

A gravitációs hullámok és közvetlen megfigyelésük

Vasúth Mátyás

PhD, Wigner FK, RMI

A Magyar VIRGO csoport vezetője



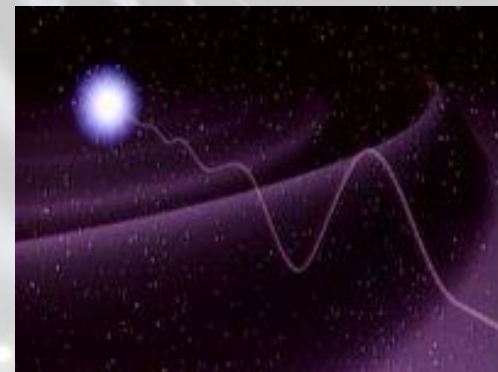
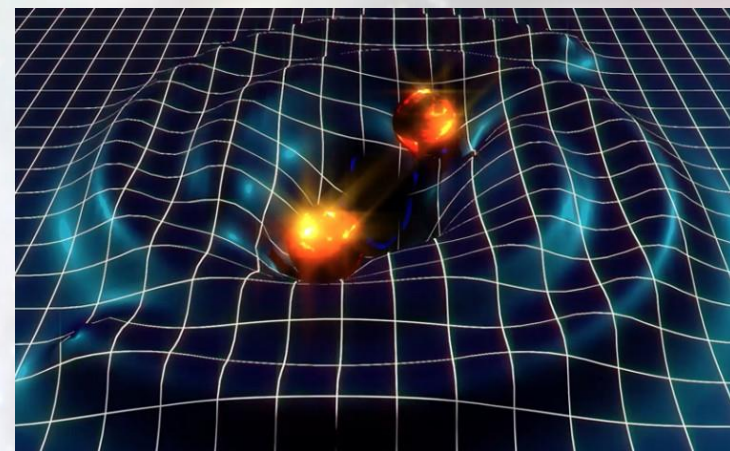
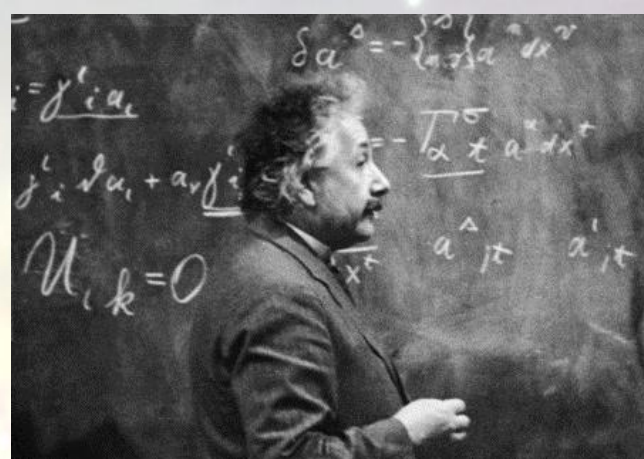
Gravitációs hullámok

- Általános relativitáselmélet, a téridő görbültségét leíró Einstein-tenzort összekapcsolja az anyag mozgását megjelenítő energia-impulzus tenzonnal

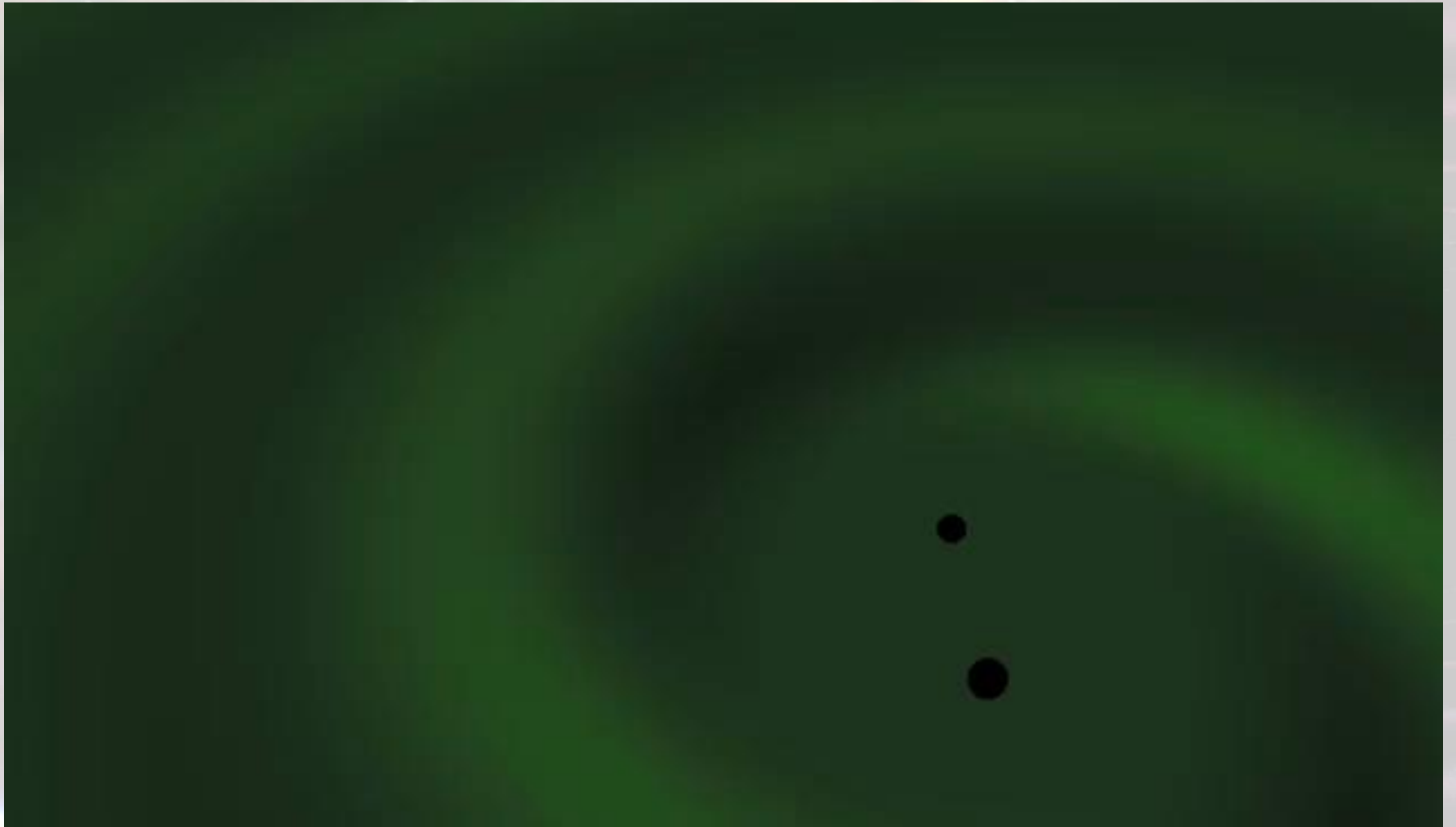
$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

- Gravitációs hullámok, a gravitációs hatás fénysebességgel tovaterjedő változásai, a téridő fodrozódásai
- Lineáris közelítés, a forrástól távol a hullámok a téridő geometriájának perturbációiként írhatók le

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

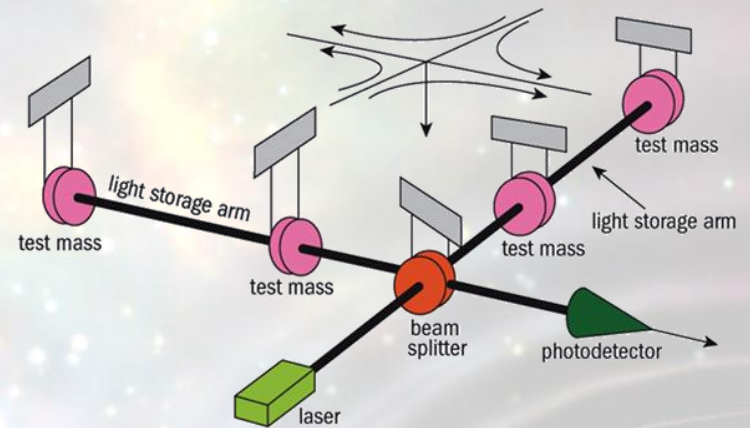
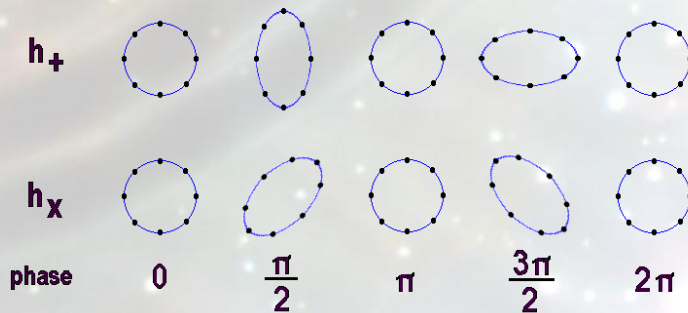


Gravitációs hullámok

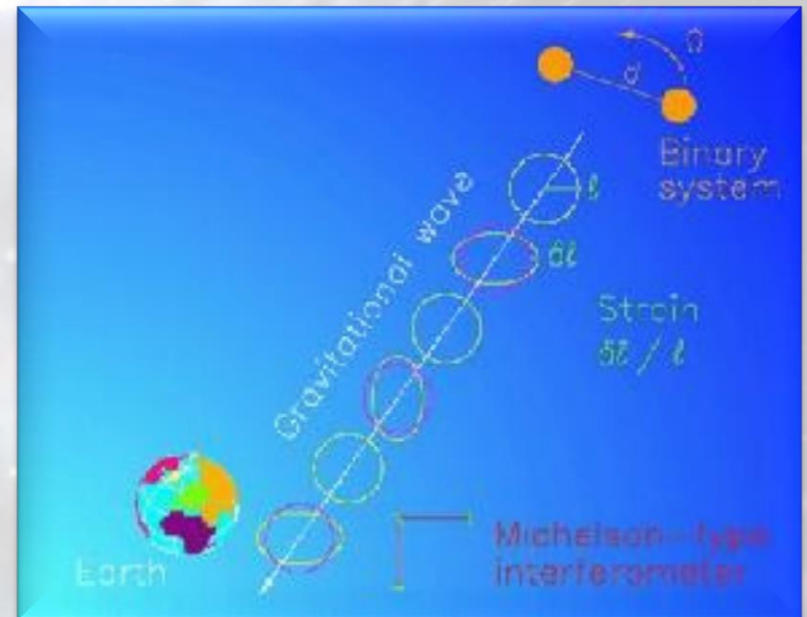
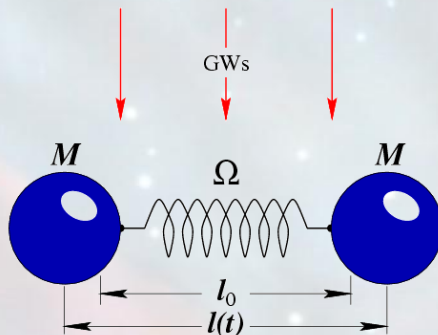


