

# Folytonos gravitációs hullámok keresése GPU-k segítségével

Debreczeni Gergely  
([Gergely.Debreczeni@rmki.kfki.hu](mailto:Gergely.Debreczeni@rmki.kfki.hu))

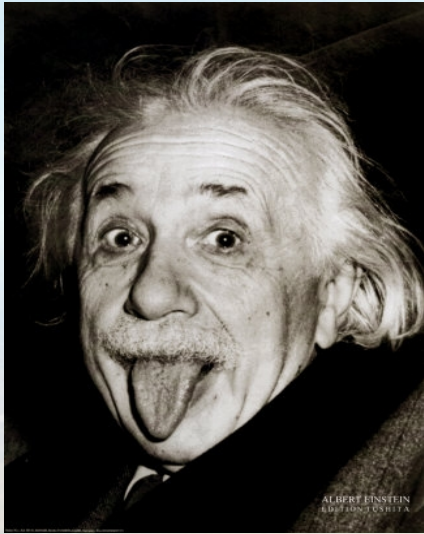
MTA KFKI RMKI

GPU nap 2011

2011. július 8.



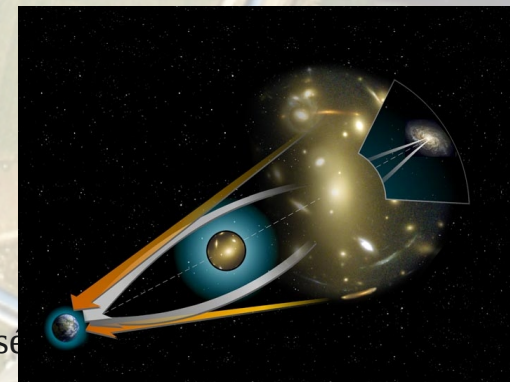
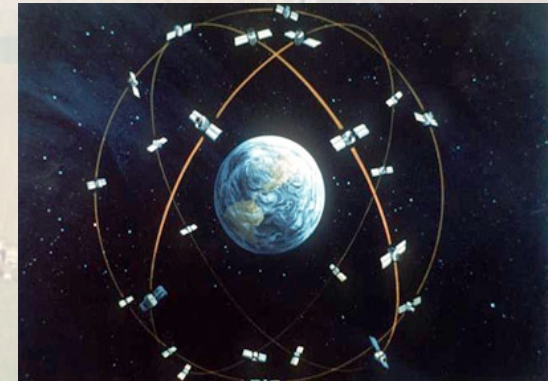
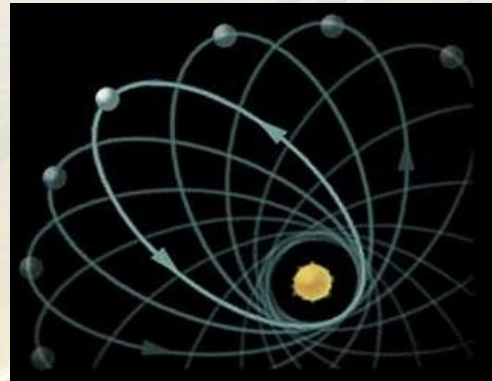
# Á.R.: Megfigyelhető jelenségek



- 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 jöslatai:

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

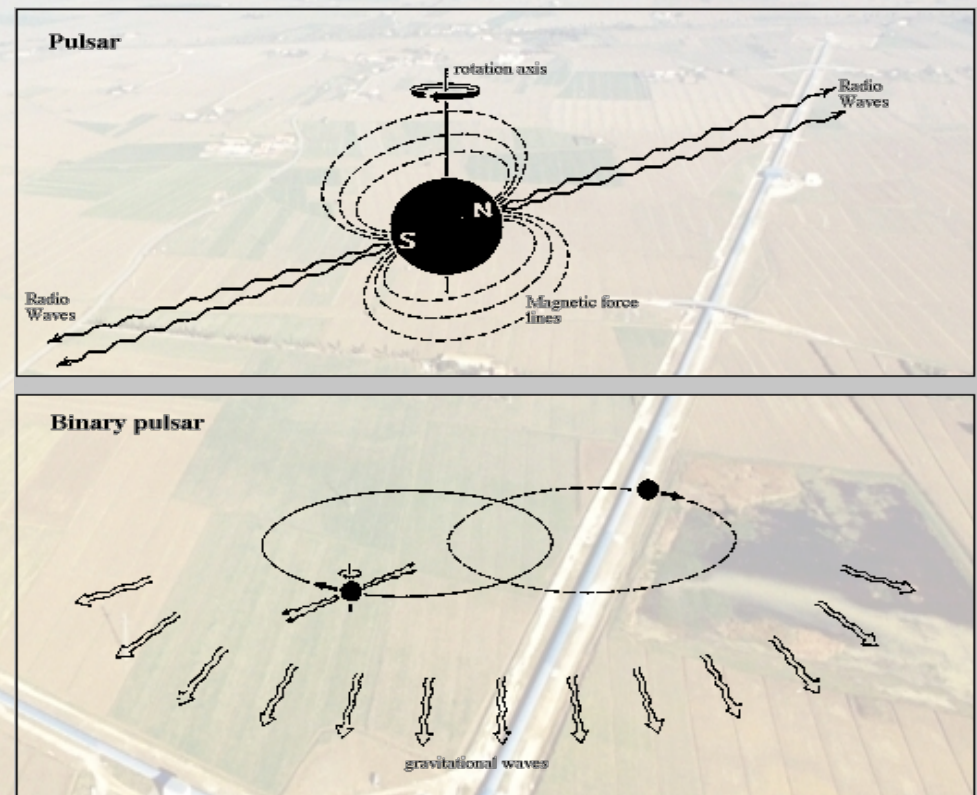
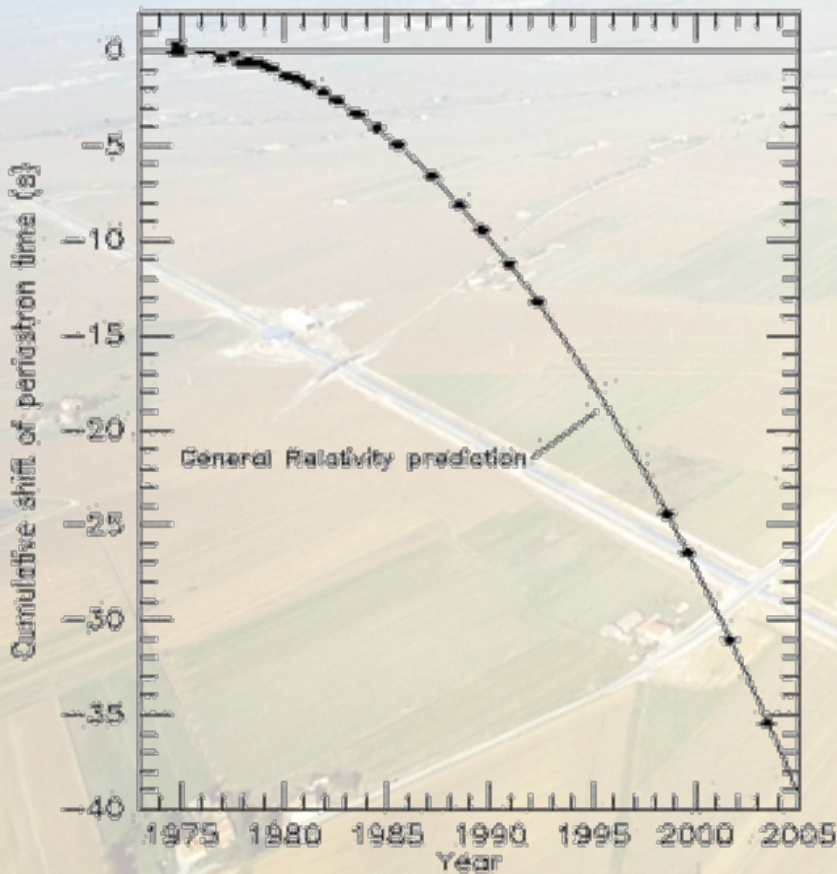




