



Gravitációs hullámok keresése a LIGO – Virgo kísérletben

Debreczeni Gergely

MTA KFKI RMKI

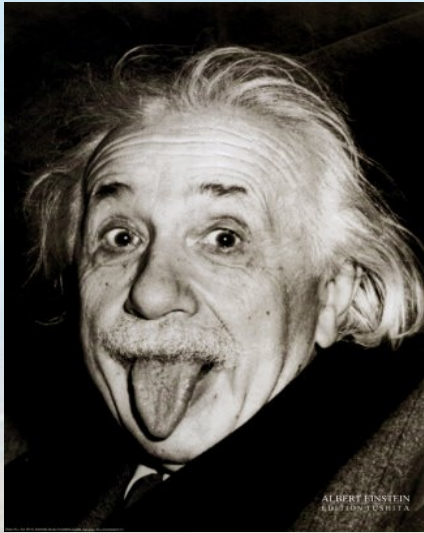
(Debreczeni.Gergely@wigner.mta.hu)



A tartalomból

- A gravitációs hullámokról röviden
- A LIGO és Virgo interferometrikus detektorok
- Adatanalízisről
- Bespiráló kettőscsillagok jeleinek keresése
- Pulzárak jeleinek keresése
- Elméleti hullámformák számolása
- Az **Einstein@Home** programról
- PyCUDA, PyOpenCL, ArrayFire, clFFT, clAMDDFFT, etc..
- ATLAS klaszter, Condor dolgok
- Kérdések, problémafelvetések
- Hivatkozások

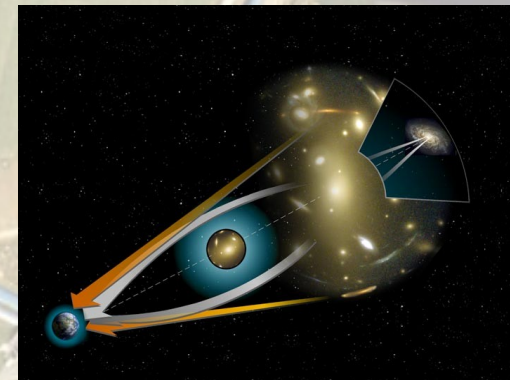
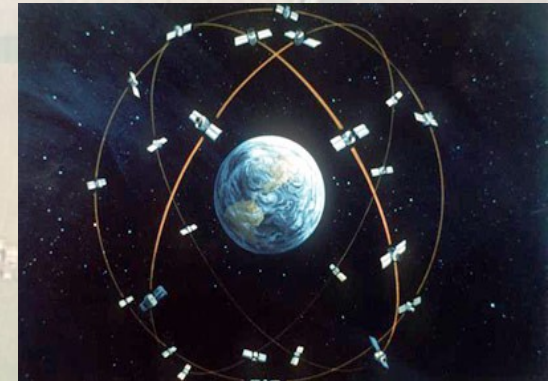
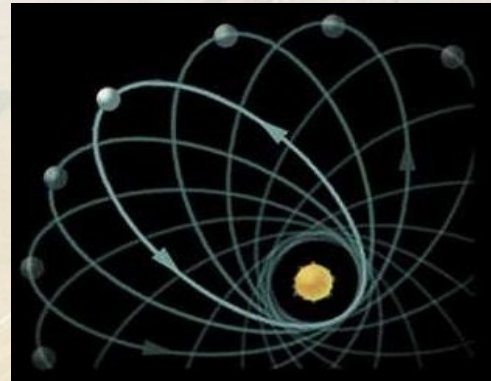
A gravitációs hullámokról



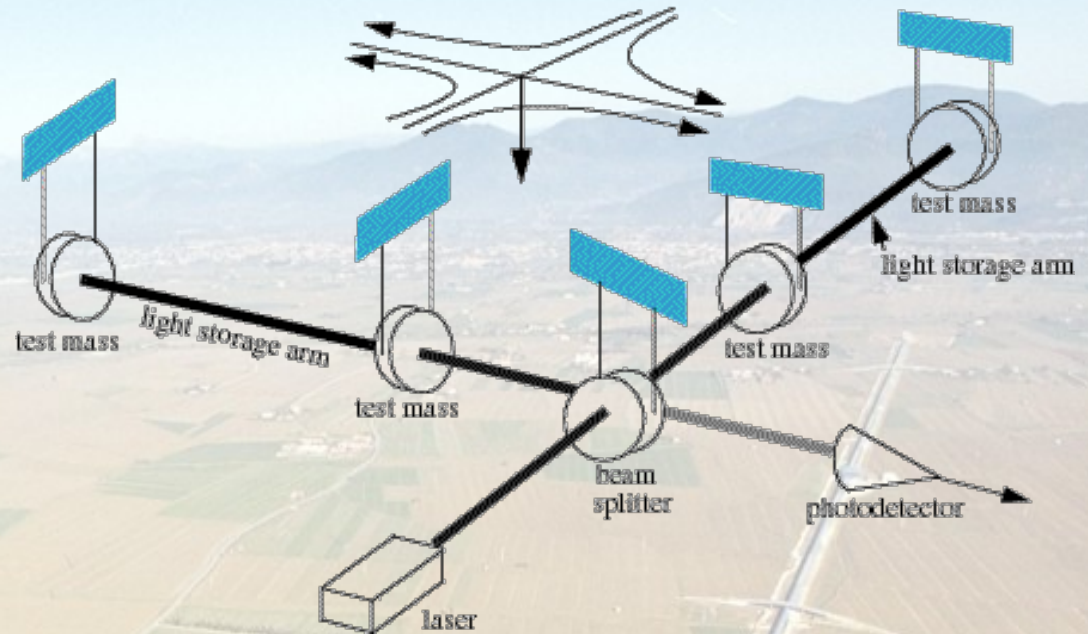
- Gravitációs hullámok: Az általános relativitáselmélet által megjósolt jelenség. Hatalmas tömegek mozgásakor fellépő teridő torzulások tovaterjedései.
- Mindmáig csak közvetett (de nagyon meggyőző) bizonyítékunk van.

