

# Neutroncsillagok anyaga



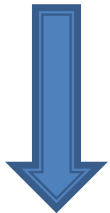
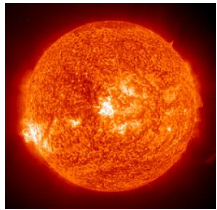
**Pósfay Péter**

ELTE, Wigner FK

Témavezetők: Jakovác Antal, Barnaföldi Gergely G.

# Neutroncsillagok keletkezése

A Naphoz hasonló  
tömegű csillagok

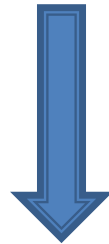
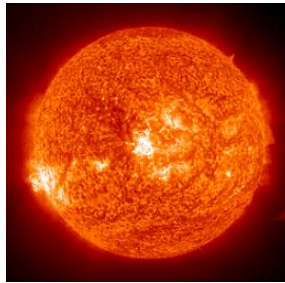


Vörös óriás



Fehér törpe

A Napnál 4–8-szor  
nagyobb tömegű csillagok

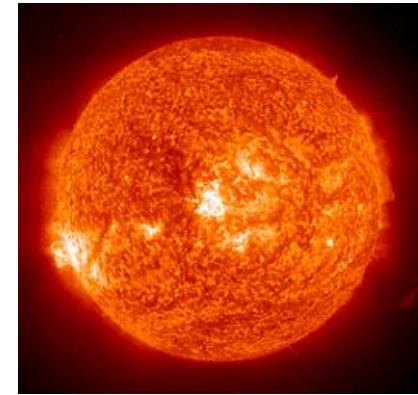


**Szupernóva robbanás**



**Neutroncsillag**

8 naptömegnél  
nagyobb csillagok



Fekete lyuk

# Neutroncsillagok tulajdonságai

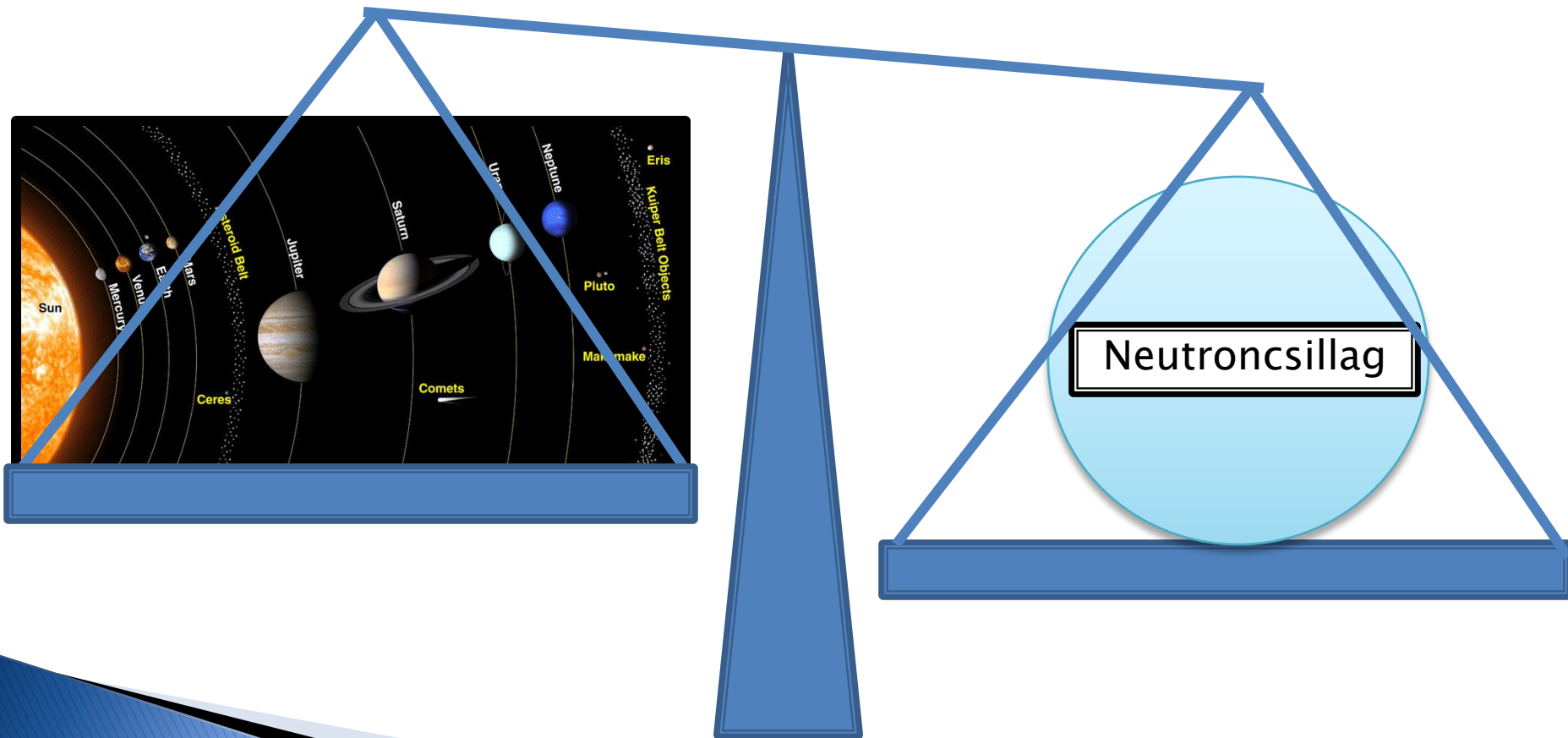
## ▶ Méret:

- Csillag viszonylatban kicsik
- Aszteroida méretűek: sugaruk kb. 10 km



# Neutroncsillagok tulajdonságai

- ▶ Tömeg: 1–2 Nap(rendszer)nek megfelelő tömeg



# Neutroncsillagok tulajdonságai

## ▶ Sűrűség:

(a víz sűrűségéhez képest)

$$\frac{1 \text{ Nap tömeg}}{10 \text{ km sugarú gömb térfogata}} \approx 10^{14} \approx \frac{56 \text{ proton tömege}}{\text{Vas atom térfogata}}$$

