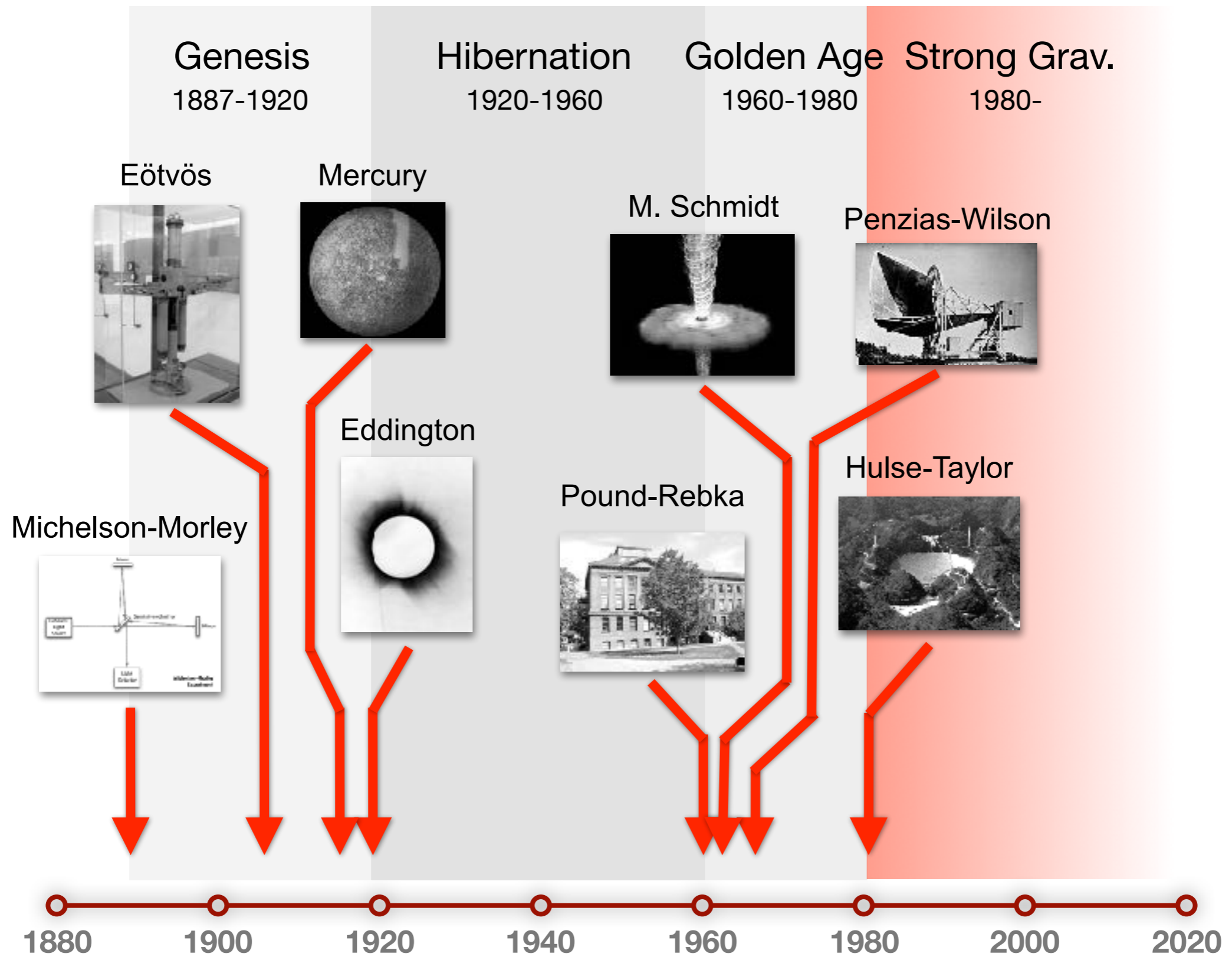


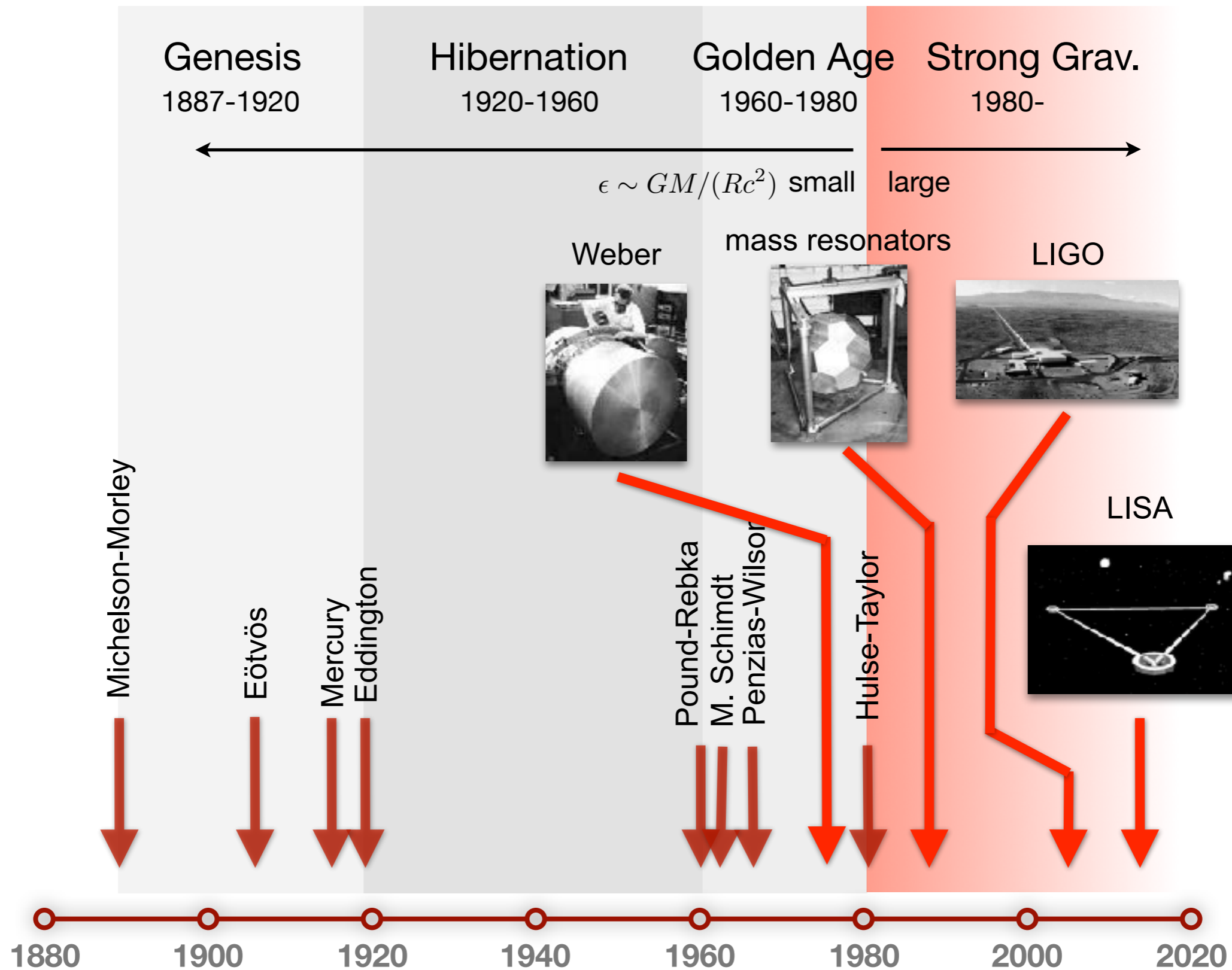


Gravitációs hullámok: új ablak a világegyetemre

Frei Zsolt, ELTE Fizikai Intézet



Az általános relativitáselmélet kísérleti bizonyítékai



A gravitációs hullámok kutatása napjainkban



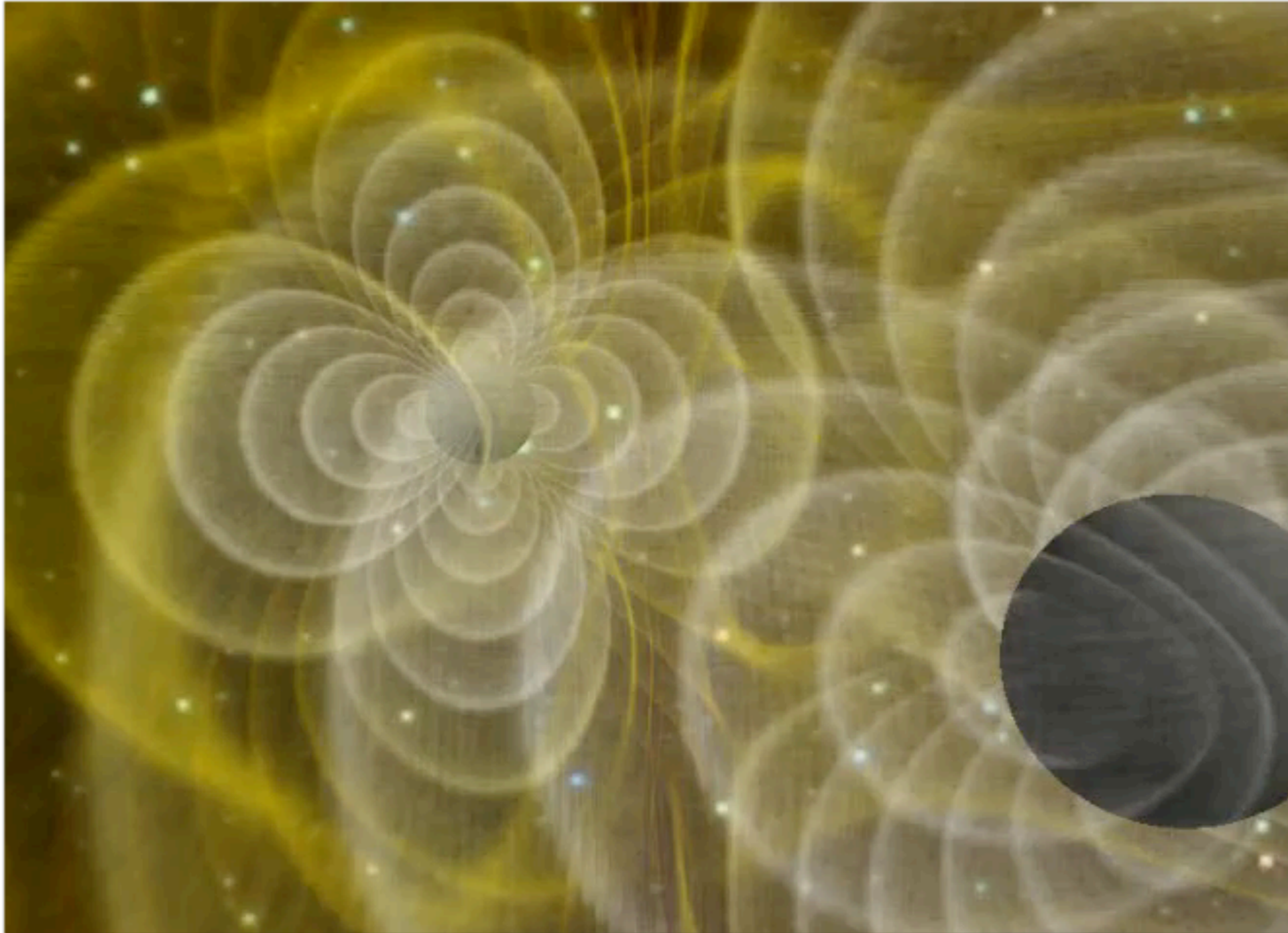
Mik is azok a gravitációs hullámok?