Gravitációs hullámok

- Mértékrögzés, kétféle polarizációs állapot



- Az árapályerők által okozott relatív hosszváltozások megfigyelése



Obszervatóriumok világszerte



LIGO Hanford

GEO600

LIGO Livingston

VIRGO

KAGRA

LIGO India

Operational

Under Construction

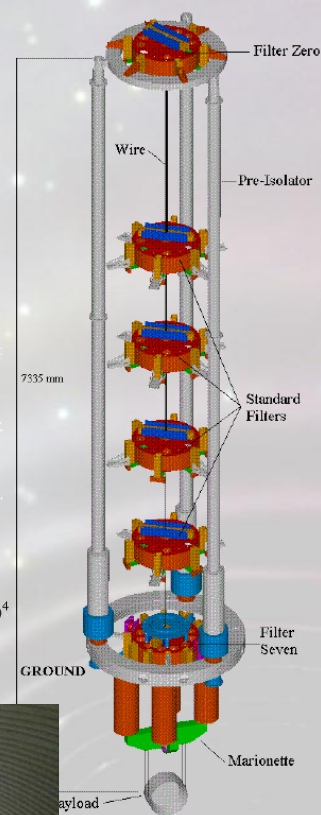
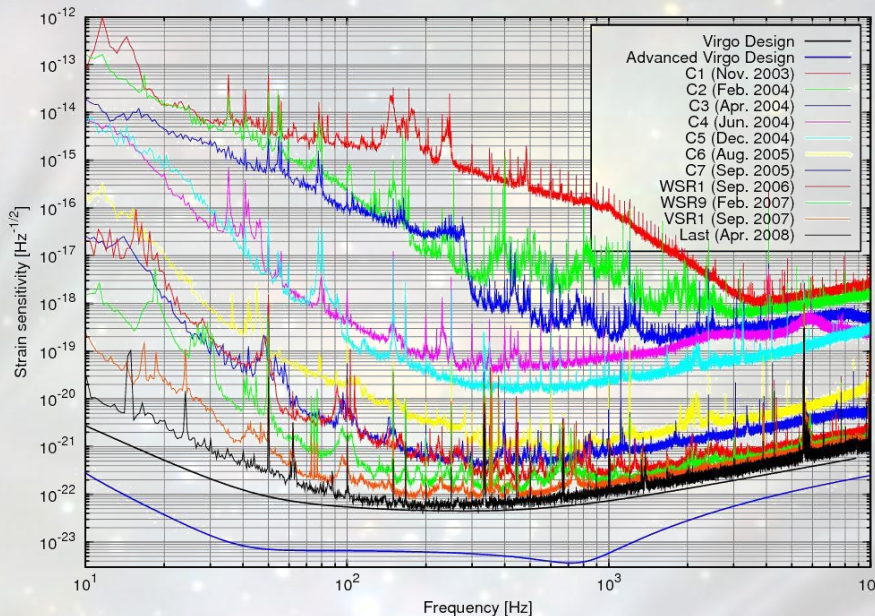
Planned



Gravitational Wave Observatories

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



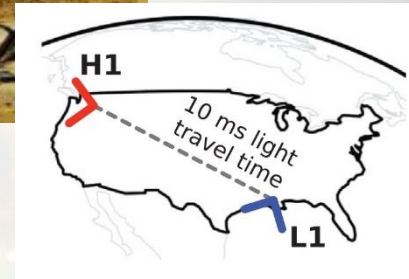
Advanced LIGO

Karhossz: 4 km

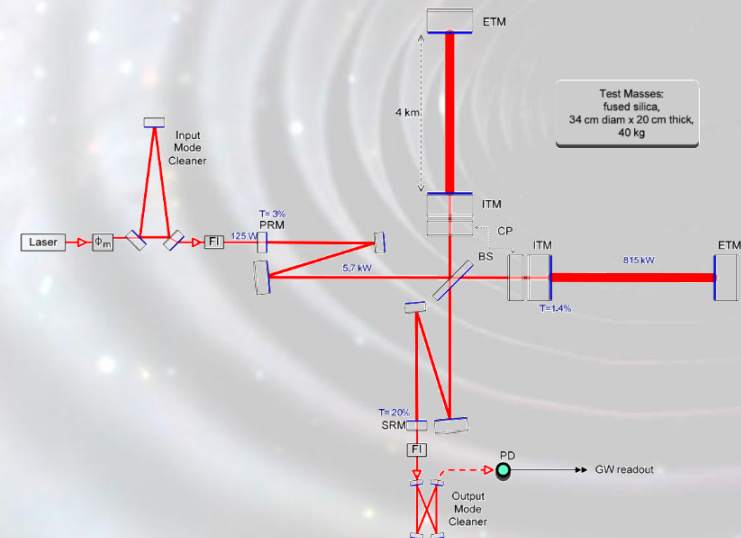
- A rendszer teljes újratervezése
\$205M NSF, \$30M UK, Ausztrália, Németország
- Power and signal recycling
- Aktív szeizmikus izoláció
- Automatic locking system
- Tükrök borítása: LMA
abszorpció: 0.3 – 0.5 ppm
szóródás: 5 – 14 ppm
- 3. aLIGO, ami eredetileg Hanfordba készült
Indiába települ
- Probléma: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



