

A természetben fellelhető gravitációshullám-detektor *avagy kozmikus órákkal a Világegyetem legnagyobb fekete lyukai nyomában*

Bécsy Bence



Oregon State
University

NANOGrav
Physics Frontiers Center

Az atomoktól a csillagokig
2022.12.07.





Fekete lyukak

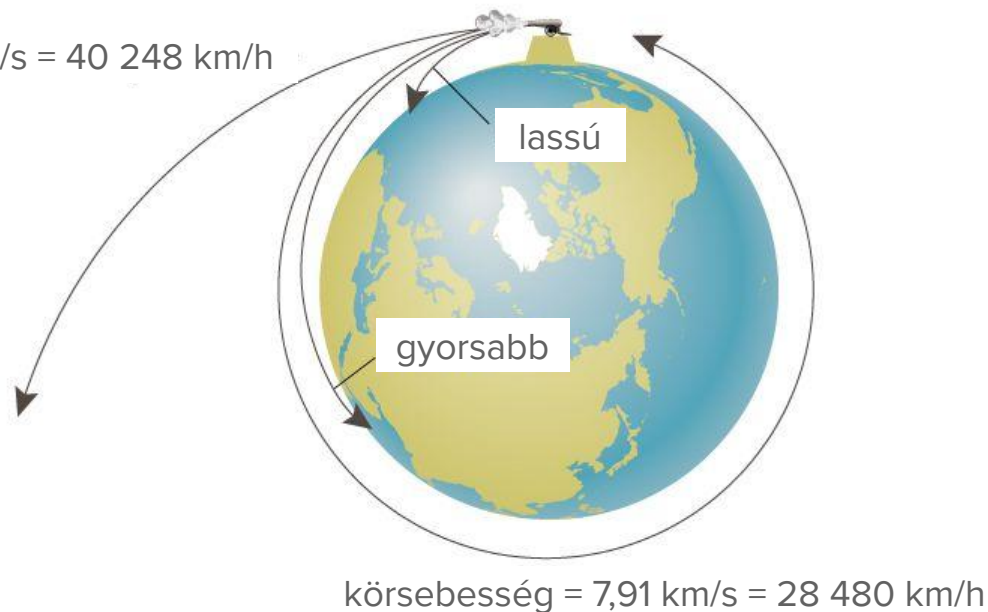
Szökési sebesség

szökési sebesség = $11,19 \text{ km/s} = 40\,248 \text{ km/h}$

Tömeggel nő, mérettel csökken

Ha elég kompakt az égitest, akkor nagyobb lehet a fénysebességnél

→ semmi nem szökhet el,
még a fény sem



Fekete lyuk

Schwarzschild-sugár:

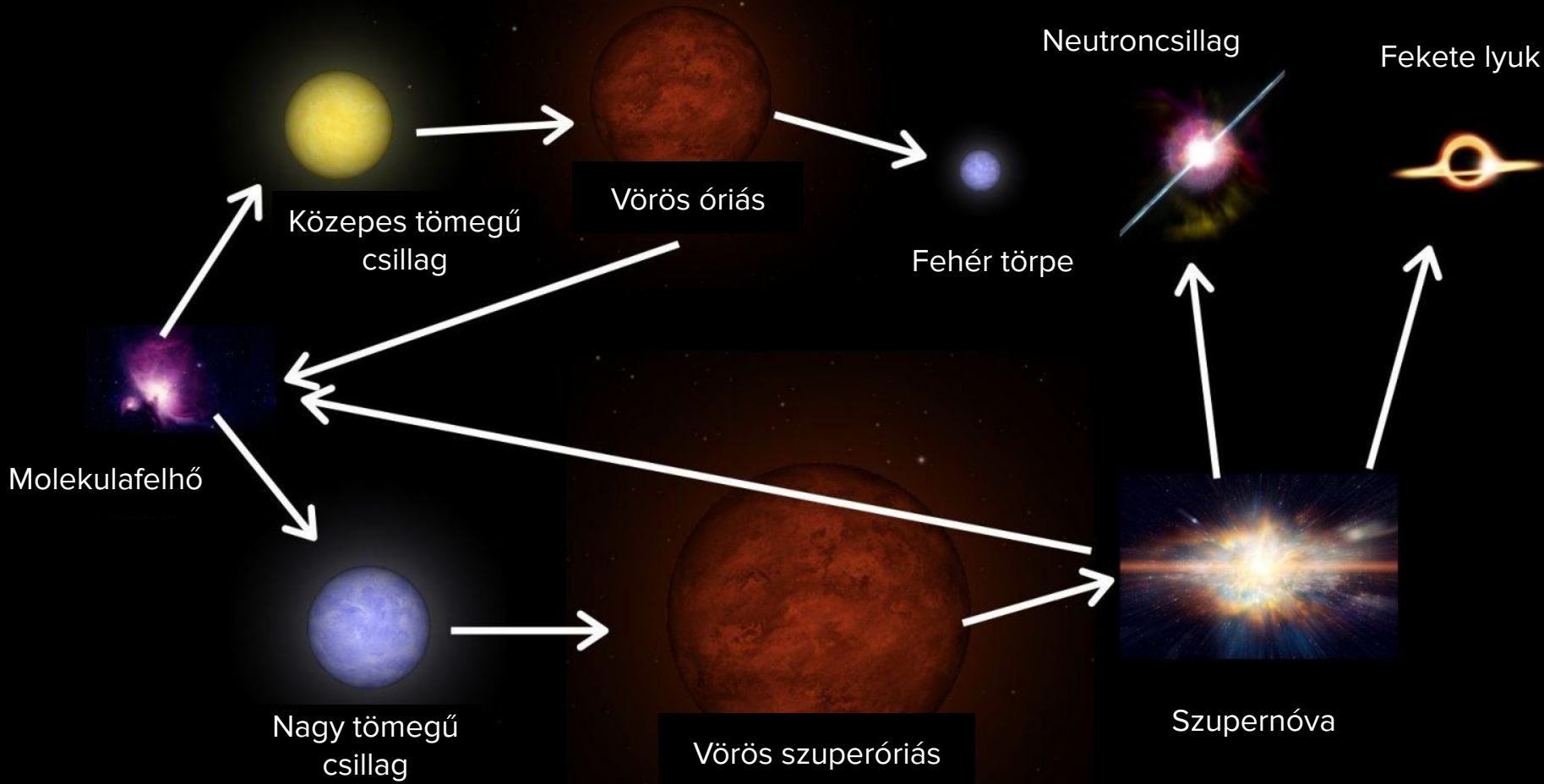
$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