Gravitációs hullám akkor kelet-
kezik amikor egy tömegpont...

...gyorsulva mozog
(pl. körmozgás)

Ők
is...





Numerikus relativitáselméleti szimuláció



Hogyan lehet észlelni a gravitációs hullámokat?

DE VAN VALAMI AMI MÉGSEM
NYÚLIK MEG, ÉS LEHET MÉRNI VELE

HA A TÉR KÉT PONT
KÖZÖTT MEGNYÚLIK

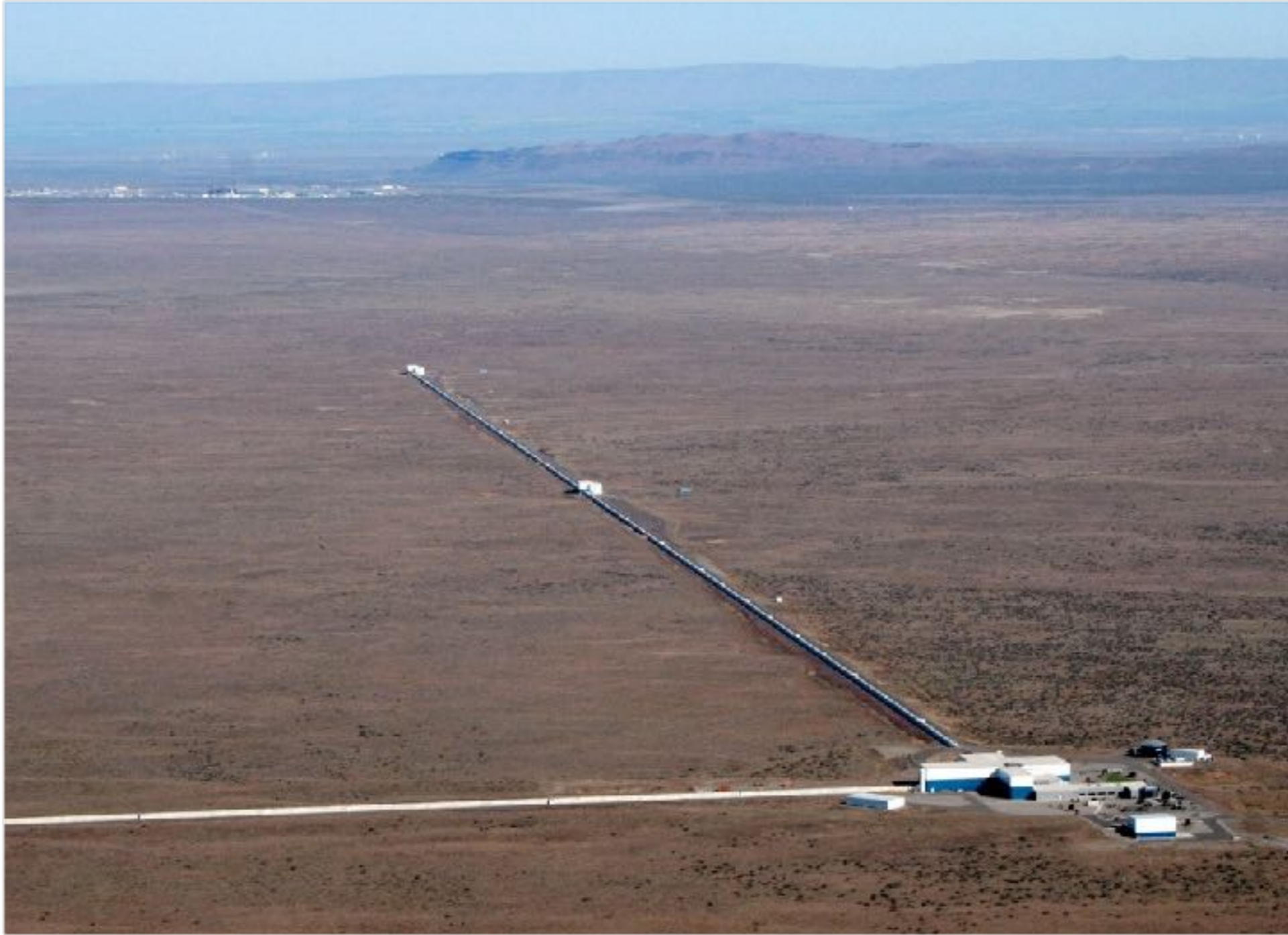


AKKOR A FÉNY TÖBB
IDŐT TÖLT KÖZÖTTÜK

HA PEDIG ÖSSZE-
NYOMJUK A TERET



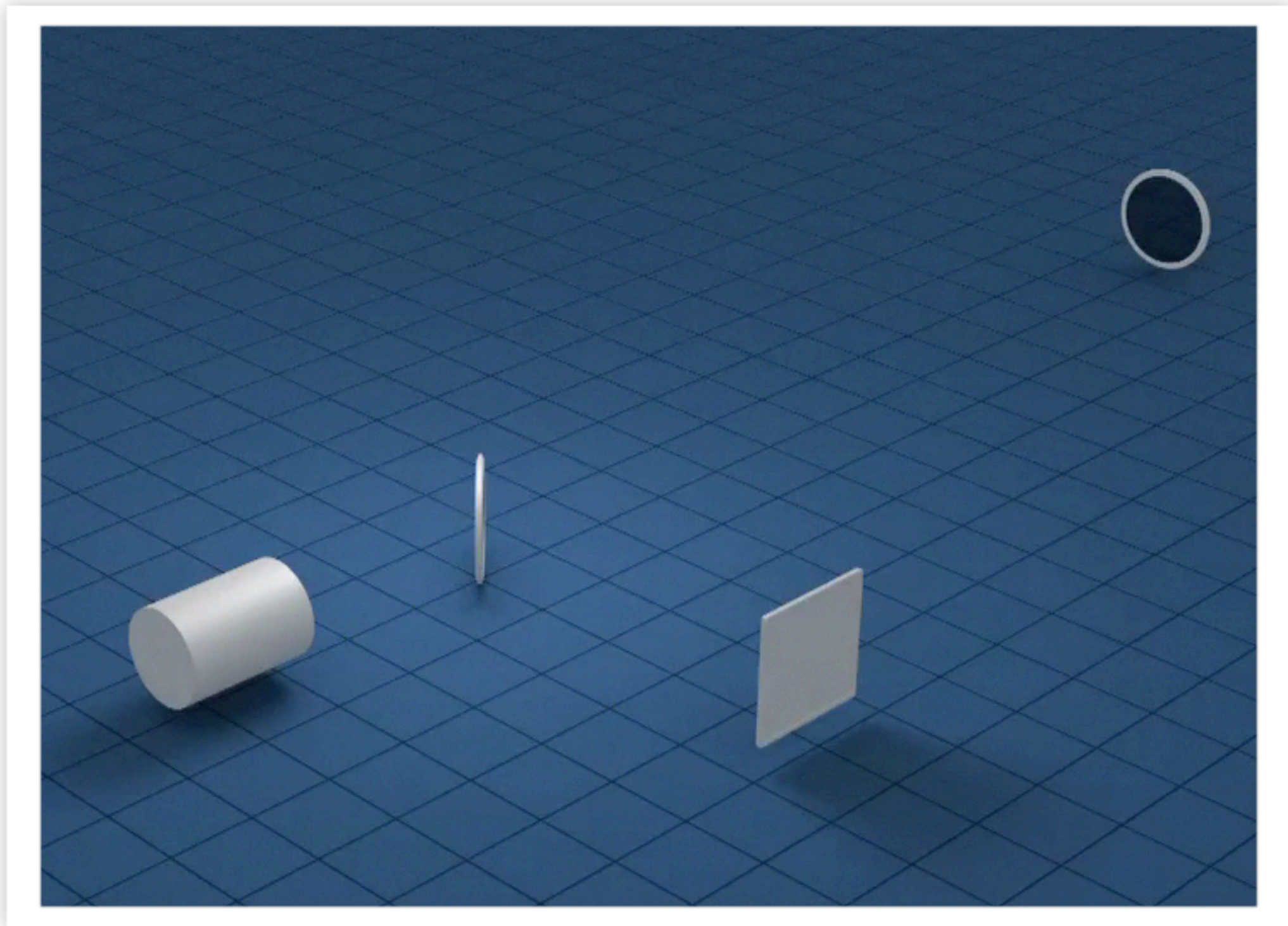
AKKOR A FÉNY
HAMARABB ODAÉR



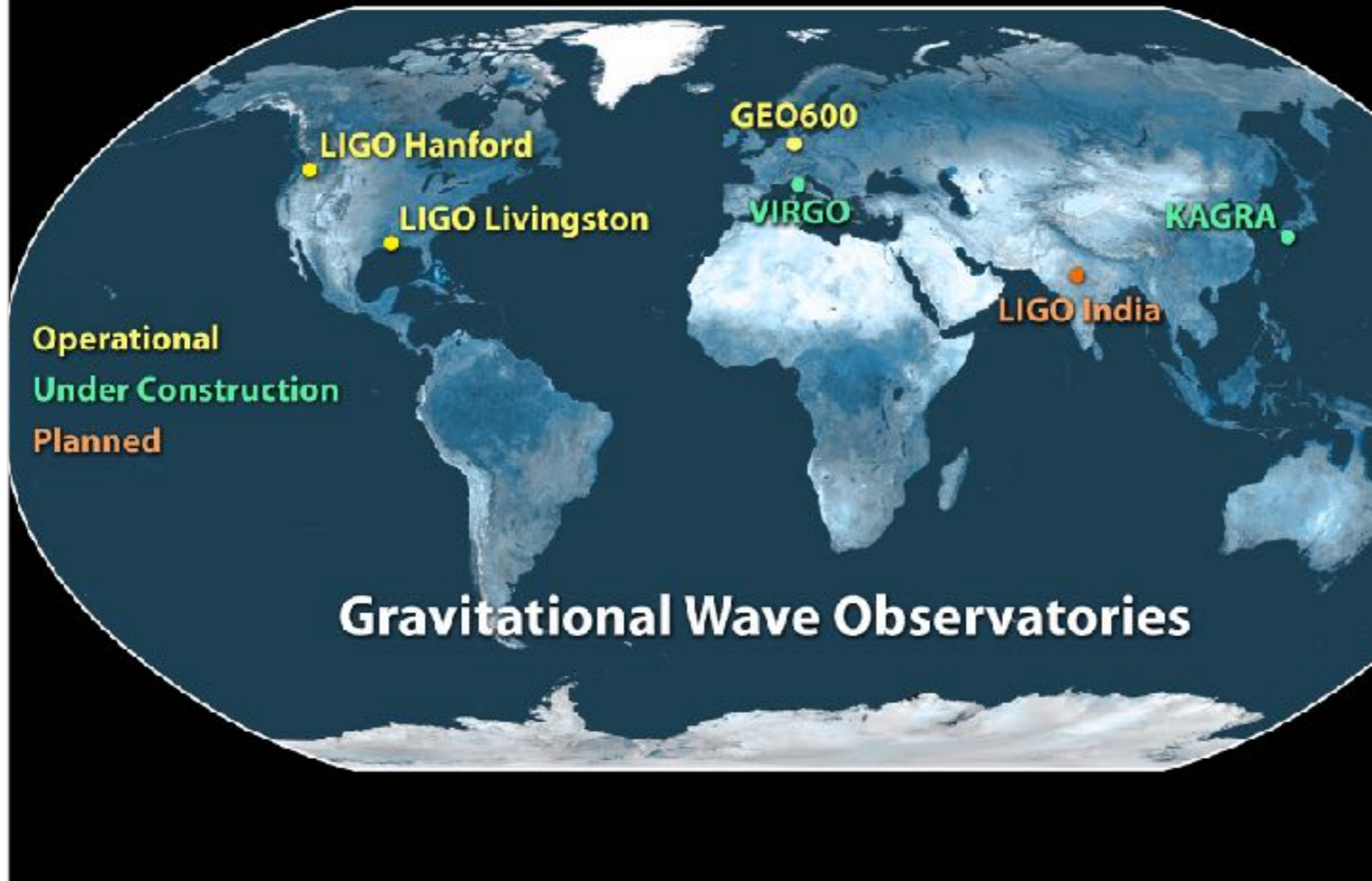
LIGO:
Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory



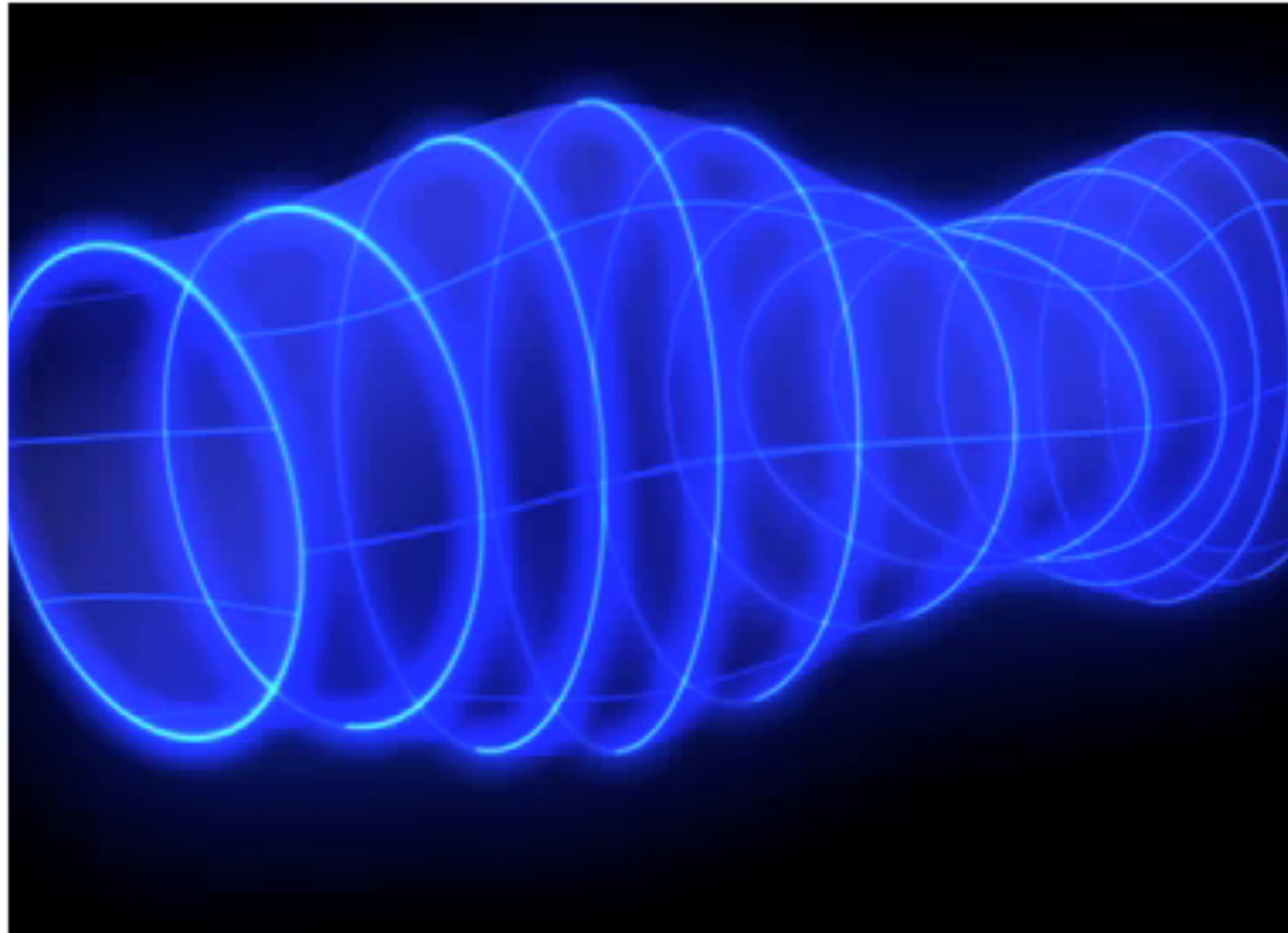
LIGO interferométer az épületen belül



Az interferométer működése



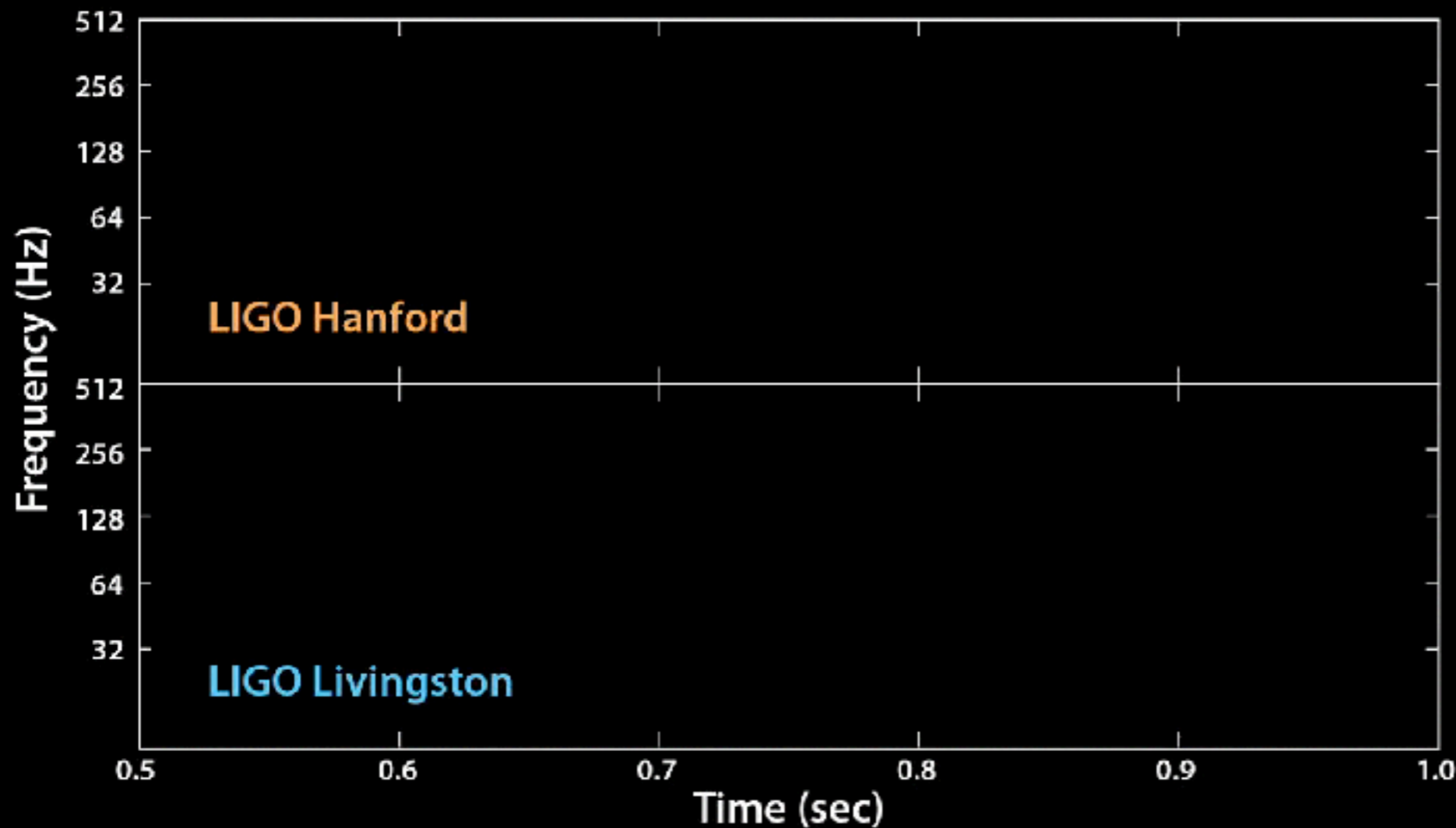
Lézer-interferométerek jelenleg



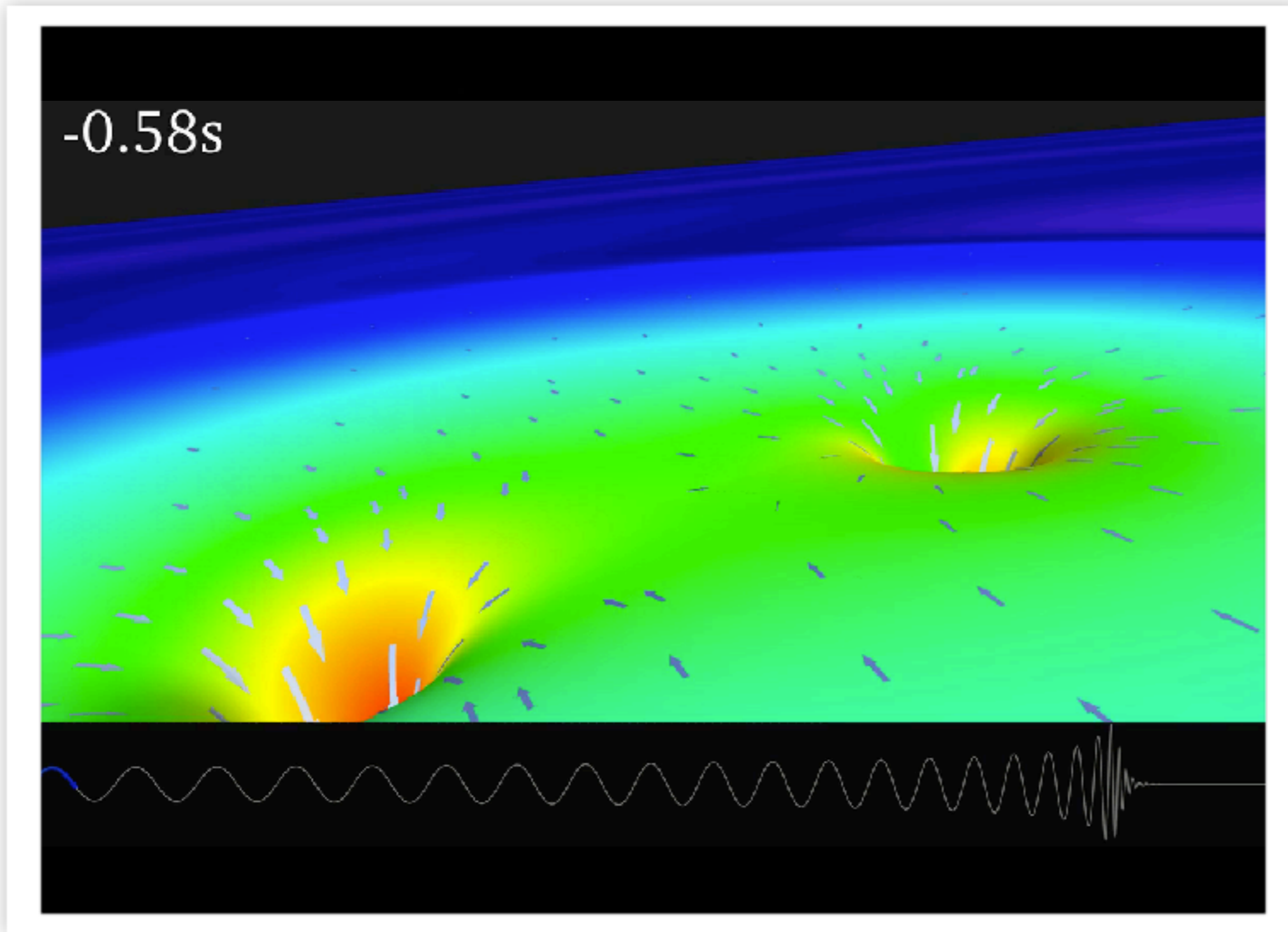
