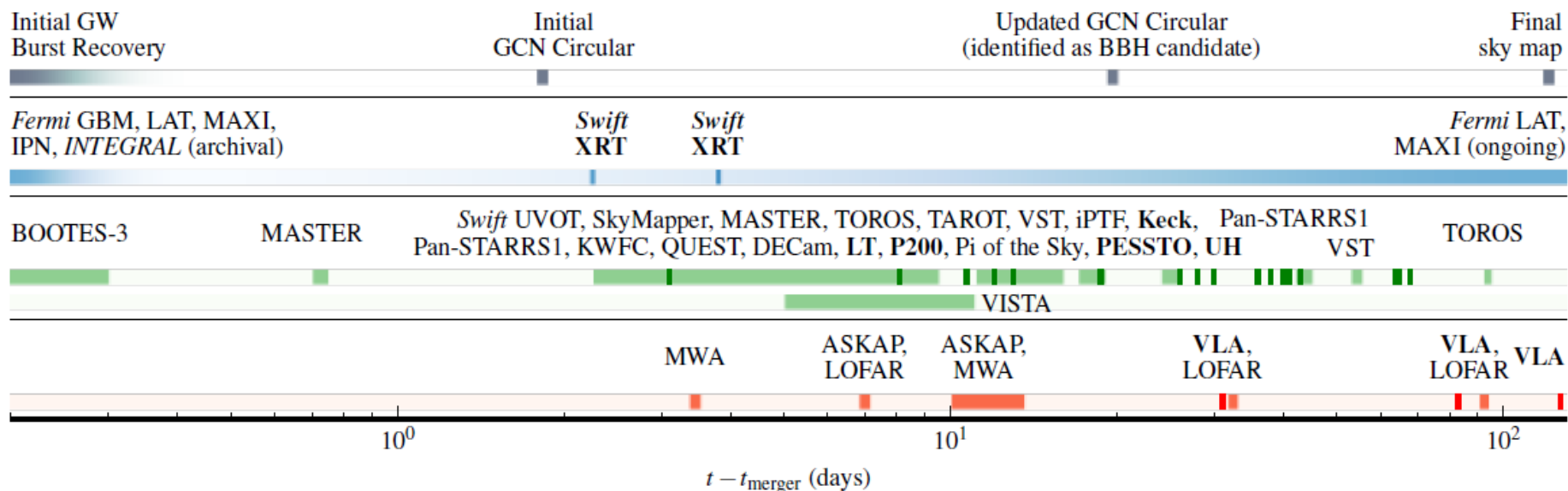
Égi pozíció

- Alacsony érzékenyséű keresési algoritmusok

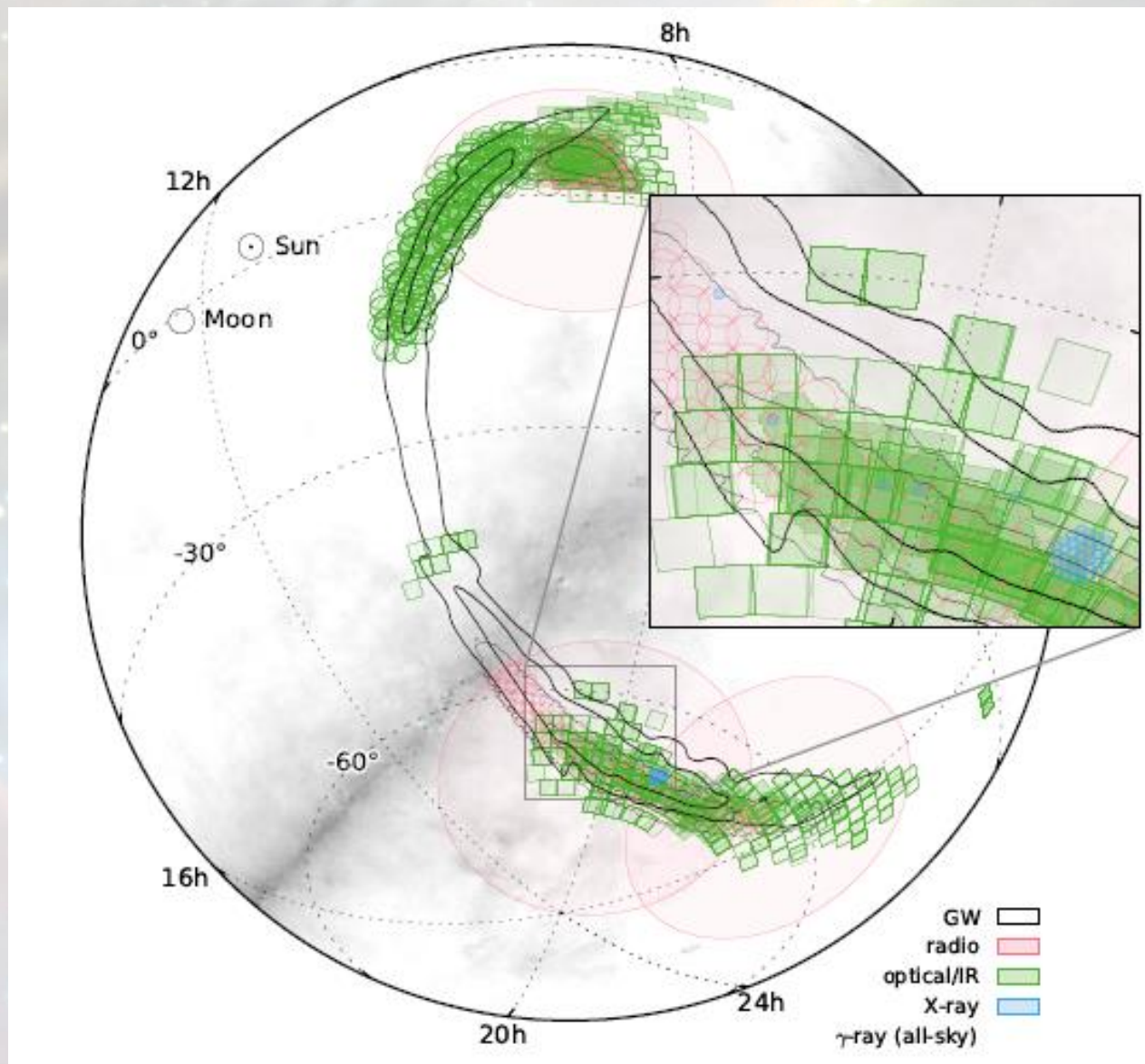


Utólagos megfigyelések

- Fekete lyukak összeolvadása, nem várnak EM jelet
