

# Hosszú tranziensek keresése és többcsatornás csillagászat gravitációshullám-detektorokkal



[egrg.elte.hu](http://egrg.elte.hu)

Raffai Péter

Eötvös Gravity Research Group

Magyar Tudományos Akadémia, 2016. május 5.



# LIGO Scientific Collaboration [1]



LSC: 1006 tag 15 ország 83 intézményéből

Ingyenes, évente felülbírált tagság

Publication Policy:

- A kutatási ideje >50%-át az LSC-nek dedikáló szenior vagy PhD hallgató a 2. munkaévtől szerzőlistára kerül
- Minden LIGO-felhasználás kollaborációs eredmény!
- Minden kollaborációs eredmény review-köteles!



[1] [www.ligo.org](http://www.ligo.org)





ELTE: Frei Zsolt, Raffai Péter, Gondán László, Bécsy Bence, Dálya Gergely, Szölgyén Ákos

ATOMKI: Molnár József, Fenyvesi Edit, Nagy Dávid

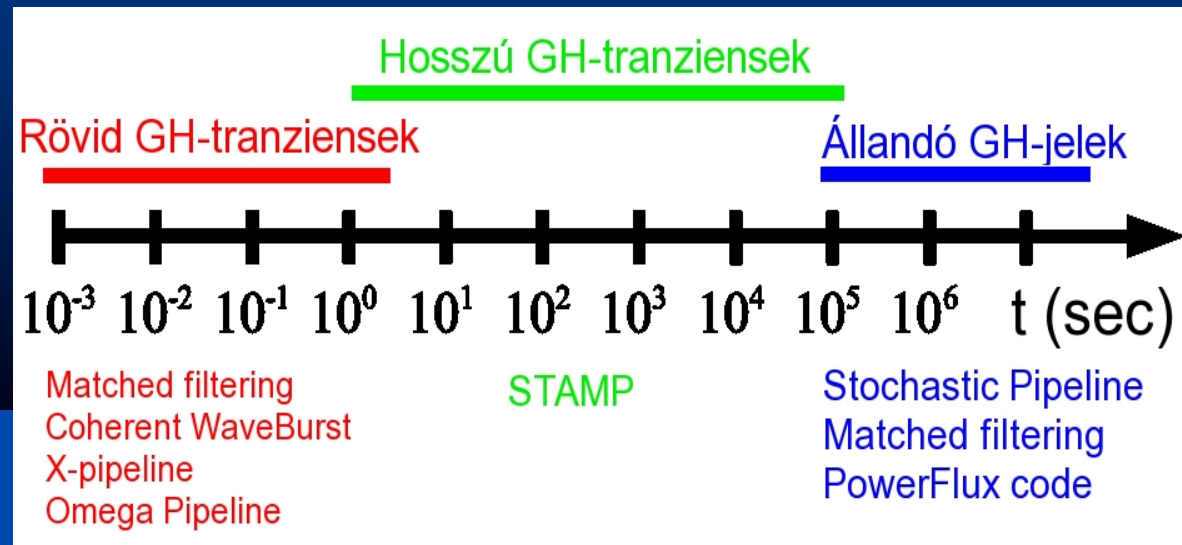
# Hosszú GH-tranziensek [1,2]

## Jeltípusok:

Burst, CBC, CW, Stoch.

## Hosszú GH-tranziensek:

$10^0 - 10^5$  sec hosszú,  
gyengén modellezett jelek



## Asztrofizikai források:

### • Magösszeomlásos szupernóvák és gamma-felvillanások

- Proto-neutroncsillag konvekció
- **Forgási instabilitások**
- r-módus instabilitások
- **Akkrécióskorong-instabilitások**