Hogyan képzeljük el a gravitációs hullámokat?



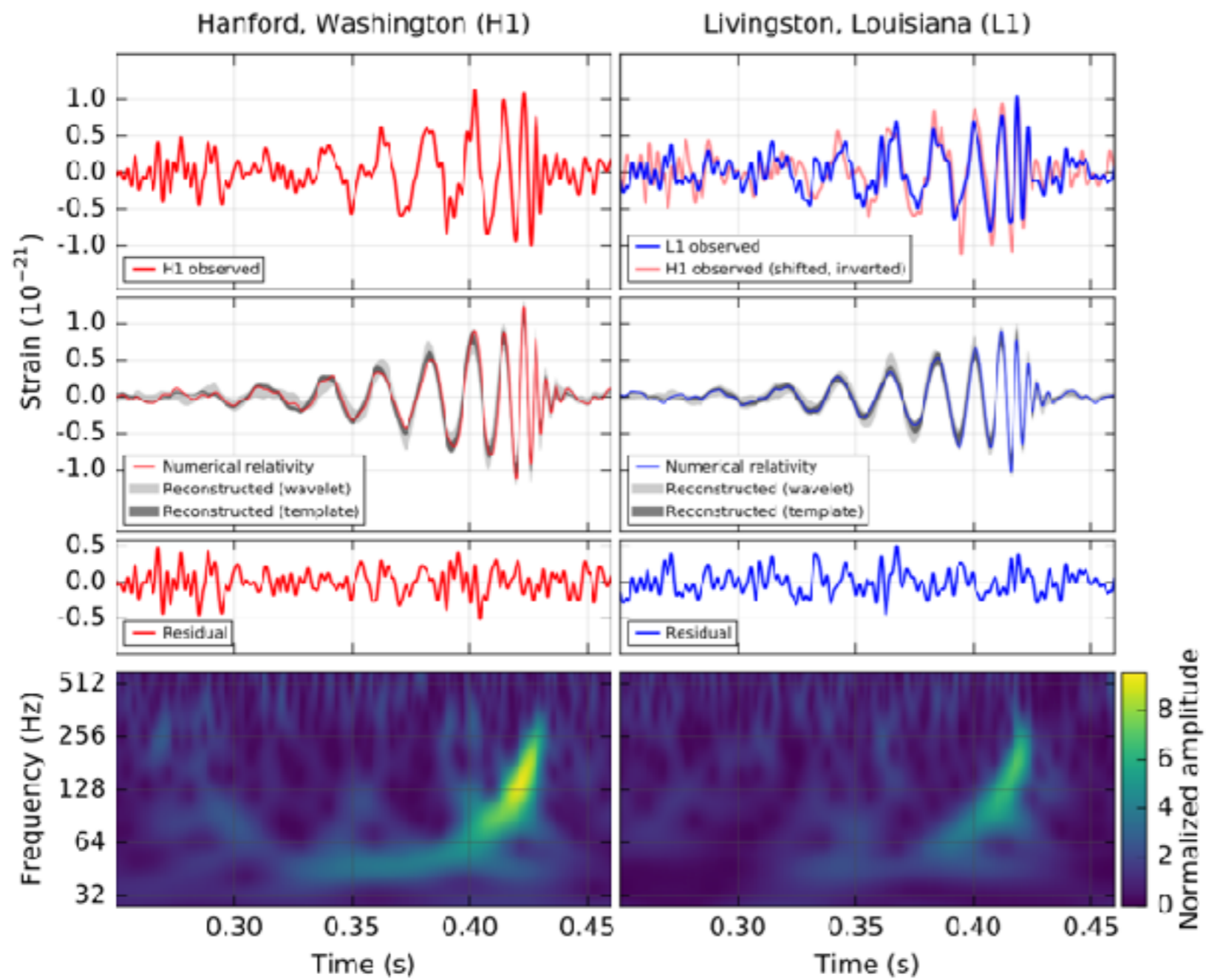
Optikai szimuláció



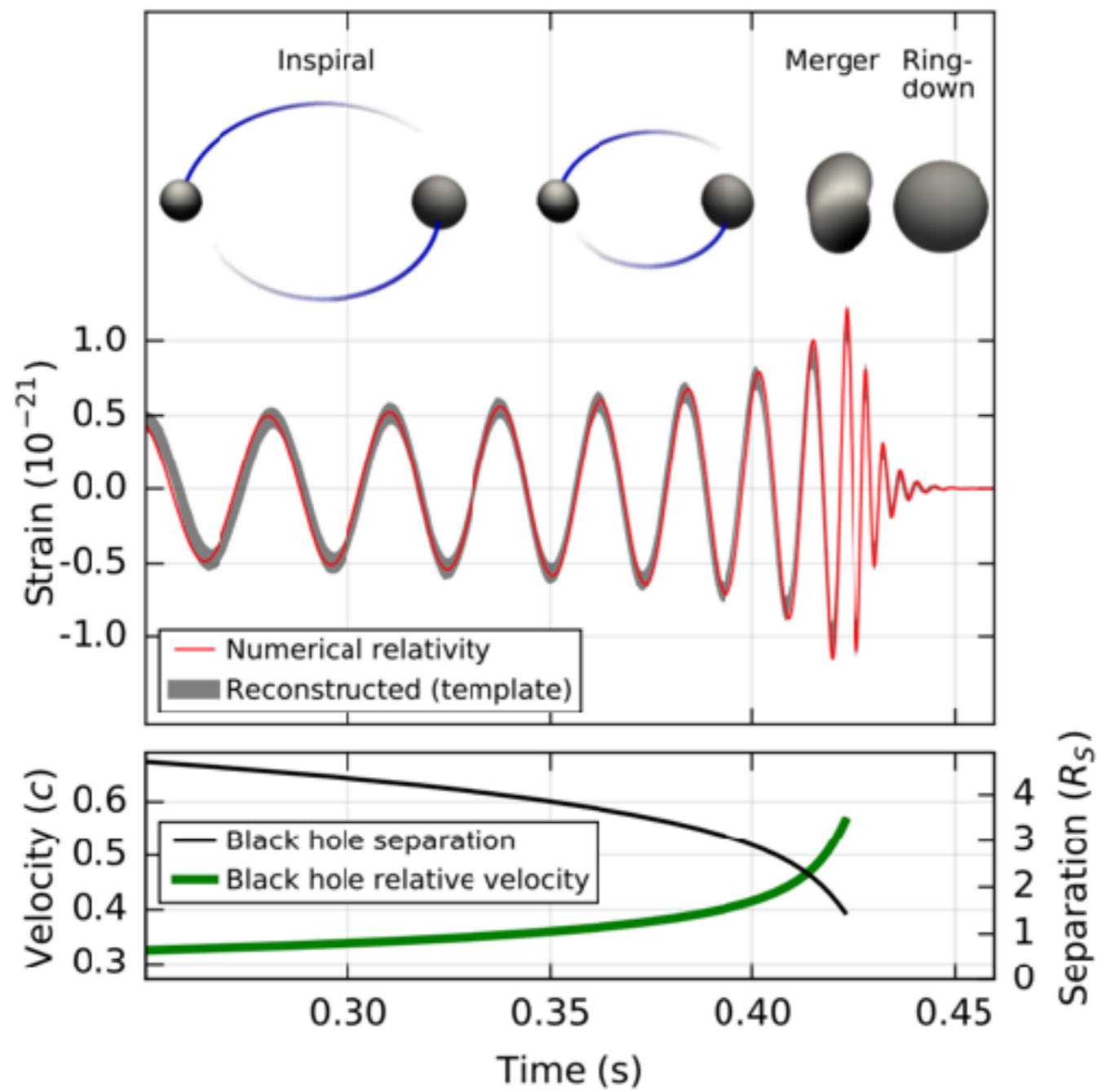
**“Mindössze” ennyi történt, jó 100 év várakozás,
és 1 milliárd USD elköltése után**