M - tömeg

c - fénysebesség

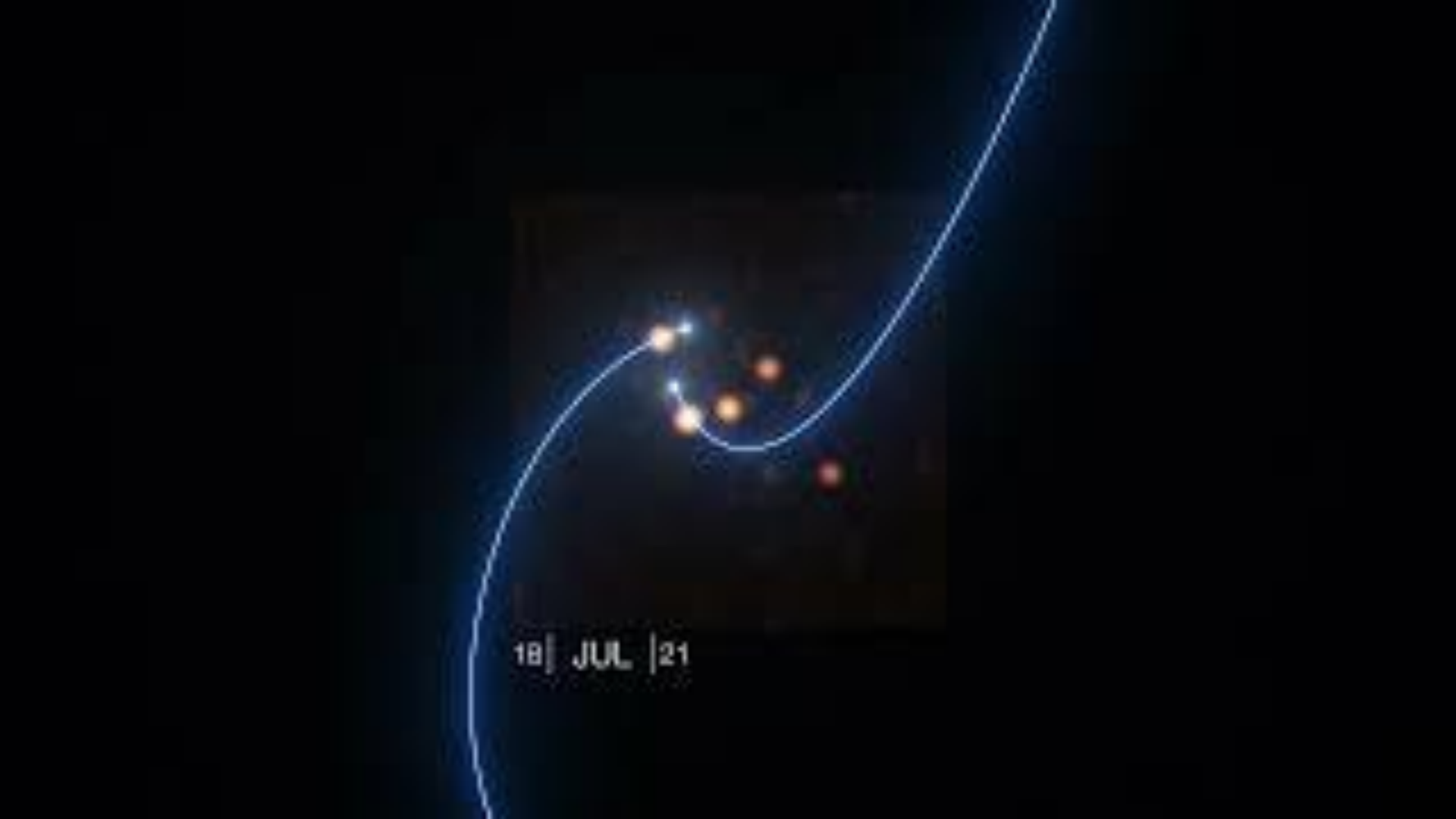
G - gravitációs állandó



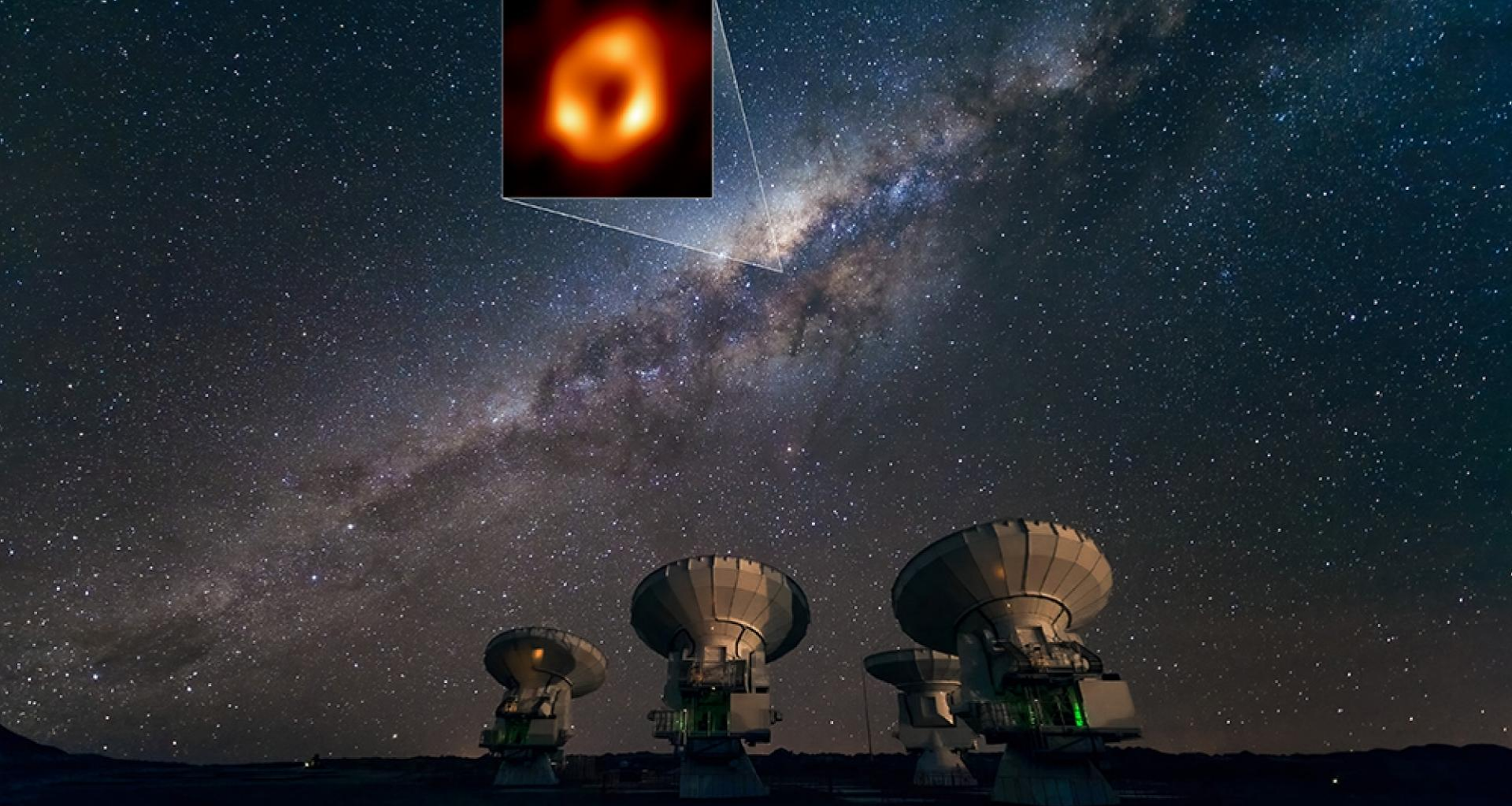




Ábra: NASA/JPL-Caltech

A dark blue background featuring a glowing blue curve that starts from the bottom left and arcs towards the top right. In the center of the curve, there is a cluster of several small, colorful stars in shades of white, yellow, orange, and red. The overall aesthetic is clean and modern, typical of a digital interface or a data visualization.

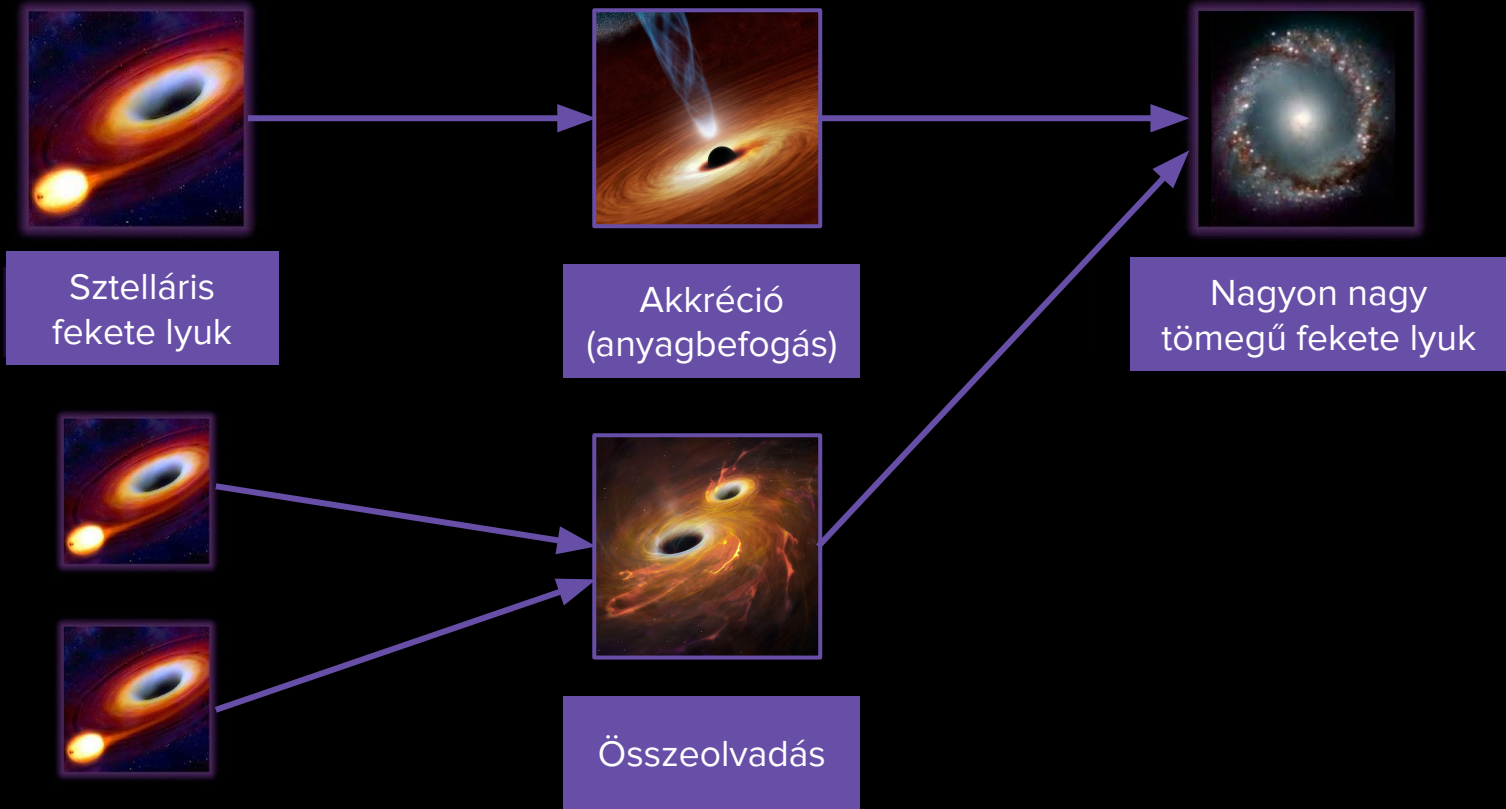
18 | JUL | 21

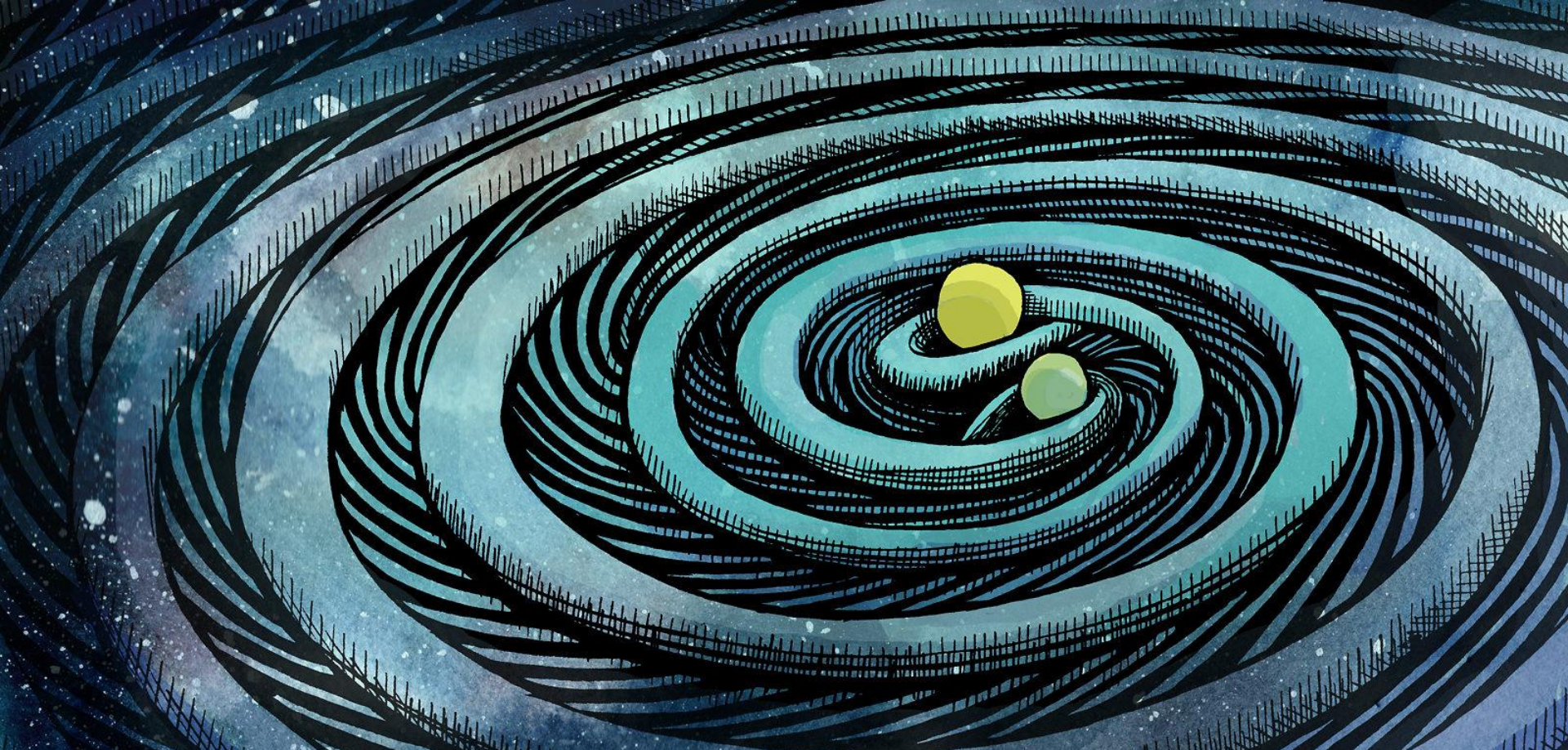


Fekete lyuk tömegek



Hogyan alakulnak ki a nagyon nagy tömegű fekete lyukak?