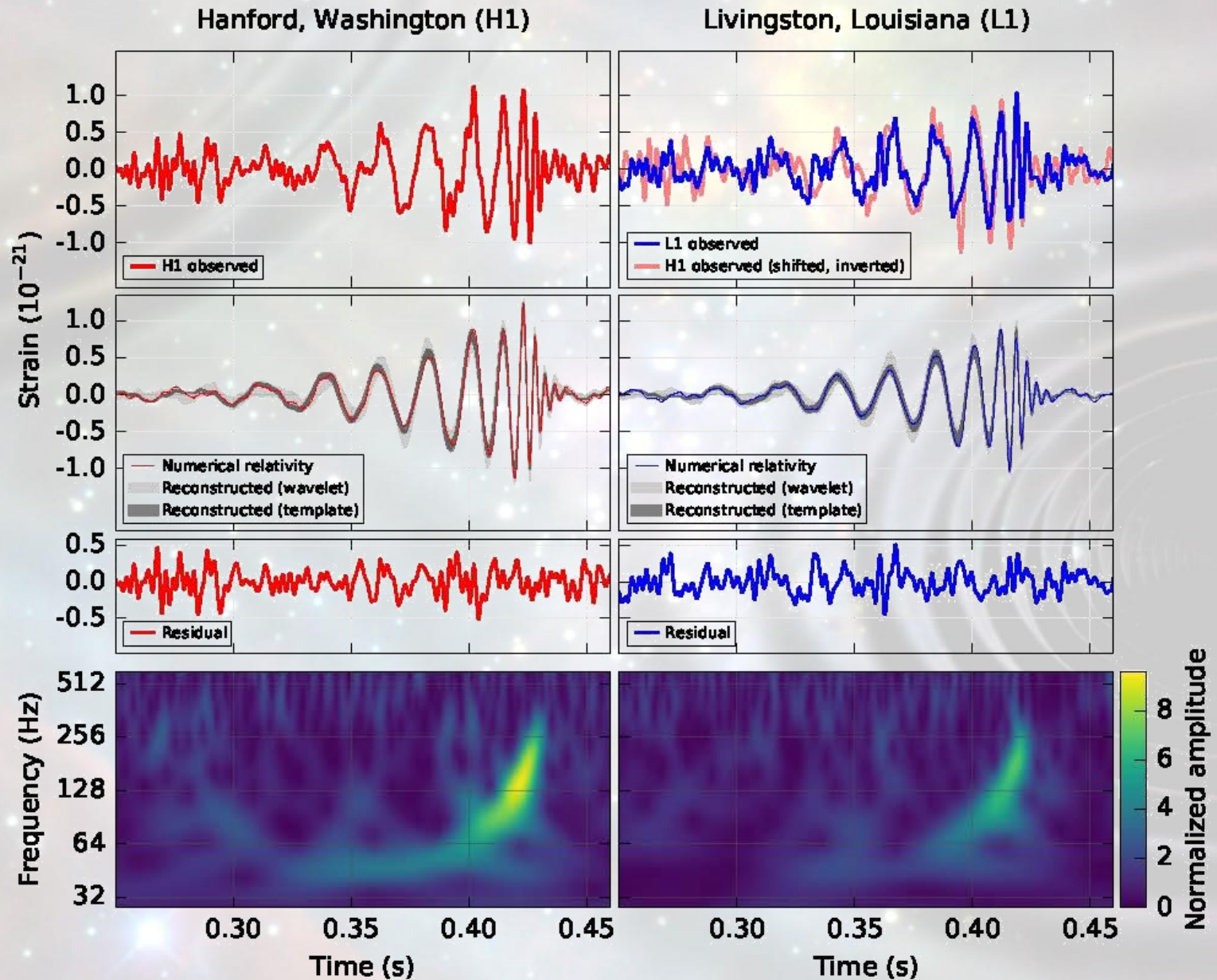
Hanford, WA



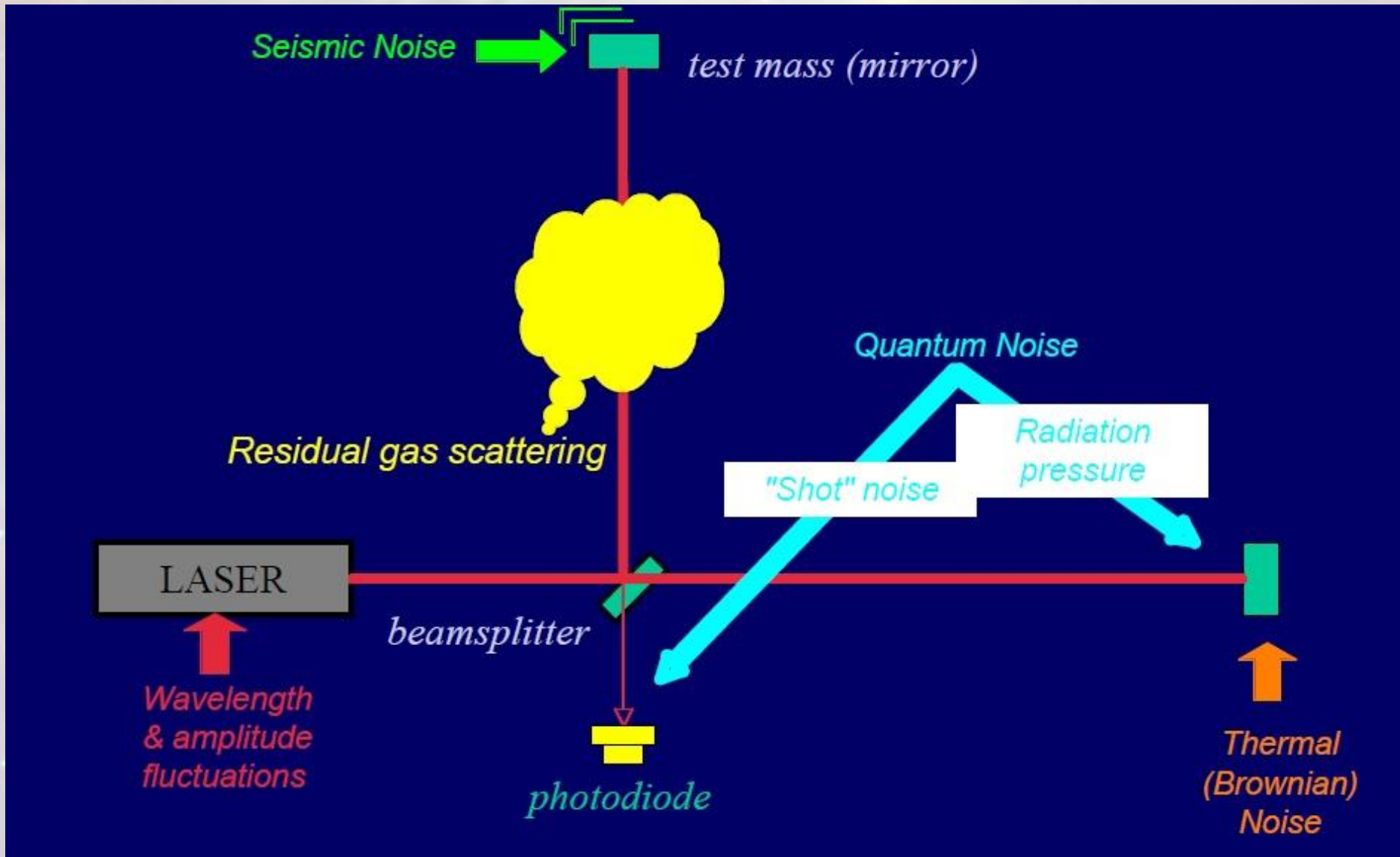
Livingston, LA



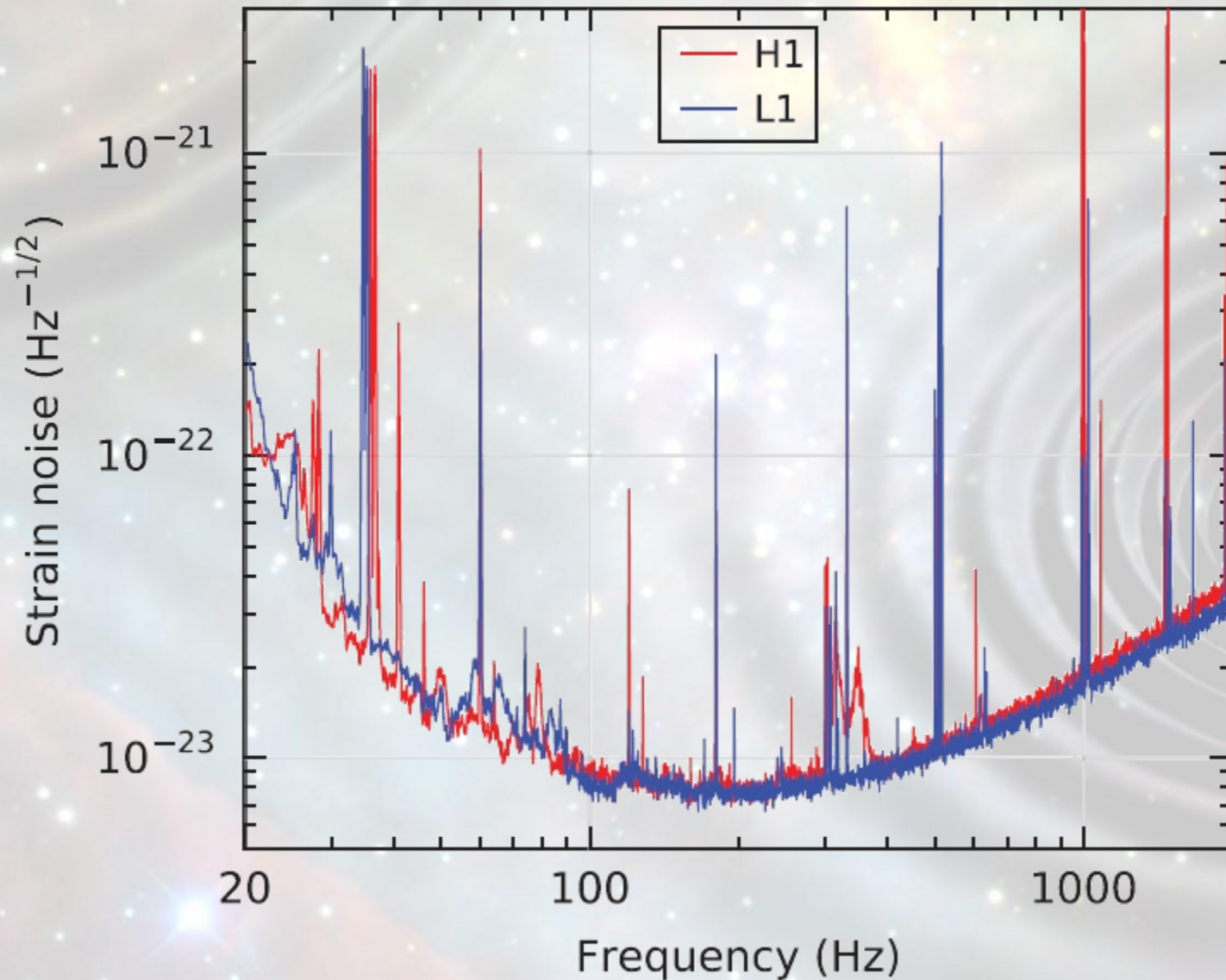
Az első közvetlen megfigyelés



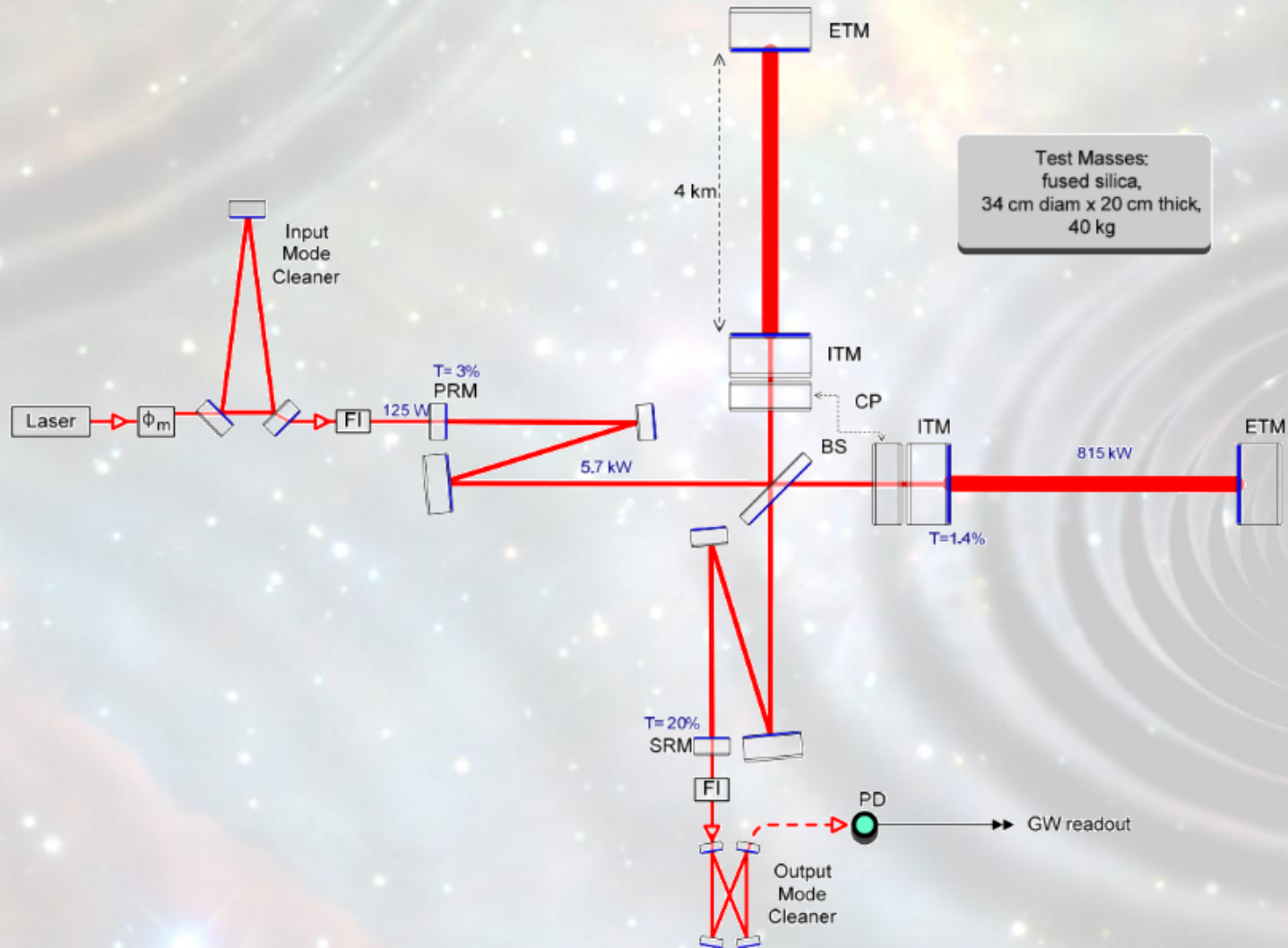
Zajforrások



A detektor érzékenysége - aLIGO

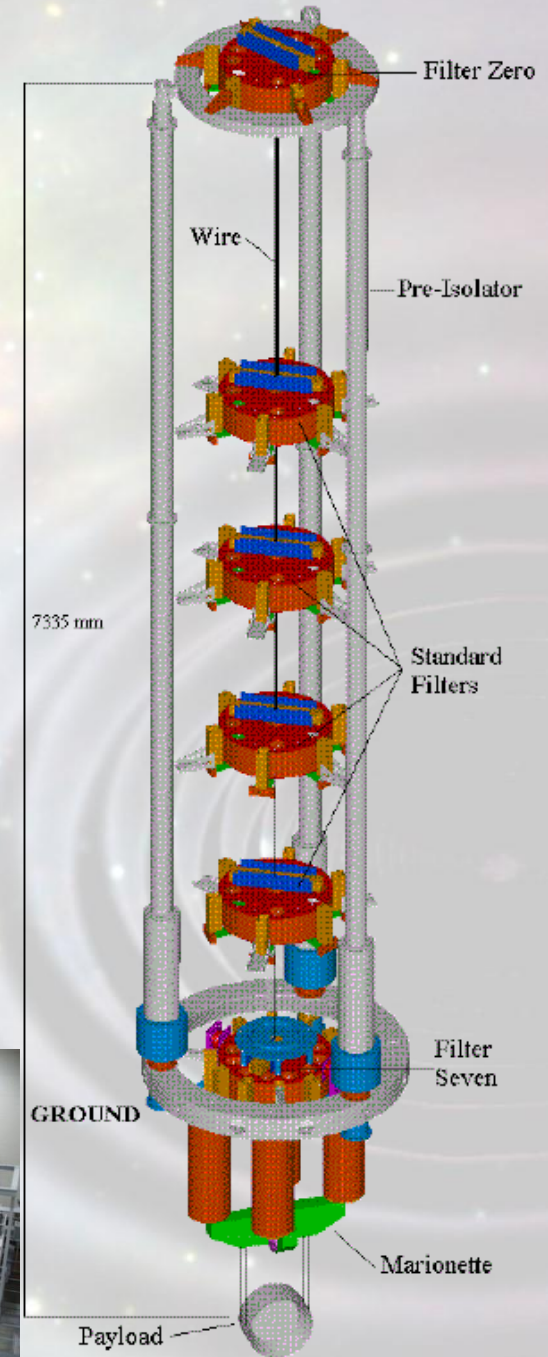


Az interferométer



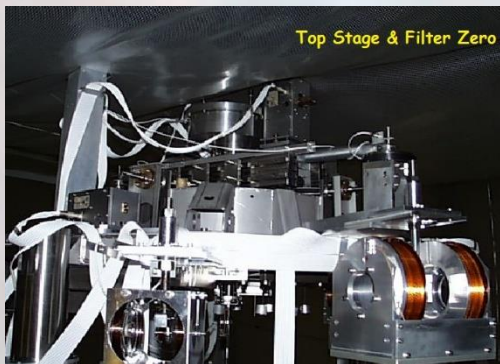
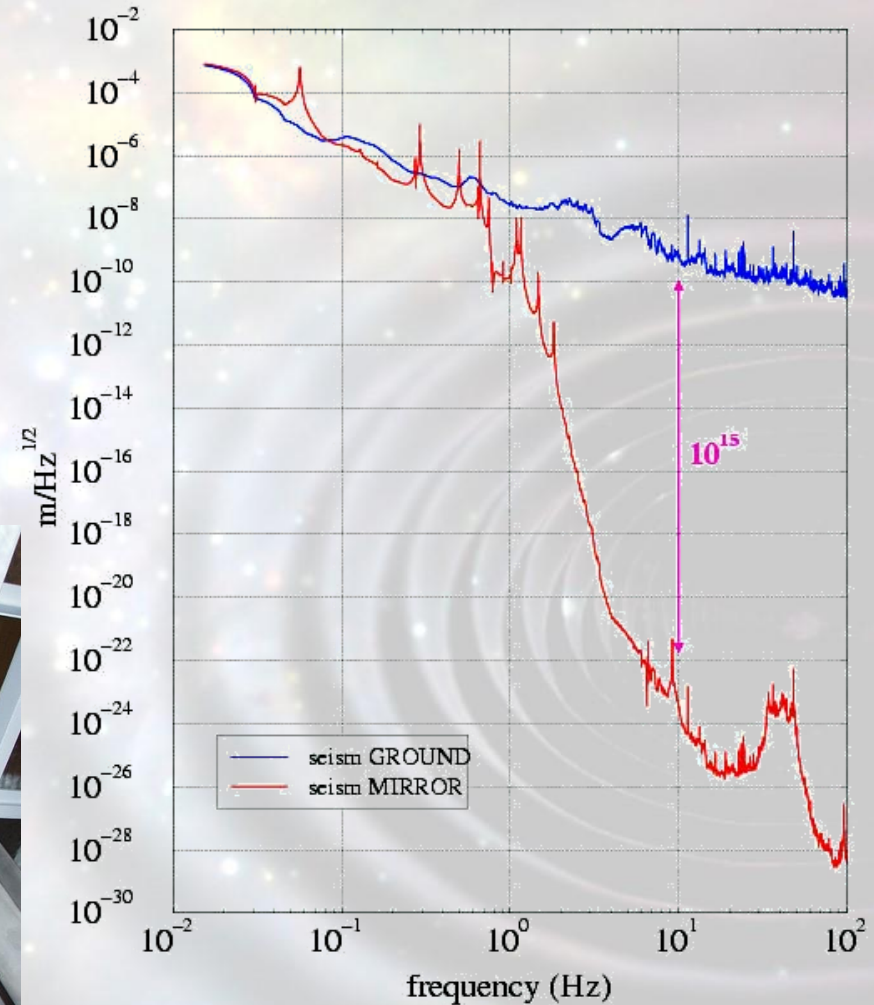
Szeizmikus zajok csillapítása

- A szeizmikus zajok a meghatározók a földi GH detektorok számára
- A VIRGO felfüggesztési rendszere (**szuper attenuátor, SA**) jelentősen csillapítja a szeizmikus zajokat 100 Hz alatt