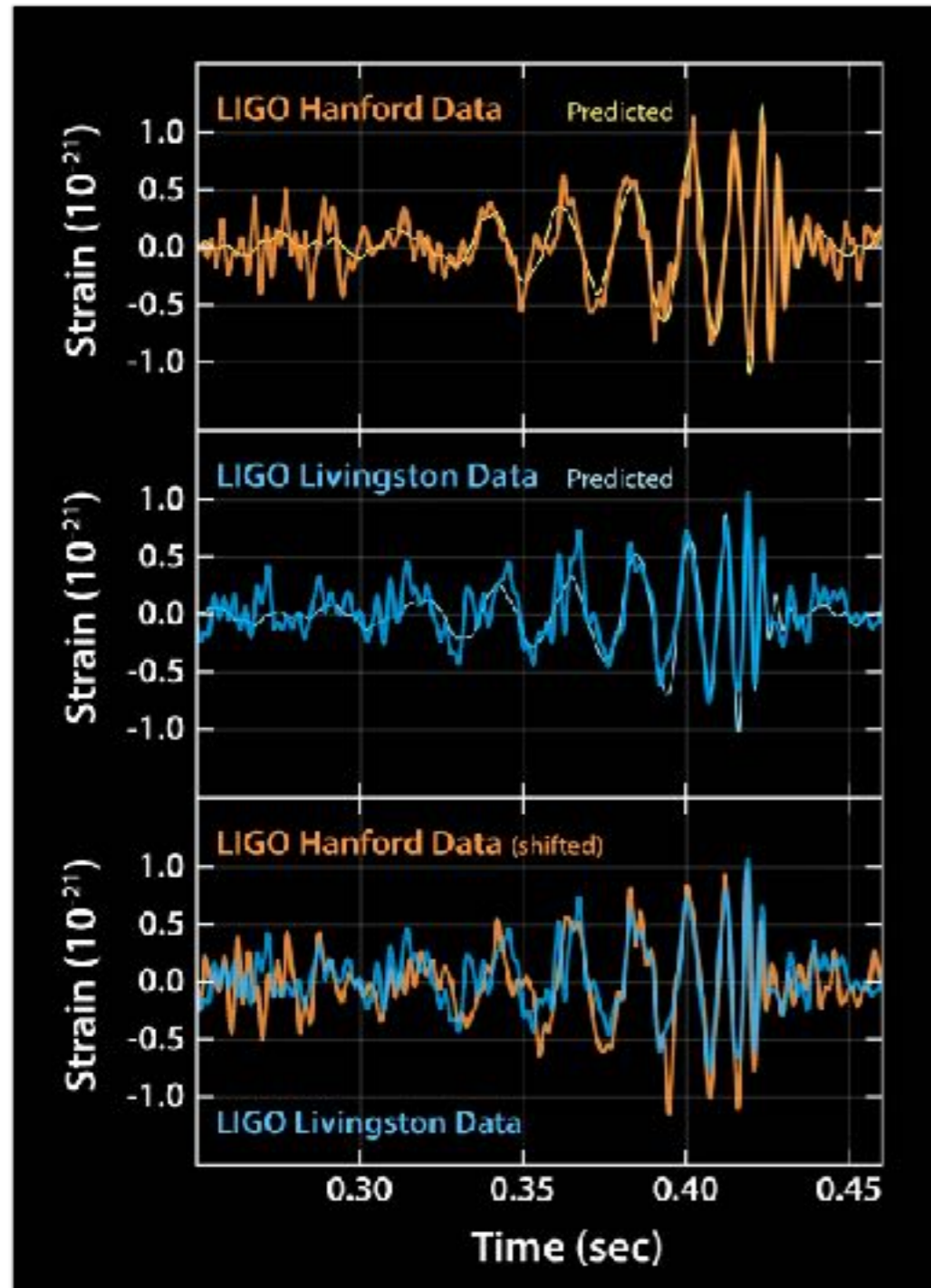
A görbült téridő az összeolvadás alatt



A cikk első ábrája



A cikk második ábrája



- 29 és 36 naptömeg
- 65 helyett 62 naptömeg maradt vissza
- 1,2 milliárd fényév távolságban
- 0,2 másodperc

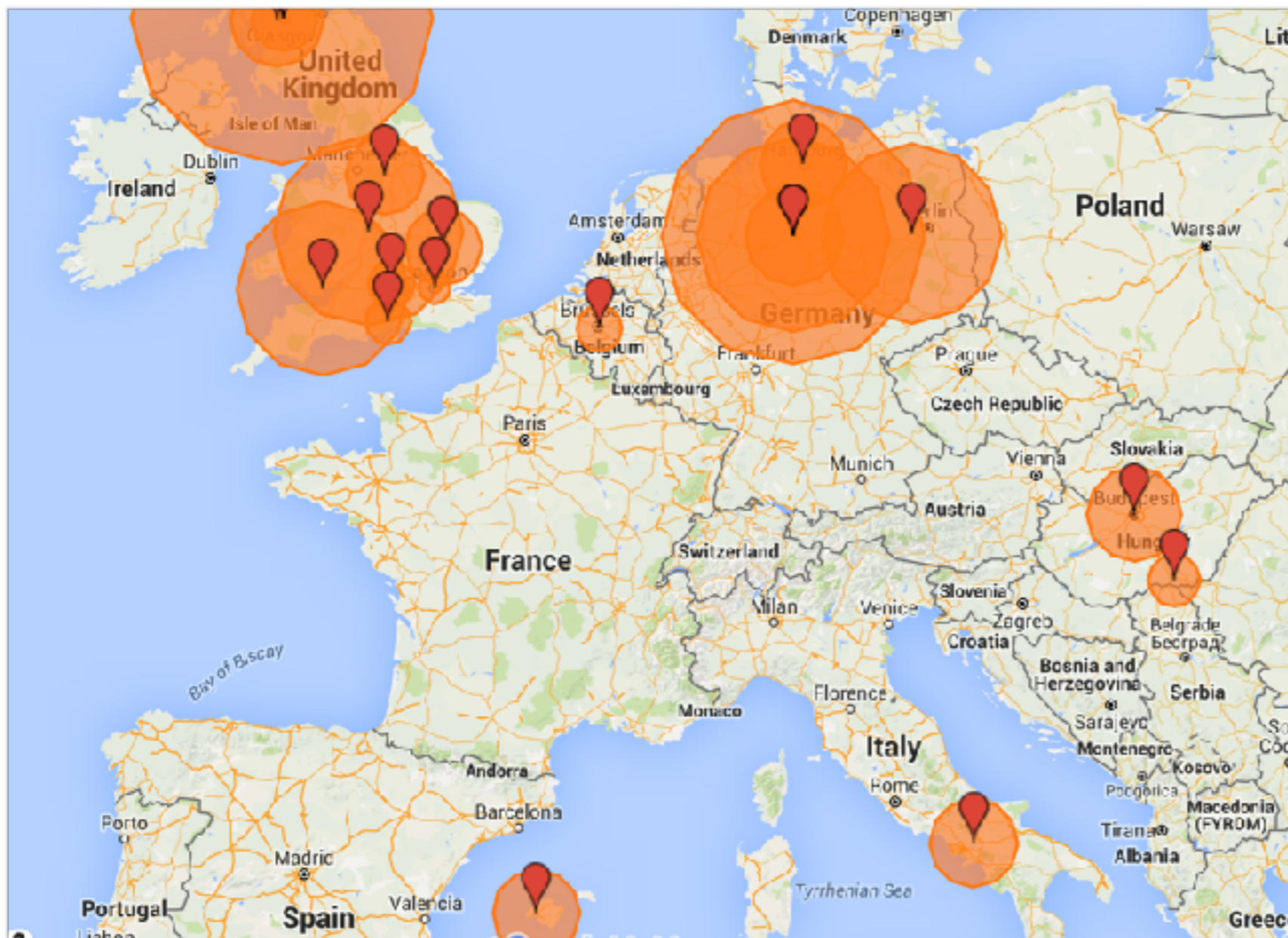
3 fontos felfedezés:

- * *gravitációs hullámok*
- * *kettős fekete lyukak*
- * *legnagyobb energiájú folyamat*

GW 150914: FACTSHEET

date	14 Sept 2015	distance, redshift	410 Mpc, 0.09
time	09:50:45 UTC	peak frequency	150 Hz
observatory	LIGO WA, LA	QNM frequency	250 Hz
source type	black hole binary	peak strain	10^{-21}
SNR	24	peak luminosity	$3.6 \times 10^{56} \text{ erg s}^{-1}$
false alarm prob.	$< 2 \times 10^{-7}$	peak speed	0.6 c
false alarm rate	1 in 200,000 yr	radiated energy	$3 M_{\odot}$, 5% of mass
		<i>Detector Frame Masses M_{\odot}</i>	
chirptime at 35 Hz	200 ms	total mass	70
cycles from 35 Hz	8	chirpmass	30
remnant size, area	210 km,	primary BH	39
inferred rate	$2\text{-}400 \text{ Gpc}^{-3} \text{ yr}^{-1}$	secondary BH	31
<i>BH spins</i>		remnant BH	67
primary	< 0.7	<i>Source Frame Masses M_{\odot}</i>	
secondary	< 0.9	total mass	65
remnant	0.7	chirpmass	28
graviton mass	$< 1.2 \times 10^{-22} \text{ eV}$	primary BH	36
resolved to	600 sq. deg.	secondary BH	29
orientation	face-on/off	remnant BH	62
sky location	southern hemisphere	mass ratio	0.8
CPU hours used	~ 50 million		