• Ált. Rel. megfigyelt jósatai:

- Perihélium elfordulás
- Gravitációs lencsézés
- Az idő 'múlásának' változása



A LIGO és Virgo detektorok

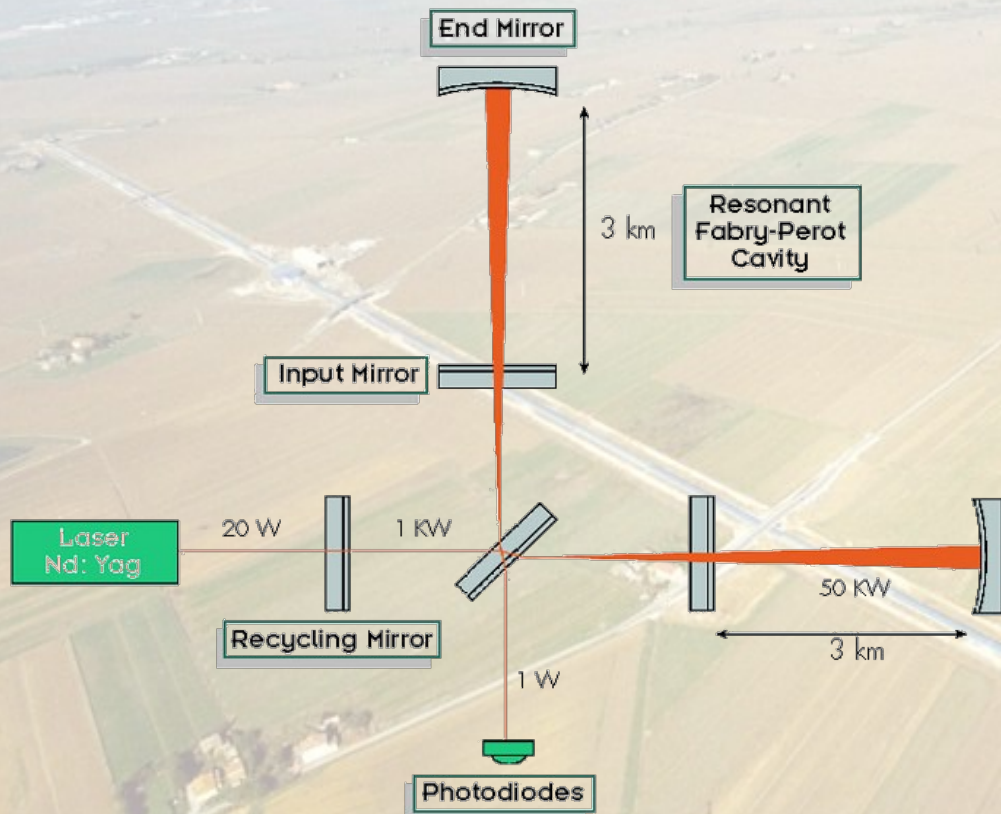


- A beeső gravitációs hullám megváltoztatja a karhosszúságot.
- Az interferenciapontban ezáltal megváltozik a fényintenzitás.
- A mérés kimenete a két kar hosszúságának különbsége.
- A világ legpontosabb relatív mérése, 10^{-18} m pontosság!
- Rengeteg környezeti zaj kiküszöbölését kell megoldani
- Több izolált detektor kell, hogy koincidienciát tudjunk mérni