### • Ütköző és bespiráló kettősök

- (lásd a fenti modelleket)
- Excentrikus kettősök

### • Elszigetelt neutroncsillagok

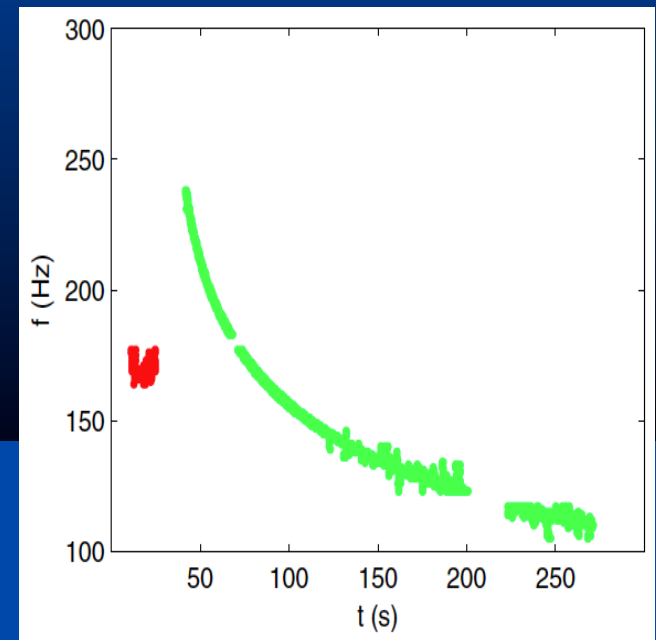
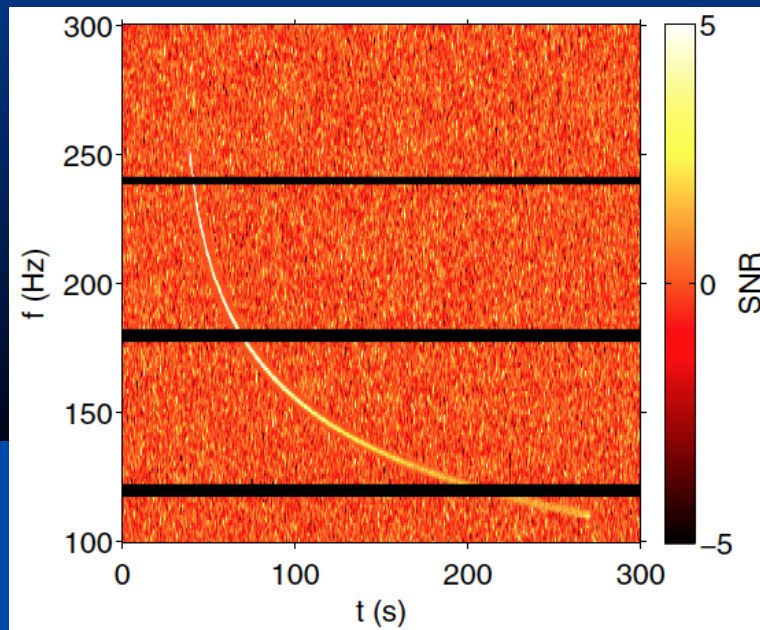
- pulzár glitch
- **SGR QPO**

[1] **Raffai P.**, PhD disszertáció, ELTE 2012.

[2] Thrane E., ..., **Raffai P.**, et al. 2011, Phys. Rev. D, 83, 083004



# Hosszú GH-tranziensek: keresőtechnika



Raffai, P., Z. Frei, Z. Márka, S. Márka; „How to find long narrow-band gravitational wave transients with unknown frequency evolution?”, *Classical and Quantum Gravity*, Vol. 24, p. S457-S468, 2007.

2009. Stochastic Transient Analysis Multi-detector Pipeline (**STAMP**) munkacsoport megalakul a LIGO-Virgo Kollaborációban

Thrane, E., S. Kandhasamy, C. D. Ott, W. G. Anderson, N. L. Christensen, M. W. Coughlin, S. Dorsher, S. Giampanis, V. Mandic, A. Mytidis, T. Prestegard, P. Raffai, B. Whiting; „Long gravitational-wave transients and associated detection strategies for a network of terrestrial interferometers”, *Physical Review D*, Vol. 83, Issue 8, p. 083004, 2011.

# Hosszú GH-tranziensek keresése

**STAMP:** Egyike a 10 standard “burst” jelkereső algoritmusnak

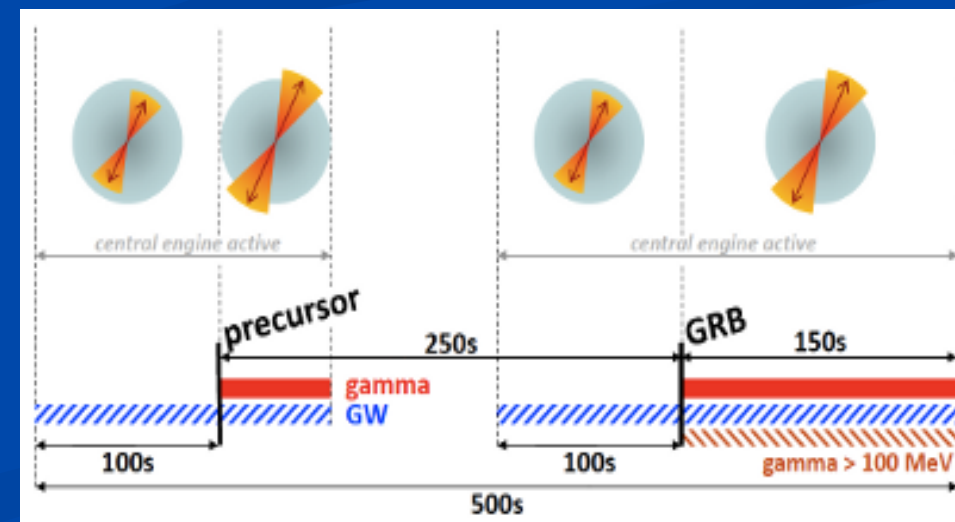
## STAMP célzott keresés\* (S5):

The LVC, “Search for long-lived gravitational-wave transients coincident with long gamma-ray bursts”, Physical Review D, Vol. 88, Issue 12, 122004, 2013.