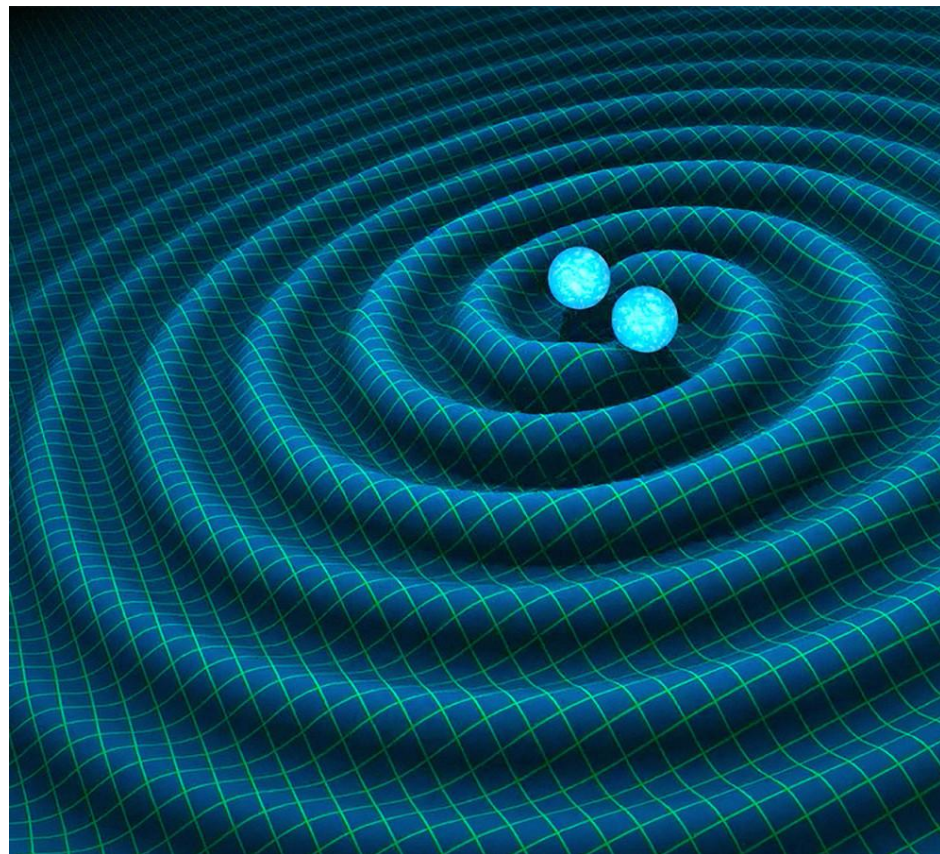
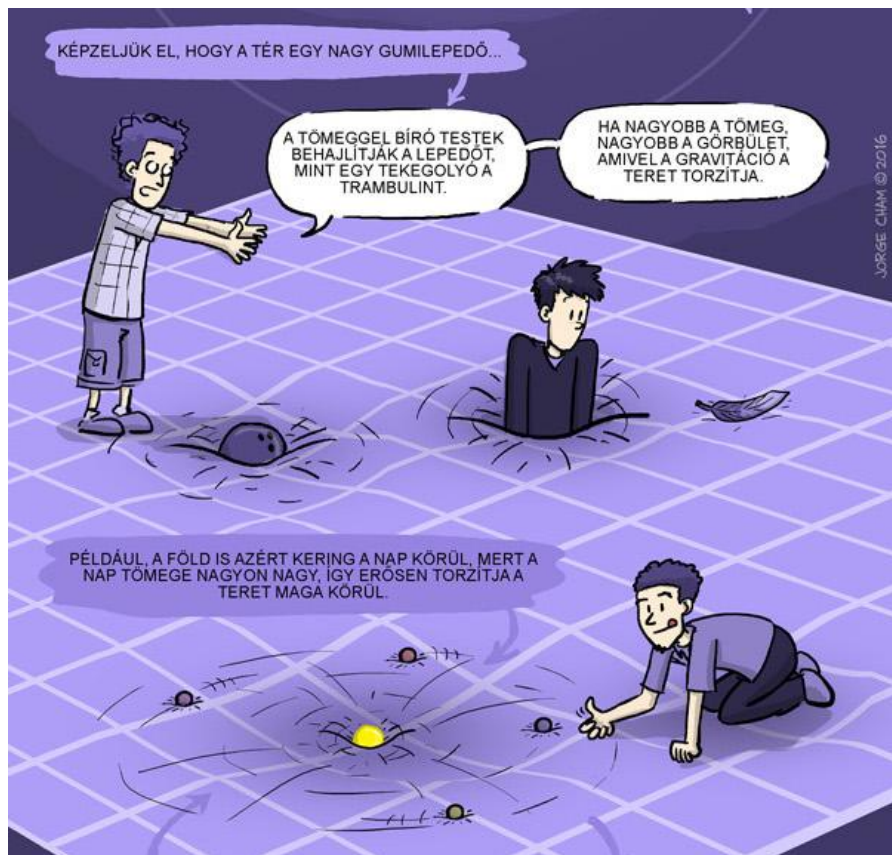




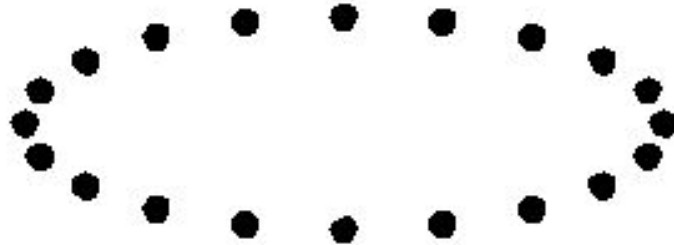
Gravitációs hullámok

Ábra: Sandbox Studio, Chicago with Corinne Mucha

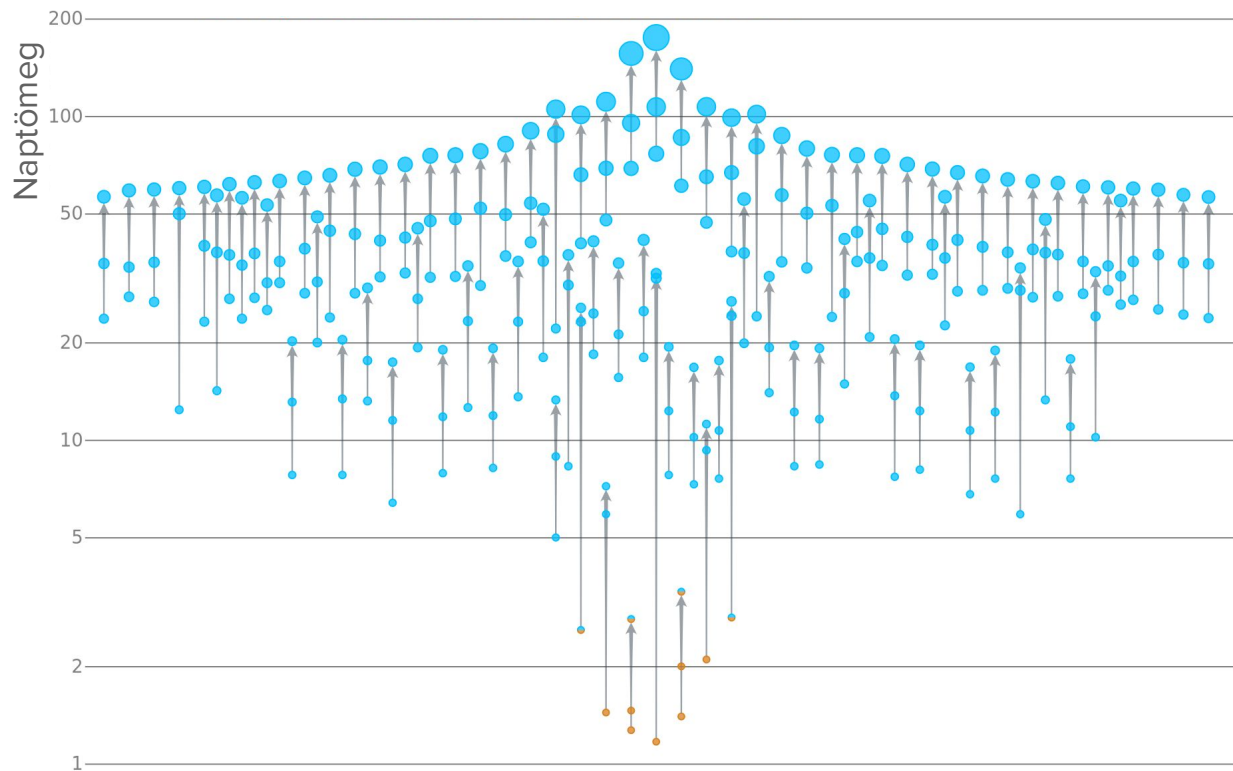
Mik is azok a gravitációs hullámok?



Mit okoznak a gravitációs hullámok?



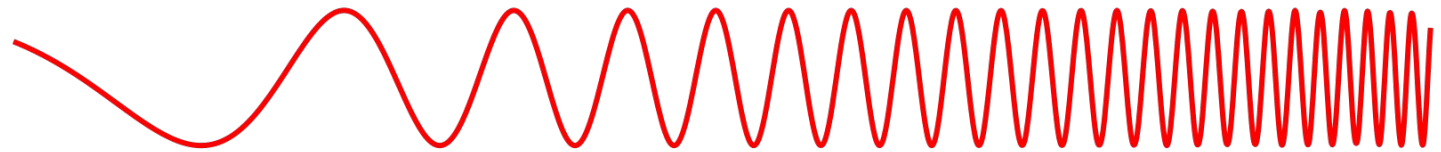
LIGO, Virgo és eddigi megfigyeléseik



LIGO-Virgo-KAGRA | Aaron Geller | Northwestern

Átengedi a Föld
légkörre?