Még több adat

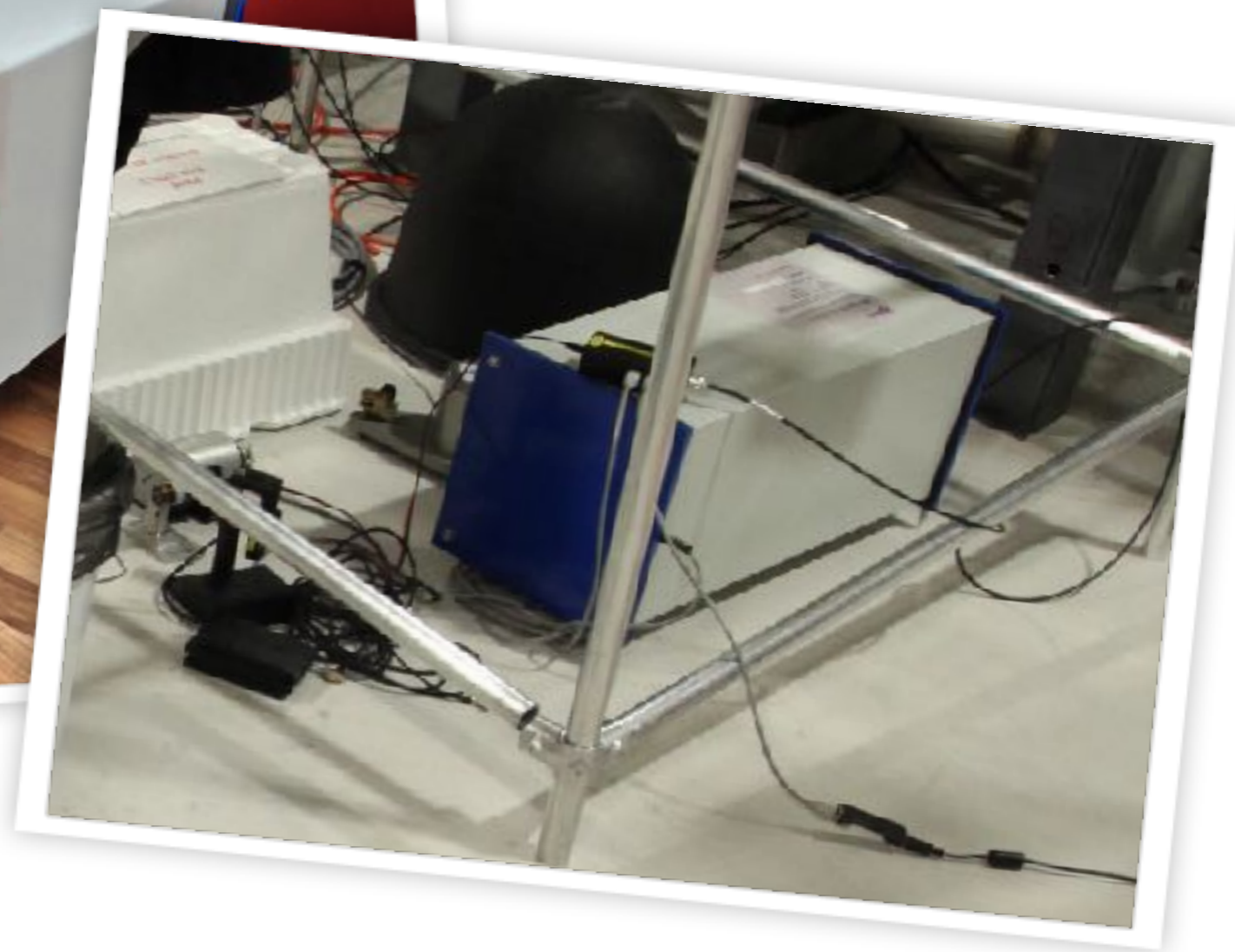


Szerepünk a LIGO-ban

2007-ben csatlakoztunk, azóta **Polányi**, **NAP**, **KTIA**, **Lendület** és **OTKA** pályázatok támogatták folyamatosan az itt folyó munkát



A csoport



Infrahang mikrofon fejlesztése

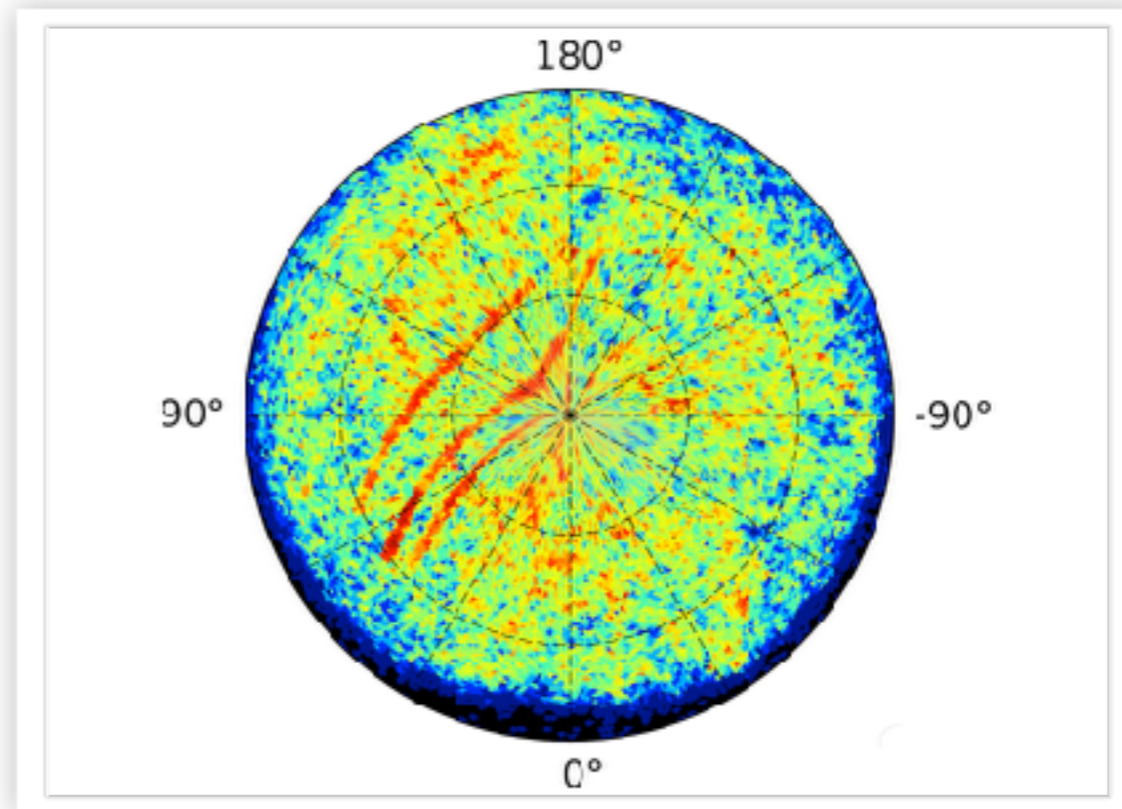
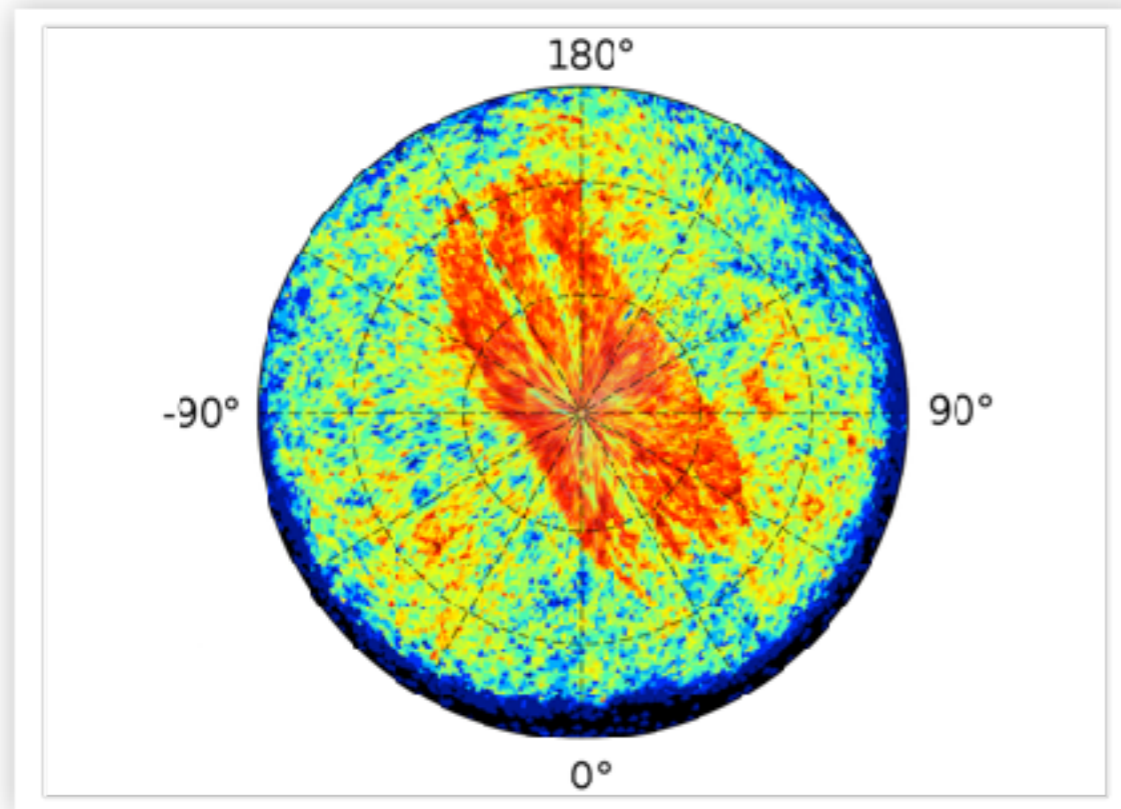


DUGL, Homestake bánya, Dél-Dakota állam, USA



Műszakfelügyelet.