- hibrid (**passzív/aktív**) rendszer
- SA, többfokozatú inga
 - Fordított inga
 - 6 vagy 2 szeizmikus szűrő
 - Teher/tükör



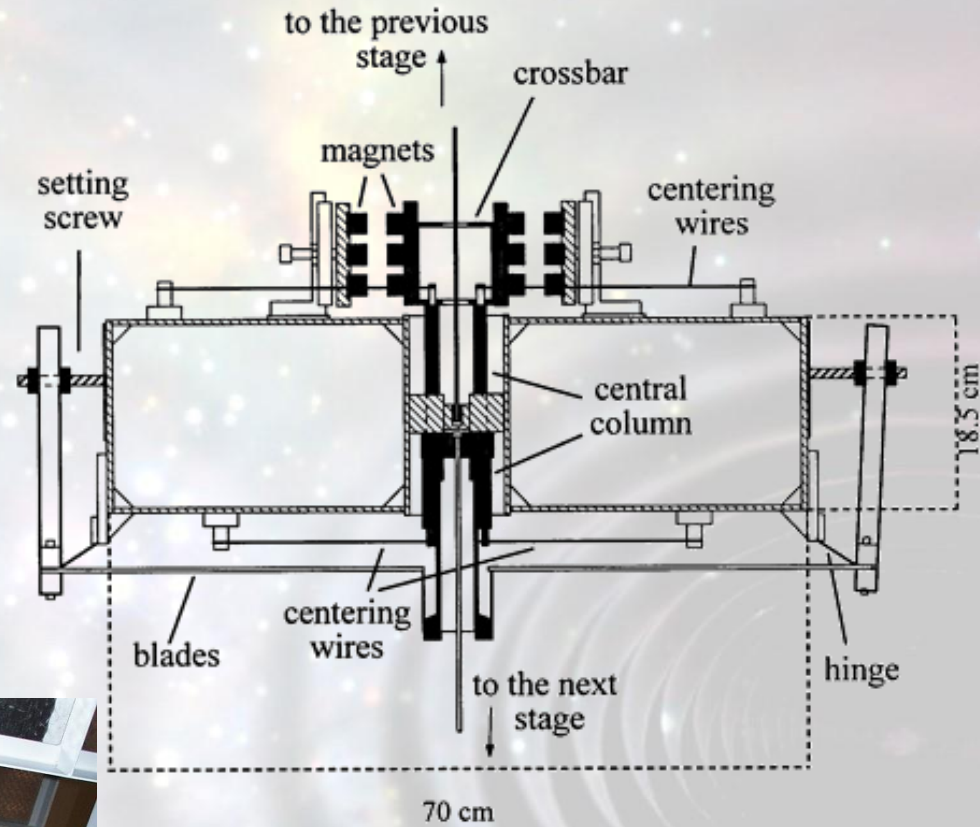
Szeizmikus zajok csillapítása

- Hibrid rendszer: **aktív** csillapítás 4 Hz alatt, **passzív** e fölött
- Mért max. csillapítás: 10 Hz-en 10^{15}

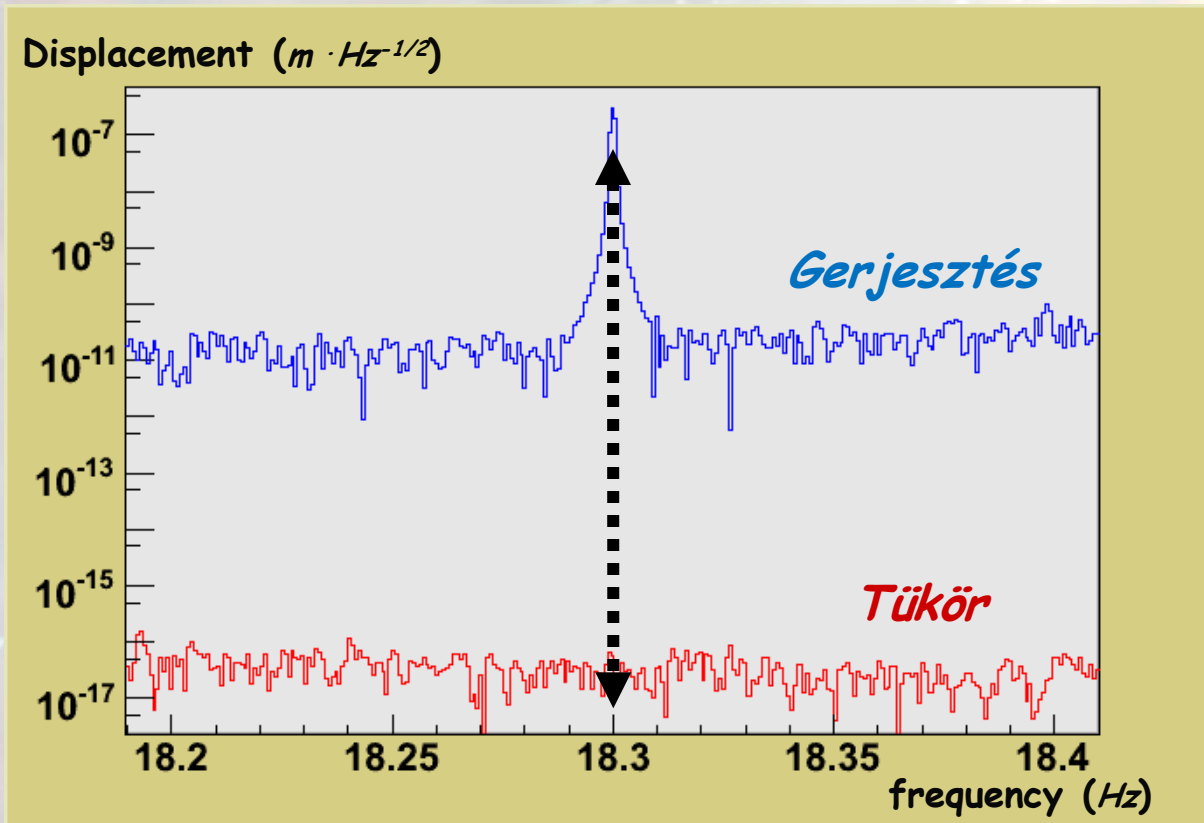


Szeizmikus szűrés

- A szeizmikus szűrő egy dob alakú szerkezet a rezgések csillapítására
- Háromszög alakú lapok (blades) és mágneses anti-rugók (2 permanens mágnes, függőleges harmonikus oszcillátor)