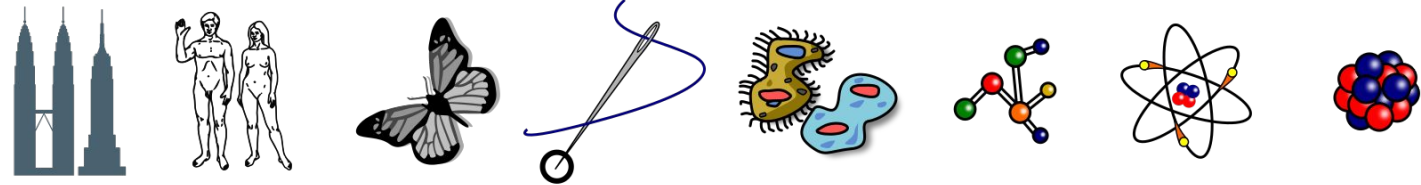
igen nem igen nem



Hullámtartomány
Hullámhossz (m)

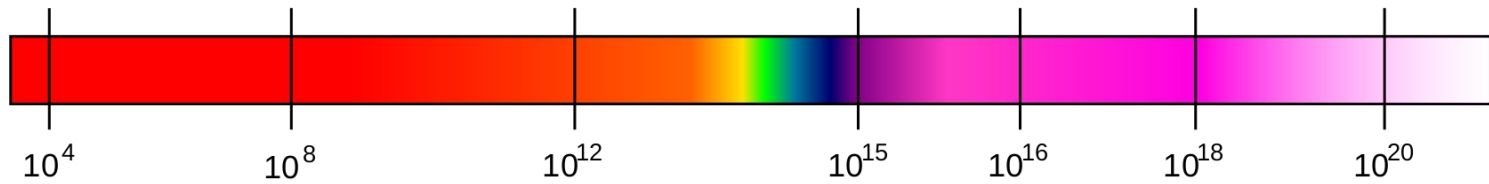
rádióhullám 10^3 **mikrohullám** 10^{-2} **infravörös** 10^{-5} **fény** $0,5 \times 10^{-6}$ **ultraibolya** 10^{-8} **röntgen-** 10^{-10} **gamma-** 10^{-12}

A hullámhossz
nagyságrendje

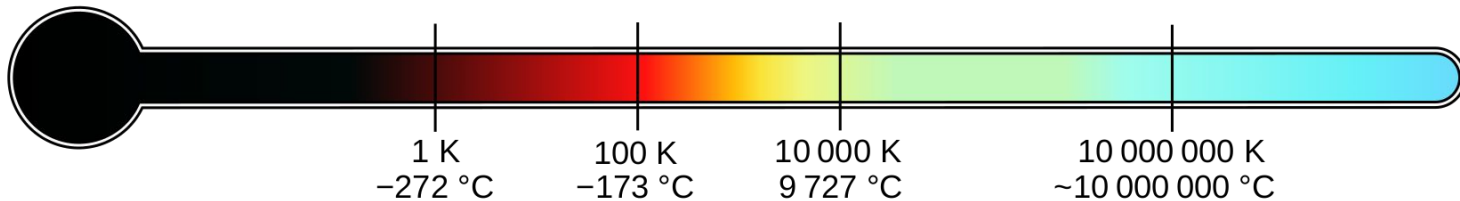


épületek ember pillangó tűhegy egysejtű molekula atom atommag

Frekvencia (Hz)



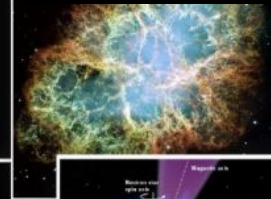
A tartományban
maximális
intenzitással
sugárzó testek
hőmérséklete



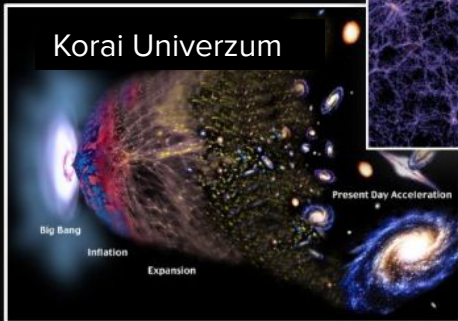
Kozmikus hűrok



Szupernóvák



Korai Univerzum



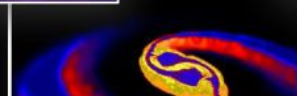
Extrém tömegarányú feketelyuk-kettősök



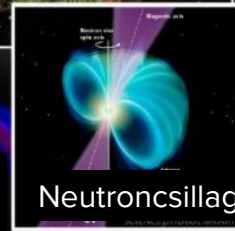
Nagyon nagy tömegű fekete lyukak



Sztelláris feketelyuk-kettősök



Neutroncsillagok

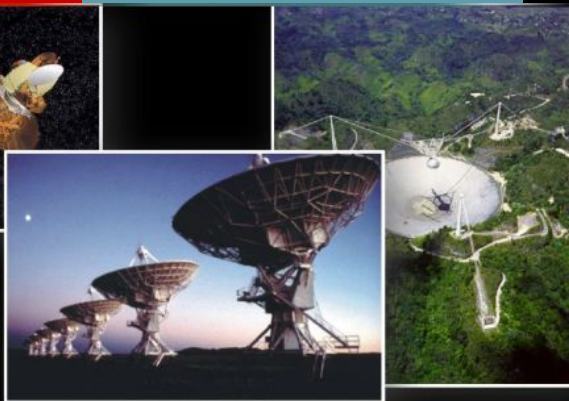
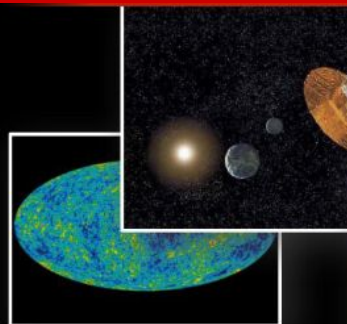


Kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás

Pulzár időzítő hálózatok

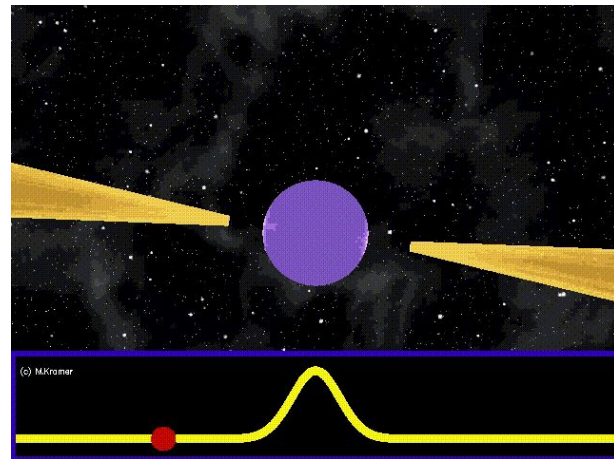
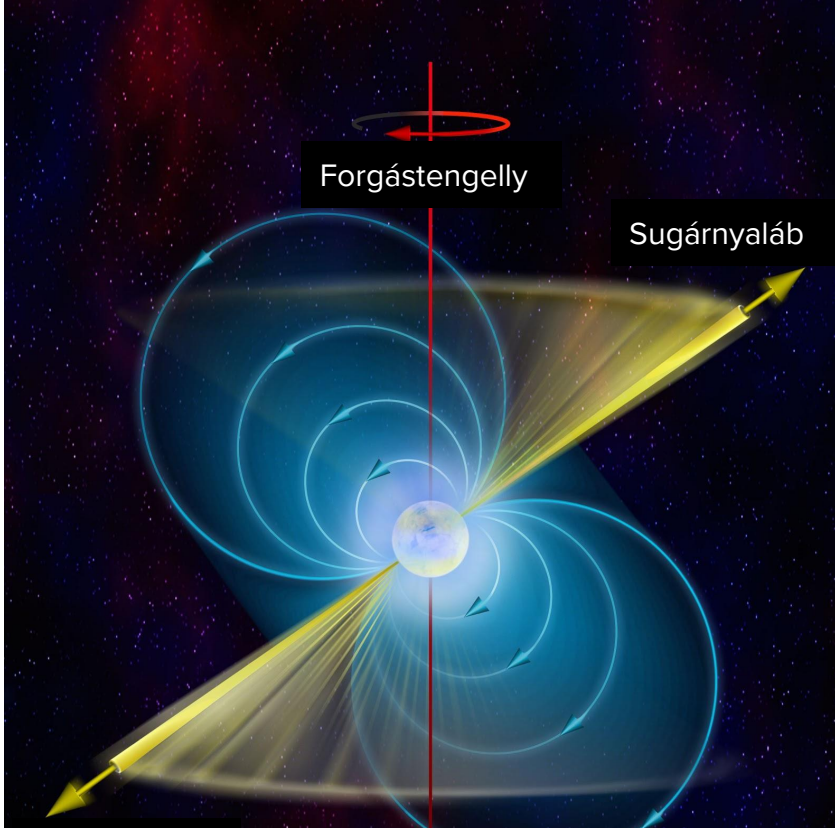
Űrdetektorok