- Nagyenergiás, optikai, infravörös és rádió megfigyelések (25 EM csoport)
- Gyenge ~ 1 s jel a Fermi-GBM (8 keV – 40 MeV) adatainak utólagos kiértékelése során

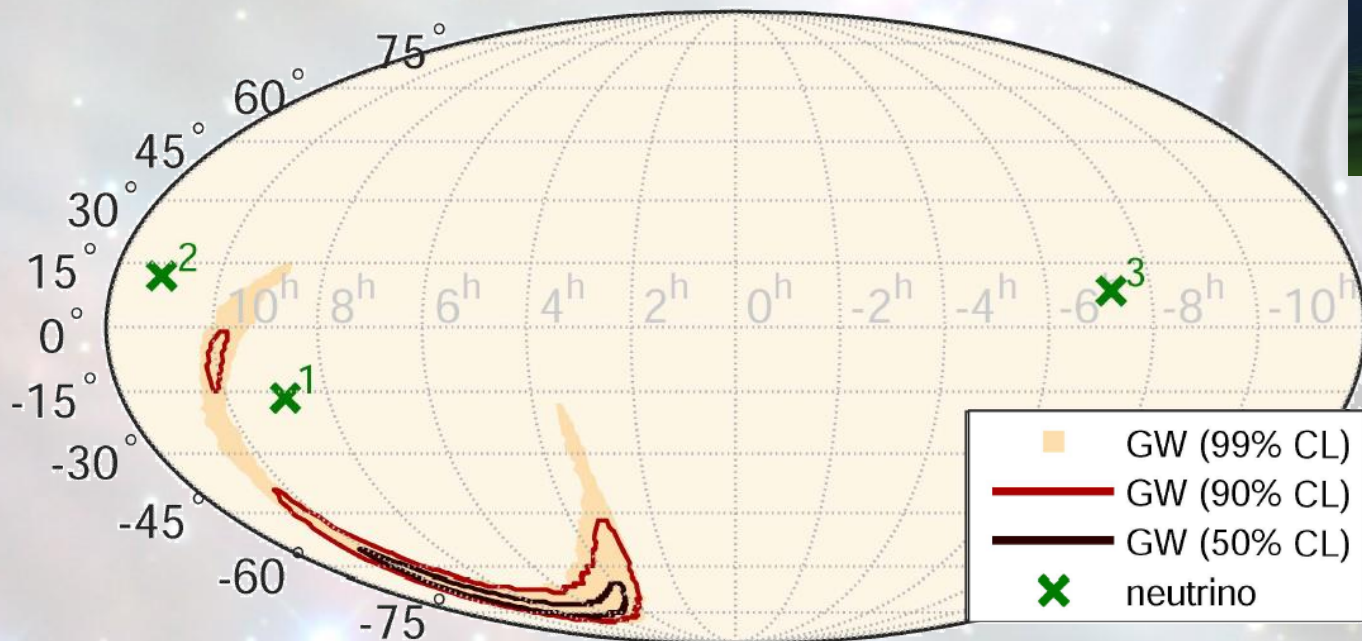
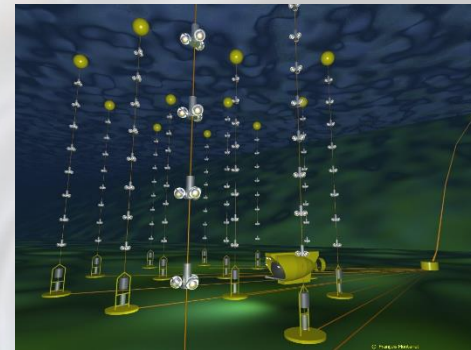