Neutron csillag sűrűsége

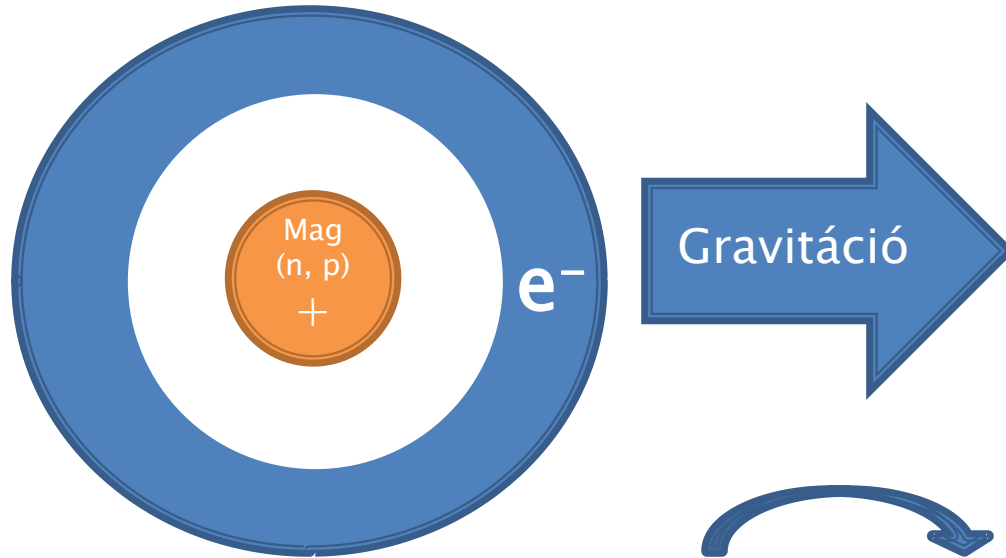
Vas atommag sűrűsége

A neutroncsillag egy nagy atommag!

Egy teáskanálnyinak megfelelő anyag a neutroncsillagból 900 Gízai piramisnak megfelelő tömegű.

# A nagy sűrűség titka

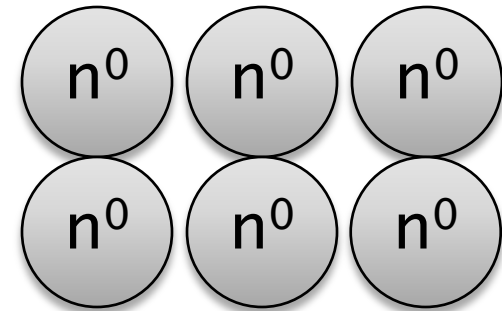
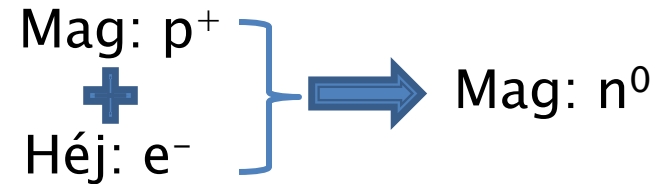
Atomok alaphelyzetben



A mag kicsi, míg az  $e^-$  felhő nagy!

A kvantummechanika nem engedi, hogy az elektron a magba kerüljön, a köztük lévő vonzás ellenére sem.

Nagy nyomású maganyag



**$10^{-15}$  szerez térfogat csökkenés**

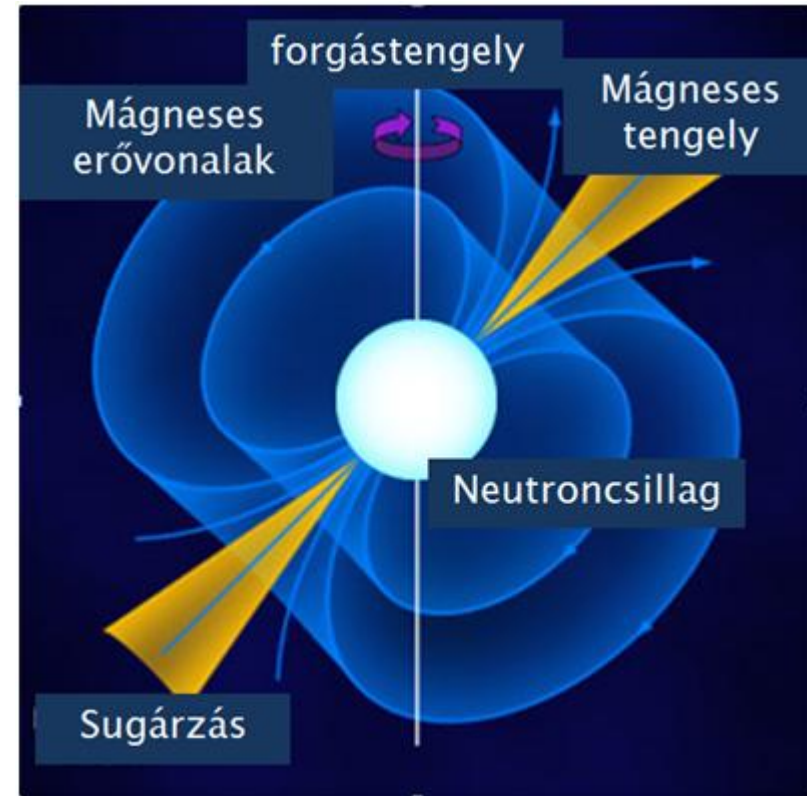
A csillag tömegének 90%-át neutronokból és protonokból álló nagy sűrűségű maganyag adja. A maganyag 95%-át neutronok adják, innen az elnevezés.

# Neutroncsillagok tulajdonságai

- ▶ Kozmikus világítótorony

mágneses tengely  $\neq$  forgástengely

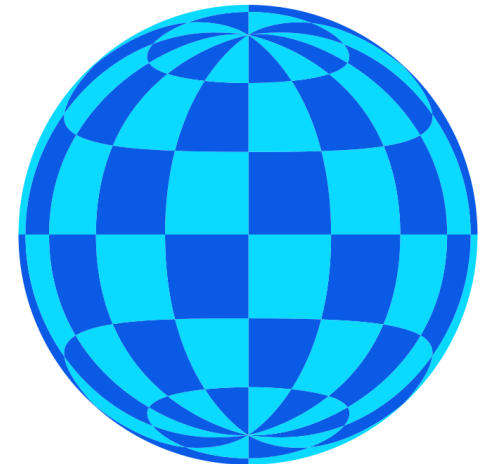
- ▶ Az első pulzárt 50 éve, 1967-ben fedezte fel Jocelyn Bell Burnell és Antony Hewish
  - A kibocsájtott jel olyan szabályos volt, hogy először földönkívüli rádióadásnak vélték
- ▶ Forgási periódus:  
1/1000 s – 10 s



# Neutroncsillagok és az általános relativitáselmélet

- ▶ A nagy sűrűség és tömeg miatt a neutroncsillag leírásához szükség van az általános relativitáselméletre
- ▶ **A Schwarzschild-sugár:** Ha az égitest sugara kisebb, mint a tömegéhez rendelt  $R=2GM/c^2$  sugár, akkor feketelyukká válik.
- ▶ A neutroncsillagok nagyon közel vannak ehhez, majdnem feketelyukak. A szökési sebesség a felszínen a fénysebesség kb. 40 %-a.