# A Hulse-Taylor pulzár

- A grav. hull. kutatók Szent Grálja
- 1974 -ben fedezték fel (Russel Hulse, Joseph Taylor)
- 1993 megosztott Nobel-díj

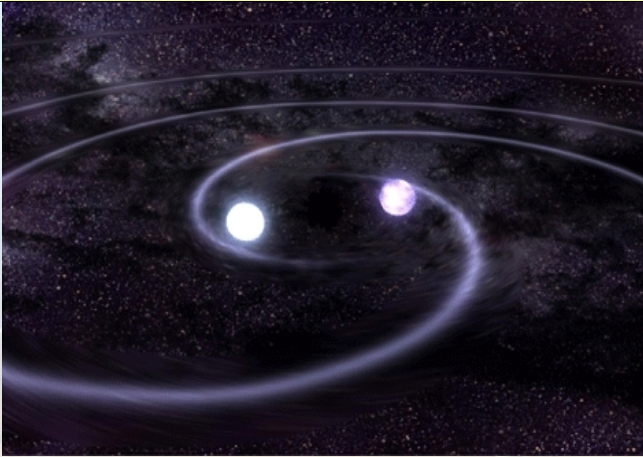
- Valószínűleg 2 neutron csillag
- 3,1 mm közeledés keringésenként
- 59 ms-os pulzálás
- 7,75 órás keringési idő