Utólagos megfigyelések



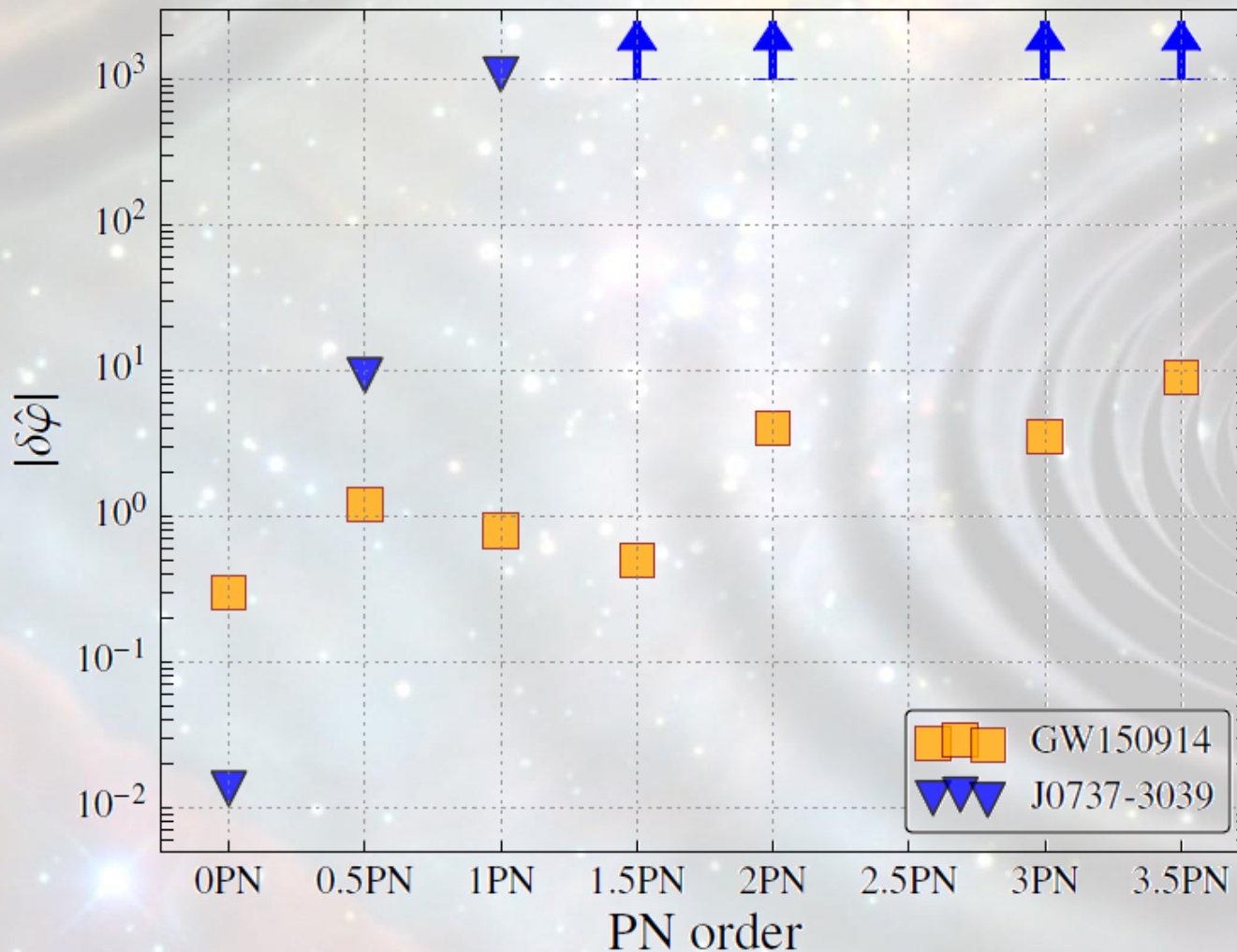
Neutrínó megfigyelések

- Nagyenergiás neutrínó események keresése, IceCube (ANTARES) kísérletek, ± 500 s időablak

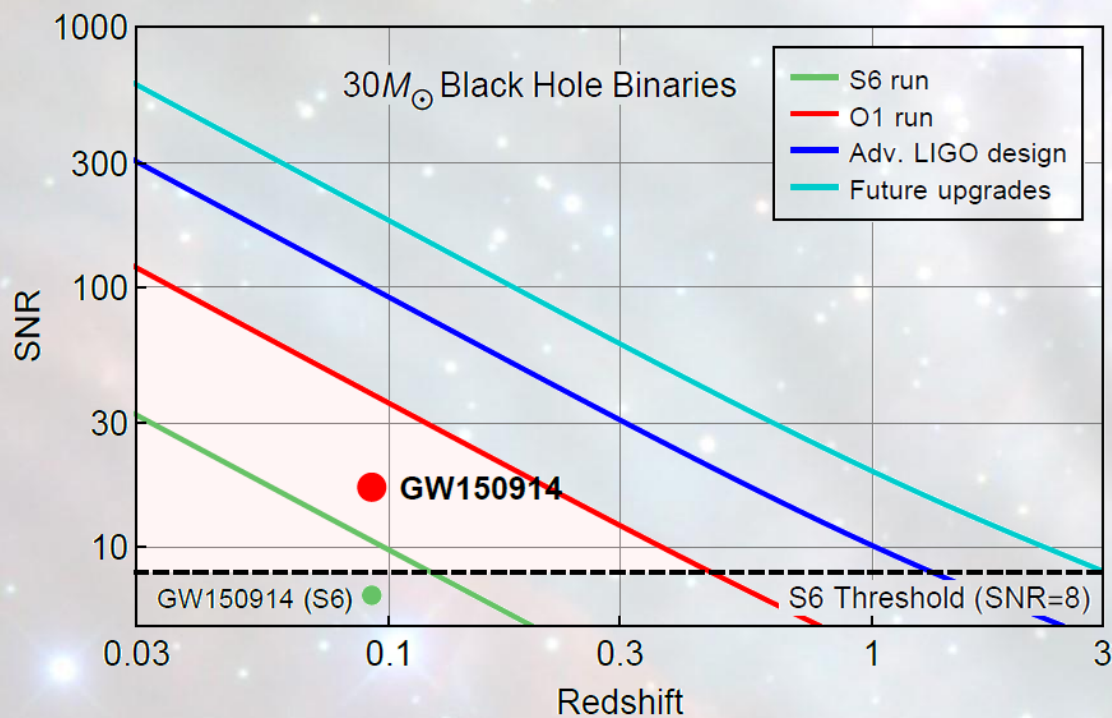
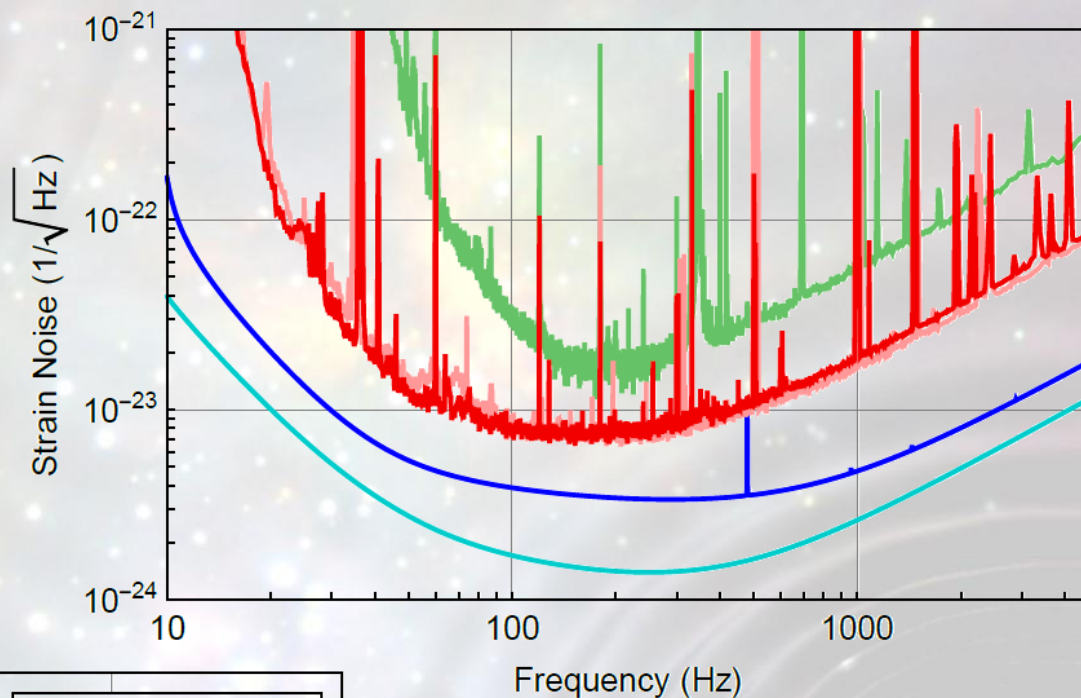