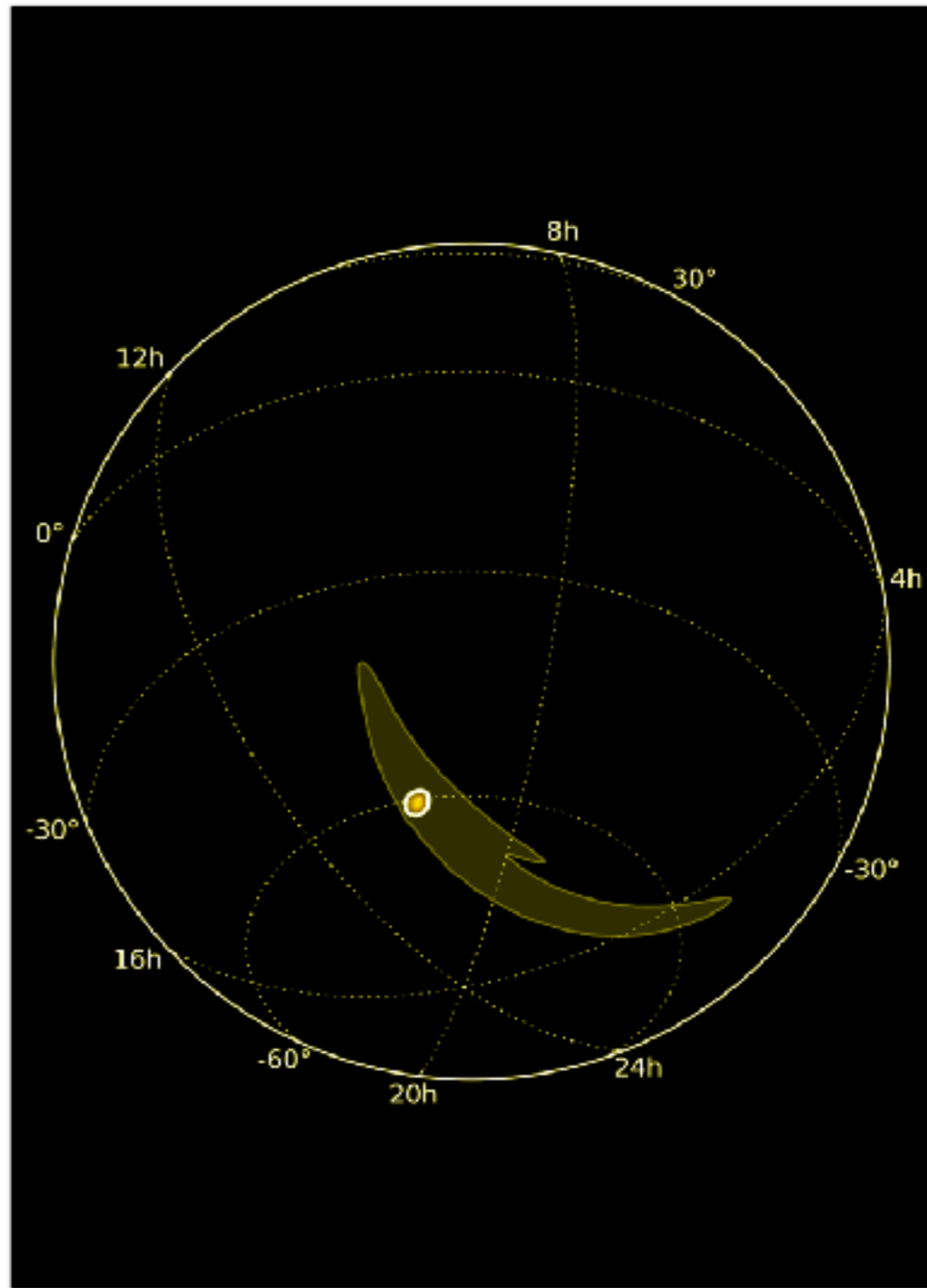
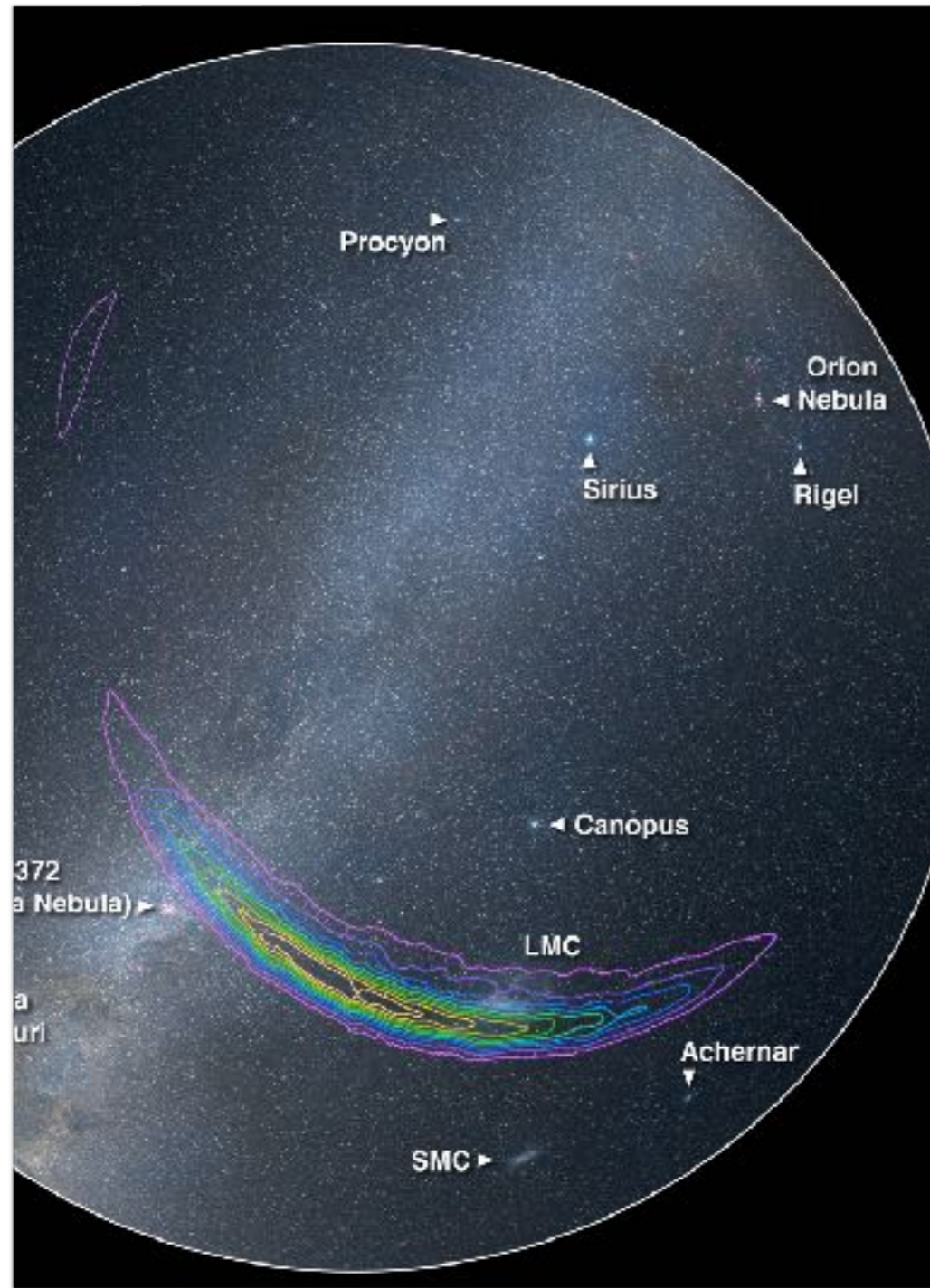
A helyszínen és az ELTE laboratóriumaiból, távolból is.



