

# Kettős rendszerek jellemzőinek meghatározása gravitációs hullámok segítségével

## A Wigner FK részvétele a VIRGO projektben

***Vasúth Mátyás***

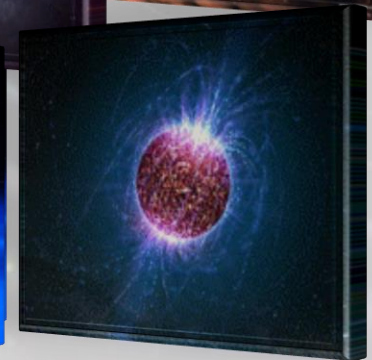
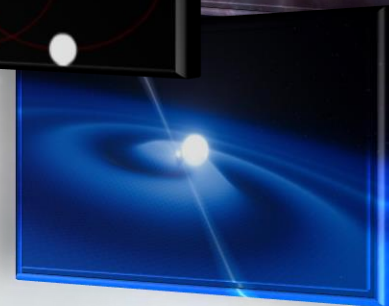
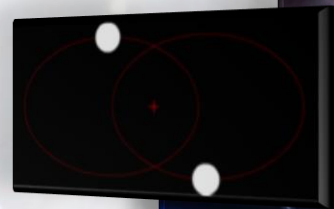
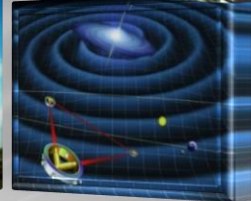
PhD, MTA Wigner FK

A Magyar VIRGO csoport vezetője



# Bevezetés

- Gravitációs hullámok, detektorok
- A LIGO-Virgo kollaboráció
- Kettős rendszerek jellemzőinek meghatározása
- Részvétel az együttműködésben



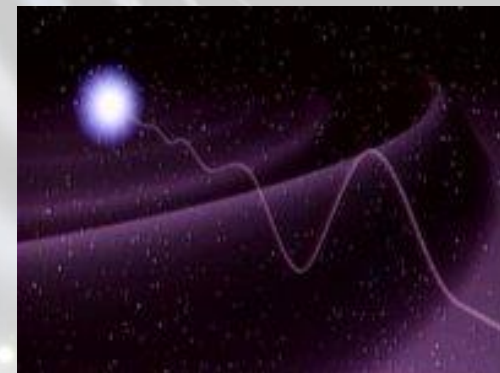
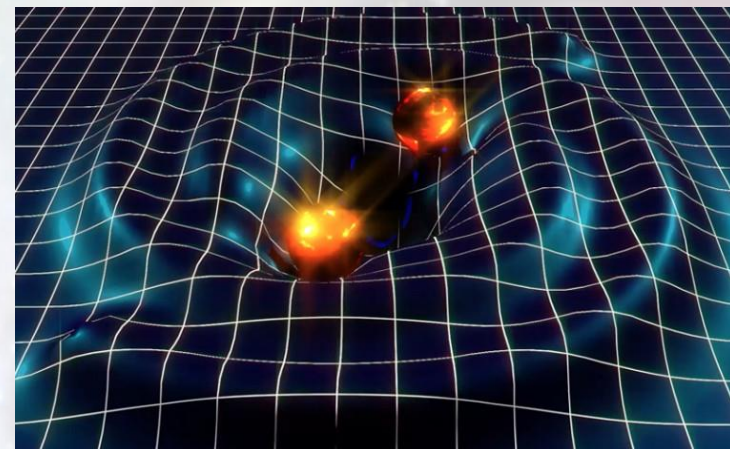
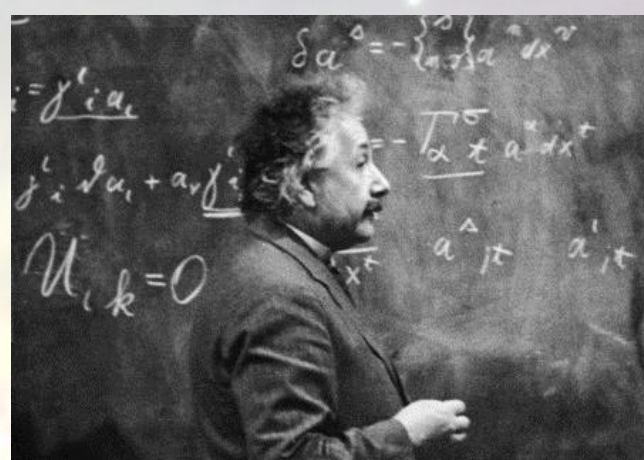
# Gravitációs hullámok