Földi detektorok



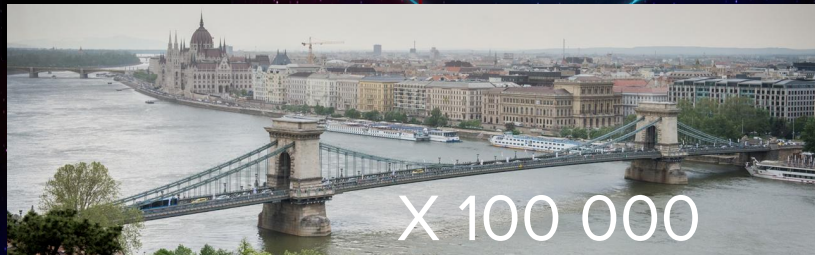
Pulzár időzítő hálózatok



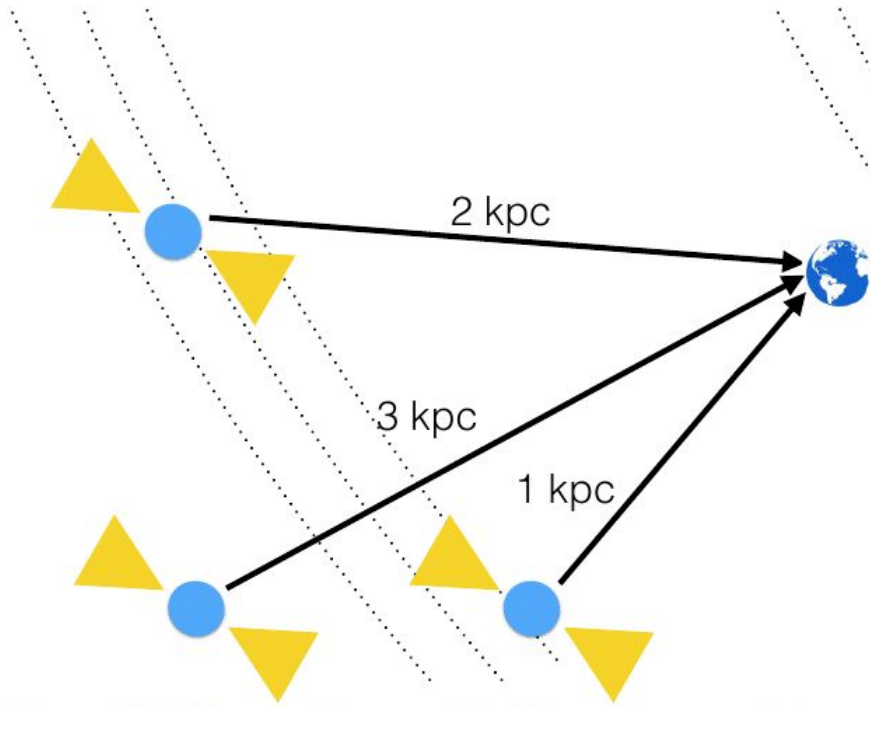
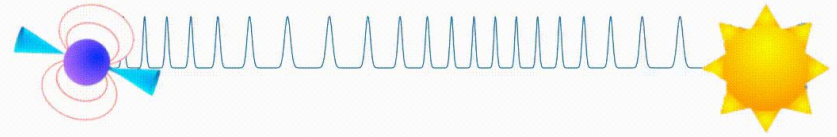


Pulzárrok mint precíz órák: J1909-3744

$P = 2.947108024810317 \pm 0.0000000000000009 \text{ ms}$

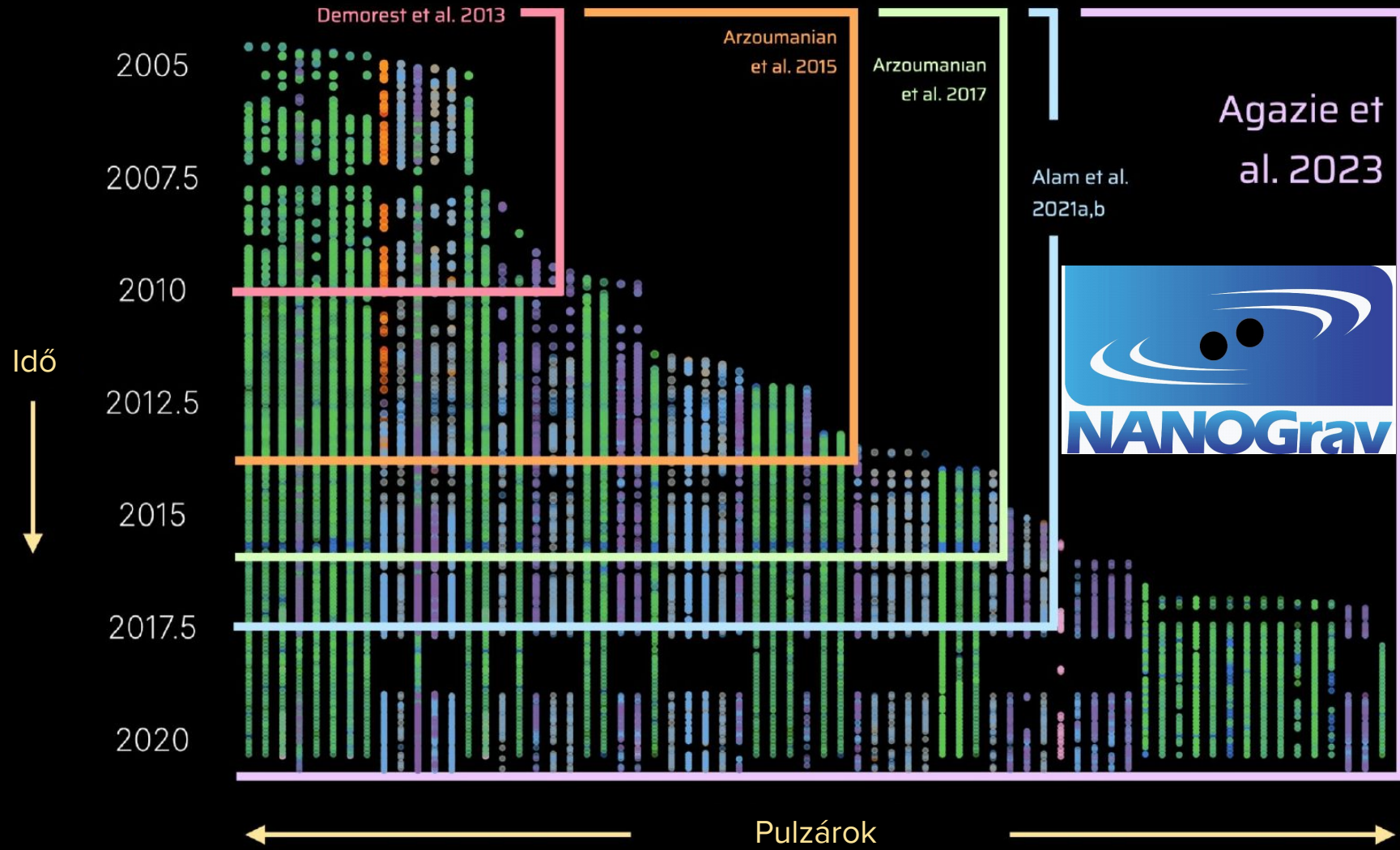


Pulzár időzítő hálózat

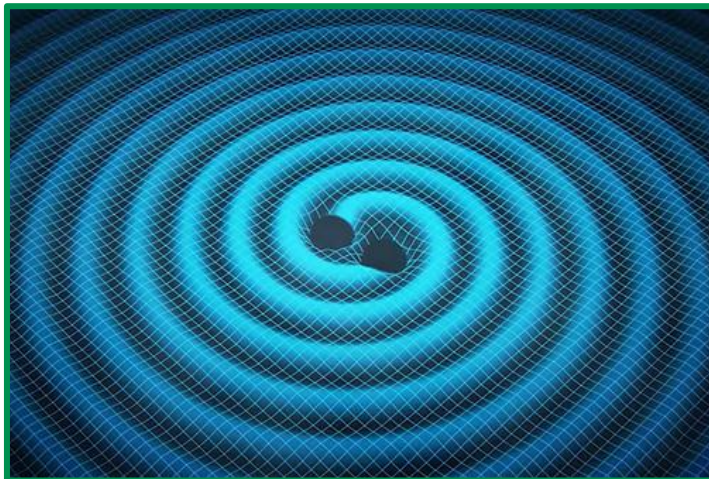


Pulzár időzítő kollaborációk





A keresett jel



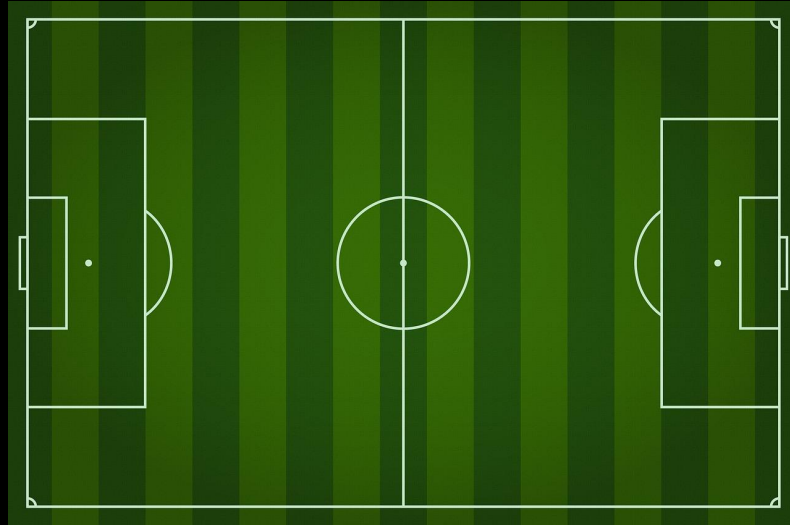
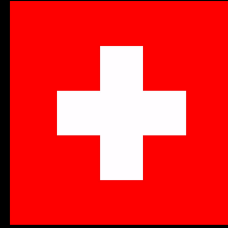
× több millió



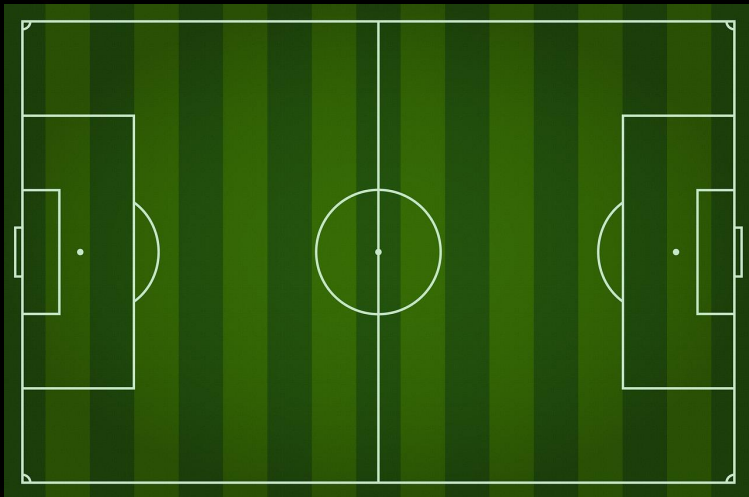
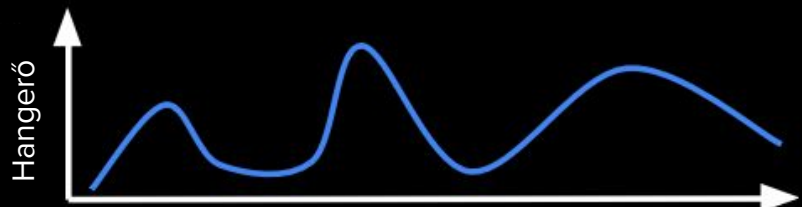
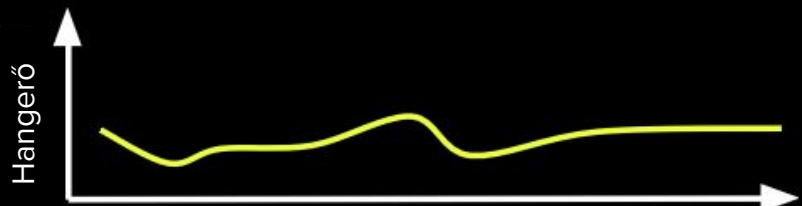
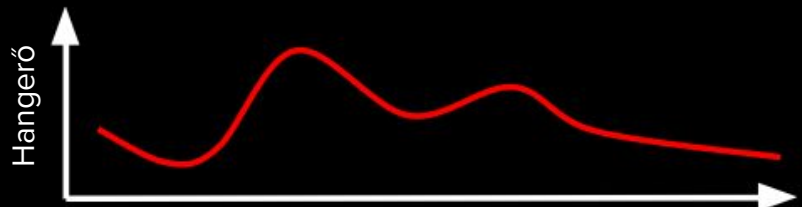
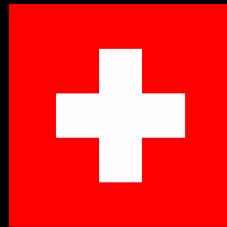
× több ezer