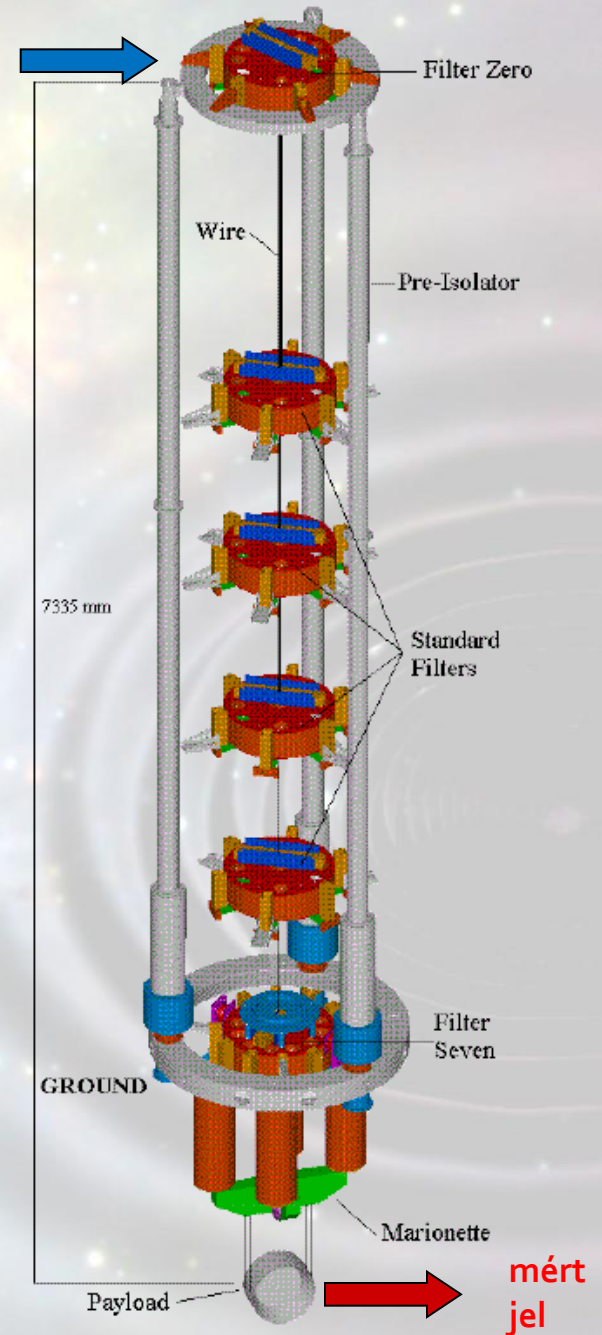


Csillapítás

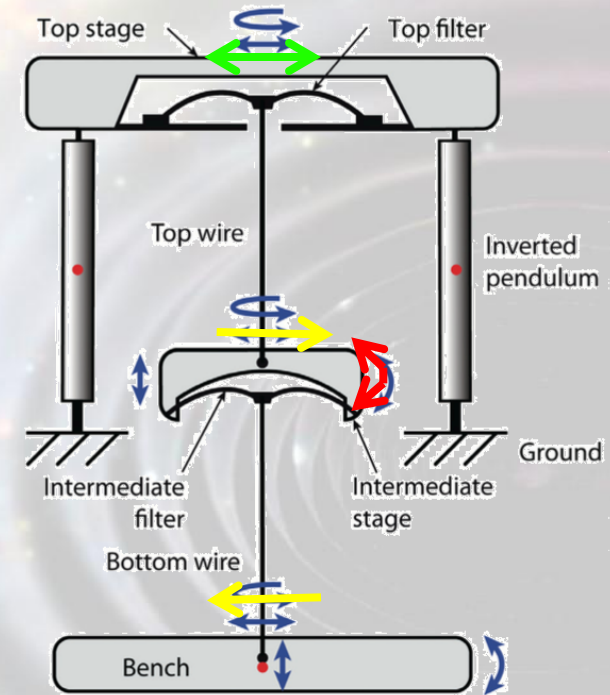
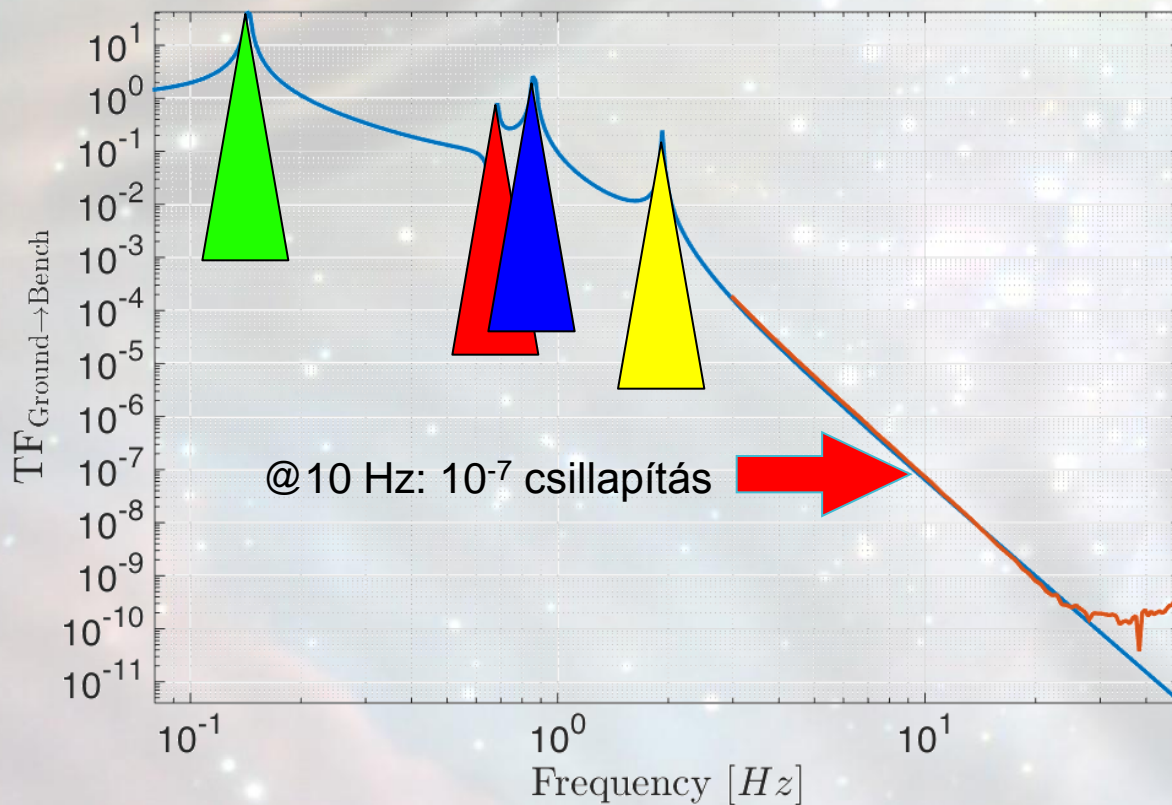


Csillapítás $> 10^{10}$

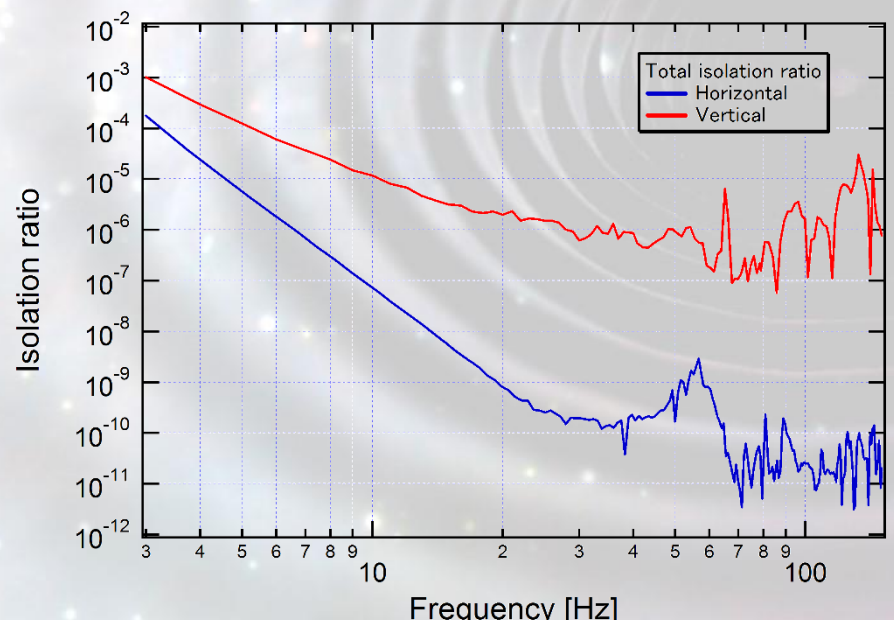
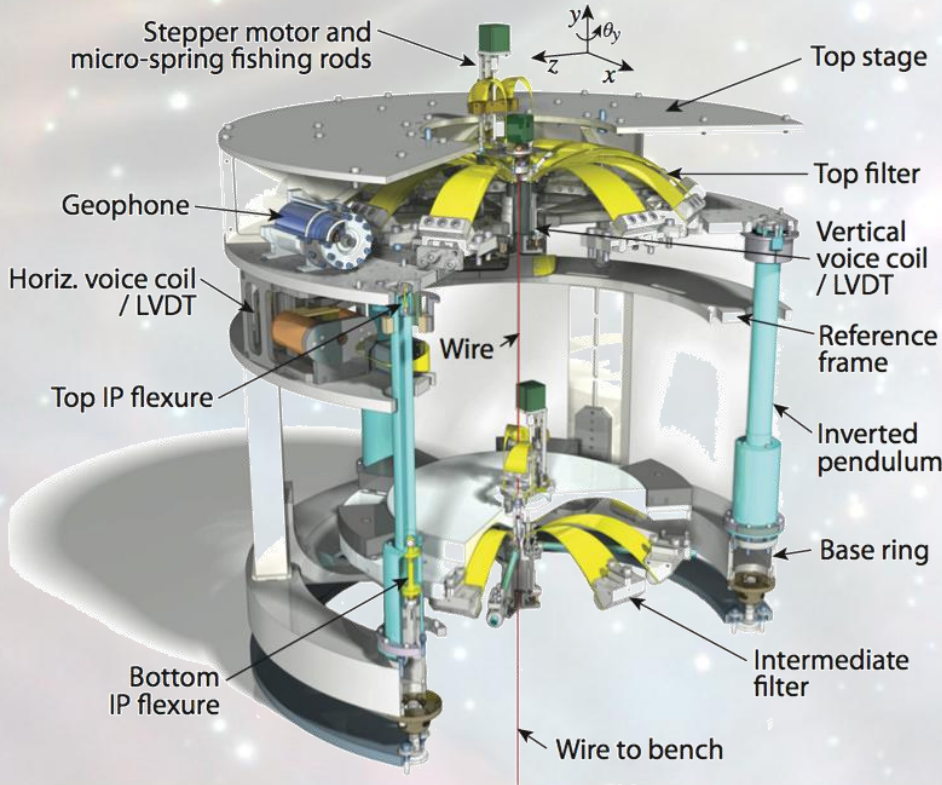
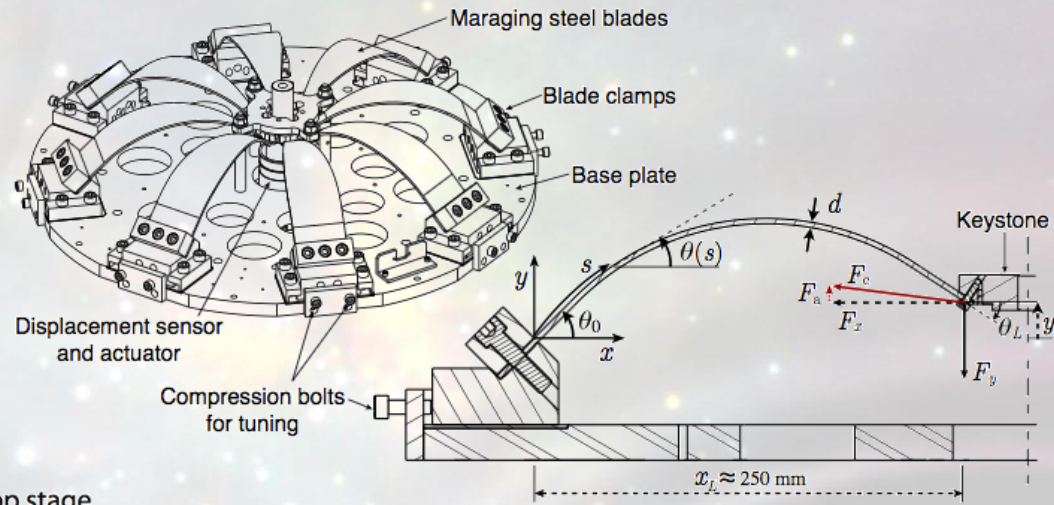
gerjesztés