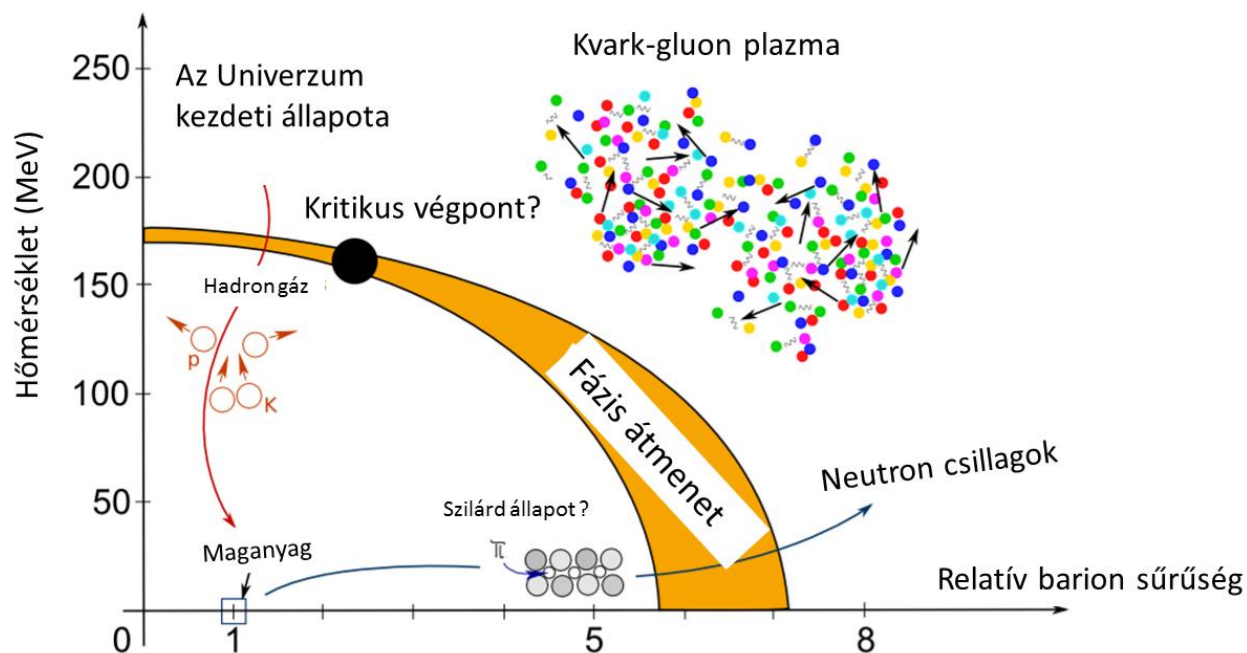
Égitest	Schwarzschild – sugár/Sugár
Föld	$10^{-12}$
Nap	$10^{-6}$
neutroncsillag	0.3–0.6
Feketelyuk	1