Háttérzaj a stadionban

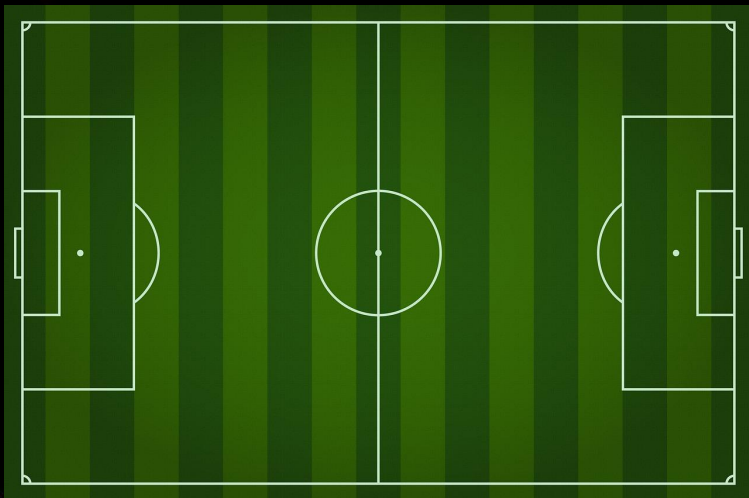
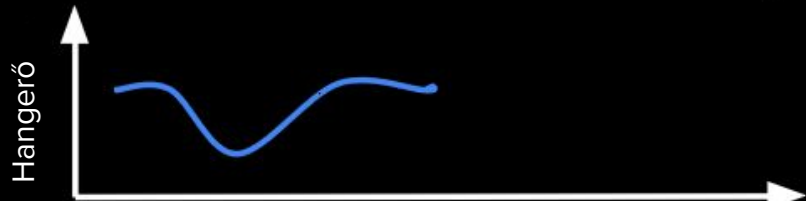
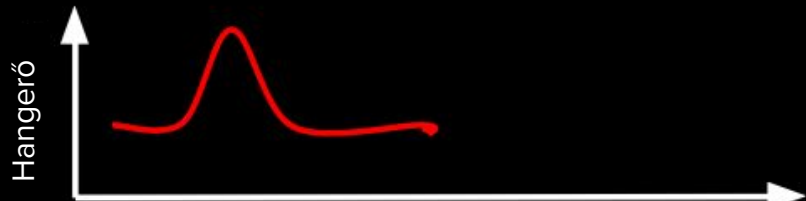
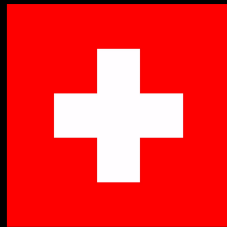
Szomszédaink ékes
megjegyzései a bíró
szemészeti diagnózisáról



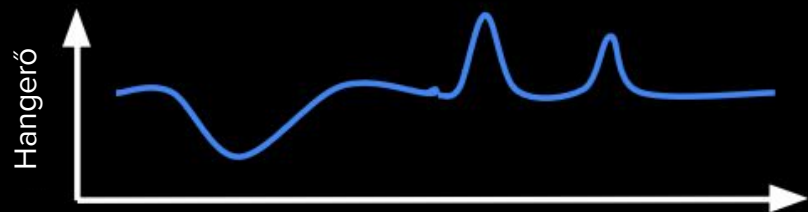
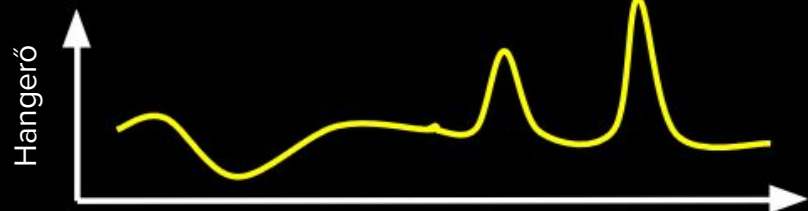
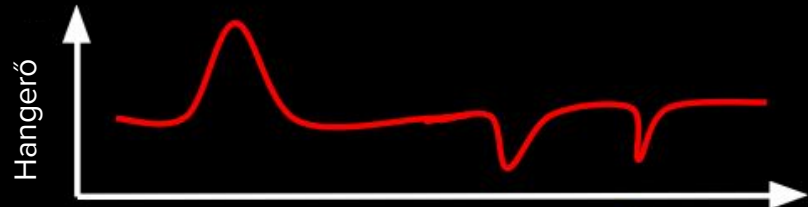
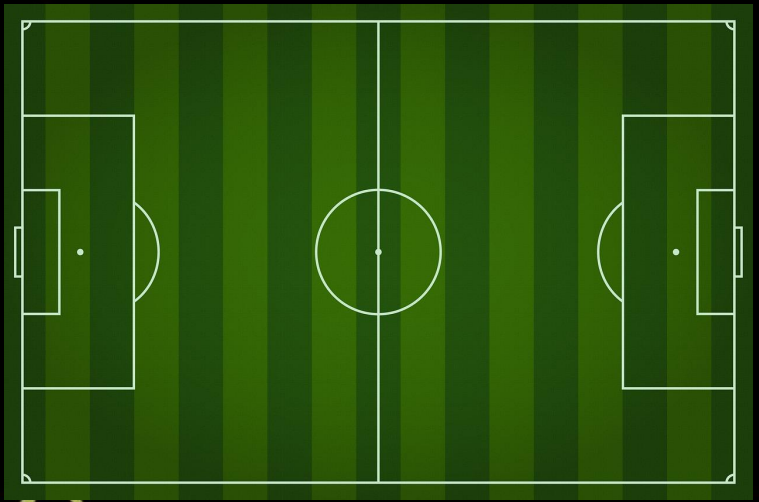
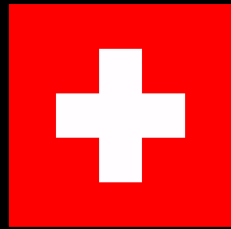
A meccs előtt