További tükrök felfüggesztése - Nikhef

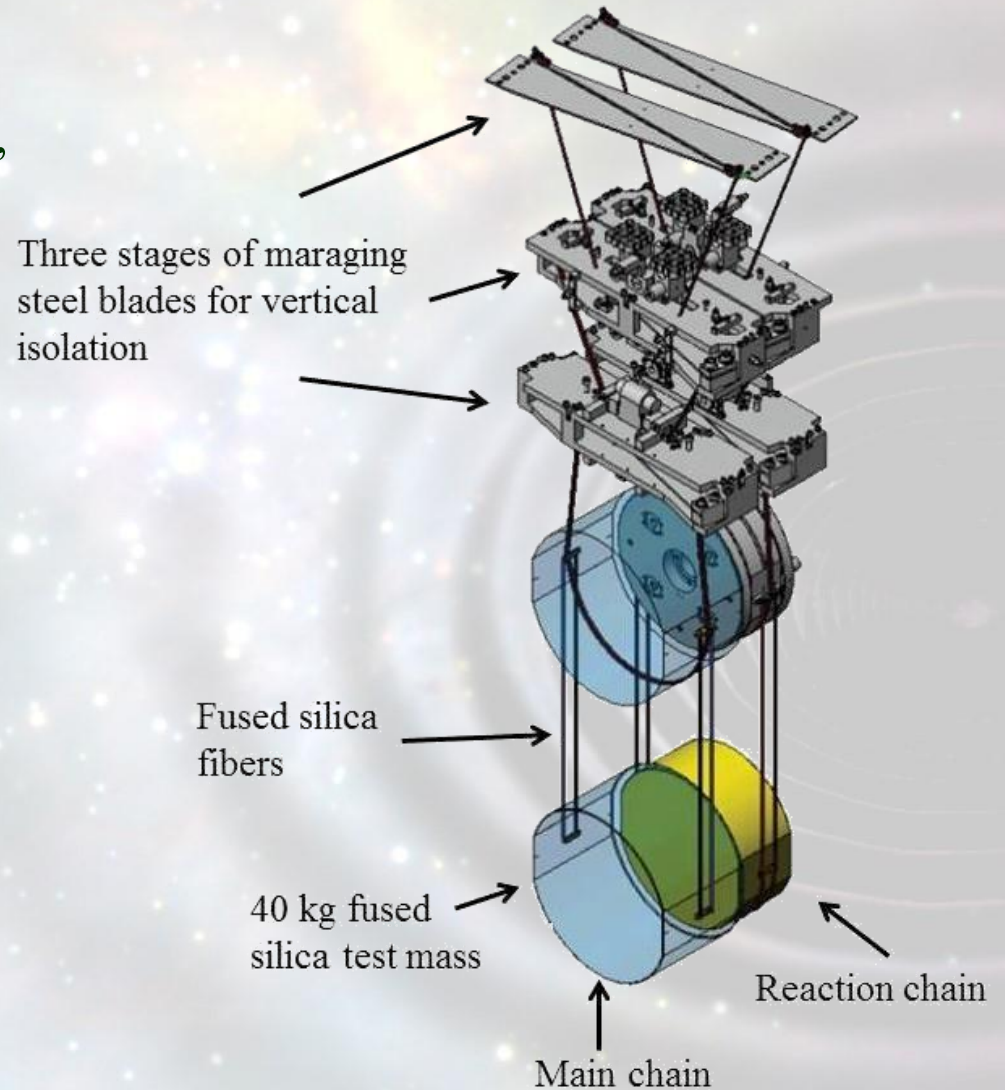
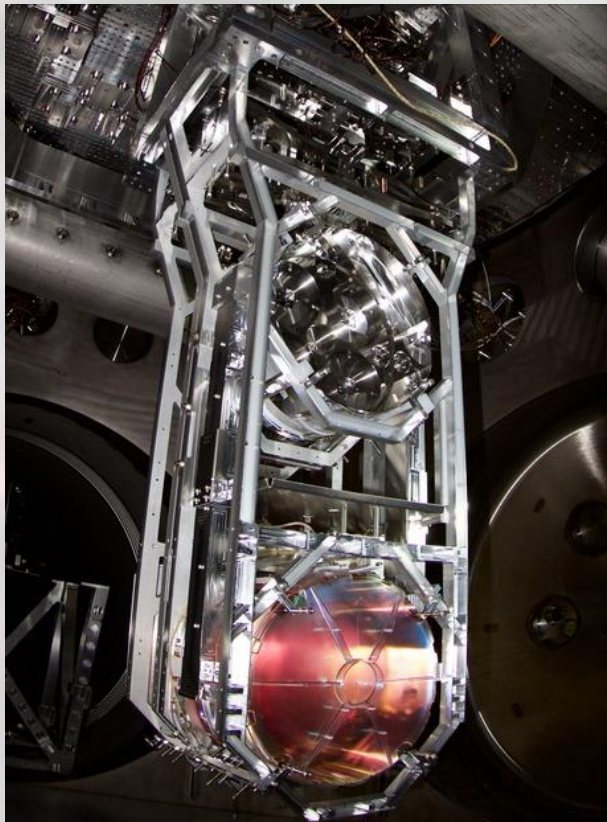


Tükrök felfüggesztése



Szeizmikus zajok csillapítása - aLIGO

- Négyzetes inga felfüggesztés, **aktív** csillapítás



EINSTEIN TELESCOPE

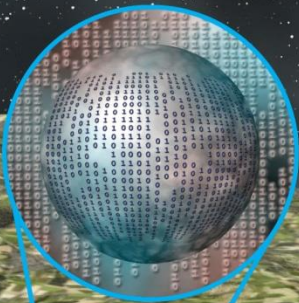
gravitational wave observatory



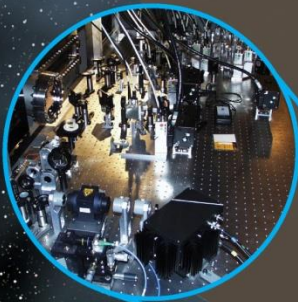
CENTRAL FACILITY



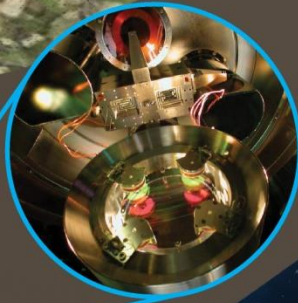
COMPUTING CENTRE



DETECTOR STATION



END STATION



Length ~10 km

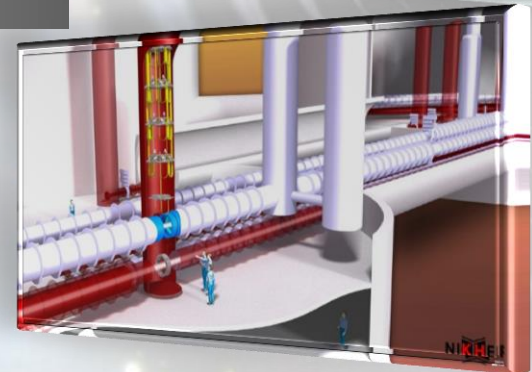
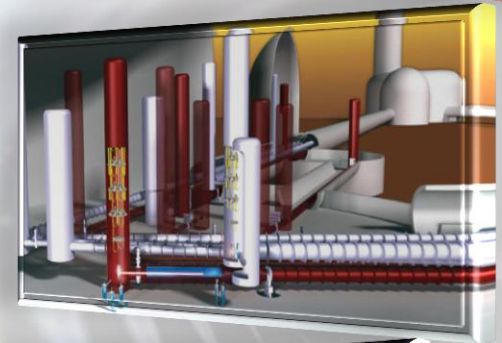
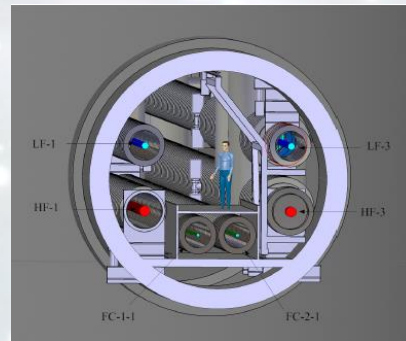
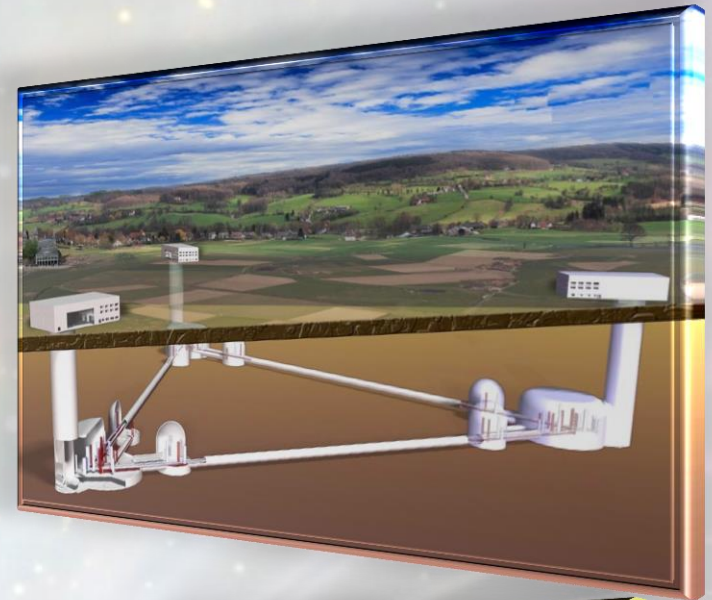