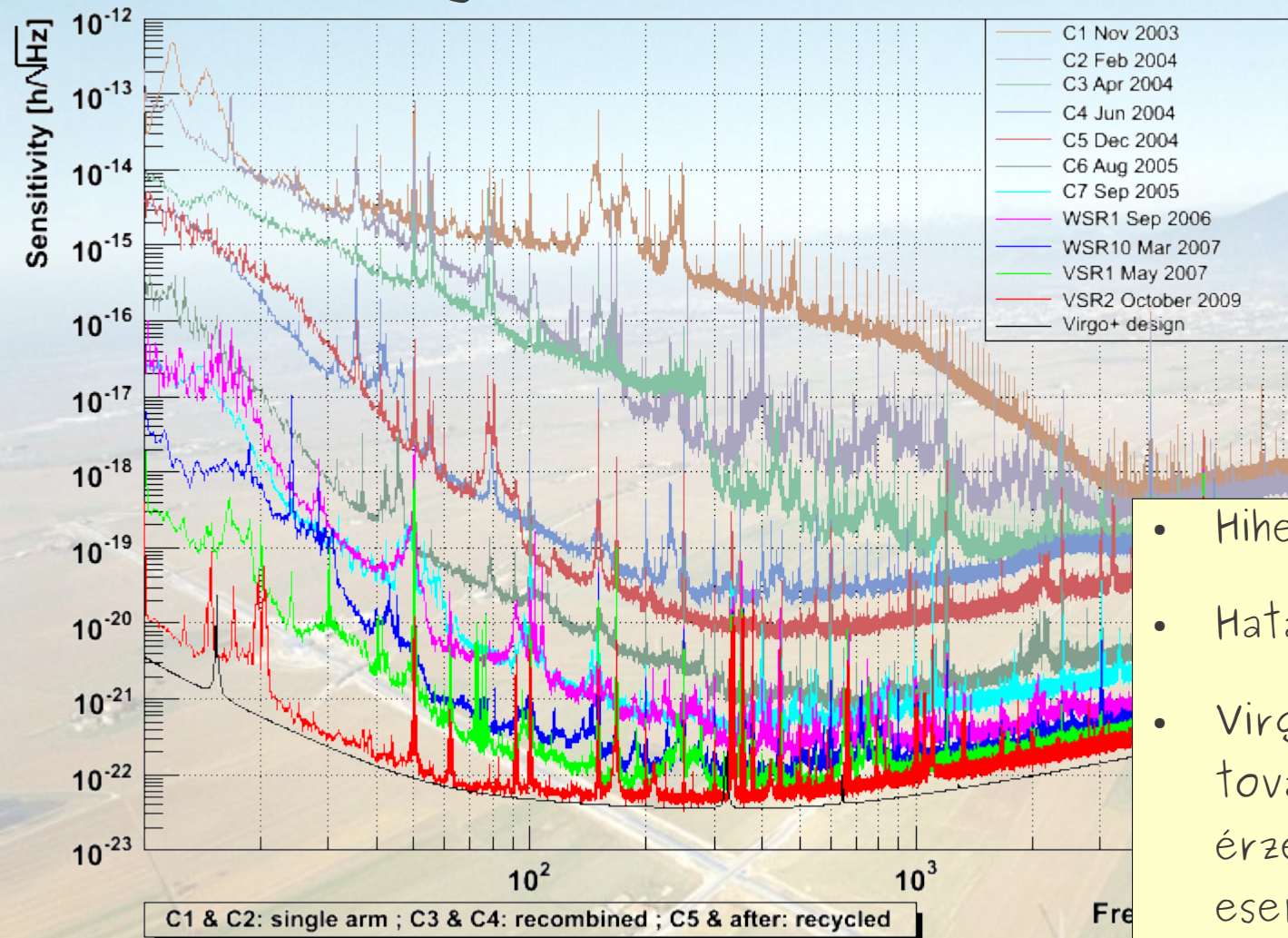
A Virgo detektor

- Cascina, Olaszország
- 3 km-es karhosszúság
- Fabry-Perot kamrák 50/150 jósaági tényező
- 6800 m³, 10⁻¹⁰ mbar vákuum!!

- 20 W lézer
- Beton talapzat, 20–50 m mély
- 1 MW elektromos fogyasztás
- kiváló szeizmikus izoláció (10⁻¹⁰)



A Virgo detektor érzékenysége



- Hihetetlen érzékenység
- Hatalmas és gyors fejlődés
- Virgo+ illetve AdvVirgo további 1–2 nagyságrenddel érzékenyebb lesz ami eseményzámban 1000 szoros illetve 1000000 szoros szorzót jelent !!!

Adatanalízisről

- ITF (interferométer) mintavételezési frekvencia 20 kHz
- Több száz további csatorna
- Adatanalízis 4 és 16 kHz-en
- kb. 150 mérési nap/év
- kb. 10.4 MB/sec adatfolyam
- kb. 160 TB adat / év / IF

• Az adat nem mondható veszélyesen soknak, de az alkalmazott adatanalízis módszerekre számított