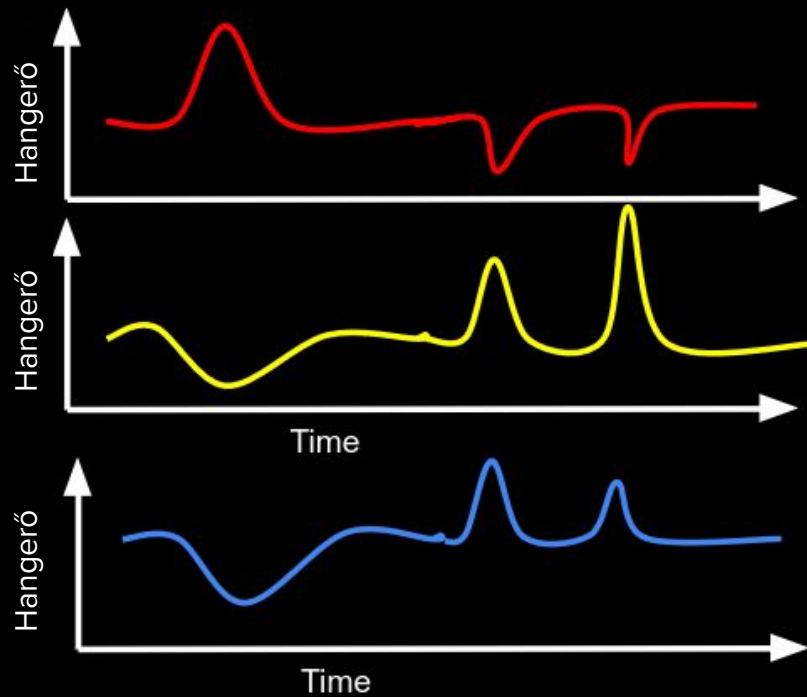


Svájci gól! :(



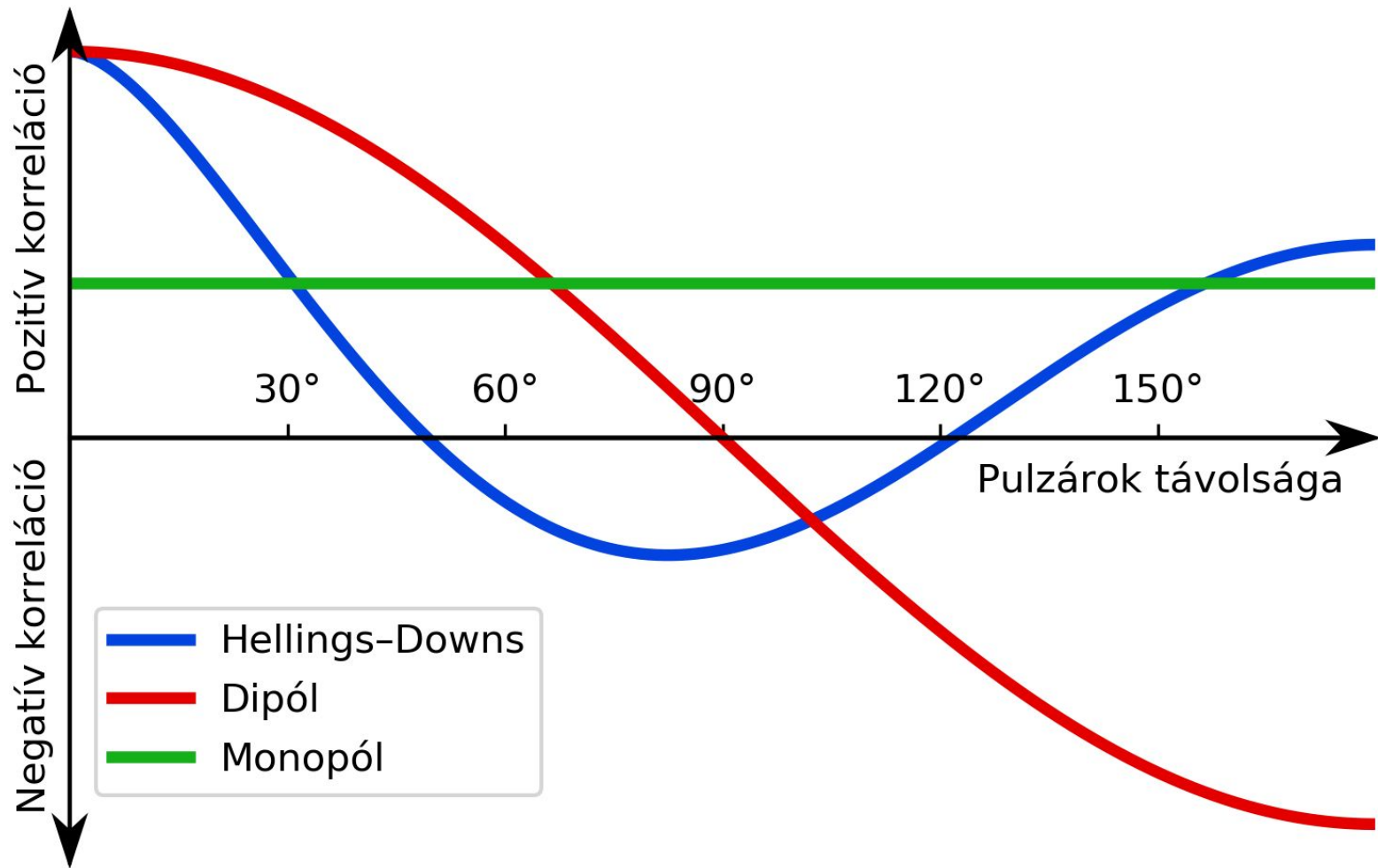
Magyarország 2 gyors
góllal fordít!!!!!!!

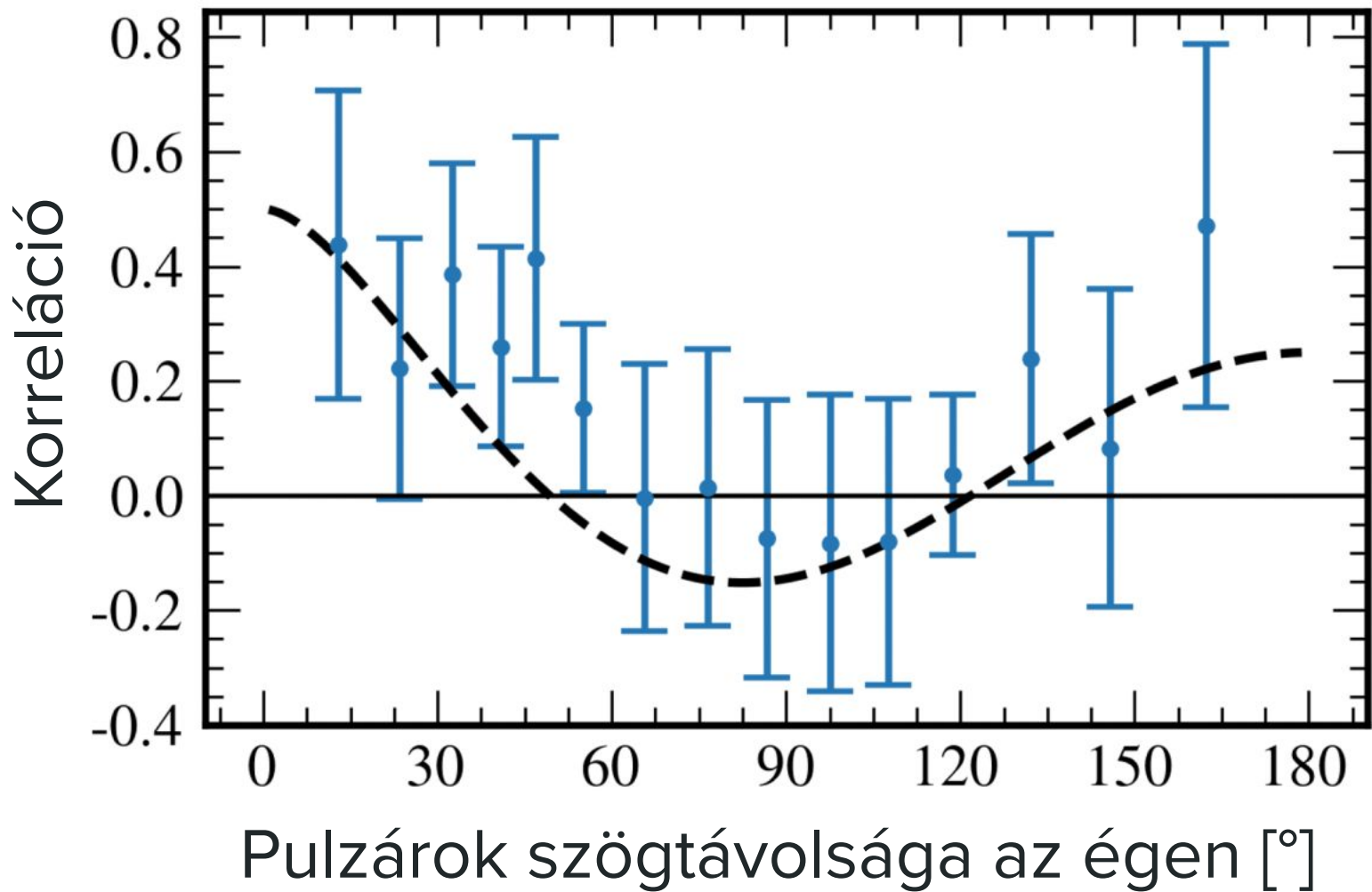




Negatív korreláció

Pozitív korreláció





Június 29-ei sajtó

The New York Times

nature

Content About

nature > news > arti

NEWS | 29 June 2023



A KARRÓL INTÉZETEK OKTATÁS KUTATÁS HÍREK

FŐOLDAL > ÚJABB KORSZAKALKOTÓ FELFEDEZÉS A GRAVITÁCIÓS HULLÁMOK TERÜLETÉN

Forbes

SCIENCE

Major New Discovery: Gravitational wave Background: It Could Be Caused By Supermassive Black Holes

Physicists

Astronomers detect gravitational waves for first time

Support us →

The Guardian
News website of the year

News Opinion Sport Culture Lifestyle



ÚJABB KORSZAKALKOTÓ FELFEDEZÉS A GRAVITÁCIÓS HULLÁMOK TERÜLETÉN

AZ ELTE KUTATÓINAK KÖZREMŰKÖDÉSÉVEL HOSSZÚ HULLÁMHOSSZÚ GRAVITÁCIÓS HULLÁMOK NYOMAIRA BUKKANTAK

2023.06.29.



Az ELTE asztrofizikusai is részt vettek abban a 15 éves nemzetközi kutatómunkában, amelyben nagy tömegű csillagok periodikusan felvillanó impulzusait megfigyelve észlelték, hogy a gravitációs hullámok egy jellegzetes mintázat alapján megnyíjják, valamint összenyomják a teret és az időt. A kutatás során óriási rádiótávcsövekkel figyelték az Univerzumot, így fény derülhet a távoli galaxisok közepén összeütöző hatalmas fekete lyukak működésére, sőt felfedezhetnek több alacsony frekvenciás gravitációs hullám-forrást is.

A LIGO (Lézer Interferométeres Gravitációs Hullám Obszervatórium) a korábbi években olyan gravitációs hullámokat detektált, amelyek egymás körül gyorsan keringő, kis tömegű fekete lyukakból vagy neutroncsillagok összeolvadásából származnak. Például olyan egymás körül keringő, naptömegű fekete lyukakat észlelt, amelyek néhány száz kilométerre keringenek egymástól és körülbelül másodpercenként százszor kerülnek meg egymást. Az általuk kibocsátott jel 100 Hz-es, amelynek nagyon rövid, néhány km vagy néhány 100 km a hullámhossza. Ezeket a rövid hullámhosszokat földi detektorai érzékelni lehet, így a LIGO 4 km hosszú karjai is „megéreztek” ezek rezgését. A NANOGrav projekt keretében azonban most teljesen másfajta technológiával érzékelték gigantikus méretű fekete lyukak összeolvadásokat.