- 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

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



# Obszervatóriumok világszerte



**LIGO Hanford**

**GEO600**

**LIGO Livingston**

**VIRGO**

**KAGRA**



**LIGO India**



**Operational**

**Under Construction**

**Planned**

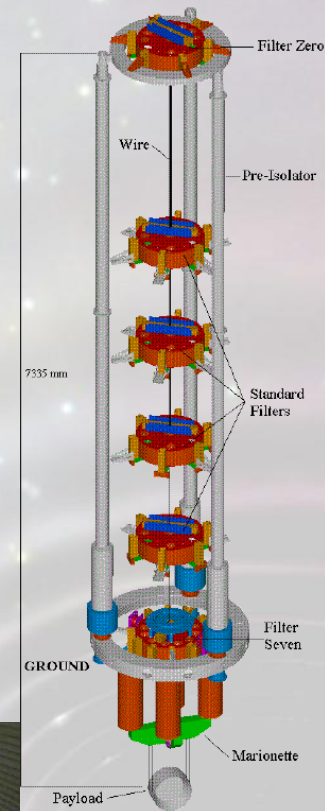
**Gravitational Wave Observatories**

# VIRGO

Karhossz: 3 km



The Virgo collaboration

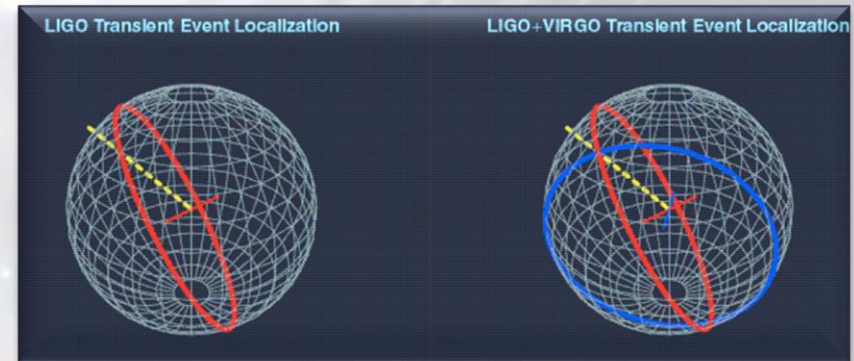
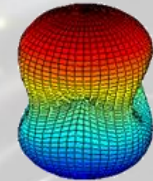
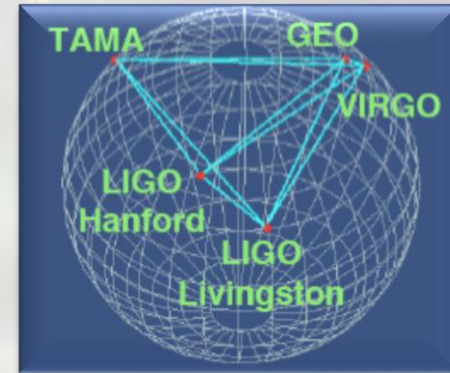


- Tudományos mérések 2004 – 2011
- 6800 m<sup>3</sup>, 10<sup>-10</sup> mbar vákuum
- 20 kHz-es mintavételezési frekvencia, analízis 4/16 kHz -en, 200 TB/detektor adat évenként
- Szeizmikus izoláció (superattenuátor) 10<sup>-9</sup> - 10<sup>-13</sup> csillapítás (4 – 200 Hz)
- Felújítás alatt, első tudományos mérések: 2016, O2