A relativitáselmélet tesztje

- 7 db PN paraméter a gravitációs hullámok fázisában

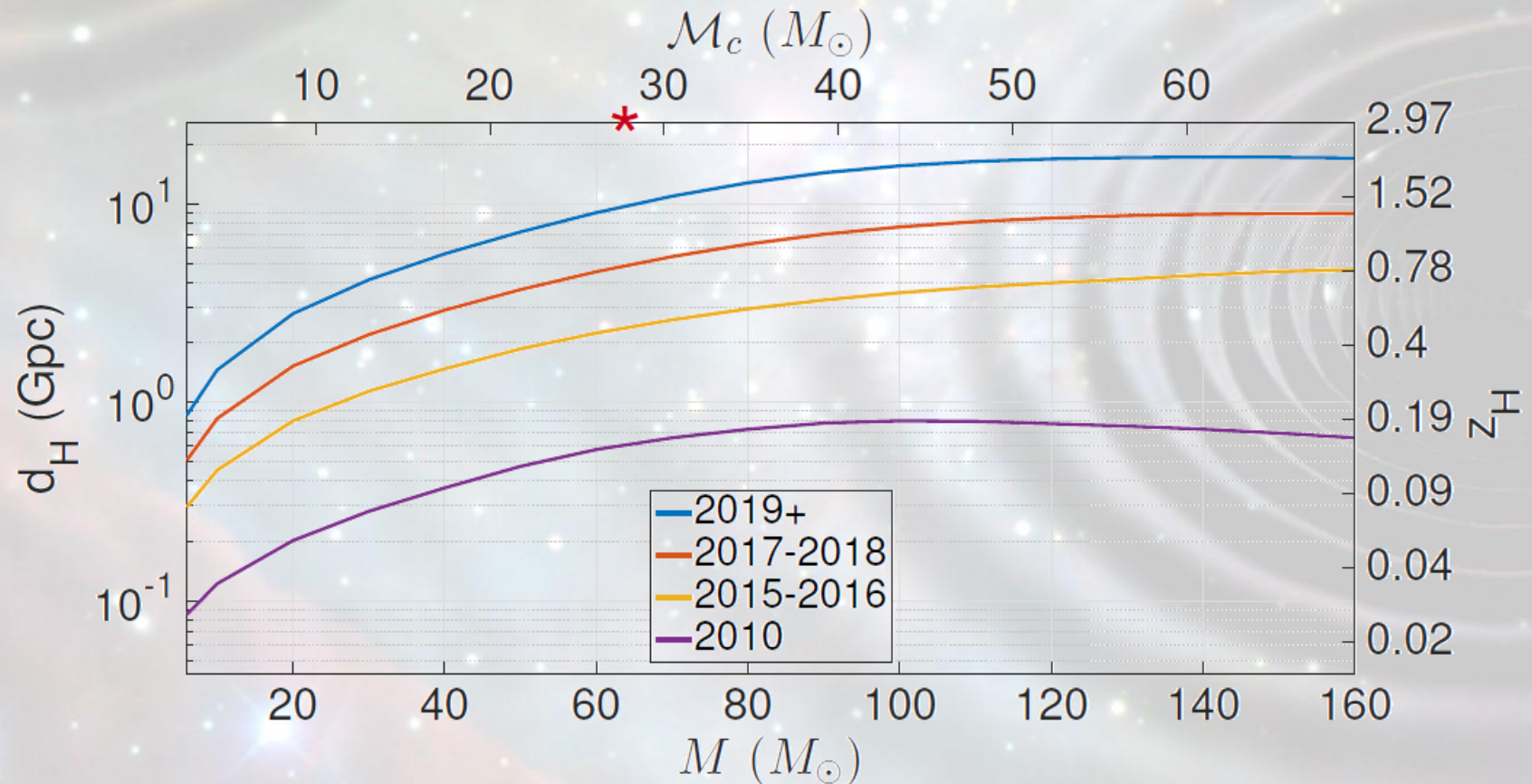


A detektor érzékenysége



Tervezett további mérések

Observing run	Epoch	Duration (months)	aLIGO sensitivity	AdVIRgo sensitivity
O1	2015–2016	4	Early	—
O2	2016–2017	6	Mid	Early
O3	2017–2018	9	Late	Mid
O4	2019	12	Design	Late
O5	2020+	—	Design	Design