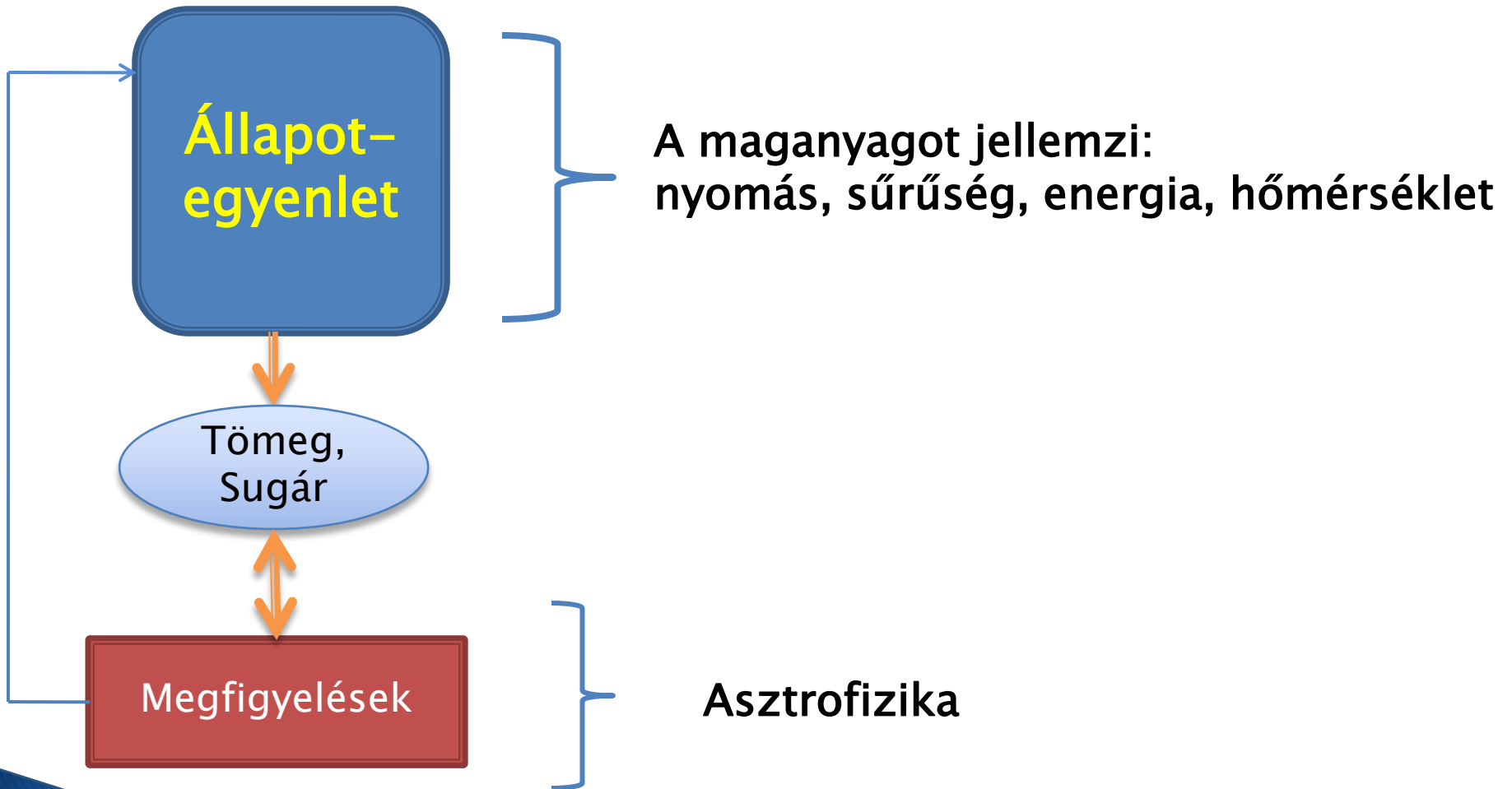


# Neutroncsillagok és a magfizika

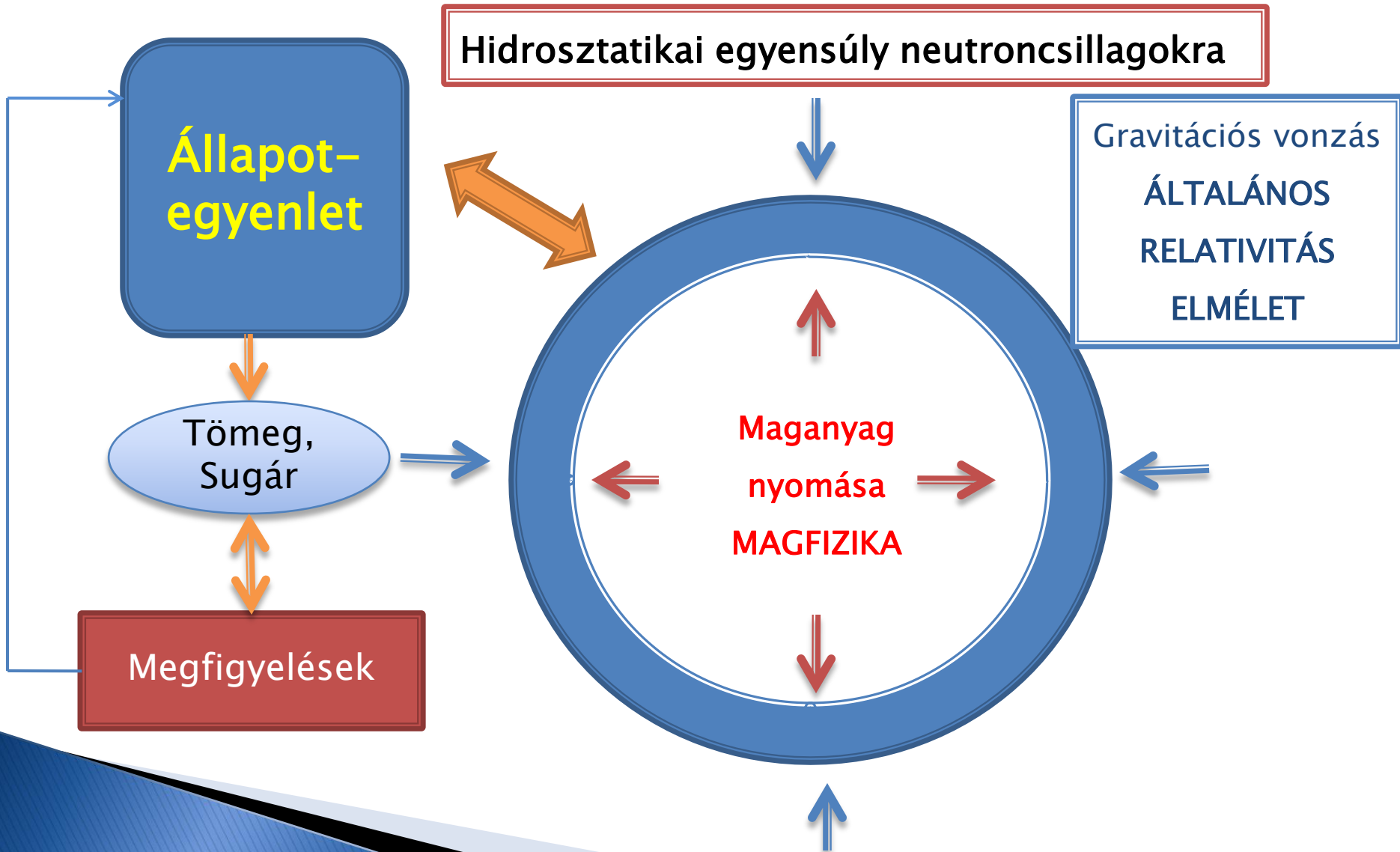
- ▶ A neutroncsillagok sűrűsége az atommagéval vetekszik, ezért várhatóan a leírásához magfizikai modellekre van szükség.
- ▶ A neutroncsillagokban olyan állapotban van jelen az anyag (**nagy sűrűség, kis hőmérséklet**), ami a Földön nincs jelen, és még részecskegyorsítókkal sem állítható elő.
- ▶ A neutroncsillagok ezért a magfizika égi laboratóriumaiként szolgálnak.