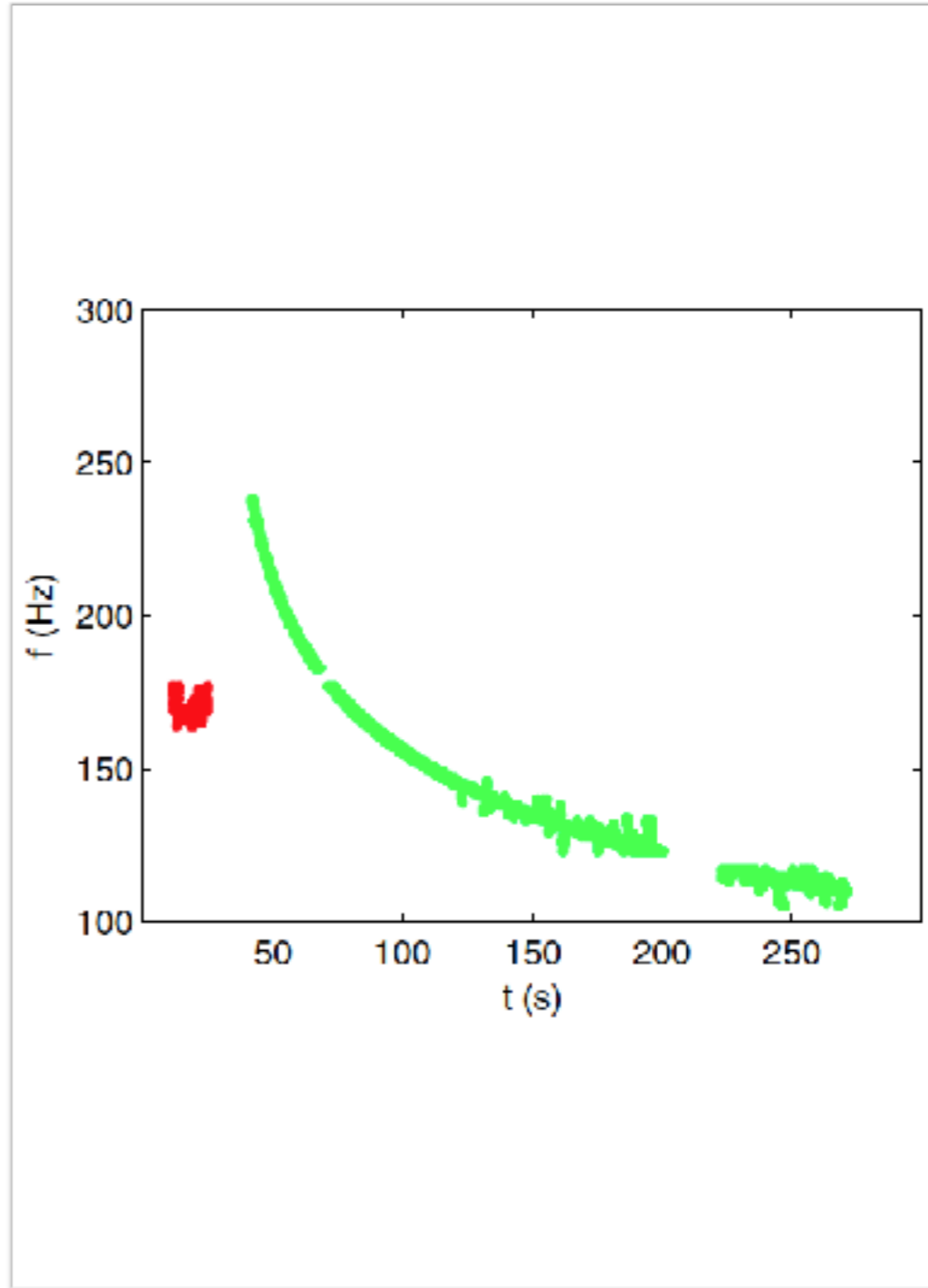
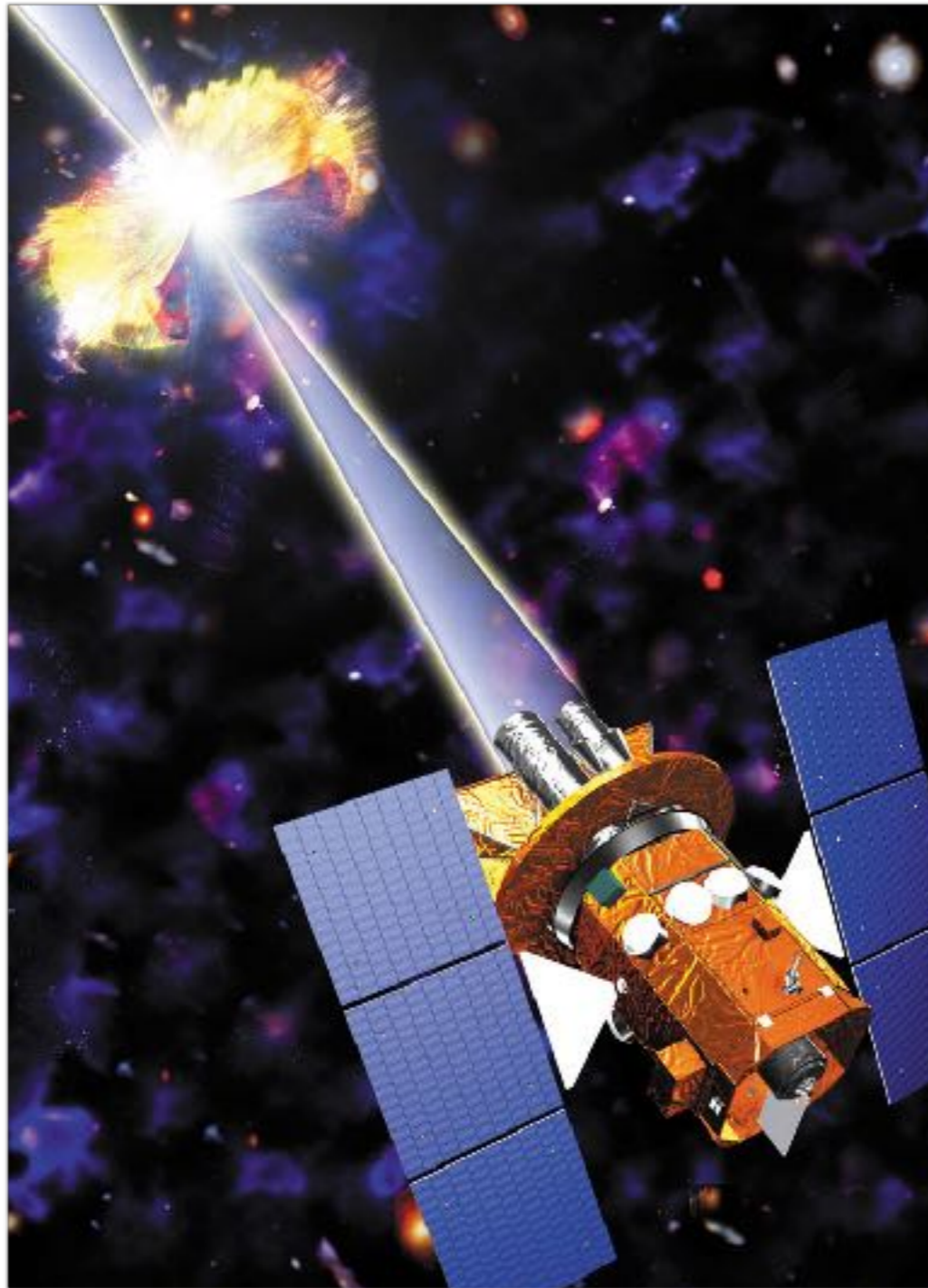
Galaxiskatalógus

Fontos lehet a gravitációs hullámok forrásainak lokalizációja és utána megfigyelése EM úton is.

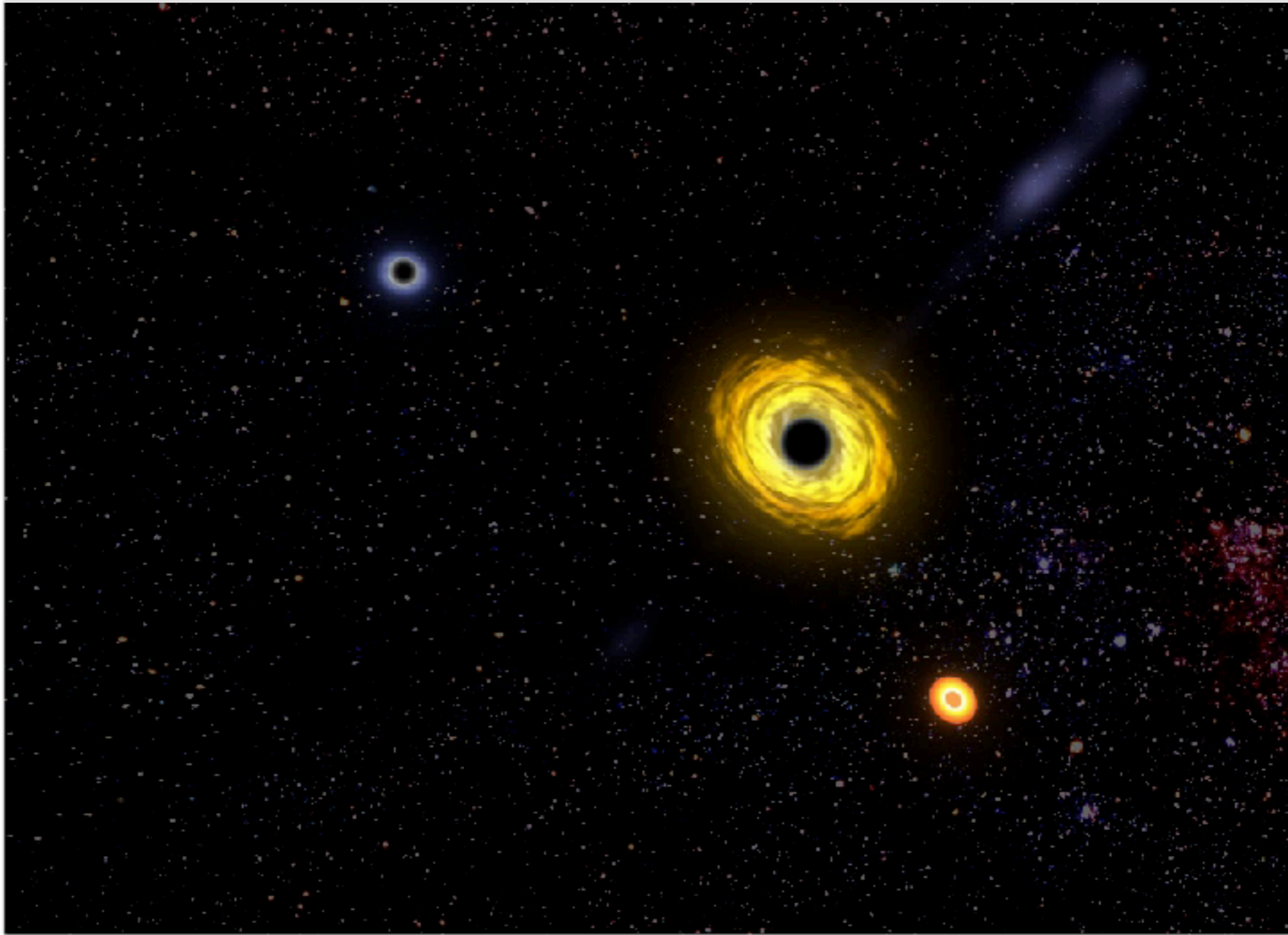
Ehhez galaxiskatalógusra van szükség, ez alapján lehet a távcsöveket irányítani.



A most észlelt jel forrásának helye az égbolt déli féltékén, és a 2 LIGO detektor lokalizációjának “pontossága”...



Jelkeresési algoritmus és program



Az excentrikus kettősök jelei



Hanford
LIGO
Ervingston
2015.09.14. 09:50:45 UTC
Megtörtént a felfedezés! - A GW150914 az elsőnek észlelt gravitációshullám-jel fekete lyukak összeolvadásából



Prof. Rainer Weiss, a LIGO társalapítója elmagyarázza a LIGO detektorok működését



LIGO
a passion for understanding
"LIGO: A Passion for Understanding"
interaktív film magyarul



EGRG
Eötvös György Research Group

A LIGO Scientific Collaboration nemzetközi kutató együttműködésnek több mint 1000 tagja van, akik közös munkával az univerzum legnagyobb energiájú eseményeiben keletkező gravitációs hullámokat keresik. Ismerkedj meg a gravitációs hullámokkal és az LSC-vel!

TUDJ MEG TÖBBET!

LEGYÉL RÉSZESE!

LIGO.ELTE.HU (és virtuális túra)

A cikk bírálói írták:

- “Minden bizonnyal történelmet fog írni.”
- “Megtiszteltetés, hogy én bírálhattam a cikket.”
- “Egyáltalán nem túlzás, hogy az eddigi legélvezetesebb cikk, amelyet valaha olvastam.”