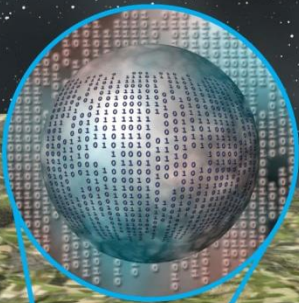
EINSTEIN TELESCOPE

gravitational wave observatory

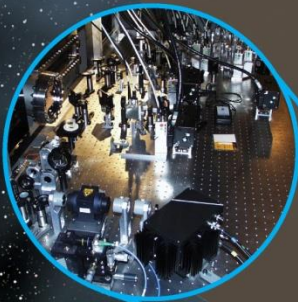
CENTRAL FACILITY



COMPUTING CENTRE



DETECTOR STATION



END STATION



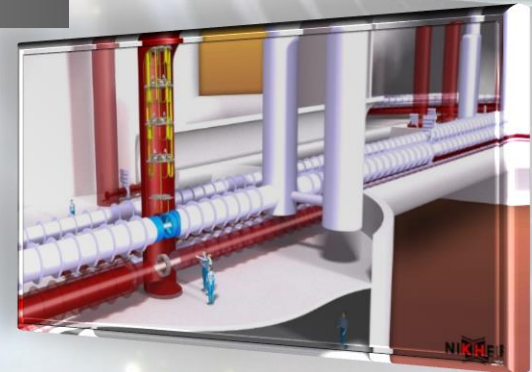
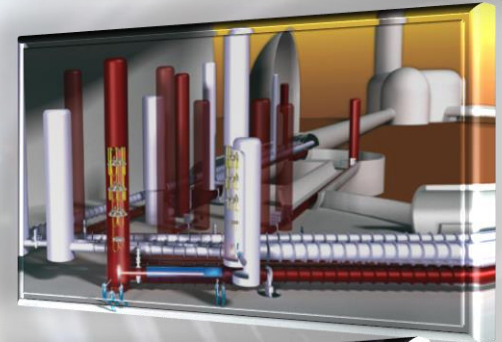
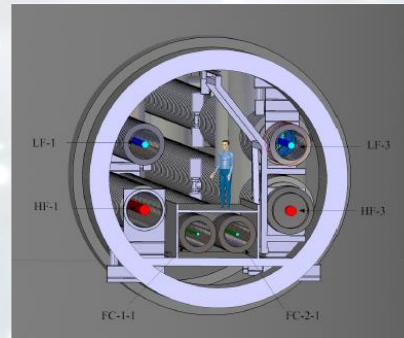
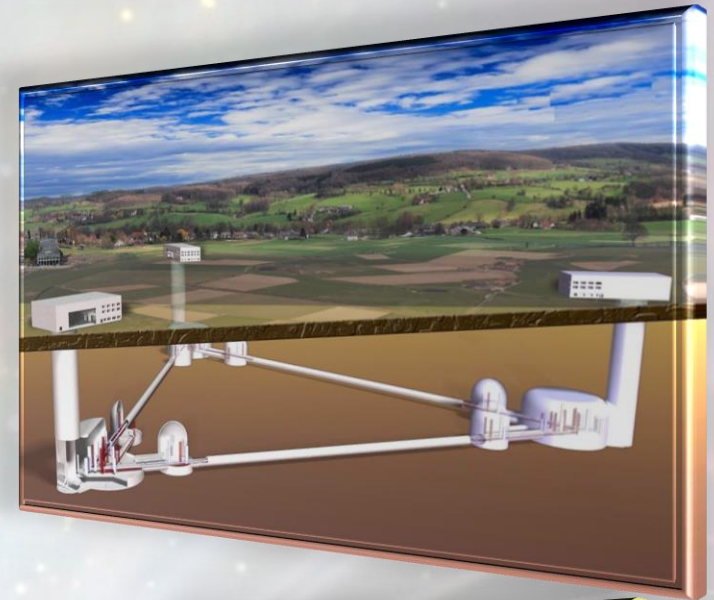
Length ~10 km