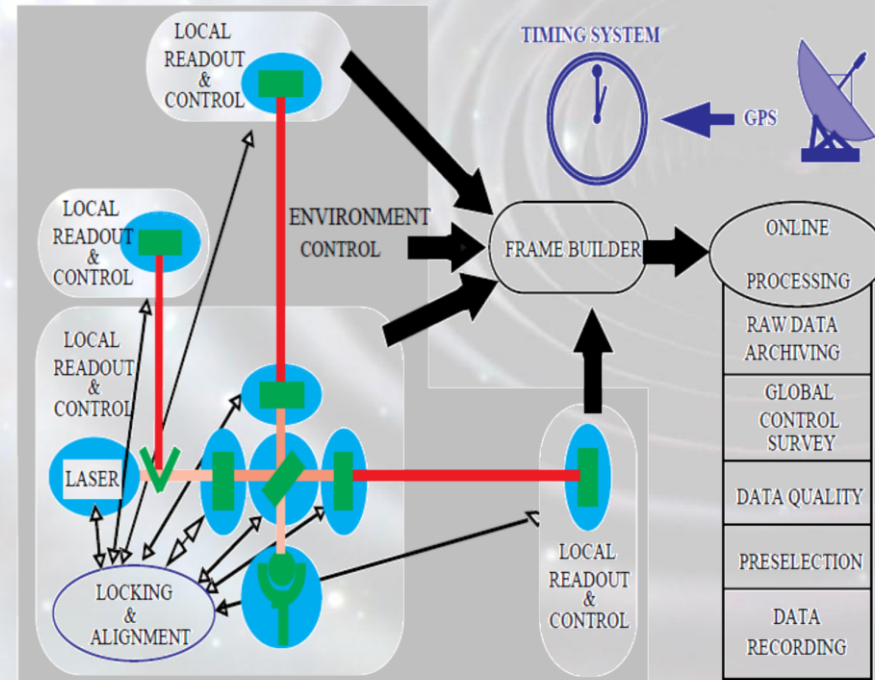
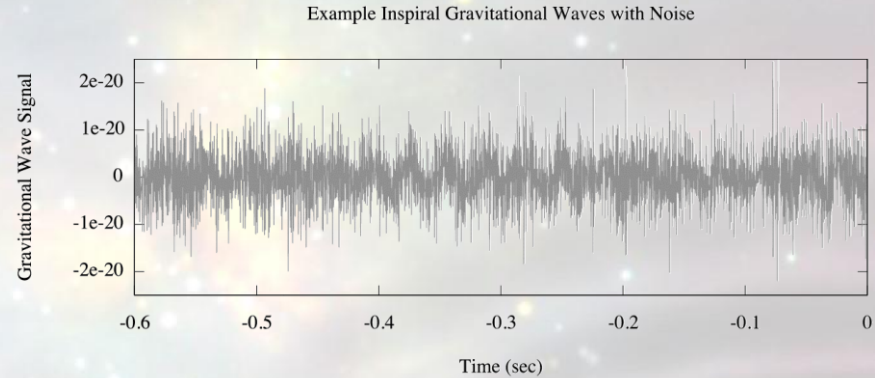
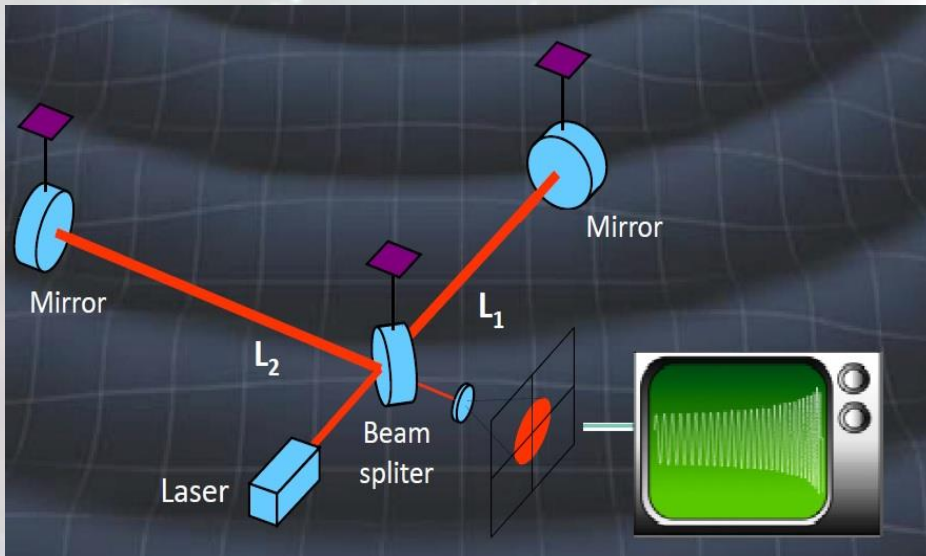
# LV kollaboráció

- A gravitációs hullámdetektorok egy világméretű hálózataként a LIGO és Virgo detektorok együttműködésük keretében 2007 óta megosztják a mérési adatokat, a feldolgozó eljárásokat és a számítási erőforrásokat
- Koincidencia-mérések, hamis jelek kiszűrése
- Pontos helymeghatározás