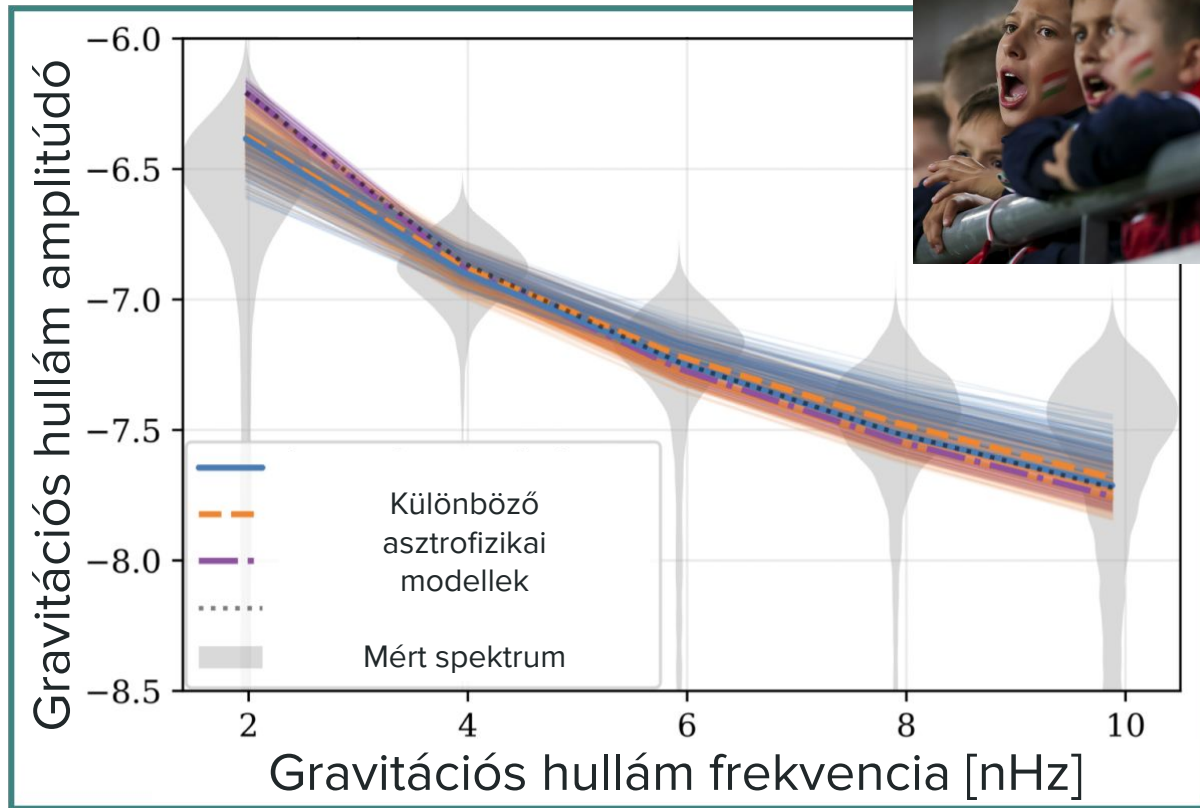
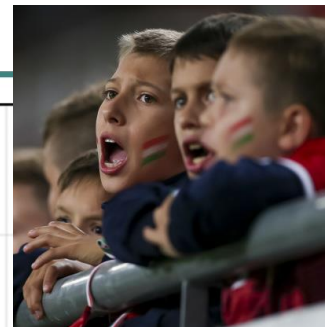
Spektrum



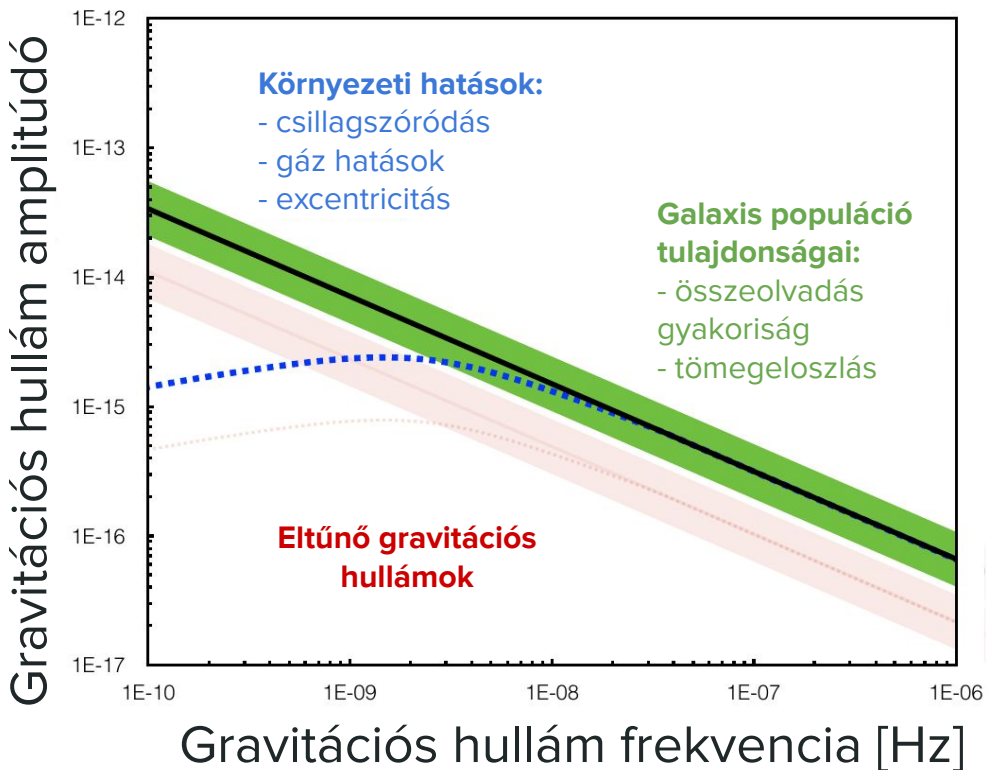
Fekete lyuk kettősök jól leírják a jelet, ha kissé

1. Gyakoribbak vagy
2. Nagyobbak

mint azt korábban gondoltuk.



Asztrofizikai információ a spektrumban



Feltéve, hogy a kettősök:

- Körpályán mozognak
- Egyedül gravitációs hullámok kibocsátása befolyásolja a pályájuk fejlődését

$$h_c \propto f^{-2/3}$$

Hogyan találják meg egymást a fekete lyukak?



Alternatív magyarázatok

Különféle lehetséges források:

Kozmológiai infláció

Skalármezők bomlása

Fázisátmenetek

Kozmikus húrok

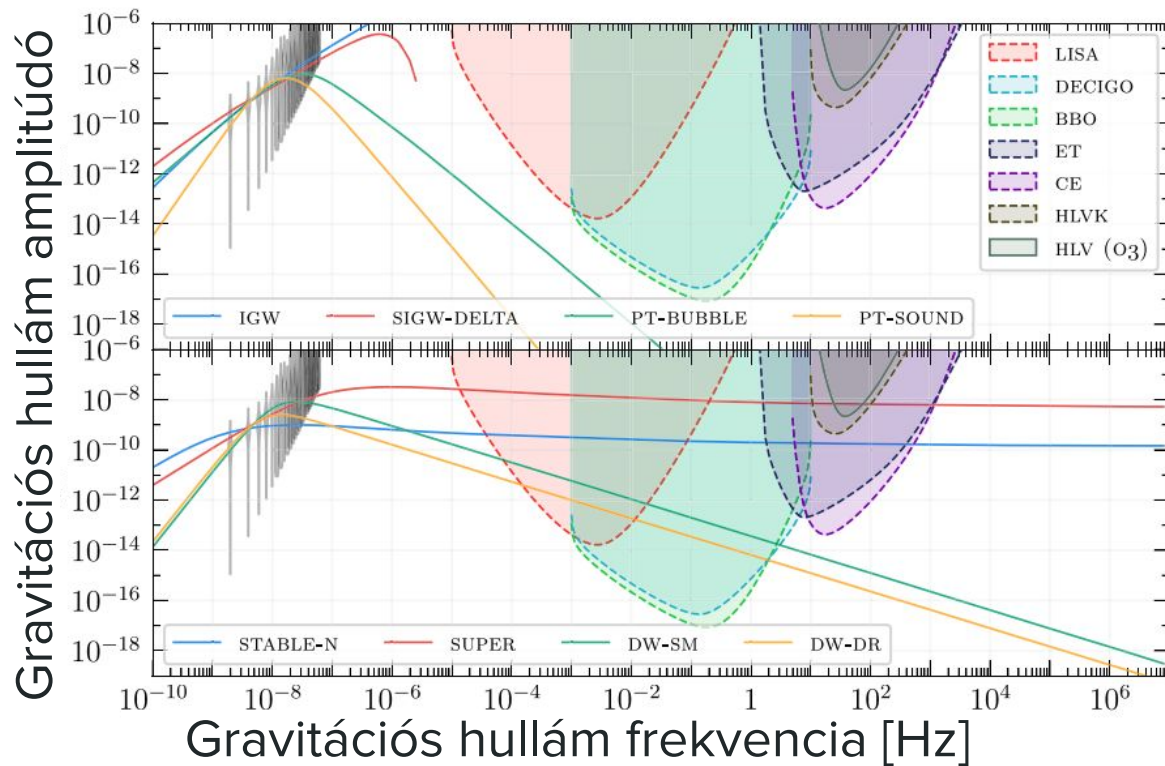
Domén falak

Ultrakönnyű sötét energia

Stb.

→ Sok jó leírását adja a jelnek

Több adat kell ezek megkülönböztetéséhez.



A spektrumon túl

Információt kapunk még abból, hogy:

1. Milyen a háttér égi eloszlása? (Anizotrópia)

Vizsgáltuk a NANOGrav adatokban:

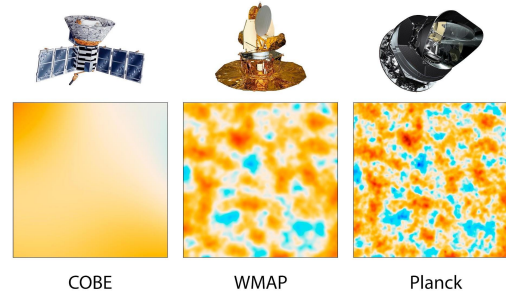
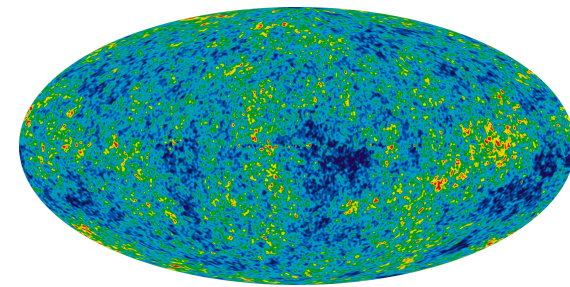
Egyelőre konzisztens egy izotróp háttérrel!

2. Látjuk-e a legfényesebb kettősöket?

Én módszereimmel és az én vezetésemmel vizsgáltuk a NANOGrav adatokban:

Egyelőre nem, de lehet, hogy korai jeleit látjuk egynek!

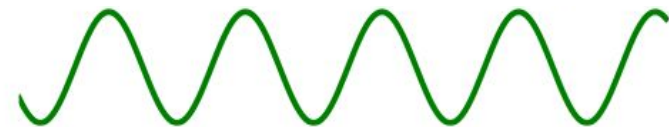
Gyenge a jel és nem egyértelmű, de pont olyan frekvencián van mint ahol várnánk és az európai kollaboráció is látja saját adataiban.



Sztochasztikus háttér



Egyedi feketelyuk-kettős



Jövőkép

Következő néhány év:

Készül a Nemzetközi Pulzár Időzítő Hálózat új adatsora (IPTA DR3) a meglévő adatok kombinációjából (>120 pulzár)

- pontosabb spektrum mérés
- esetleg anizotrópia vagy egyedi kettős

Következő 10-20 év:

- Hosszabb adatsor
- Több pulzár
- Jobb távcsövek



Jövőkép





Ábra: Olena Shmahalo