TUNNEL \varnothing ~5 m



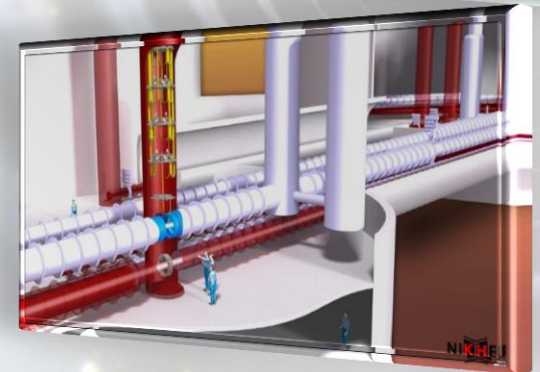
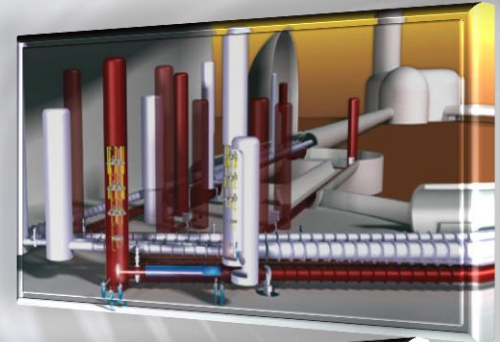
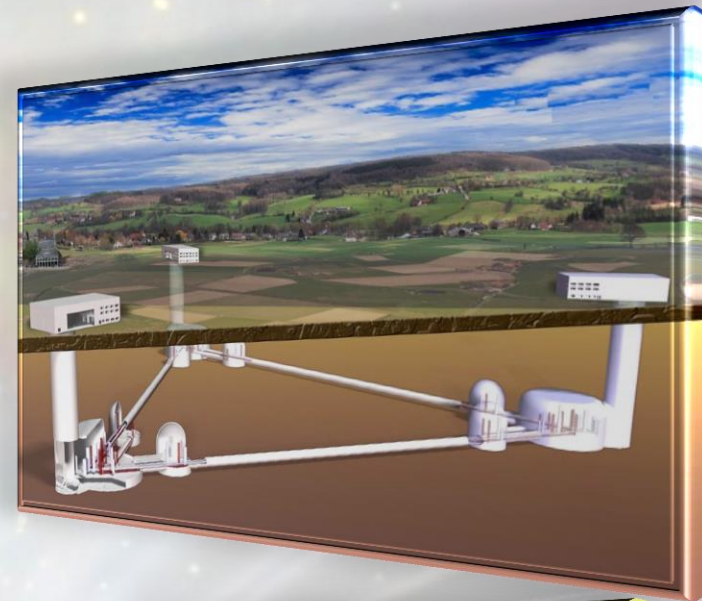
3. gen. GH detektor