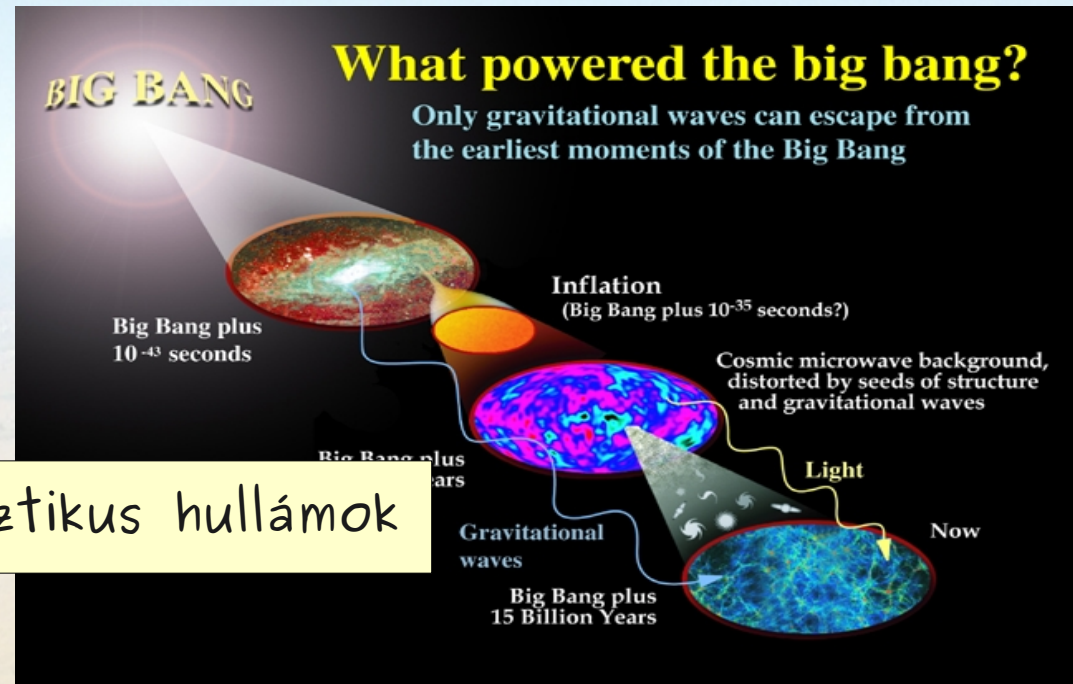


# Lehetséges GH források

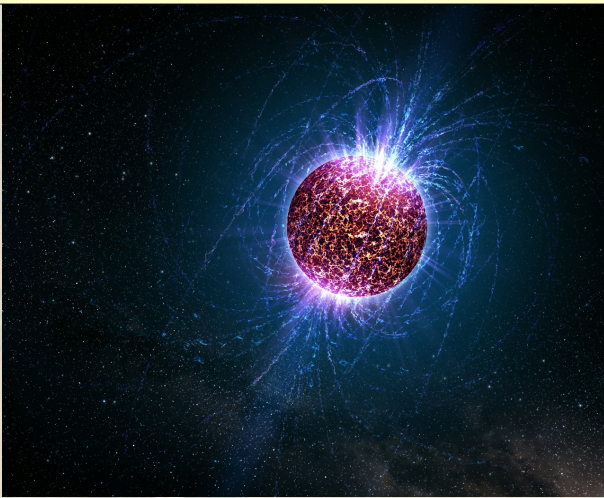
Csillagkettősök összeolvadása



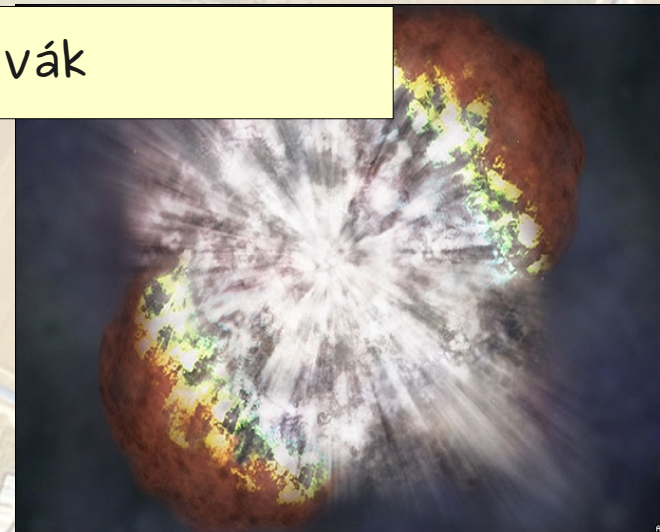
Sztochasztikus hullámok



Pulzárak, neutron csillagok

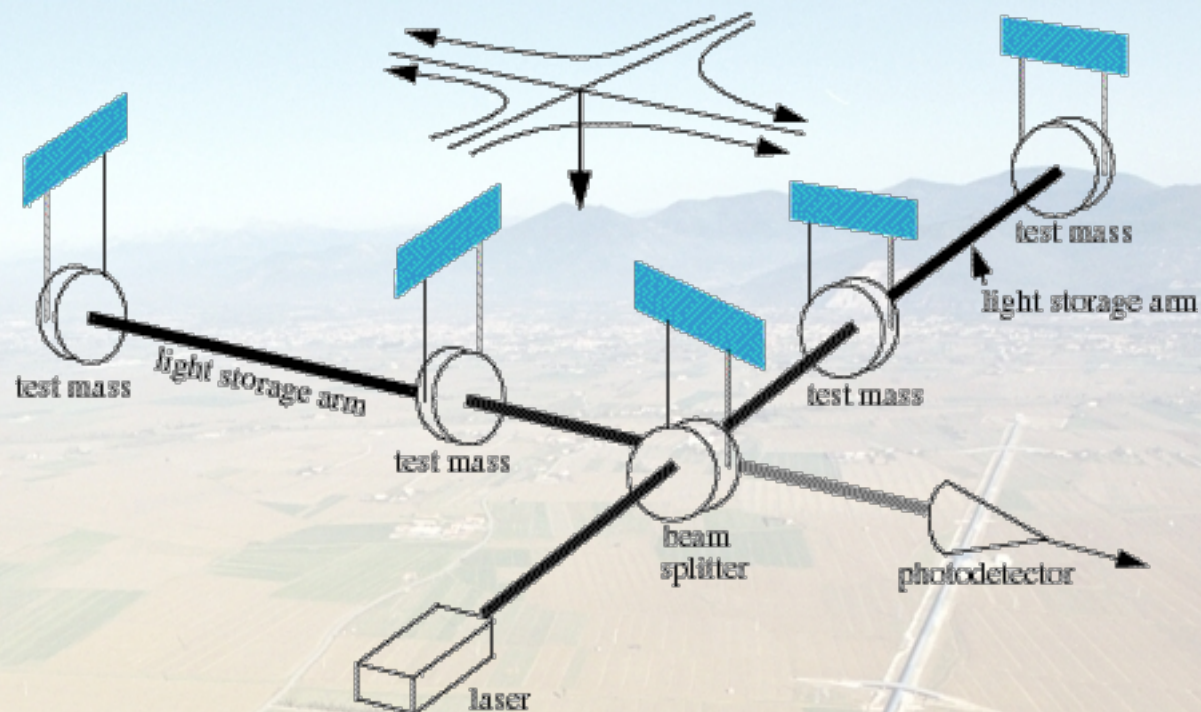
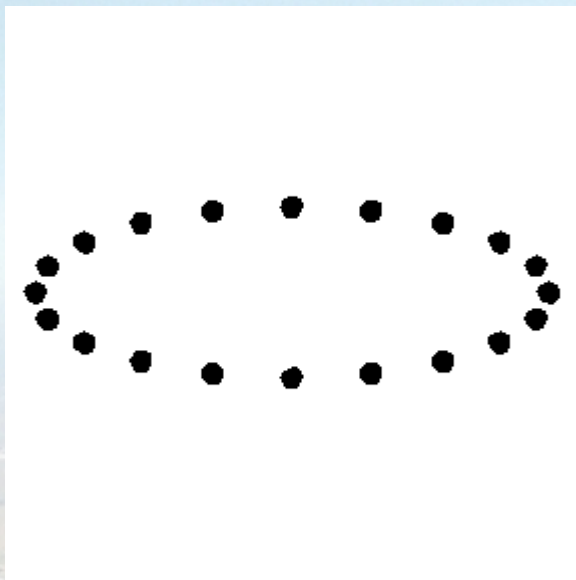