## STAMP-AS vak keresés (S5 & S6):

The LVC, “An all-sky search for long-duration gravitational wave transients with LIGO”, Physical Review D, Vol. 93, Issue 4, 042005, 2016.

Folytatása következik...



\* Baret B., ..., Raffai P., et al. (19): „Bounding the time delay between high-energy neutrinos and gravitational-wave transients from gamma-ray bursts”, Astroparticle Physics 35, 1-7, 2011.



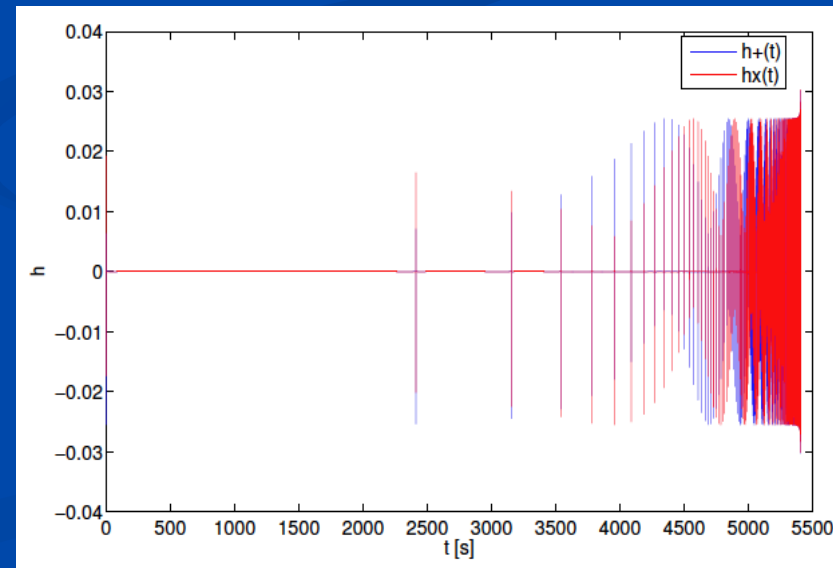
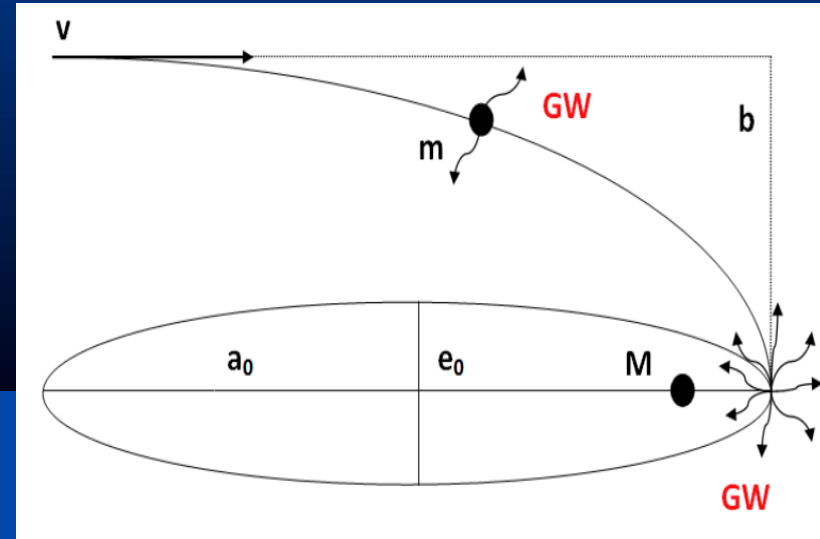
# SGR QPO-k és excentrikus kettősök (eBBH)

## Soft gamma-repeater QPO:

Murphy, D., M. Tse, **P. Raffai**, et al. (9): „Detecting long-duration narrow-band gravitational wave transients associated with soft gamma repeater quasiperiodic oscillations”, Physical Review D 87, 10, 103008, 2013.