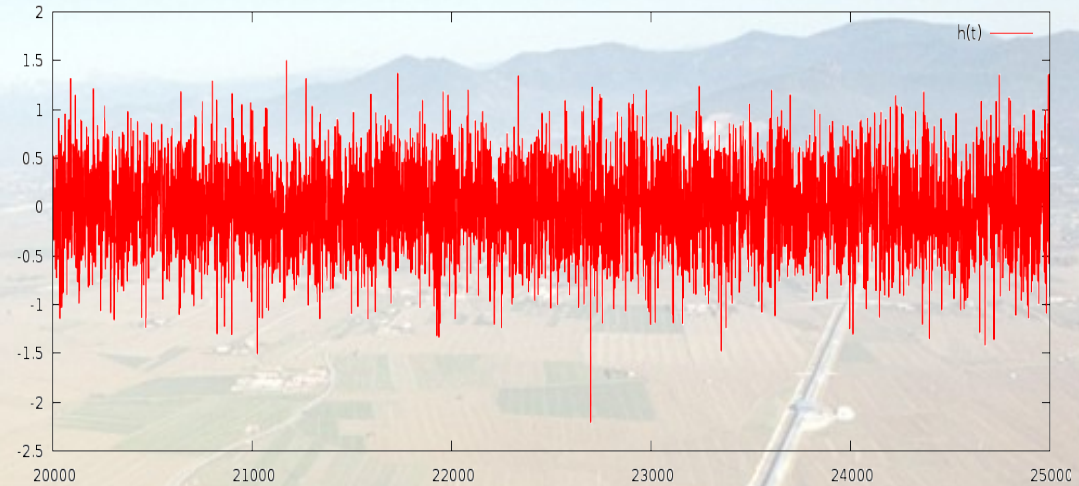
arithmetikai sűrűsége hatalmas, nagyságrendekkel nagyobb mint az LHC kísérleteké.

Ezt az adatot kell továbbítani, ujrakalibrálni, mintavételezni, analizálni (rengetegszer).

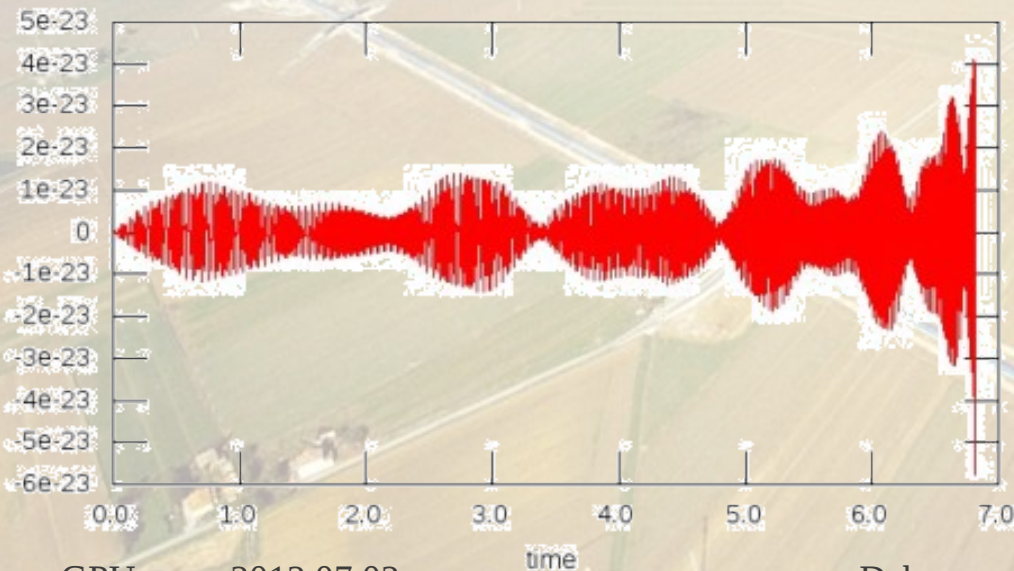
Nincs egyetlen jó megoldás, számos technológiát kell alkalmazni: mint például klaszterek, Gridok, HPC, sokprocesszoros megoldások

Bespirálózó kettőscsillagok

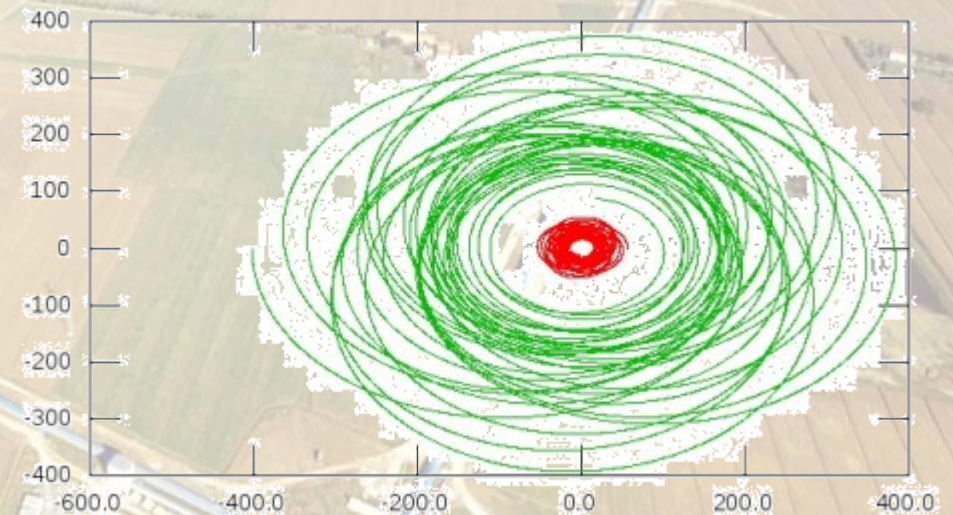
- A lehetséges hullámformákat ki lehet számolni és összehasonlítani a mérési adatokkal
- A "matched-filtering" módszert használjuk erre
- Nagyon érzékeny, de nagyon instabil módszer