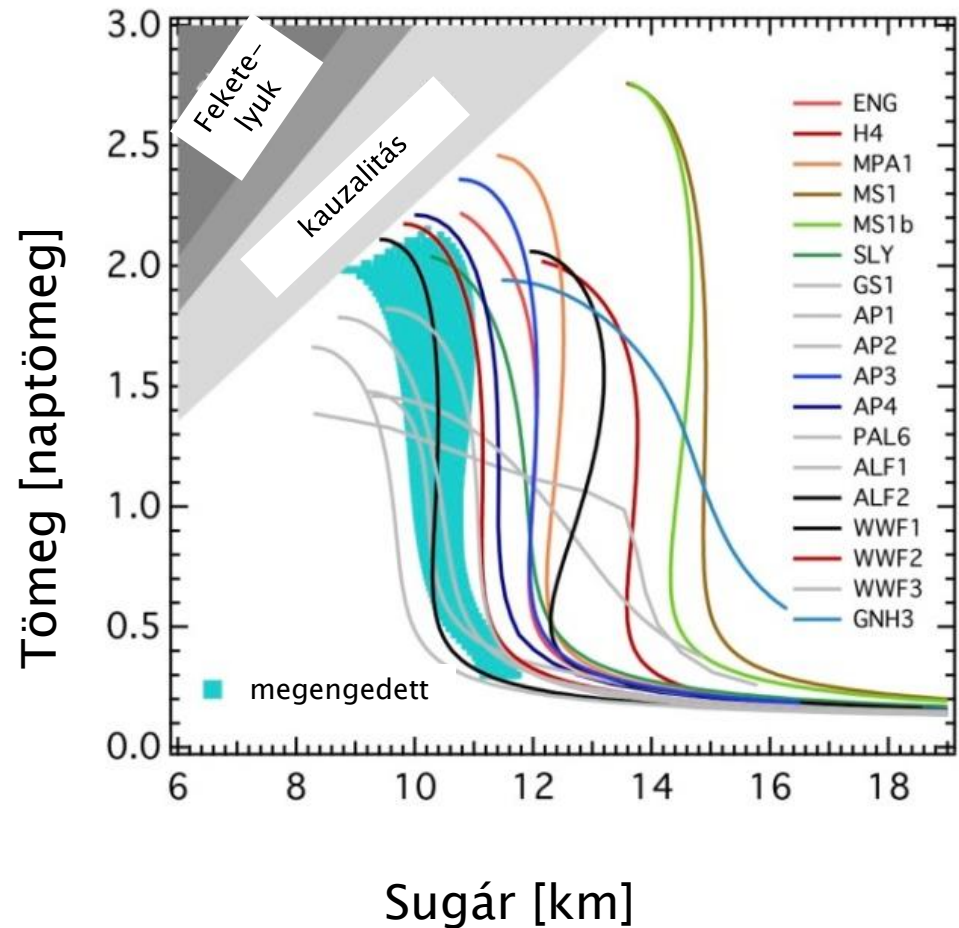
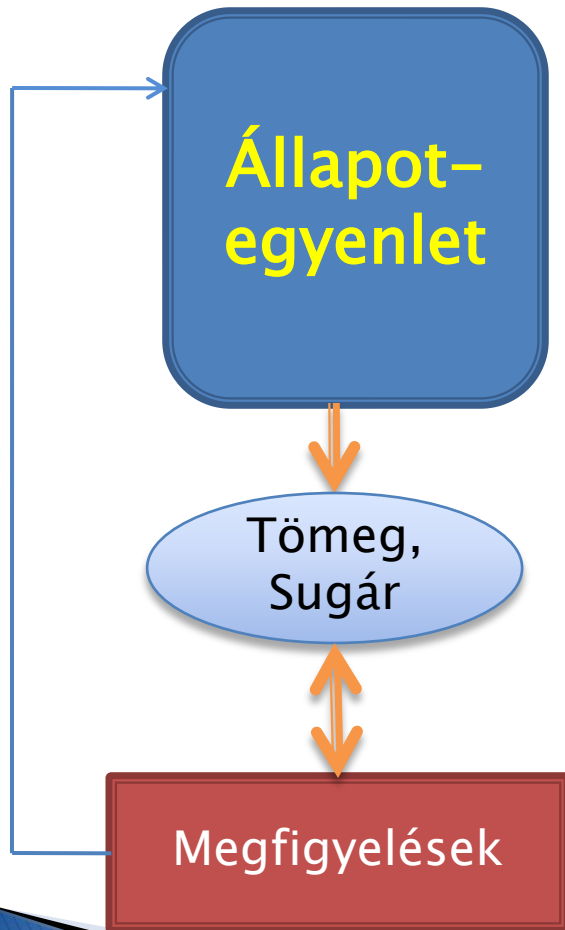
# Hogyan következtethetünk magfizikából a neutroncsillagok tulajdonságaira?



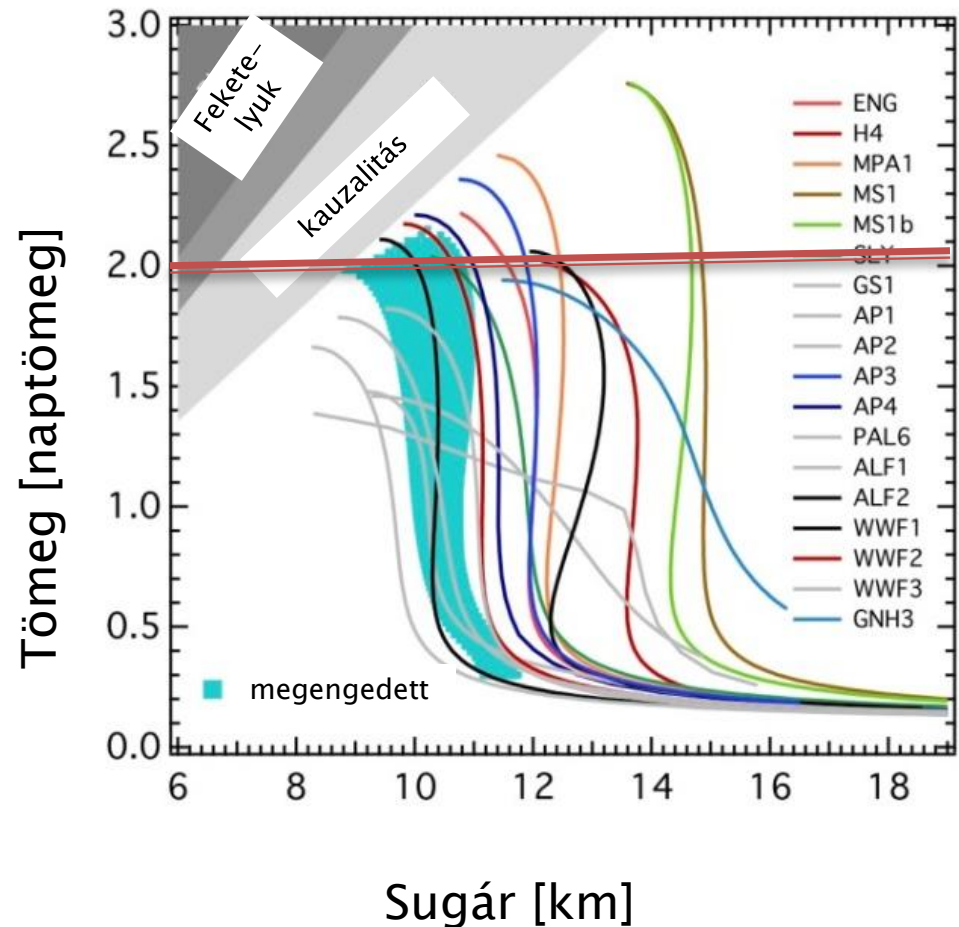
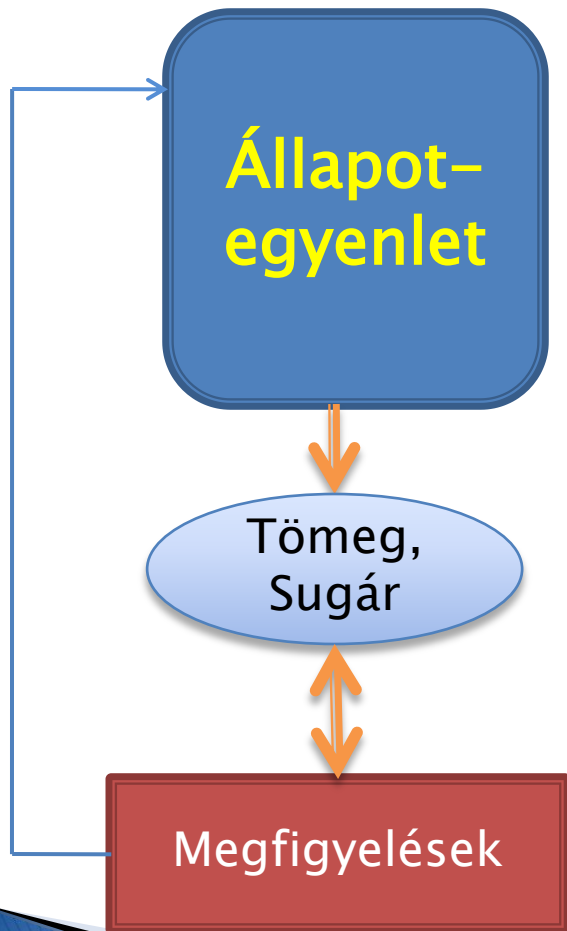
# Hogyan következtethetünk magfizikából a neutroncsillagok tulajdonságaira?