Szupernovák





# Interferométerek



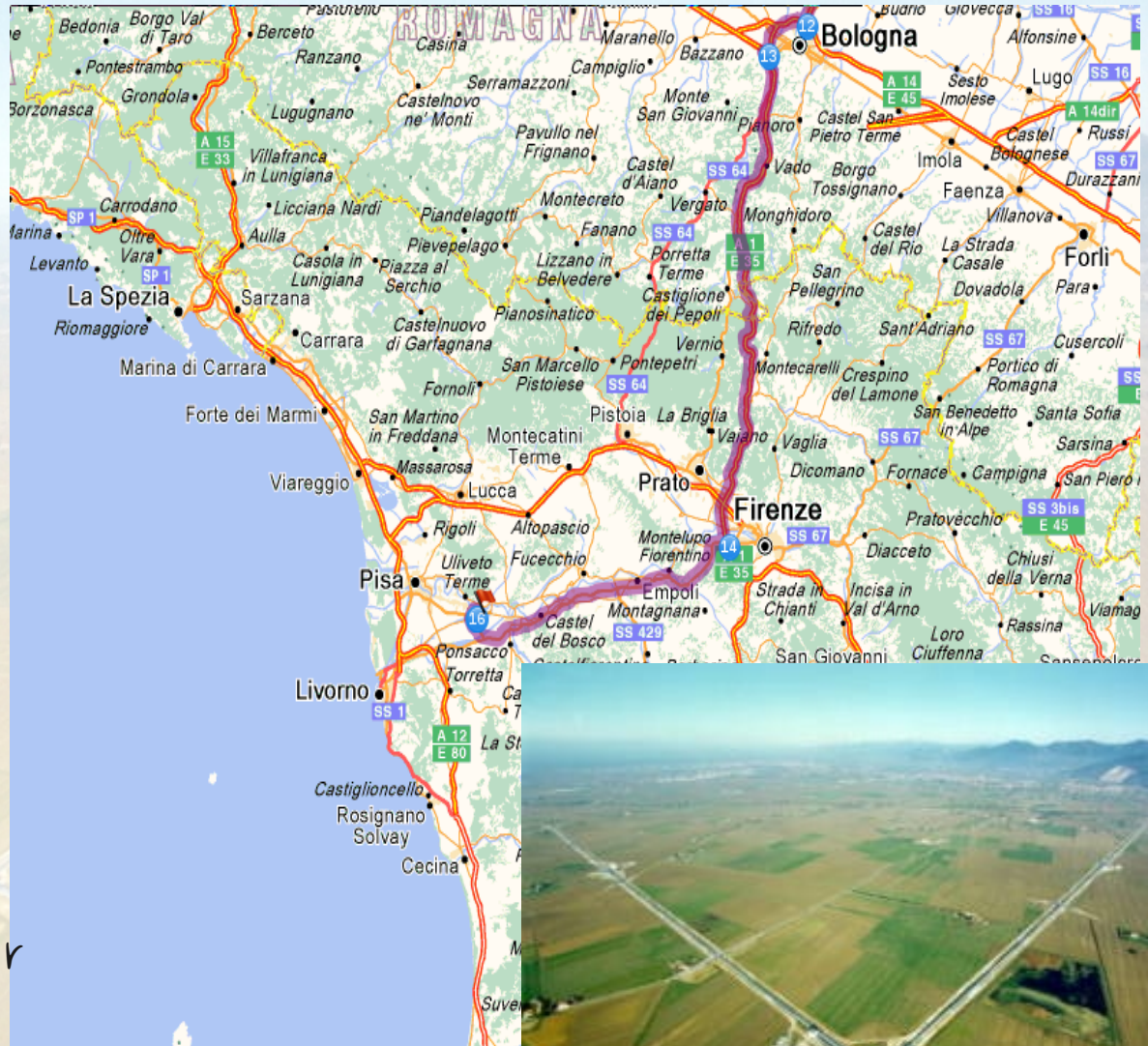
- A beeső gravitációs hullám megváltoztatja a karhosszúságot.
- Az interferenciapontban ezáltal megváltozik a fényintenzitás.
- A mérés kimenete a két kar hosszúságának különbsége.
- A világ legpontosabb relatív mérése,  $10^{-18}$  m pontosság!
- Rengeteg környezeti zaj kiküszöbölését kell megoldani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



# A Virgo kísérlet



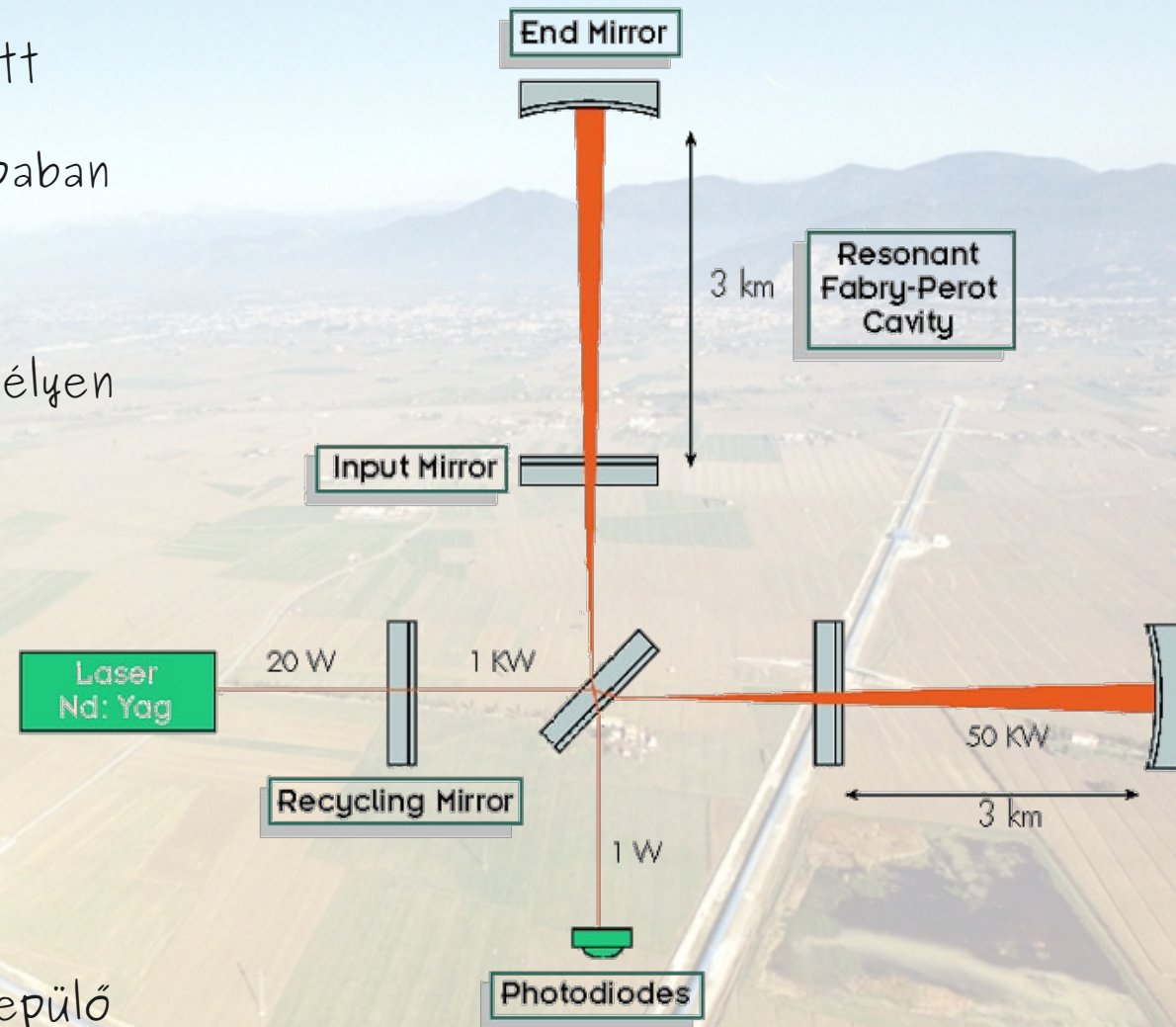
- A Virgo detektor az EGO (European Gravitational Observatory) telephelyén az Arno folyó síkságán Pisa melletti Cascina-ban található
- Az építkezés 2003-ban fejeződött be
- A francia – olasz együttműködésként induló kollaborációnak ma már magyar és lengyel tagjai is vannak.