## Excentrikus BH-BH kettősök:

- Formálódás sűrű csillaghalmazokban
- $>0,1$ -100/év észlelés aLIGO-val (pl. [1])!
- Hosszú GH-tranziens, ismétlődő kitörések
- Szuboptimális keresőalgorithmus: Tiwari, V., et al.: “Proposed search for the detection of gravitational waves from eccentric binary black holes”, PRD 93, 4, 043007, 2016.



# Elnyúlt pályájú feketelyuk-kettősök (eBBH)

A hullámforma négy paraméterrel megadható ( $m_1, m_2, v, b$ )

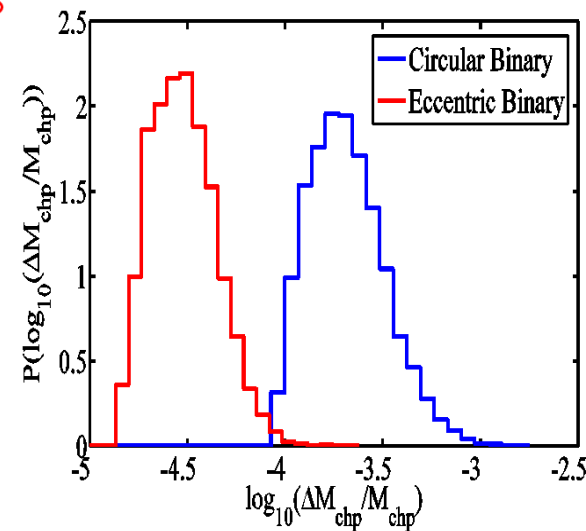
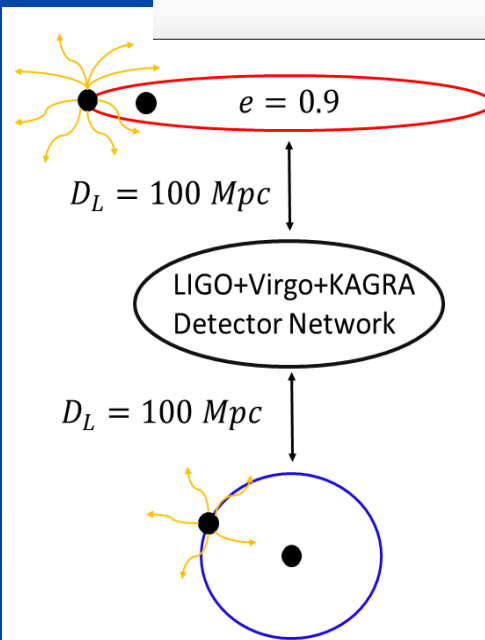
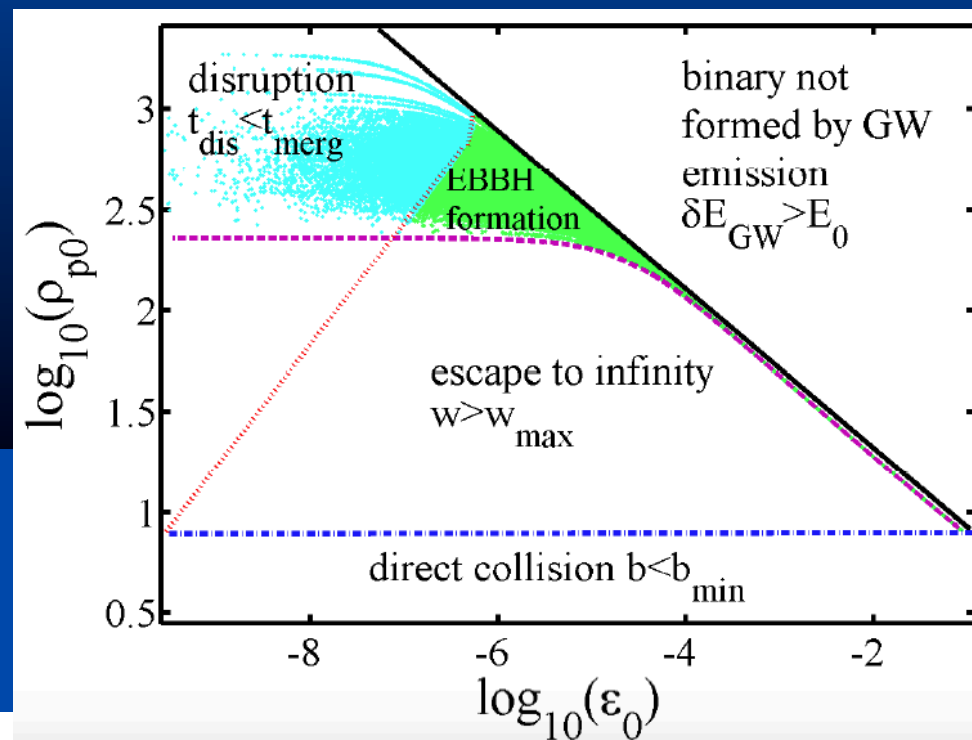
## Paraméterter feltérképezése:

Gondán, L., Kocsis B., Raffai P., Frei Z.:

“The eccentricity distribution of stellar mass black hole mergers in galactic nuclei”, in prep.