# Hogyan következtethetünk magfizikából a neutroncsillagok tulajdonságaira?

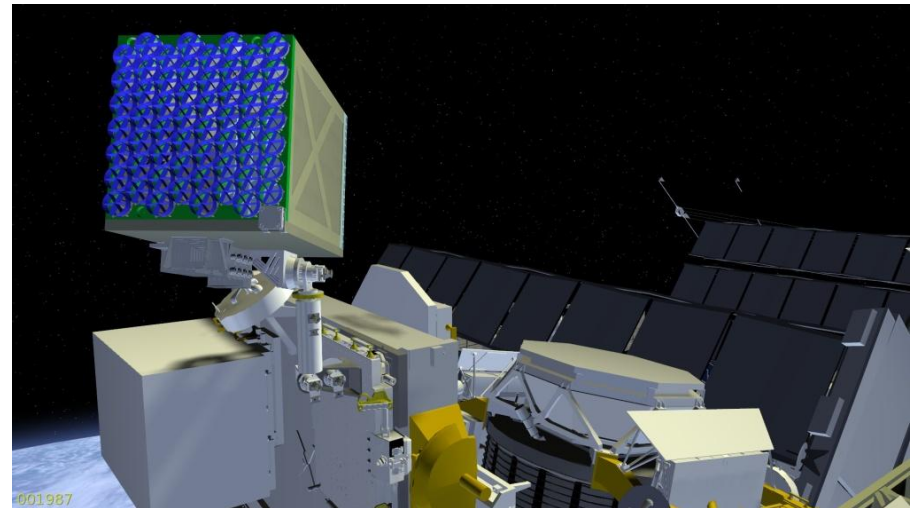


# Hogyan következtethetünk magfizikából a neutroncsillagok tulajdonságaira?



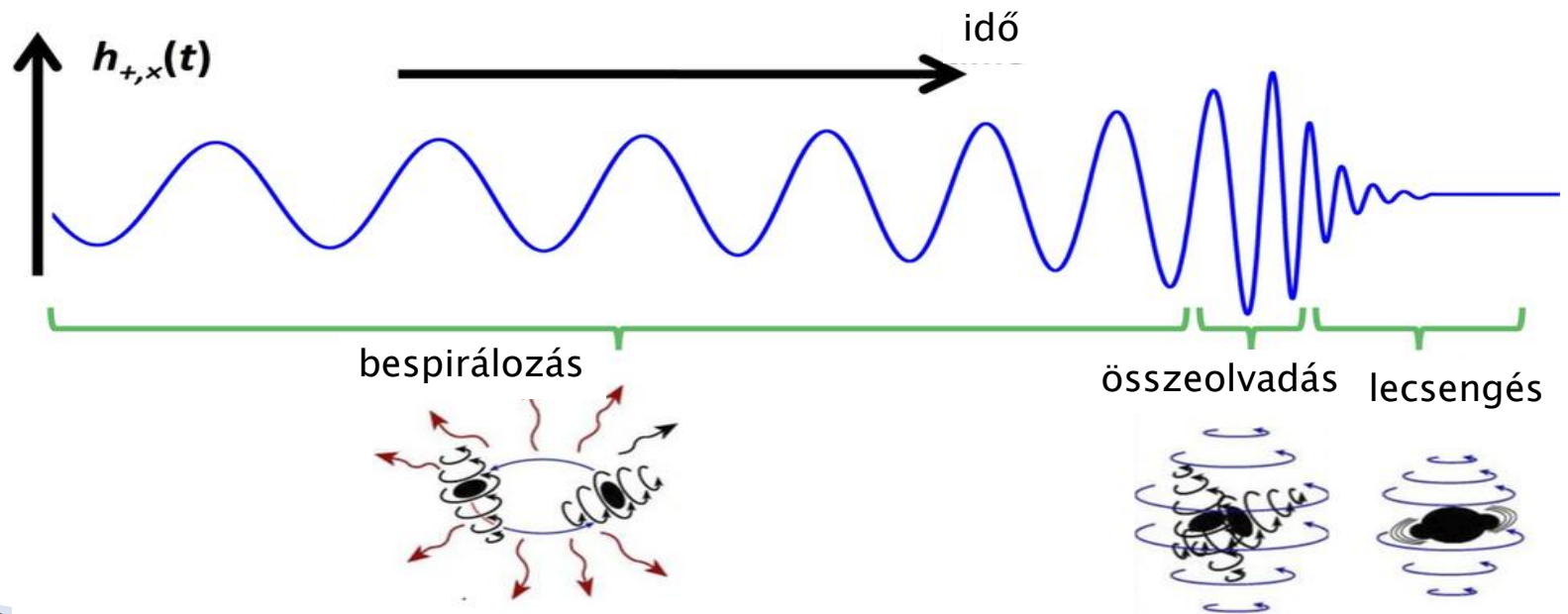
# Pontosabb adatok

- ▶ 2017-ben a Nemzetközi Űrállomásra telepített **NICER** kísérlet célja a neutroncsillagokra vonatkozó nagy precizitású mérések elvégzése.
- ▶ Becslések szerint 5–10%-os hibával képes lesz a neutroncsillagok sugarát meghatározni, ami jelentős fejlődés a jelenlegi módszerekhez képest.