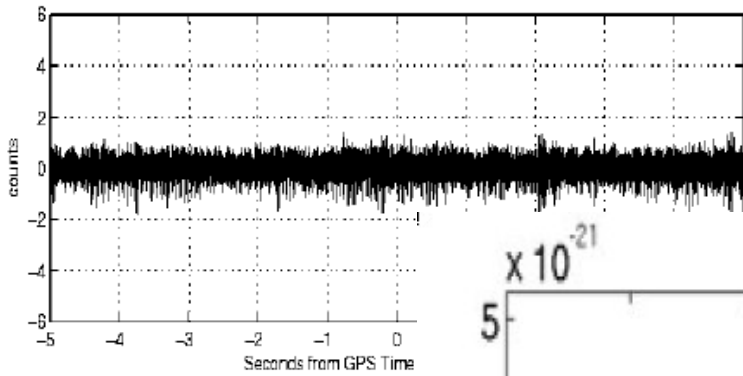
The waveform (hx)



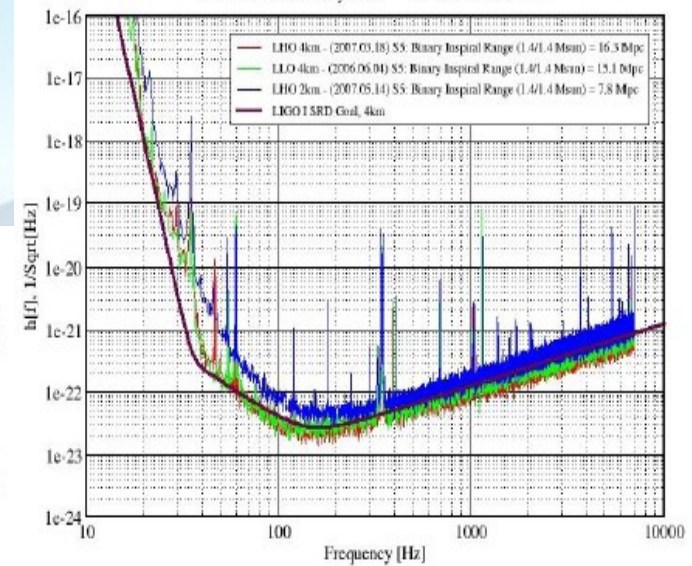
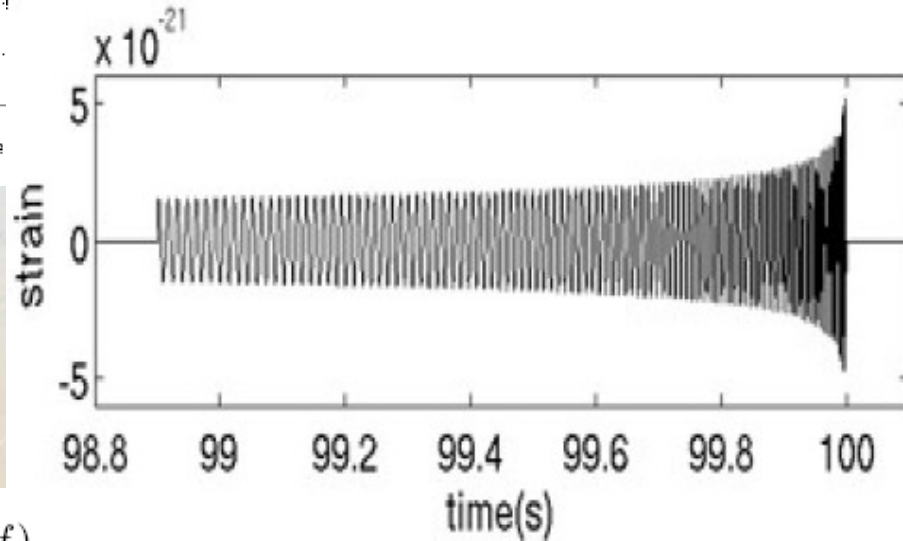
The orbit of m1 and m2