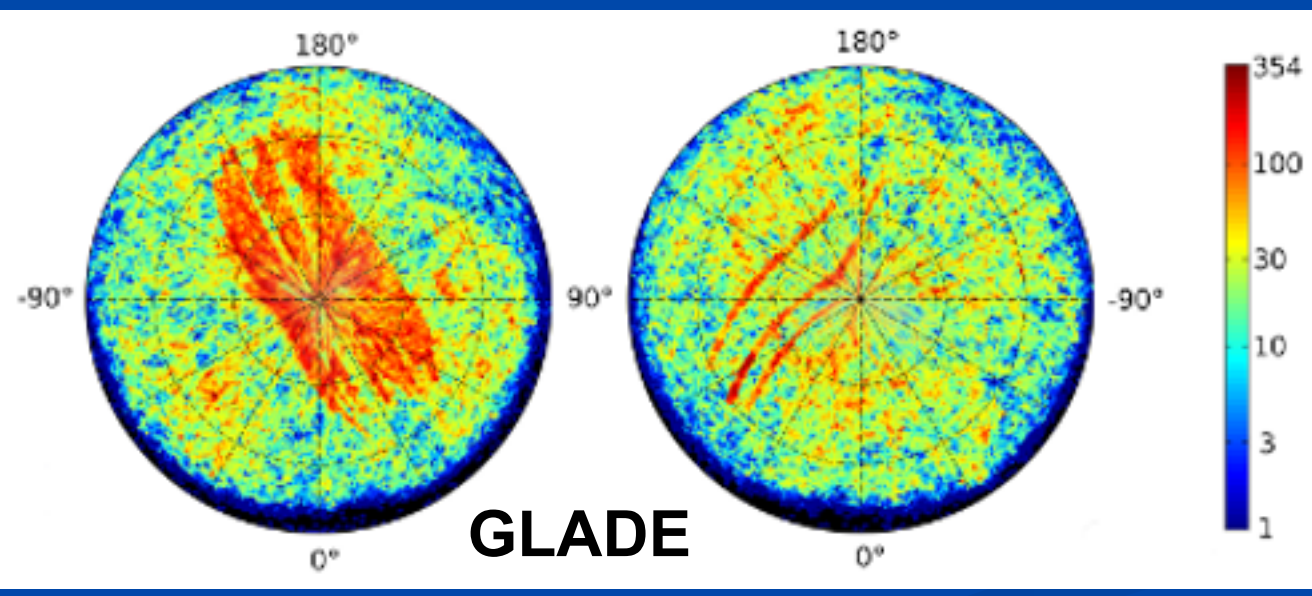
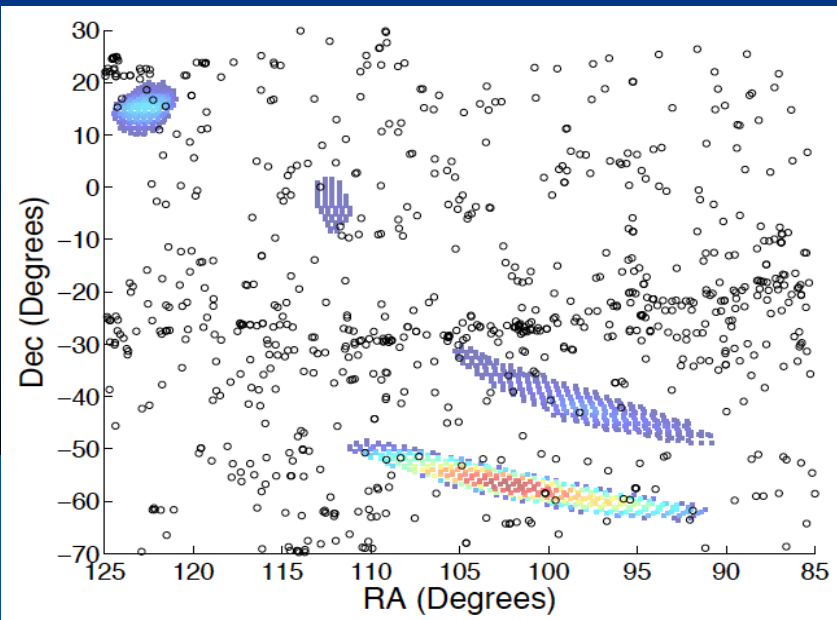
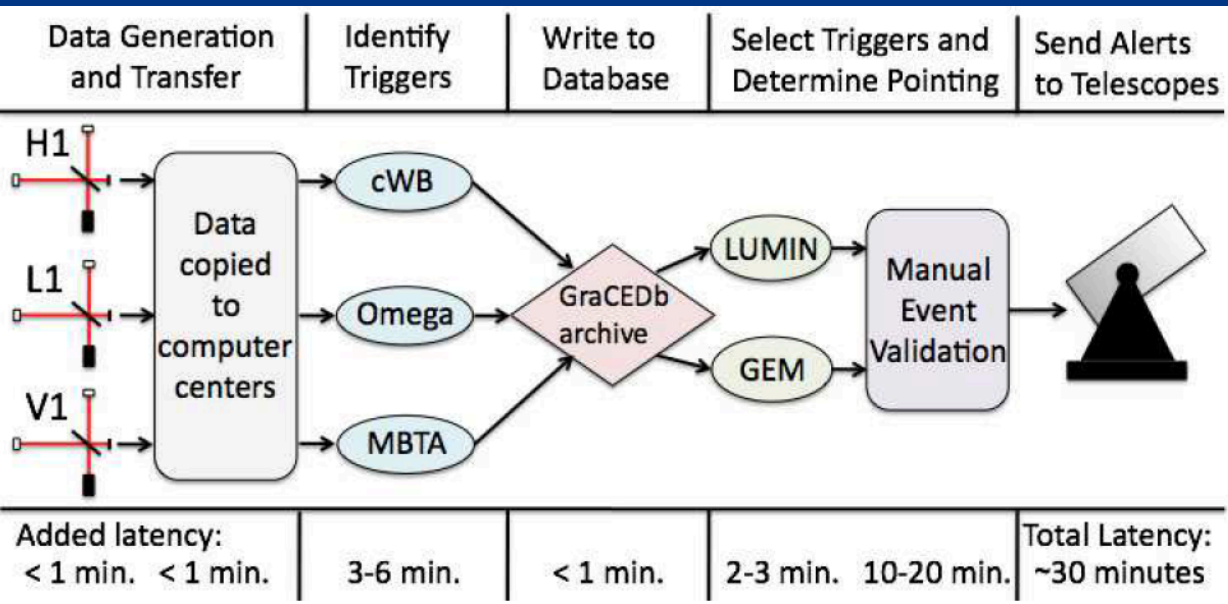
## Paraméterrekonstrukciós pontosság előzetes becslése:

Gondán, L., Kocsis B., Raffai P., Frei Z.: “Gravitational Wave Parameter Measurement Accuracy for Highly Eccentric Binary Black Hole Inspirals”, in prep.





# Többcsatornás csillagászat



J. Abadie et al., A&A 539, A124 (2012)  
 J. Aasi et al., ApJS 211/1, p. 211 (2014)

P.A. Evans et al., ApJS 203/2, p. 28 (2012)

# A GLADE galaxiskatalógus

## Galaxiskatalógus a LIGO S6-ig:

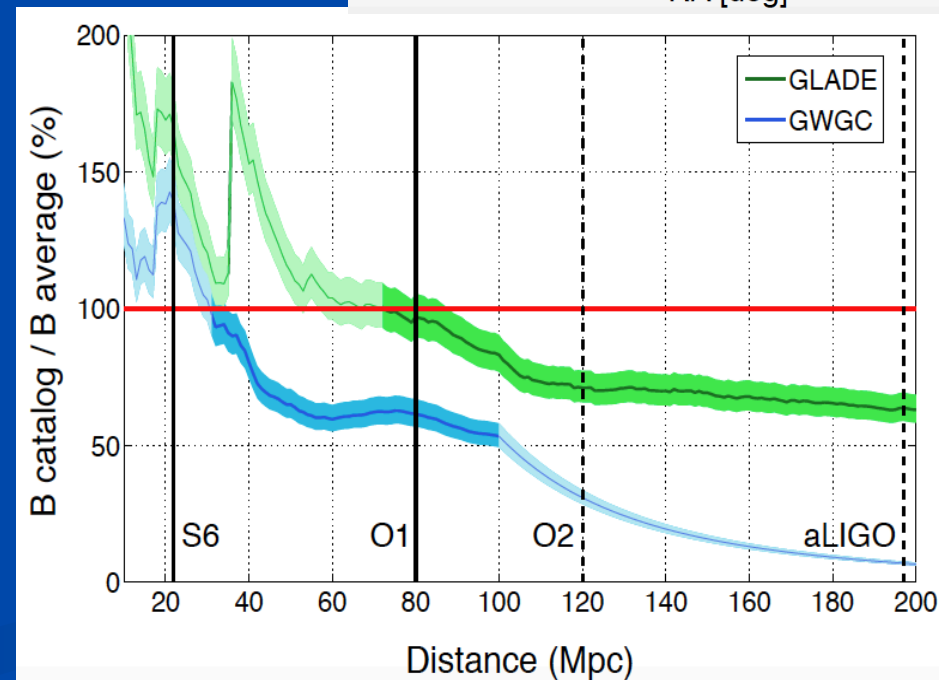
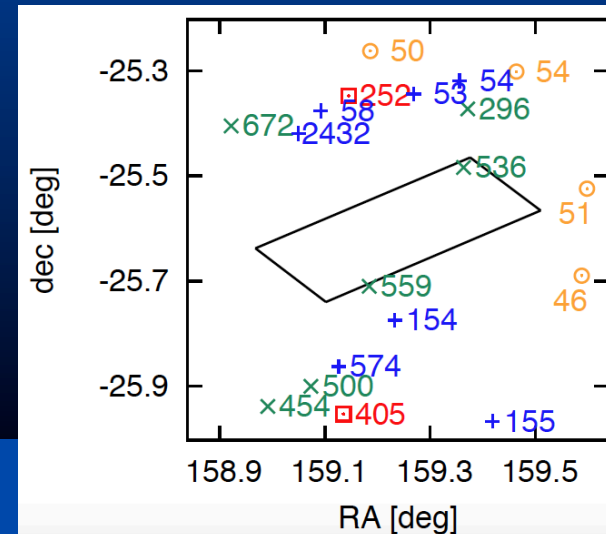
Gravitational-Wave Galaxy Catalog (GWGC)