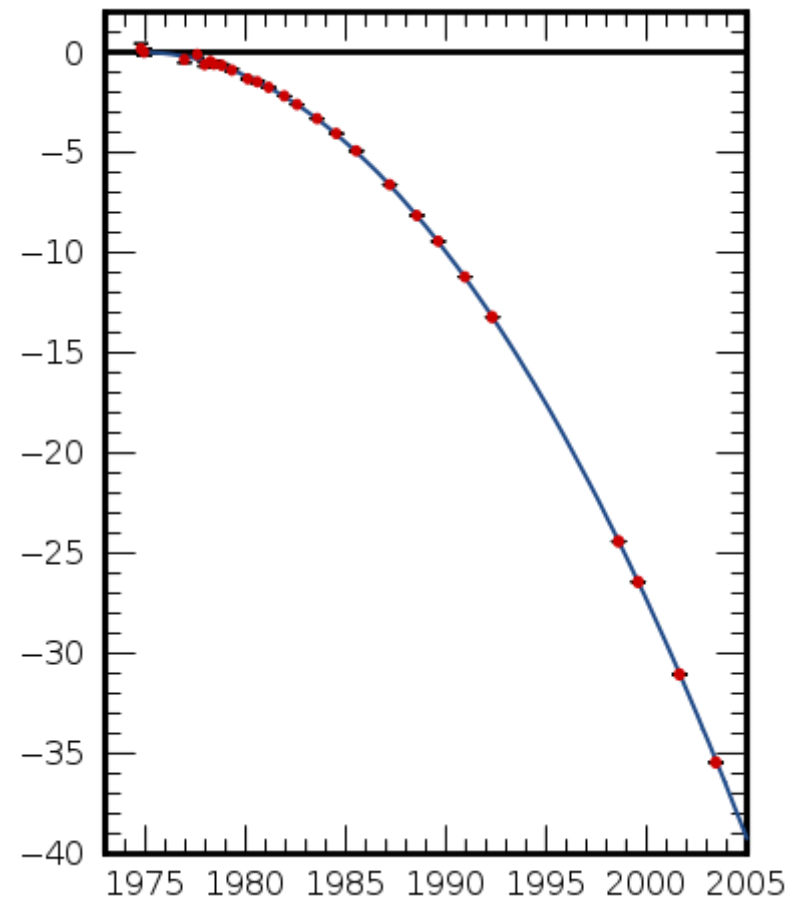
# Neutroncsillagok és gravitációs hullámok

- ▶ A jóslatok szerint a **bespiráló neutroncsillag kettősök** leggyakoribb gravitációshullám-források közt vannak.
  - A két egymás körül keringő égitest energiát veszít gravitációs hullám kibocsájtása által. Egyre közelebb kerülnek egymáshoz, míg végül összeolvadnak. Összeolvadás közben bocsájtják ki a legnagyobb energiájú hullámokat.



# Közvetett bizonyítékok gravitációs hullámokra

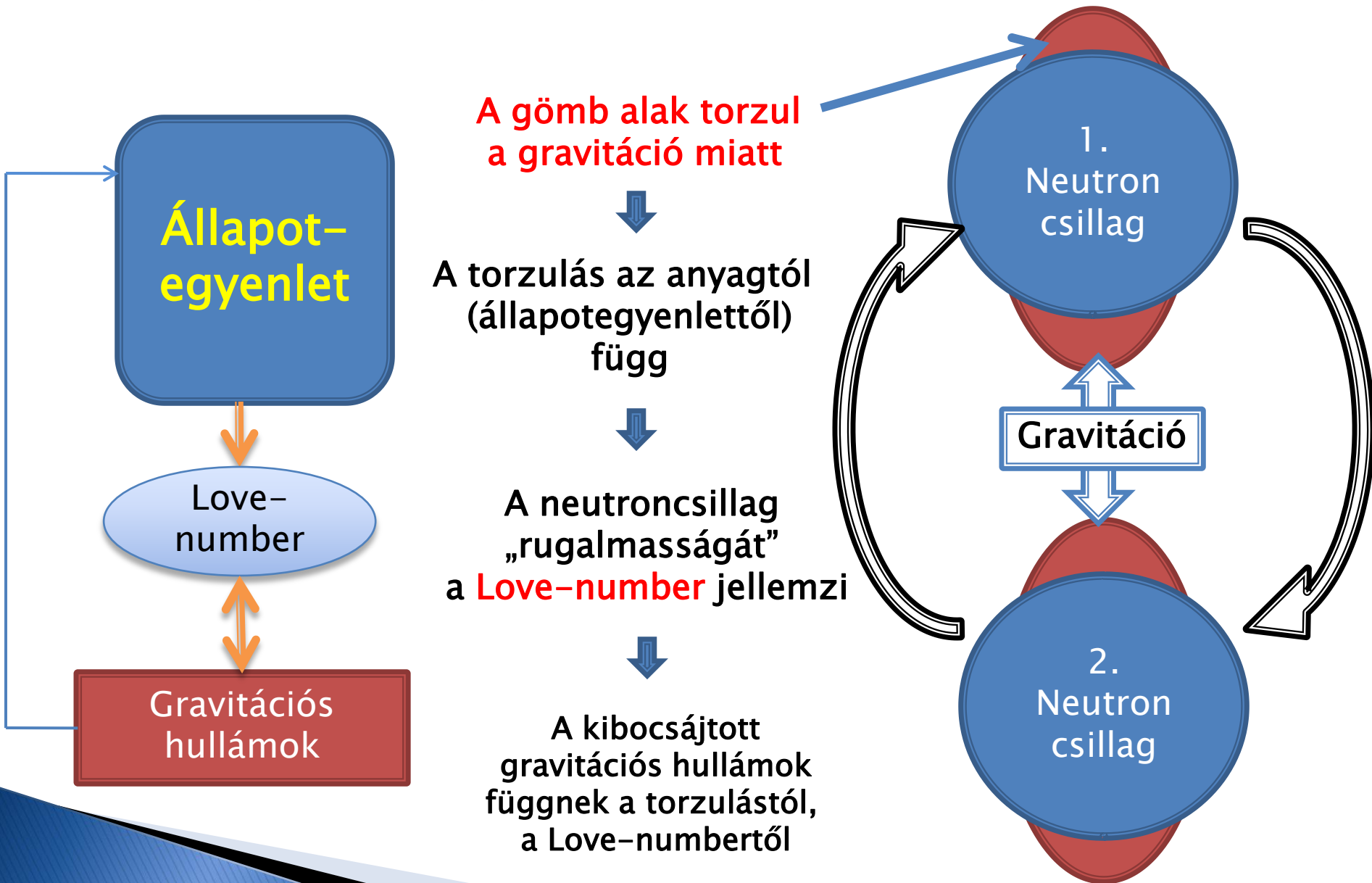
- ▶ Eddig 4 gravitációs hullámot detektáltak, de egyik sem származik neutroncsillagoktól
- ▶ Taylor–Hulse pulzár:
  - A keringési idő változik a gravitáció hullámok kibocsájtása miatt