TUNNEL Ø ~5 m

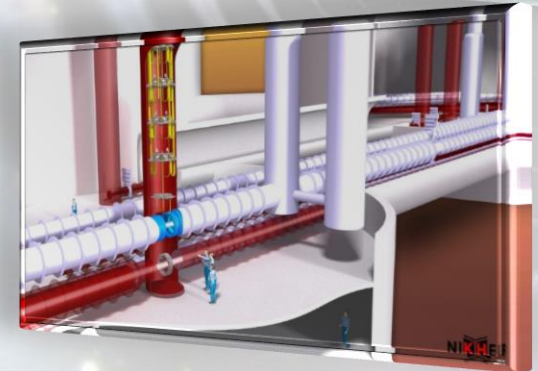
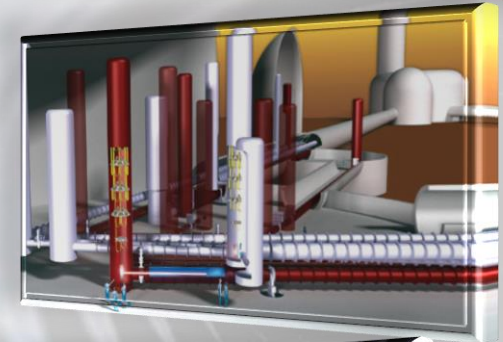
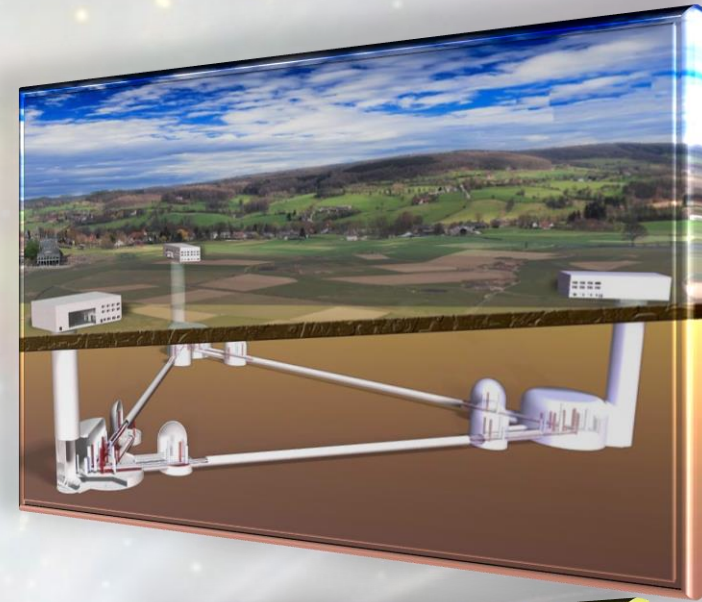
3. gen. GH detektor

- 1 nagyságrenddel nagyobb érzékenység
1000x-es eseményszám
- Föld alatt
alagút belső átmérője 5.5m, vastagság: 0.5m
- Karhosszúság: 10 km
- Új geometria
- MW-os lézer
- 200 kg-os tükrök

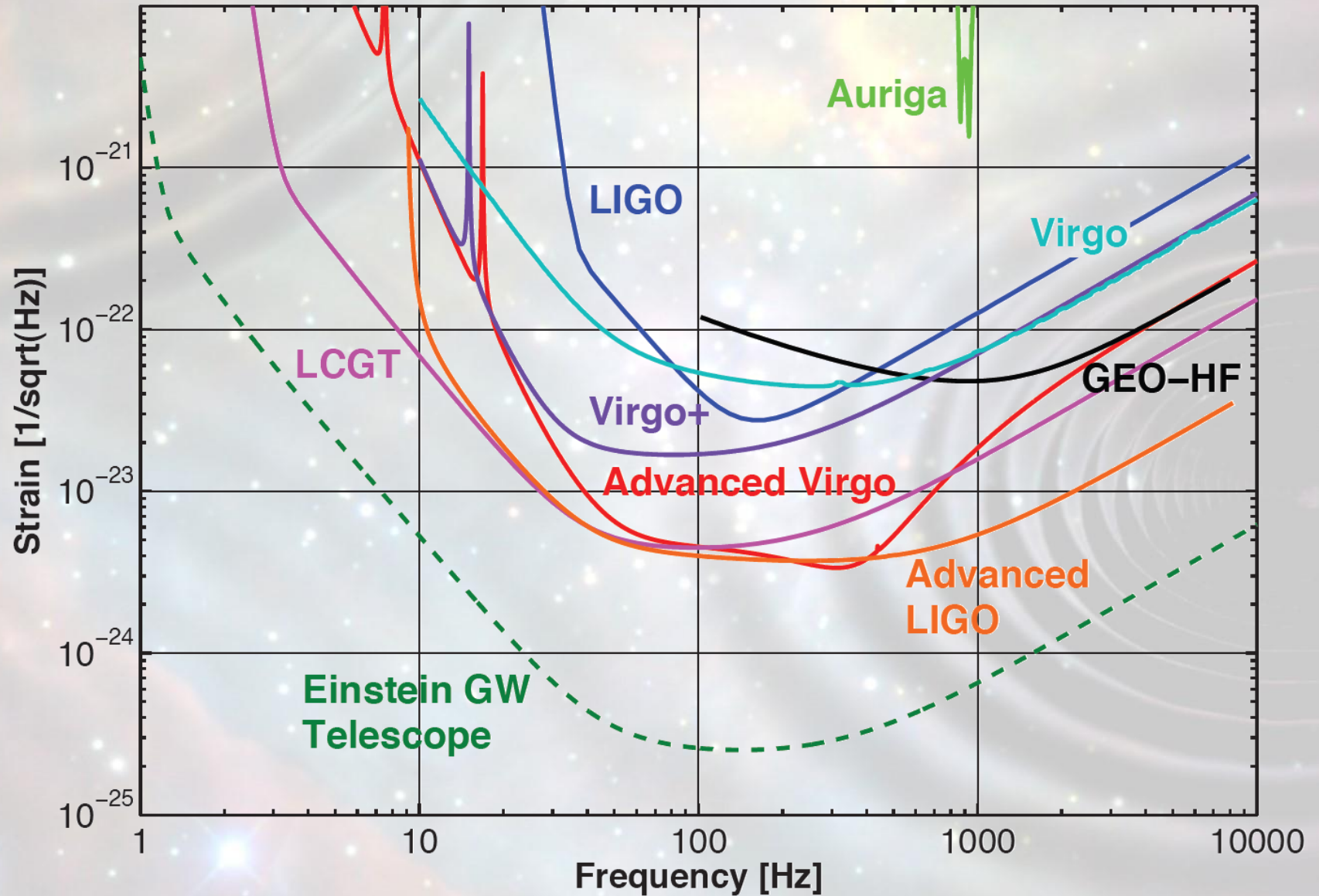


3. gen. GH detektor - Ütemterv

- A kezdési időpont több változó függvénye
 - A megvalósítási tervek elkészülése
 - A GH-ok első közvetlen megfigyelése
 - Hivatalos döntési mechanizmusok
- Helyszín kiválasztása 2018-19
- Helyszín kiépítése 2021-ig
- Az első detektor megépítése 2026-ig
- Mérések a tervek szerint 50 éven keresztül
- Fontos frekvenciatartomány:



Einstein-teleszkóp

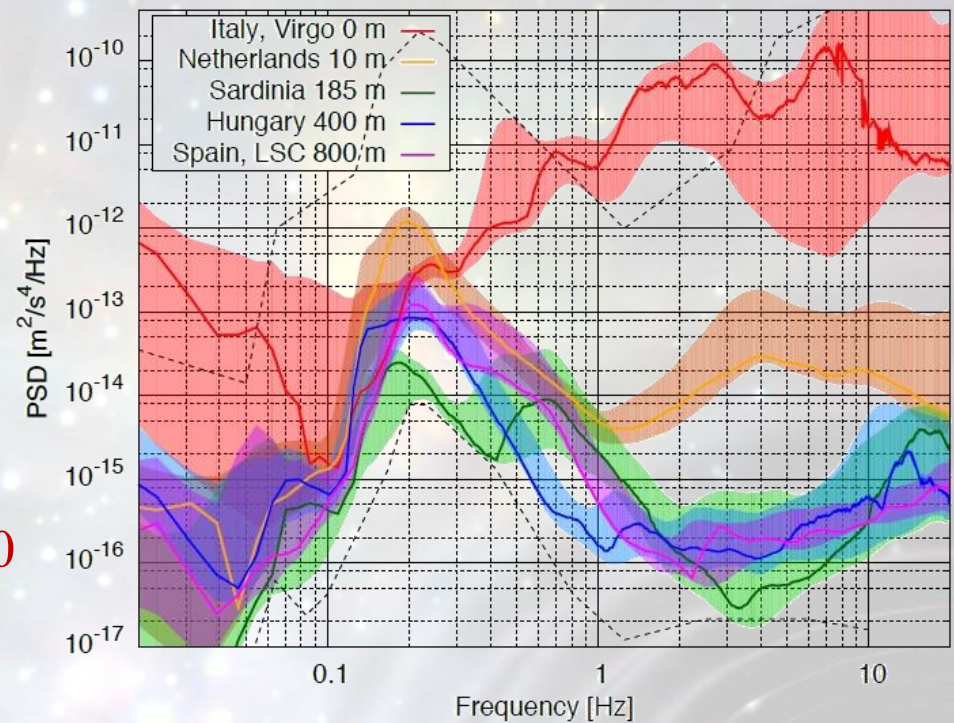


A helyszín kiválasztása

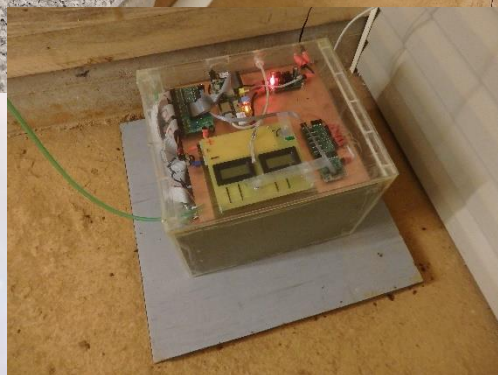


Előzetes mérések a Mátrában

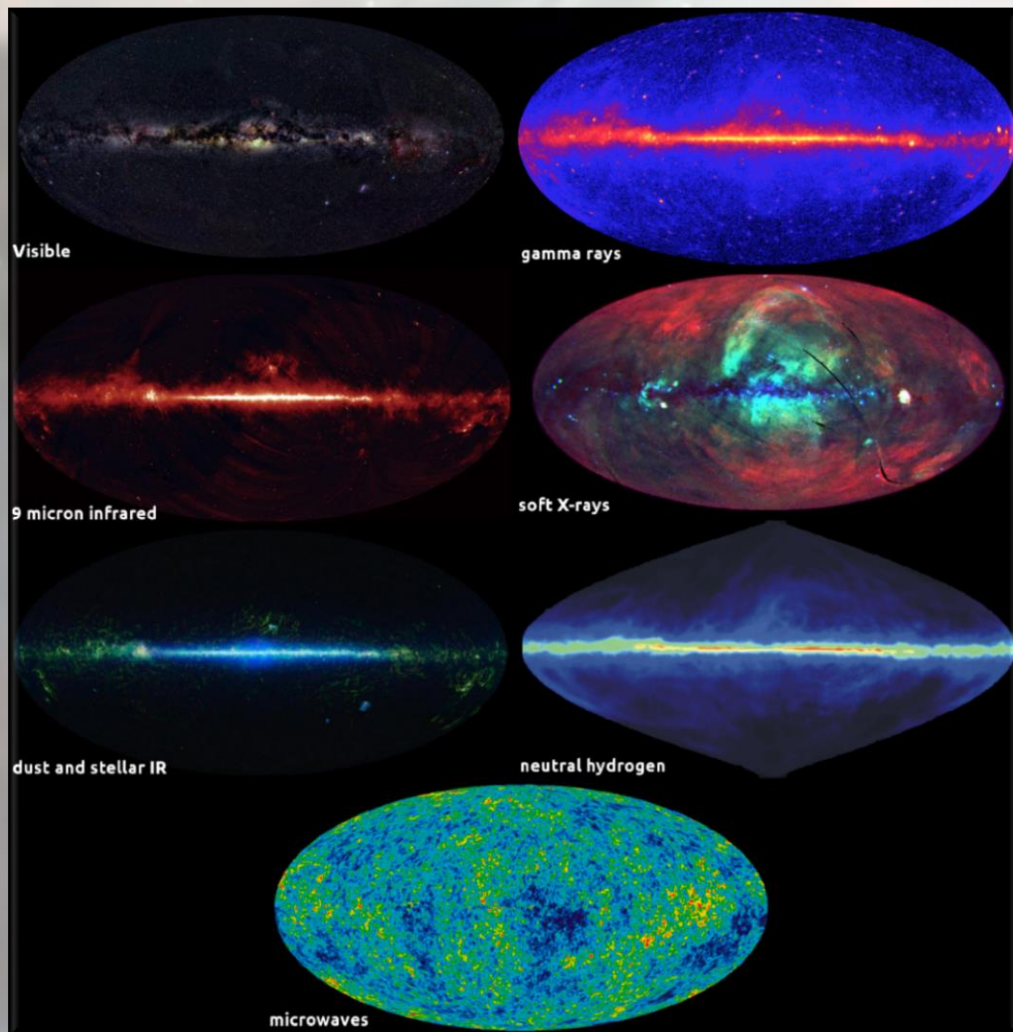
- 2010 április 2-5
szeizmológiai mérések holland kutatók részvételével, Trillium 240



Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium

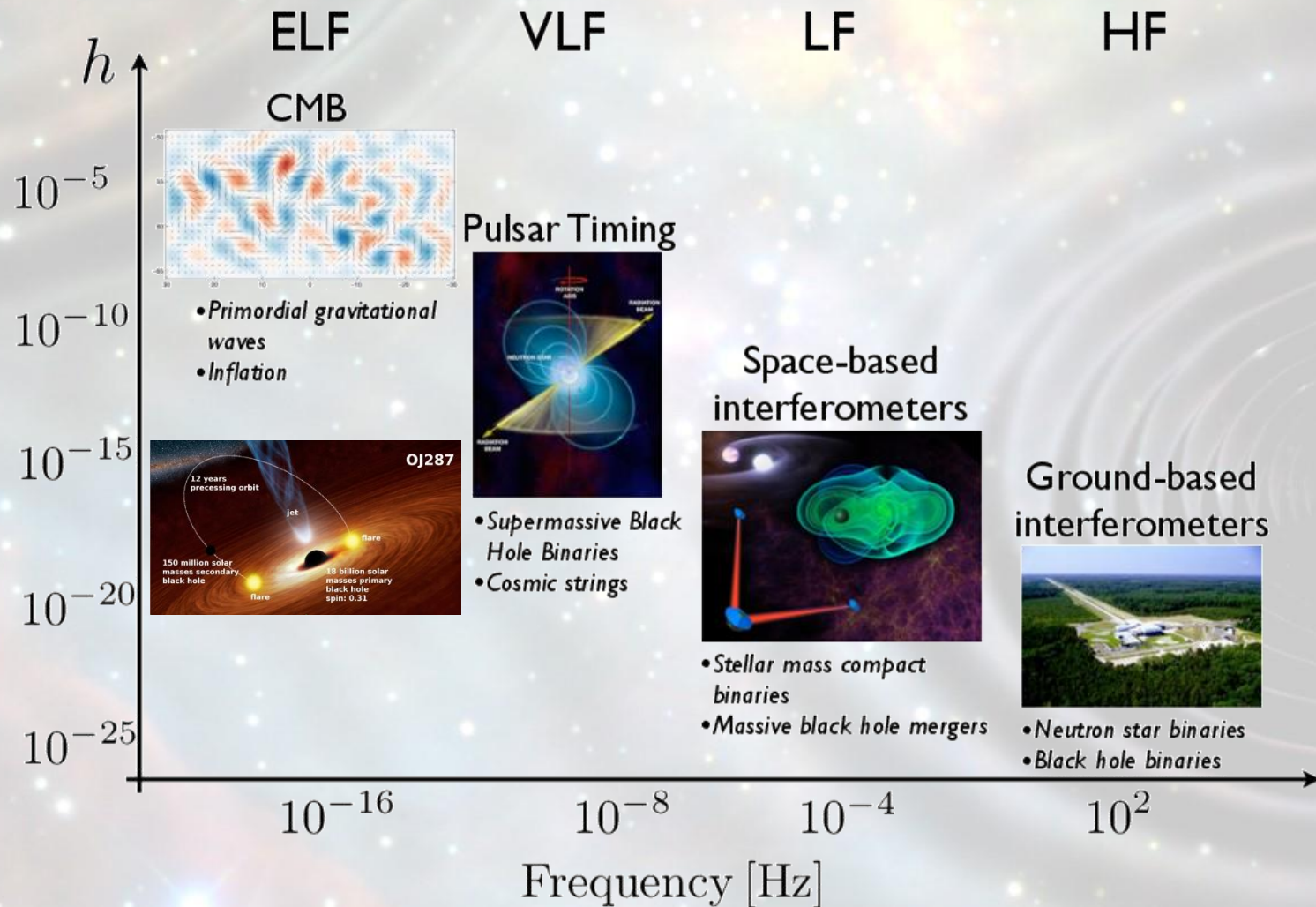


Az Univerzum karnyújtásnyi távolságra



GH?

Gravitációshullám-csillagászat



Köszönöm a figyelmet!