# A Virgo detektor - felépítés

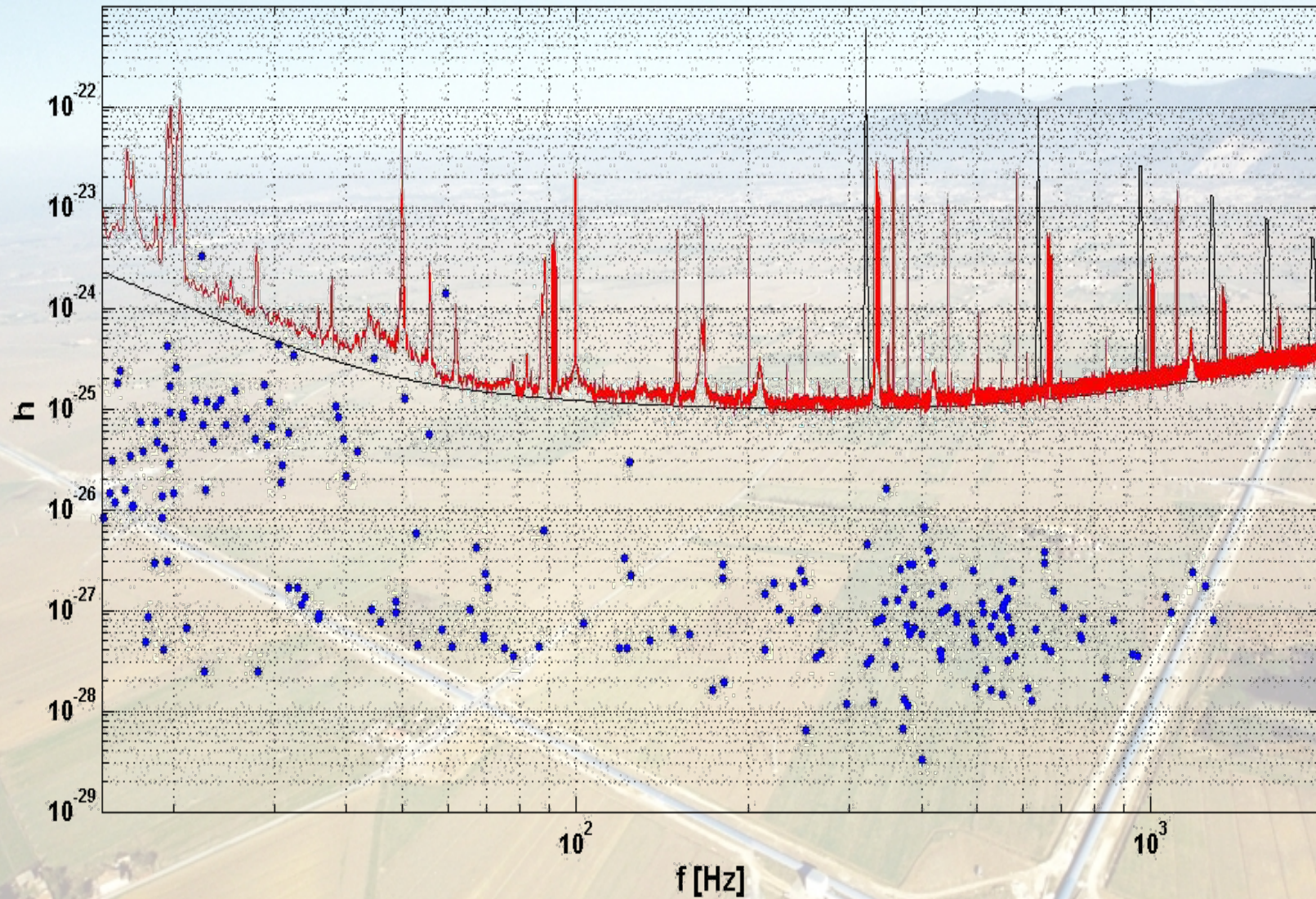
- 150 fok-ra felfűtve a mérés előtt
- 6800 m<sup>3</sup> vákuum, legnagyobb Európában
- 1 MW fogyasztás
- stabil beton lábazat, 20-50 m mélyen (1000 db)
- 3 km-es karhosszúság
- 20 W-os lézer
- 50/150 -es jósági tényező
- több száz környezeti szenzor (akusztikus, termikus, mágneses, szeizmikus szenzorok, vonat és repülő menetrendek, etc...)





# Folytonos hullámforrások

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





# A forgó neutron csillagok jelei

- A neutron csillag (NS) által kibocsátott hullám Doppler modulációt szenved a Föld forgása és keringése miatt. Ezt kompenzálni kell.
- A kompenzálás függ a NS helyzetétől az égbolton. Ismert pozíció esetén könnyű dolgunk van.
- A frekvencia változása (spin-down) is ismeretlen, de hosszú megfigyelési idő alatt figyelembe kell venni.
- Csillagrendések és tranziens környezeti zajok tovább nehezítik a dolgunkat...

$$f(t) - \hat{f}(t) = \hat{f}(t) \frac{\mathbf{v}(t) \cdot \hat{\mathbf{n}}}{c},$$

$$\cos \phi = \frac{\mathbf{v}(t) \cdot \mathbf{n}}{v(t)} = \frac{c}{v(t)} \frac{f(t) - \hat{f}(t)}{\hat{f}(t)}$$



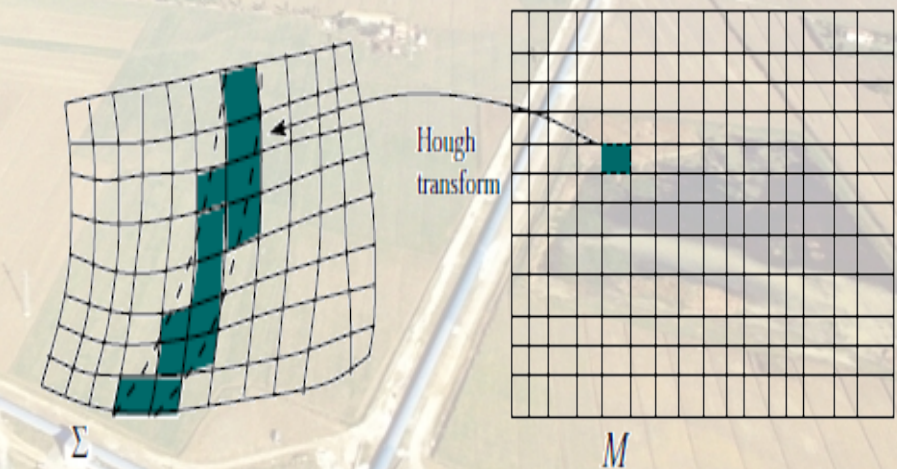
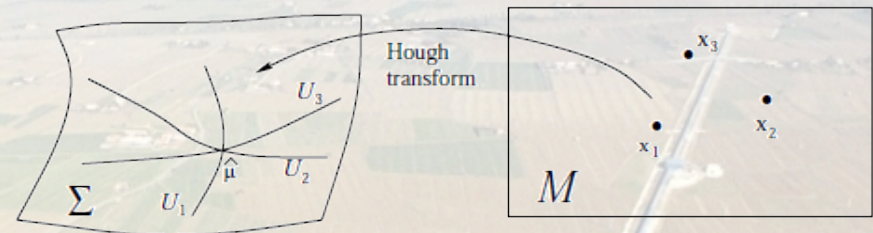
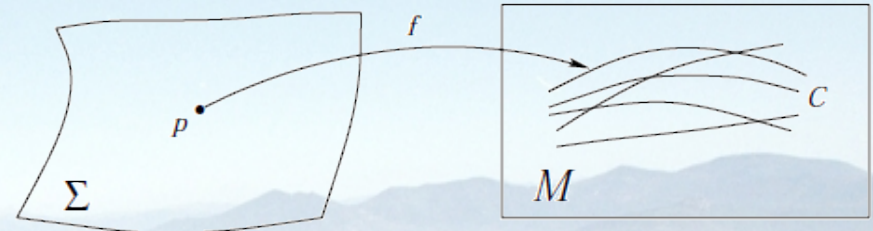
A frekvenciafejlődés paraméterei:  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $f$ ,  $f'$ ,  $f''$ ,  $f'''$ , ...