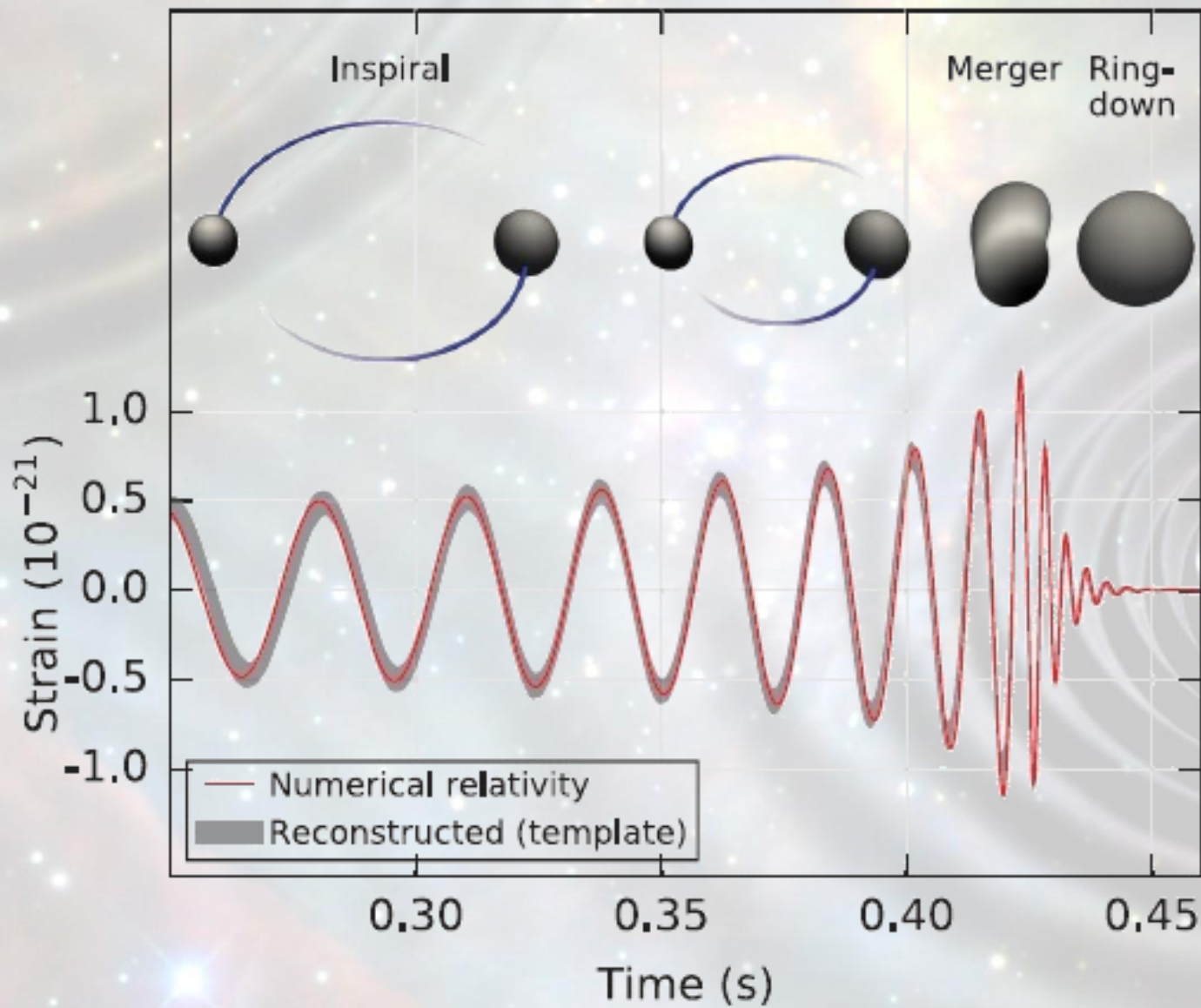


# Adatgyűjtés

- $h(t)$  meghatározása (online): az interferenciakép változása, a tükrökre ható erő mérése
- Környezeti érzékelők, a vezérlő rendszer érzékelői
- 20 kHz-es mintavételezés (8 byte float), majd az adatok továbbítása (IN2P3, CNAF)