Bespirálózó kettősök: illesztett szűrő



SZŰRŐ

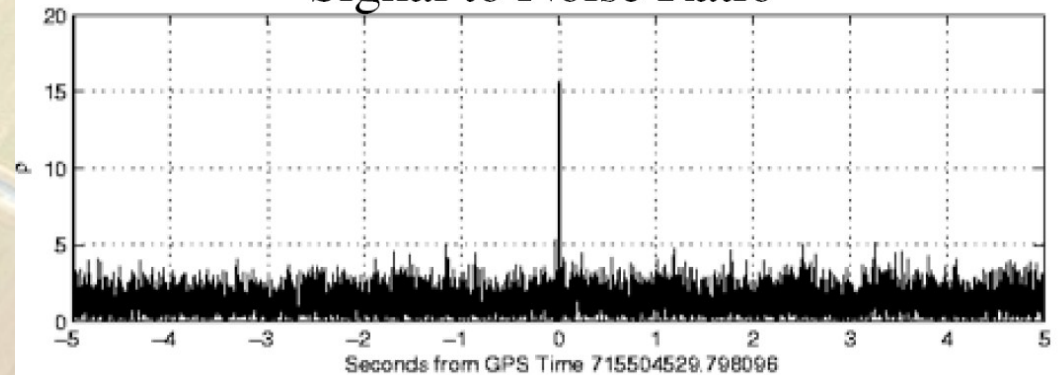


$$(A, B) = \int \frac{A^*(f)B(f)}{S_r(f)} df,$$

$$\text{SNR} = \frac{z}{\sqrt{\langle(\delta z)^2\rangle}} = \frac{(\tilde{Q}, \tilde{s})}{\sqrt{(\tilde{Q}, \tilde{Q})}},$$

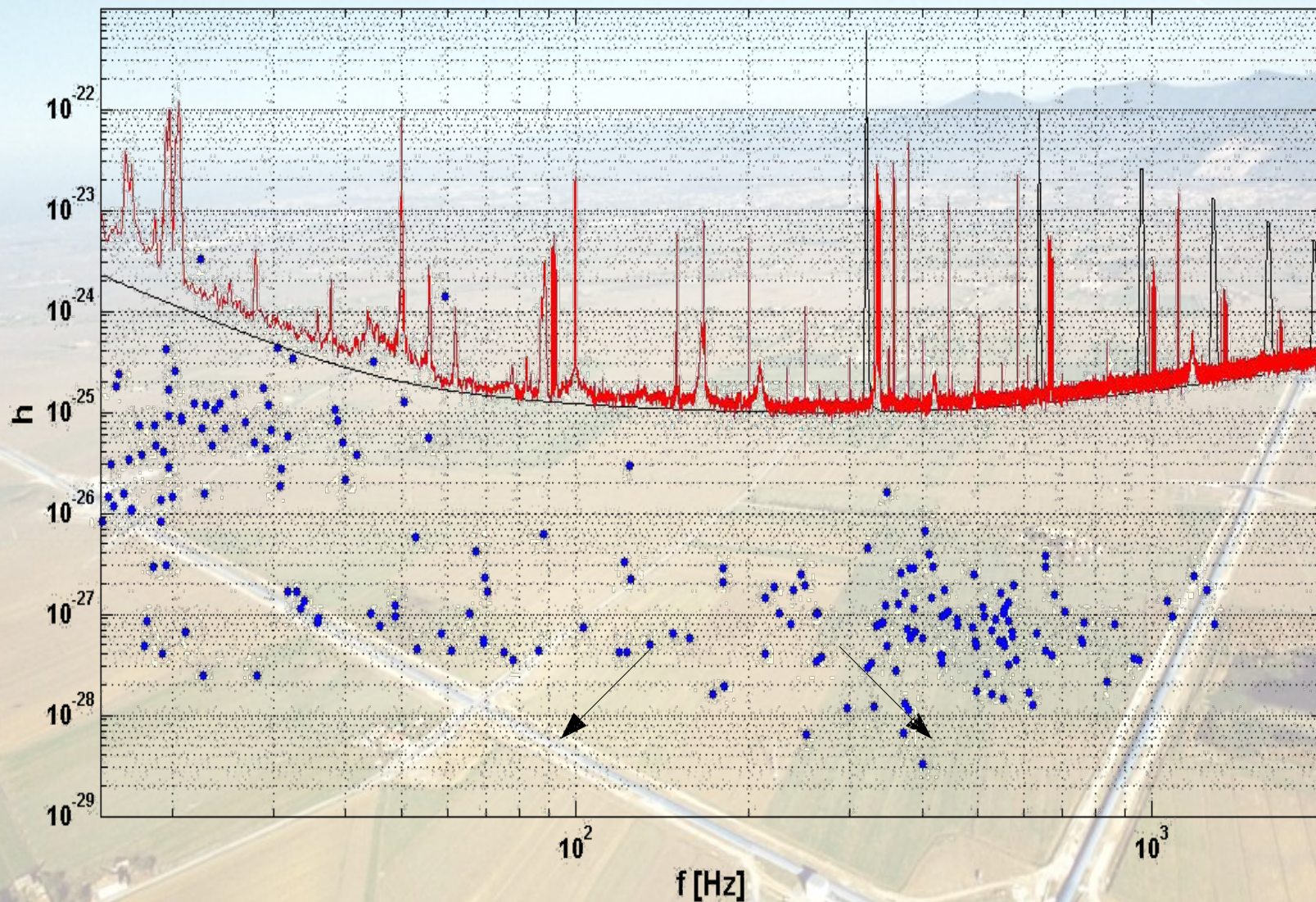
FFT, BLAS: kb 200x -os gyorsulást sikerült elérni!