## Galaxy List for the Advanced Detector Era (GLADE):

- 2MASS XSC, 2MPZ, HyperLEDA, GWGC cross-matchelvé
- Kb. 2 millió galaxis a GWGC 53 ezre helyett
- Távolság és kék luminozitás becslés gépi tanuló algoritmussal 2MASS J, H, K magnitúdók alapján (ahol hiányzik)
- 73 Mpc-ig teljes a GWGC 40 Mpc helyett

**Cél:** eseményenként megfigyelési stratégiát is javasolni a BNS formálódási környezetek és teleszkópok ismert tulajdonságai alapján

**Web:** [aquarius.elte.hu/glade](http://aquarius.elte.hu/glade)





# Folytatás

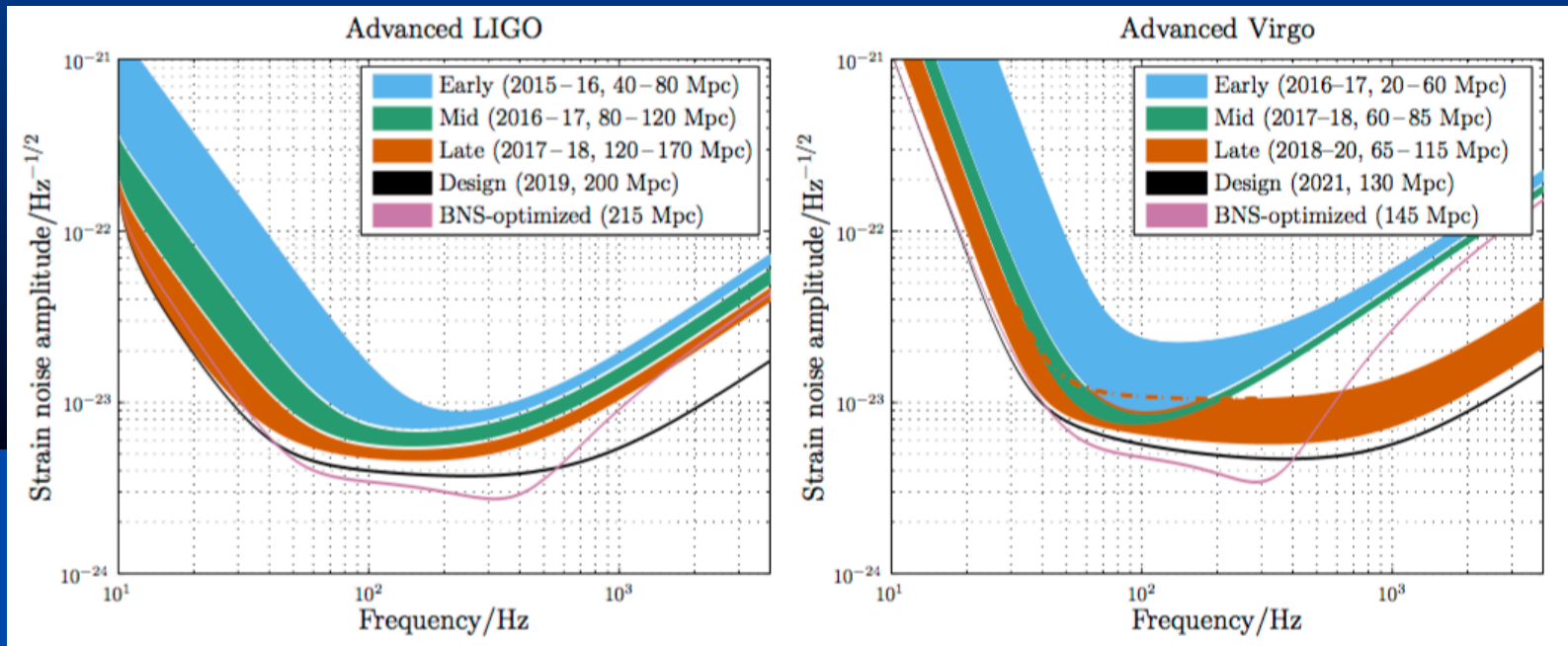
## Excentrikus BH-BH kettősök:

- A paraméterbecslés pontosságának vizsgálata a BayesWave algoritmussal (Balogh András, Bécsy Bence, Raffai Péter, Vasúth Mátyás)
- Asztrofizikai modellek tesztelhetőségének vizsgálata eBBH észlelésekkel (Bécsy Bence, Raffai Péter, Takátsy János)
- A paraméterter dimenziószámának csökkentési lehetőségei (Balogh András, Raffai Péter, Vasúth Mátyás)
- Keresőalgoritmus-fejlesztés (?)

## Többcsatornás csillagászat:

- (Dályá G., Dobos L., Frei Zs., Galgóczy G., Raffai P., R. de Souza)
- A GLADE teljességének növelése
- Megfigyelési stratégia optimalizálása BNS formálódási modellekkel
- Kiegészítés galaxishalmaz-katalógussal
- Folyamatos alkalmazás...

# Várható észlelések [1]



Epoch		2015–2016	2016–2017	2017–2018	2019+	2022+ (India)
Estimated run duration		4 months	6 months	9 months	(per year)	(per year)
Burst range/Mpc	LIGO	40–60	60–75	75–90	105	105
	Virgo	—	20–40	40–50	40–80	80
BNS range/Mpc	LIGO	40–80	80–120	120–170	200	200
	Virgo	—	20–60	60–85	65–115	130
Estimated BNS detections		0.0005–4	0.006–20	0.04–100	0.2–200	0.4–400

[1] The LVC, “Prospects for Observing and Localizing Gravitational-Wave Transients with Advanced LIGO and Advanced Virgo”, Living Rev. Relativity 19 (2016), 1

# Hosszú gammakitörések GH-jeleinek keresése I.

Swift űrteleszkóp által észlelt hosszú GRB-k tesztje egyidejű H1 és L1 LIGO S5 adatokban

GRB irány- és kezdőidő adatok a Swift megfigyelésekből

- $[-600, +900]$  sec időablak a GRB kezdőideje körül, ha van H1+L1 adat
- Bármekkora időablak, ha van  $>1000$  sec H1+L1 adat
- GRB kizárva a keresésből egyébként

Tesztelt frekvenciasáv: 100-1100 Hz

Felbontás: 1 sec x 1 Hz



**A tesztelt 50 GRB egyikére sem kaptunk riasztást...**



# Hosszú gammakitörések GH-jeleinek keresése II.

- Adott emissziós modellre [1,2],
  - háromféle forrásparaméter-kiosztásra,
  - $E_{GW} = 0.1 M_{\text{Nap}} c^2$  GH-energiát feltételezve
- 90%-os alsó korlátokat adtunk a forrástávolságokra

**Eredmény:**

**$D > 1.9 - 33 \text{ Mpc}$**

(Legközelebbi ismert GRB is 37 Mpc-re...)

(AdvLIGO-val  $D < 330 \text{ Mpc}$  vagy távolabb is tesztelhető...)

J. Aasi, et al., “Search for long-lived gravitational-wave transients coincident with long gamma-ray bursts”, Physical Review D, Vol. 88, Issue 12, p. 122004, 2013.

[1] van Putten, M. H. P. M., Phys. Rev. Lett. 87, 091101 (2001)

[2] van Putten, M. H. P. M., ApJ. Lett. 684, L91 (2008)