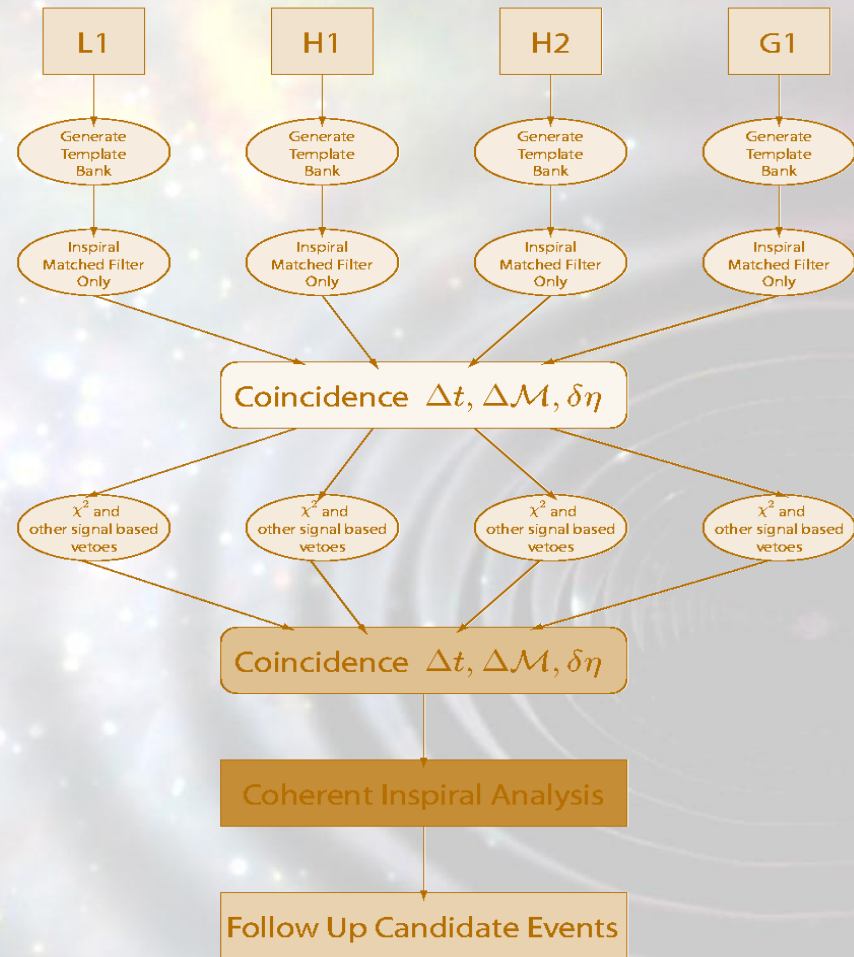
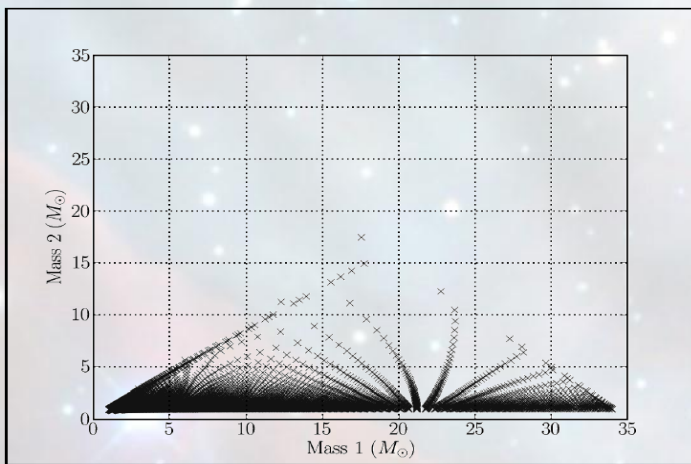
# Adatelemzés