Signal to Noise Ratio



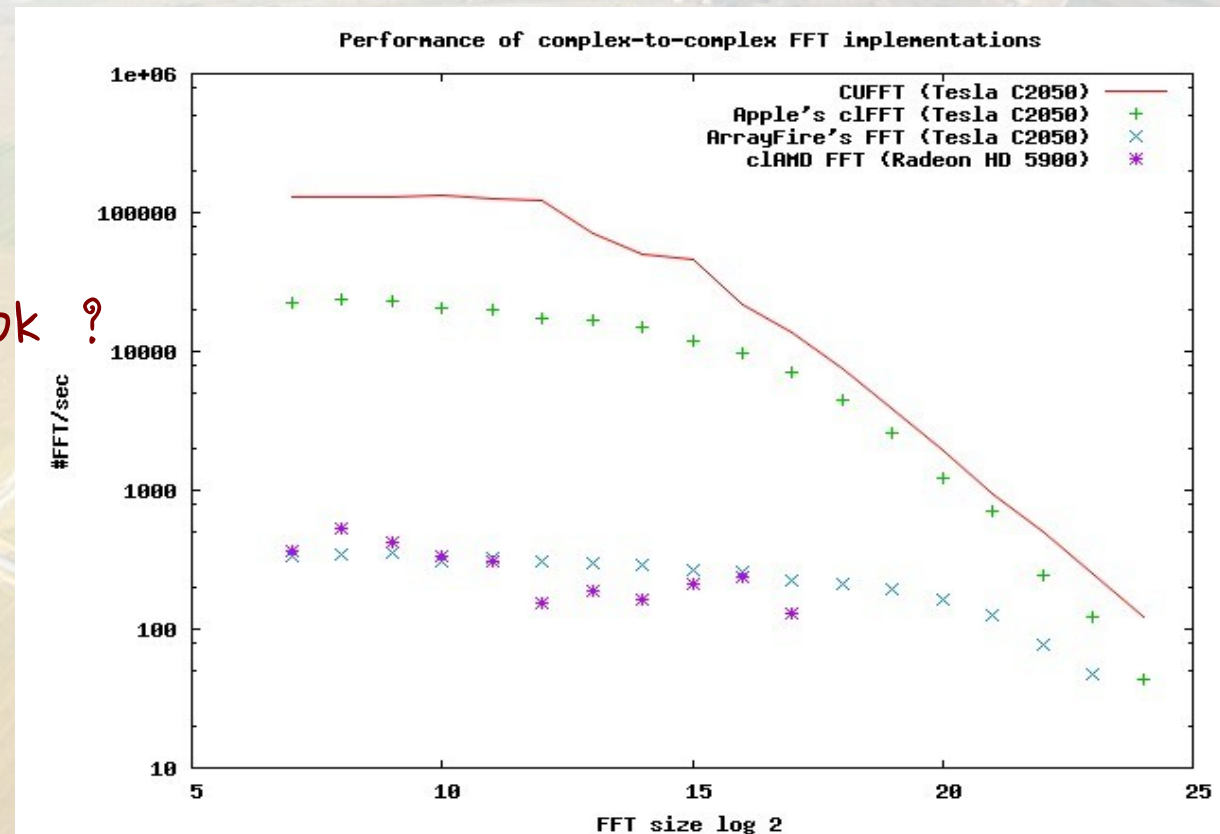
Pulzárrok keresése

Virgo sensitivity (1% FAP, 10% FDP): design (black) and current (red)