# A Hough - transzformáció

## A Hough transzformáció

- robosztus paraméter becslő módszer, széles körben alkalmazott számos területen, pl.: mintafelismerés, mesterséges látás, gravitációs hullám analízis
- A folytonos GH-k keresésében is alkalmazott
- Az algoritmus számos erősen párhuzamosítható lépésből áll, többek között:
  - Gyors Fourier Transzformáció
  - 2D felületeken küszöbértékelés
  - sokdimenziós független paraméter scan
- Ideális GPU-ra !
- Tesz OpenCL implementáción dolgozunk



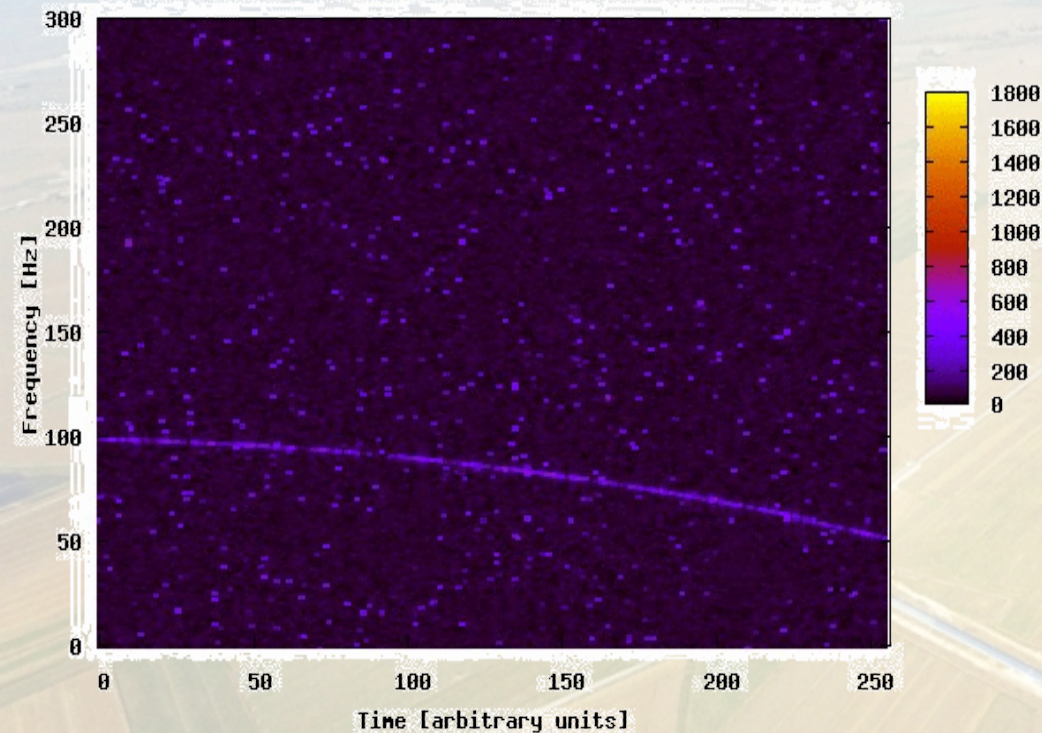


# A Hough - tanszformáció

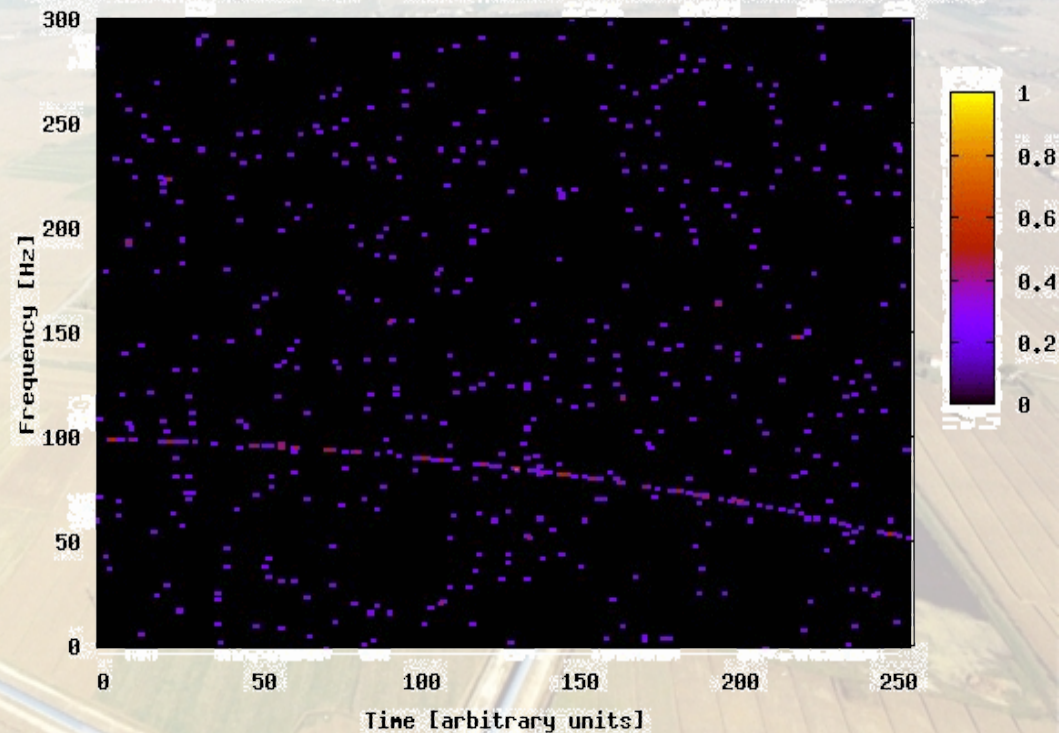
- Előállítjuk az idő - frekvencia térképet,

- majd csak a küszöbérték feletti pontokat tartjuk meg.