# Adatelemzés – hitelesített algoritmusok

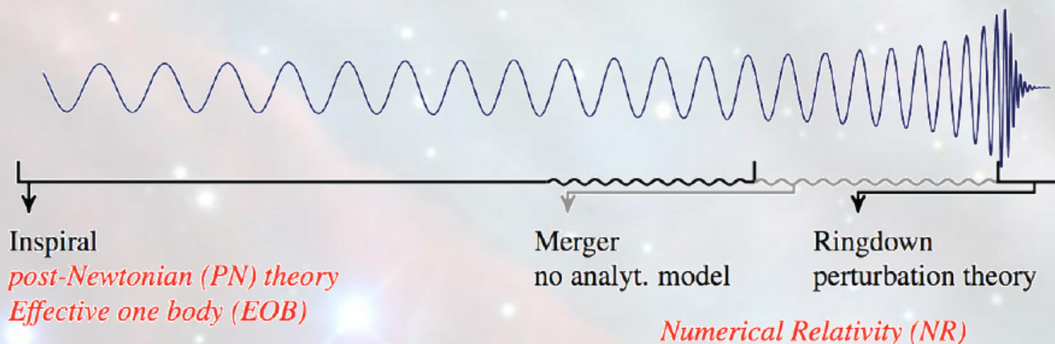
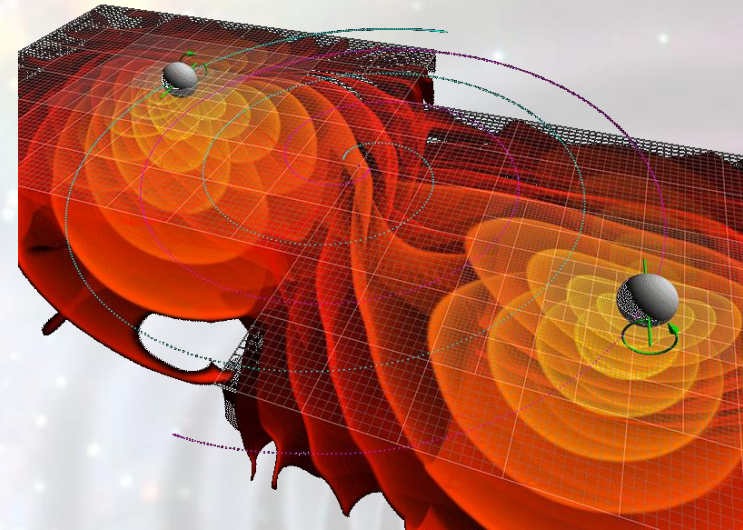
- hullámforma-jóslatok generálása  
(néhány % eltérés, paraméterter nagy lehet)
- matched filtering
- azonos események összegyűjtése
- $\chi^2$  teszt és további jel alapú szűrés
- többszörös egybeesés esetén további vizsgálatok, ellenőrzés, ...



# PyCBC



- Python programcsomag a gravitációs hullámok elemzésére
- Összeolvadó kettős csillagok jeleinek keresése, **matched filtering**, poszt-Newtoni hullámformák, spinek, IMR jóslatok
- Sokmagos alkalmazások, CPU/GPU
- Csoportunk részvétele a fejlesztésben
- Adatkiértékelés, paraméterbecslés



# Adatfeldolgozás

- Részvétel a különböző Grid rendszerek összekapcsolásának fejlesztésében:

EGI Grid ↔ OSG ↔ LDG

- A detektorok mérési adatainak (200 TB/év/interferométer) továbbítása, feldolgozása, elemzése stb
  - Elemzés: Hannover, Bologna, Bp. és amerikai szerverek
- GPU-n futó (Graphical Processing Units) keresési algoritmusok fejlesztése jól párhuzamosítható, vagy nagy számítástechnikai kapacitást igénylő eljárások esetén.
  - Kompakt kettősök összeolvadását leíró keresési algoritmusok
  - Periodikus hullámok keresése (F-statistics, Hough-módszer)