FFT problémák

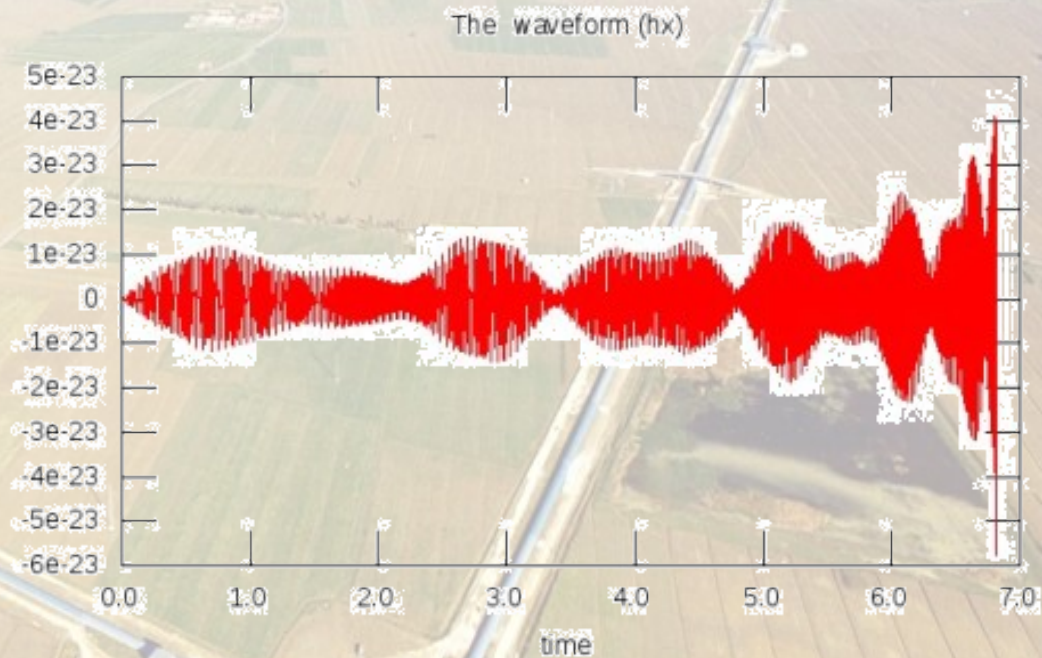
- cuFFT - nagyon gyors, csak nvidia kártyákon fut, nem nyílt forráskód
- ClFFT - nyílt forráskód, elérhető, kis méretű FFT esetén jelentősen elmarad a cuFFT-től, arm architektúrára lett optimalizálva. Bizonyos kártyákon hibás.
- clAMDFFT - OpenCL, de csak AMD környezetben fut, teljesítményében elmarad a fentiekétől.
- Egyéb próbálkozások ?
- Pre-shuffled FFT-k ?
- **Hasonló összehasonlítások ?**



ODE, PDE megoldók

Hullámformák számításakor differenciálegyenleteket kell megoldanunk. ODE, PDE egyenletek megoldásánál adatfüggőségi problémák lépnek fel. Nem minden esetben hatékony:

- Nagy problémaméret (sok dinamikai változó), RK4 módszer, globális memória használata.
- Kevés dinamikai változó, külön munkacsoportokban, csak bonyolult számítások esetén térül meg.
- Kevés dinamikai változó, hosszú integrálási idő, spektrális módszerek. Globális memória
- **Tapasztalatok, eredmények ?**



Az ATLAS cluster



Max-Planck-Institut
für Gravitationsphysik
(Albert-Einstein-Institut)

- Albert Einstein intézet, Hannover
- ATLAS klaszter,
 - 5000 CPU
 - 256 GPU kártya
 - Condor ütemező
- Condor ügyesen kezeli a GPU-kat, joboknak nem kell ezzel törődni.
- Hivatalosan csak a következő Condor verzióban lesz benne
- **Tyan alaplapok, instabil, BIOS bugok, megszűnt az európai képviselet.. más megoldások ?**



A Wigner Virgo csoport

<http://virgo.rmki.kfki.hu>



RMKI Virgo Group

[Home](#)

[What is Virgo ?](#)

[People](#)

[Computing activities](#)

[Analysis activities](#)

[Theory](#)

[Publications](#)

[Events](#)

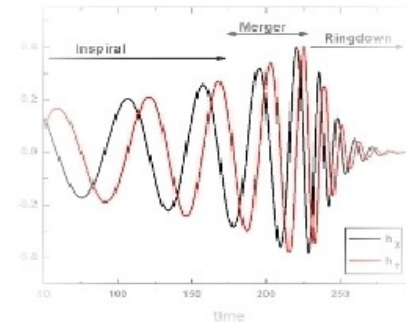
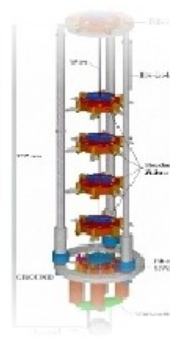
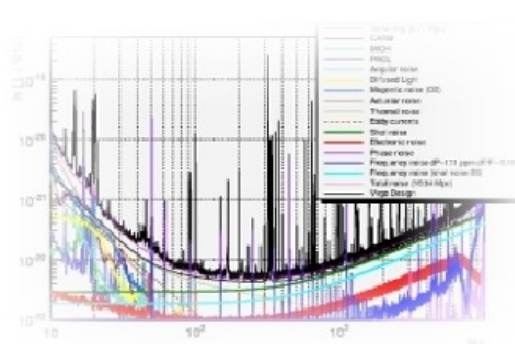
[Useful links](#)

[Getting started](#)

[TDK/BSc/MSc/PhD](#)

[VESF post-doctoral fellowship](#)

[Contact](#)



The Virgo Cluster

According to the designed sensitivity the Virgo gravitational wave antenna should be able to detect events such as the coalescence of neutron star-neutron star binaries from the distance of the Virgo Galaxy Cluster