- 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

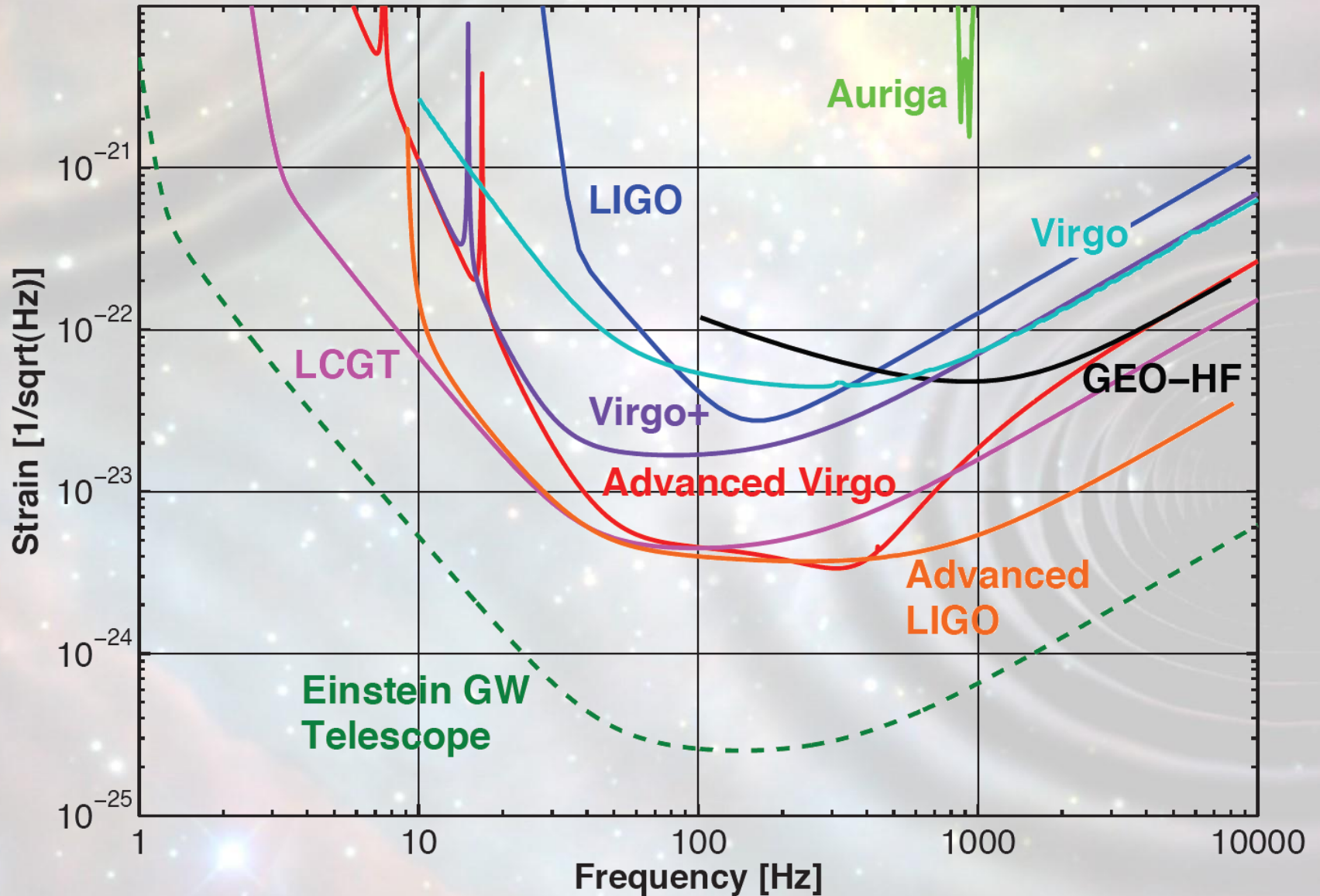


3. gen. GH detektor - Ütemterv

- 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

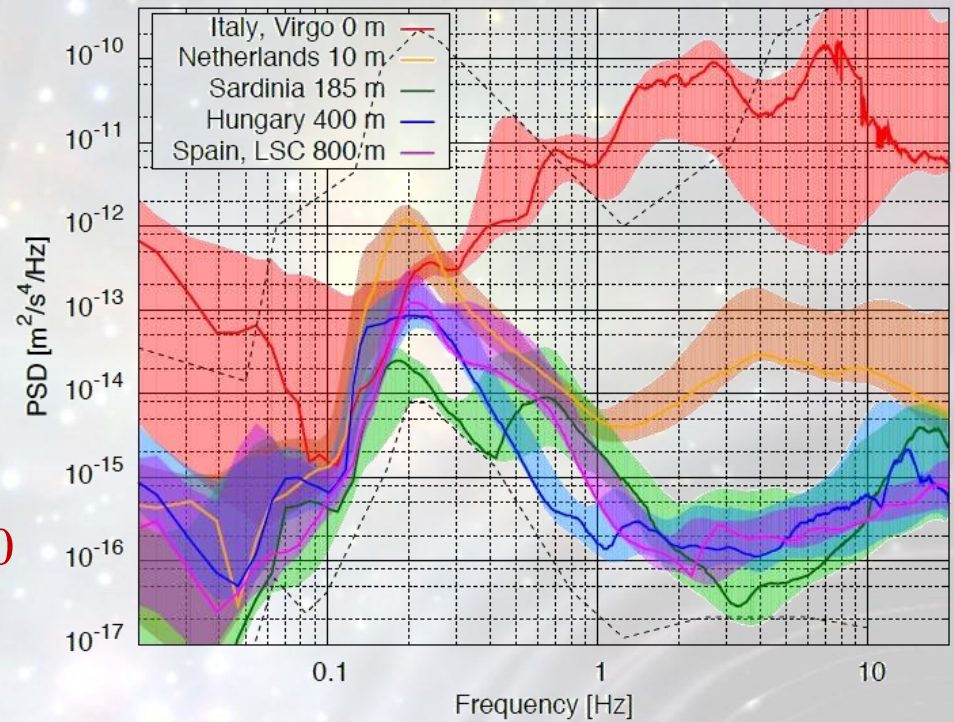


A helyszín kiválasztása



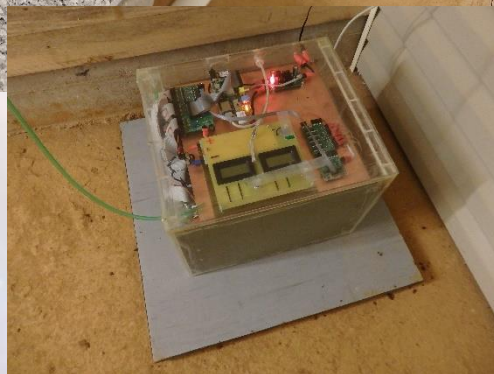
Előzetes mérések a Mátrában

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



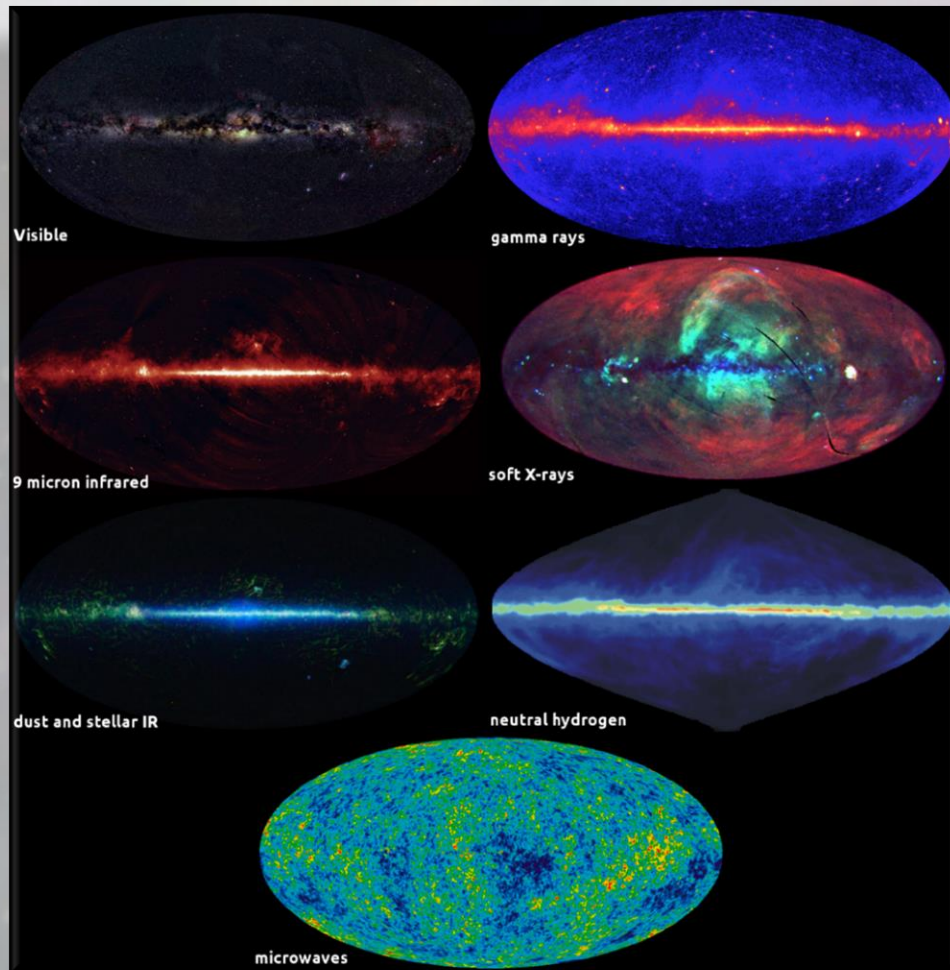
Mátrai Gravitációs és Geofizikai Laboratórium

VIRGO ERIC

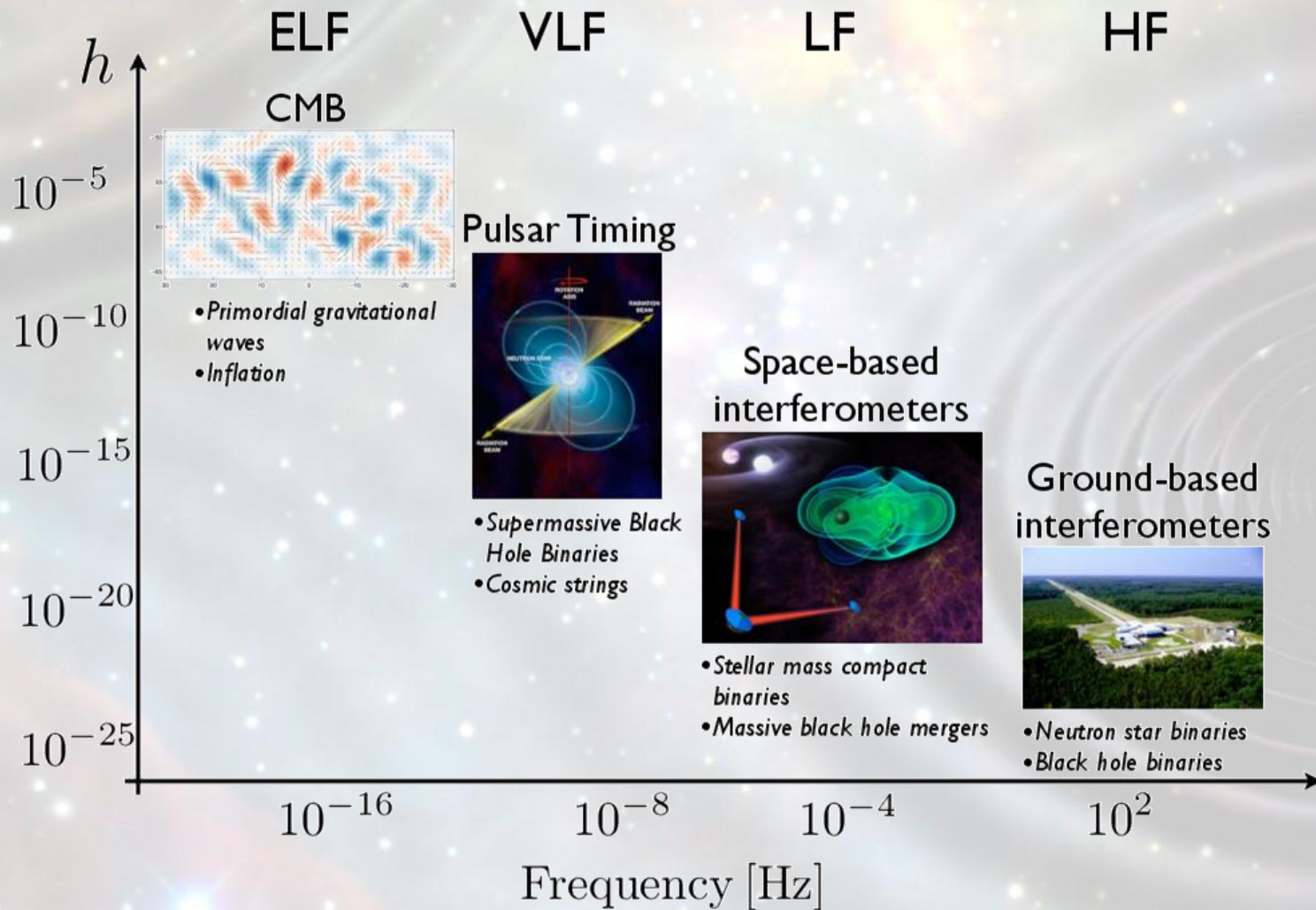


Cél

- A hullámok közvetlen megfigyelése és elemzése
- A világegyetemről alkotott képünk a csillagászati/EM megfigyeléseken nyugszik
- Dinamikai folyamatok, nagy sűrűségű területek megfigyelése
- Sötét anyag, sötét energia
- Az Univerzum korai állapota

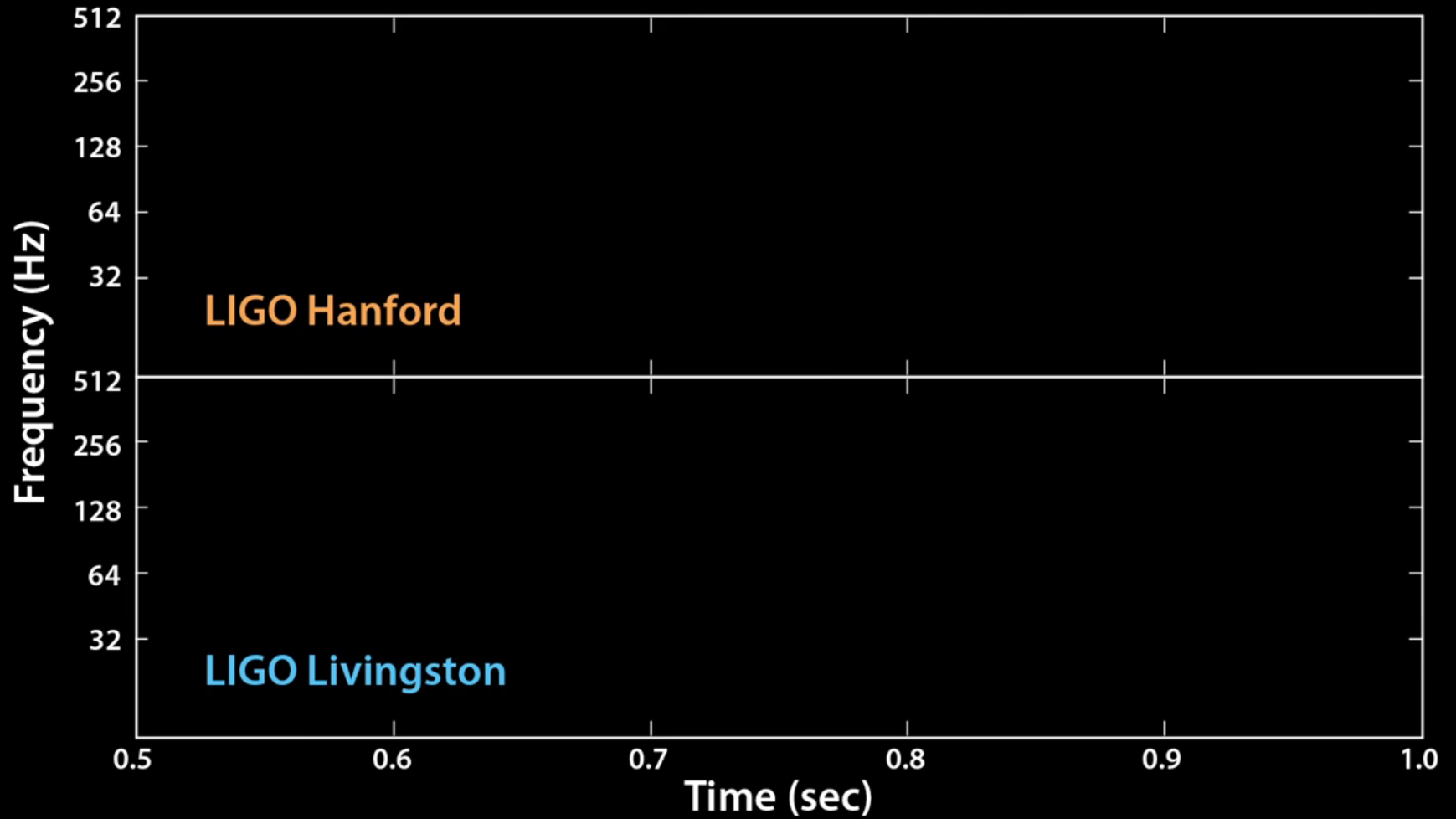


Gravitációshullám-csillagászat



Köszönöm a figyelmet!

Az ütközés „hangja”



Az első közvetlen megfigyelés