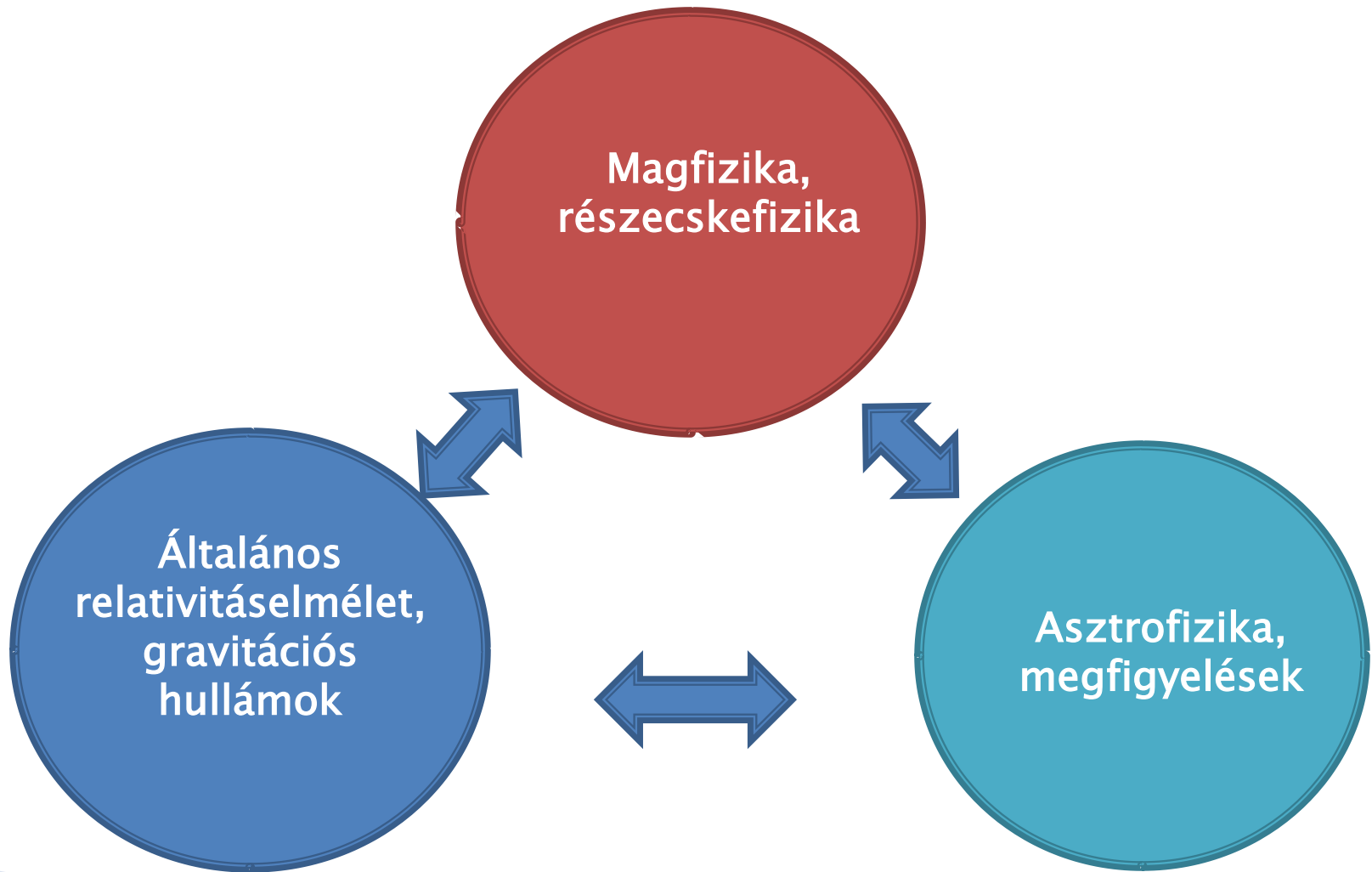
A Taylor–Hulse  
neutroncsillag kettős  
pályájának degradációja



# Magfizika gravitációs hullámokkal?



# Neutroncsillagok mint határterület



# Összefoglalás

- ▶ A neutroncsillagok vizsgálata 3 tudomány határterülete
  - Magfizika
  - Relativitáselmélet
  - Nagyenergiás asztrofizika
- ▶ A **gravitációs hullámok** felfedezésének, és egyre pontosabb **megfigyelési** eszközök fejlesztésének köszönhetően dinamikus fejlődő terület

# Köszönöm a figyelmet!

## *Köszönetkinyilvánítás:*

A szerzők köszönetüket szeretnék kifejezni az NKFIH OTKA K120660, K104292, K104260 pályázatoknak, valamint az MTA NKM-81/2016 MTA-UA bilaterál mobilitási programnak. BGG és PP köszönettel tartozik a NewCompStar (MP1304) és THOR (CA15213) COST akciópályázatok nyújtotta támogatásért.

Ábrák forrásai :

<https://apatruno.wordpress.com/neutron-stars/>

[http://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/archive/EducationResource/Universe/framed\\_e/lecture/ch16/ch16.html](http://www.lcsd.gov.hk/CE/Museum/Space/archive/EducationResource/Universe/framed_e/lecture/ch16/ch16.html)

[https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/23oct\\_superstorm](https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2003/23oct_superstorm)

<https://www.universetoday.com/65353/what-is-the-coldest-planet-of-our-solar-system/>