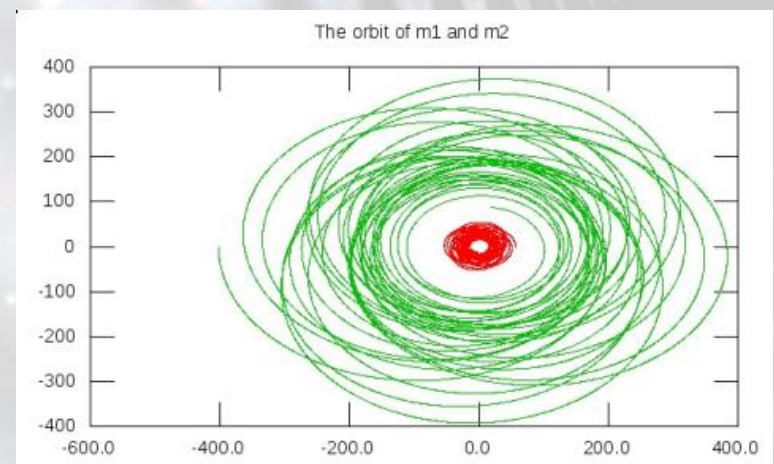
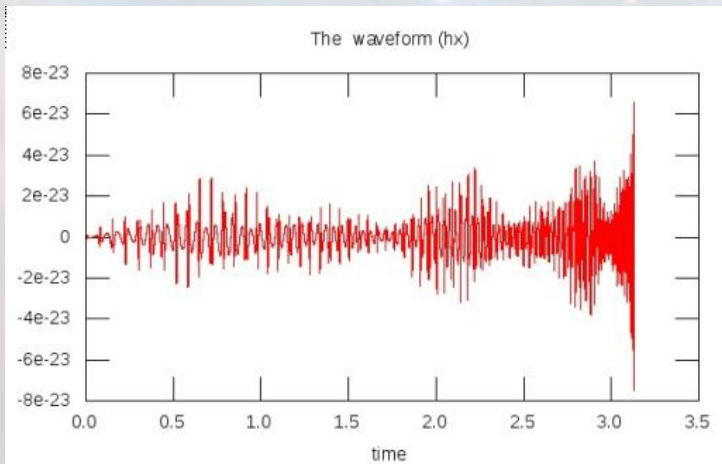


# Einstein-egyenletek megoldása, hullámformák

## ■ CBwaves

Kettős rendszerek mozgásegyenleteinek (poszt-Newtoni formalizmus) numerikus integrálása (negyedrendű RK) excentricitás és spinek jelenlétében, hullámformák generálása összeolvadás esetén

- Analitikus leírás az ismert 3.5PN járulékok figyelembe vételével
- 3PN spinprecessziós egyenletek
- A sugárzási tér meghatározása a mozgásleírással egyidejűleg 2PN rendben, idő- és frekvenciatérbeli általános excentrikus hullámformák



# Kettős rendszerek leírása

- Forgó kettős rendszerek mozgásának leírása (poszt-Newtoni formalizmus)

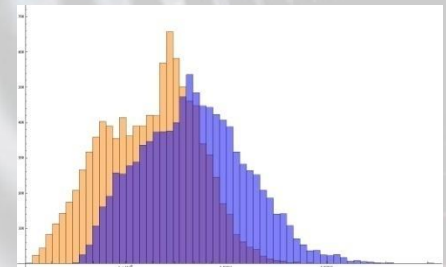
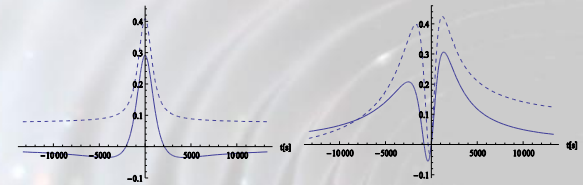
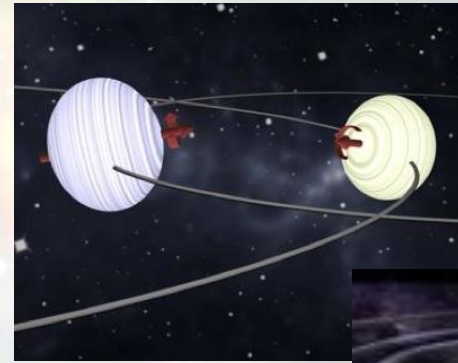
A gravitációs sugárzás polarizációs állapotainak vizsgálata

Parabolikus és hiperbolikus pályán mozgó kettősök, valamint az általuk kisugárzott gravitációs hullámok vizsgálata

- Kompakt kettős rendszerek mozgása

A kettős paramétereinek becslése az excentricitás figyelembe vételével (Fisher-mátrix) nagy tömegű fekete lyukakra vonatkozóan (LISA)

- Redukált bázis megközelítés



# A Wigner Virgo csoport tagjai

<b>VASÚTH MÁTYÁS</b>	PhD
<b>NAGY-EGRI MÁTÉ FERENC</b>	PhD diák
<b>BARTA DÁNIEL</b>	PhD diák
<b>SOMLAI LÁSZLÓ</b>	MsC
<b>KACSKOVICS BALÁZS</b>	BsC
<b>MARÓTI JÁNOS ENDRE</b>	BsC

[gravity.wigner.mta.hu](http://gravity.wigner.mta.hu)

**Köszönöm a figyelmet!**