Simulated time - frequency map of rotating neutron star signal



Simulated thresholded time - frequency map of rotating neutron star signal

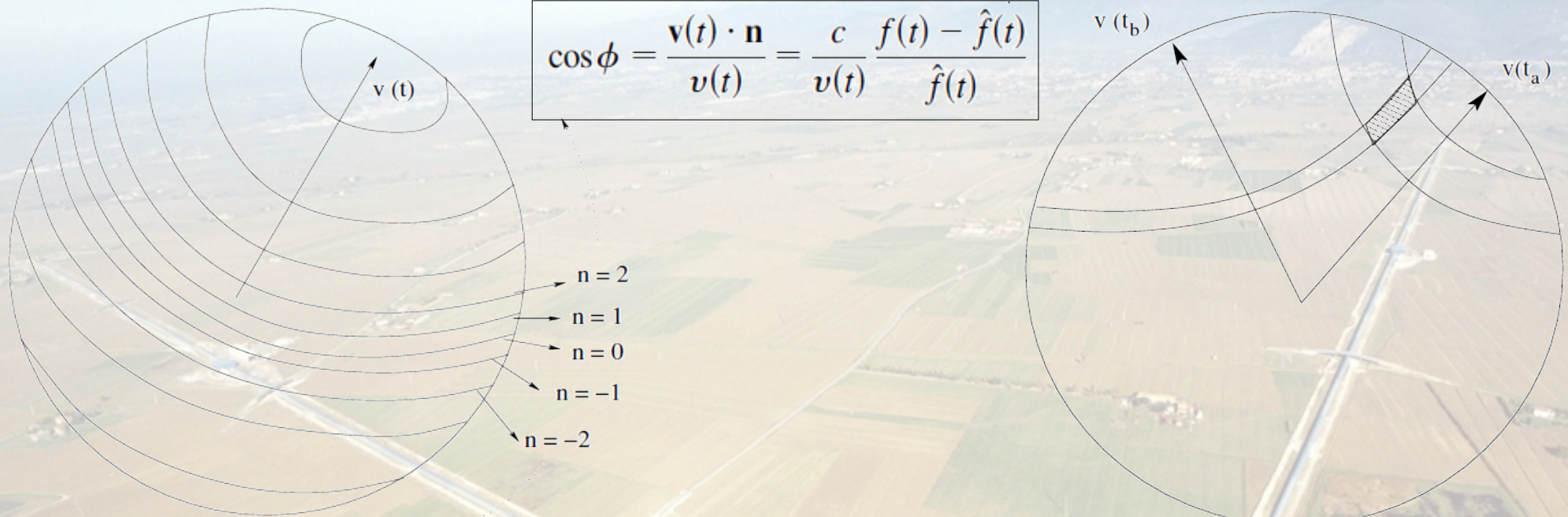




# A Hough – tanszformáció

- Egy adott időszelethez tartozó megoldások koncentrikus köröket adnának:

- Különböző időszeletekhez tartozó megoldások egymást metsző köröket adnak, kijelölve a neutroncsillag helyét az égbolton:



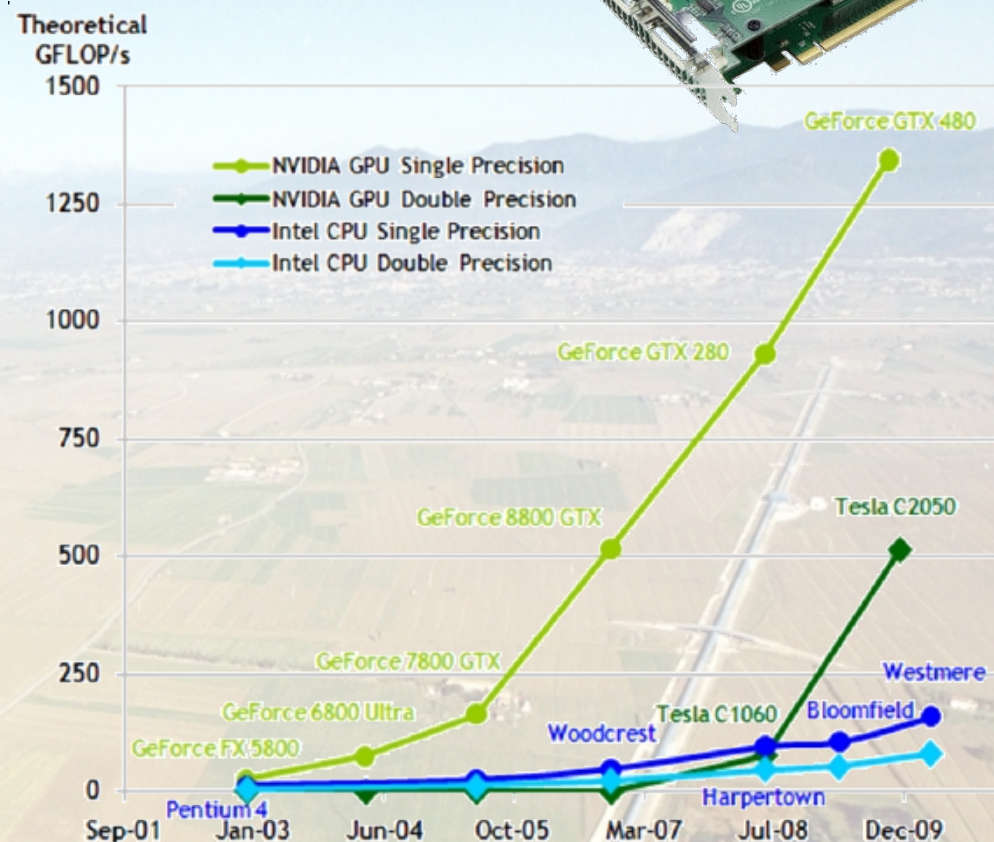
- Minden (phi, theta) égboltpozícióra megszámloljuk a metszéspontok számát, és az ezekből alkotott histogramot nevezzük a Hough térképnek.
- Ahol a legtöbb metszéspont által kijelölt paraméterekkel tüzetesebb vizsgálatokat végzünk.



# A GPU-k felhasználása



- Az ismeretlen helyzetű periodikus hullámforrások keresése nagyon nagy számítástechnikai kapacitást igényel, hatalmas a paraméterter !
- A használt algoritmus viszont nagyon jól párhuzamosítható
- A GPU-k (a számítógépek grafikus kártyája) alkalmasak a párhuzamos algoritmusok effektív végrehajtására
- Programozásuk mára már viszonylag egyszerű feladat
- Az ún. Hough-transzformáció implementálása GPU-kra



- Előre kell tervezni az Advanced detektorok korszakára a számítástechnikai kapacitás nagyságát és tulajdonságait (CPU/GPU arányok)



# Eddigi eredmények



Már néhány naív kernel implementáció is jelentős gyorsulást eredményez:

- Adatcsonkok FFT-je:  $\sim 140x$
- Küszöbértékelés:  $\sim 100x$
- Paraméter scan:  $\sim 40x$

## Küszöbértékelés OpenCL kódja:

```
__kernel void gpuThresholdTFmap(__global REAL * source,
__global REAL * target, __global REAL * threshold)
/*
This is the kernel does the thresholding task
*/
{
int gid = get_global_id(0);
if (source[gid] > threshold) {target[gid] = 1;}
}
```

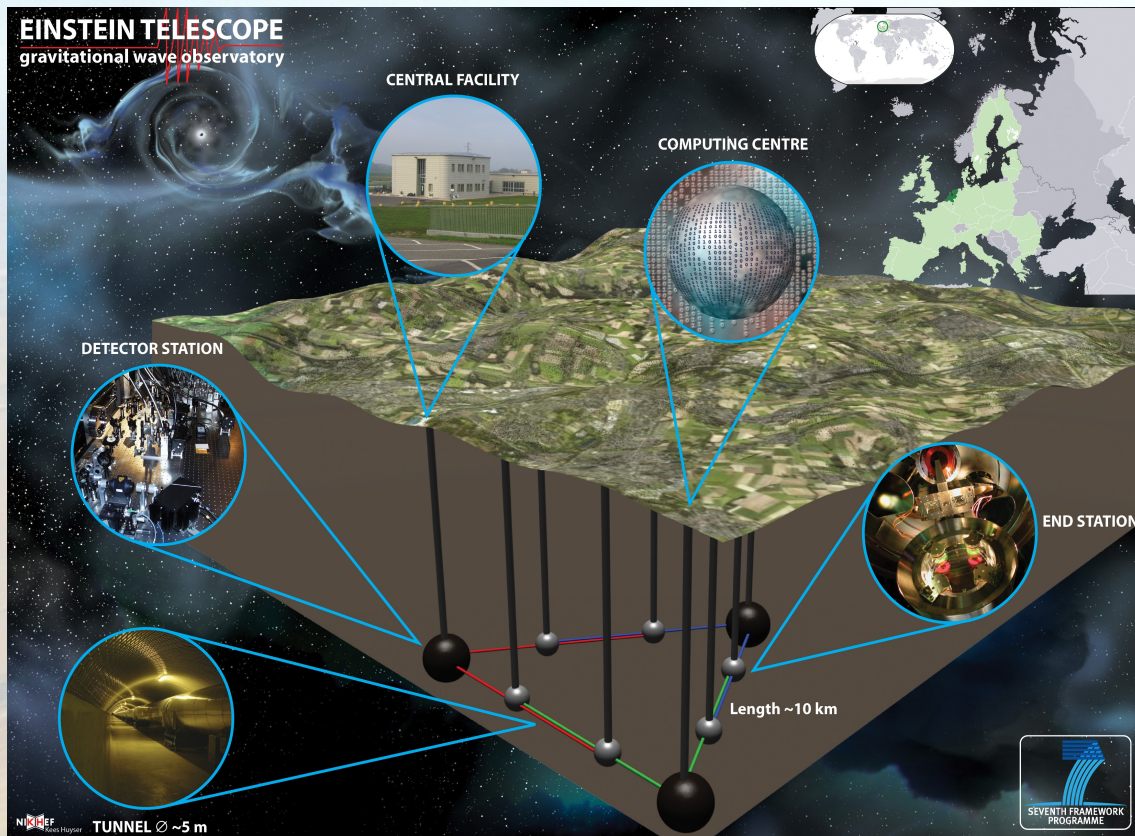
**Problémák:** Végrehajtási divergencia lassítja a sok feltételes parancs miatt.

**Jelentősége:** A folytonos hullámok keresésének érzékenysége limitált a rendelkezésre (nem) álló számítási kapacitás miatt. **Az elérhető számítási kapacitás hozzájárul a detektor érzékenységének növeléséhez, ezáltal a gravitációs hullámok első direkt megfigyeléséhez!** Így minden megszerzett TeraFlop nagyon értékes ! Más módszerekkel több millió euróba kerülne az érzékenység növelése !



# Az Einstein Teleszkóp (ET)

Tanulmány egy 3. gen GH detektor megépítésére



- Föld alatt lesz
- 10 km karhosszúság
- Új geometria
- MW-os lézer
- 200 kg-os tükrök
- 1000x-es eseményszám
- Helyszinkeresés Mo.-n

<http://www.et-gw.edu>



# Az RMKI Virgo csoport

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



VIRGO

RMKI Virgo Group

[Home](#)

[What is Virgo ?](#)

[People](#)

[Computing activities](#)

[Analysis activities](#)

[Theory](#)

[Publications](#)

[Events](#)

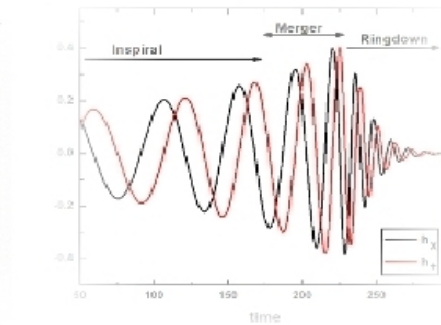
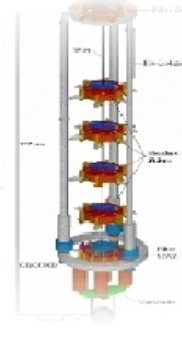
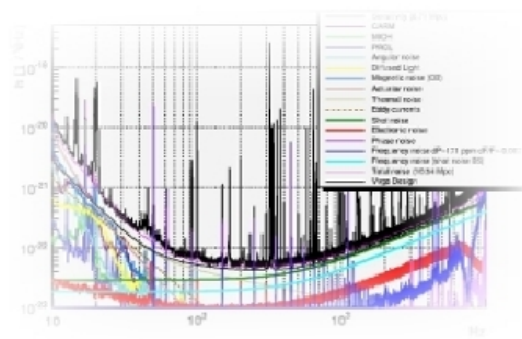
[Useful links](#)

[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