

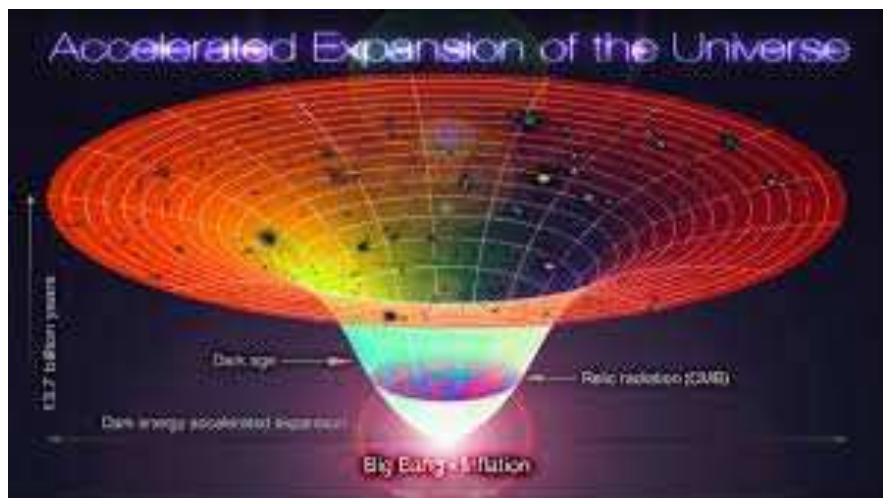
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



# Gravitáció és kozmológia

**GERGELY Árpád László**

*Szegedi Tudományegyetem*



*MAFIHE Tea ház*

2015. április 1. Szeged



# Gravitáció: a 4 kölcsönhatás egyike

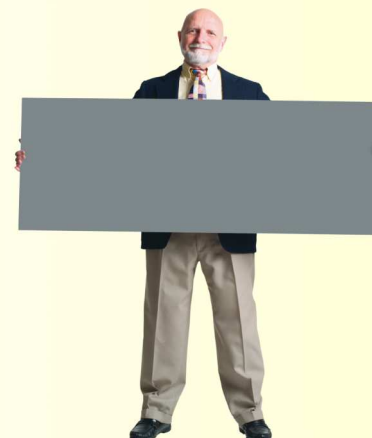
1. Erős kölcsönhatás (magerők)
2. Elektromágnesesség
3. Gyenge kölcsönhatás (radioaktív bomlások)

egyre gyengébb

Kvantált kölcsönhatások

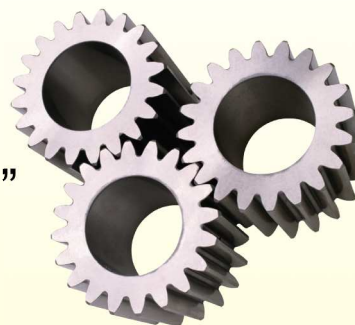


sík téridőben



4. Gravitáció

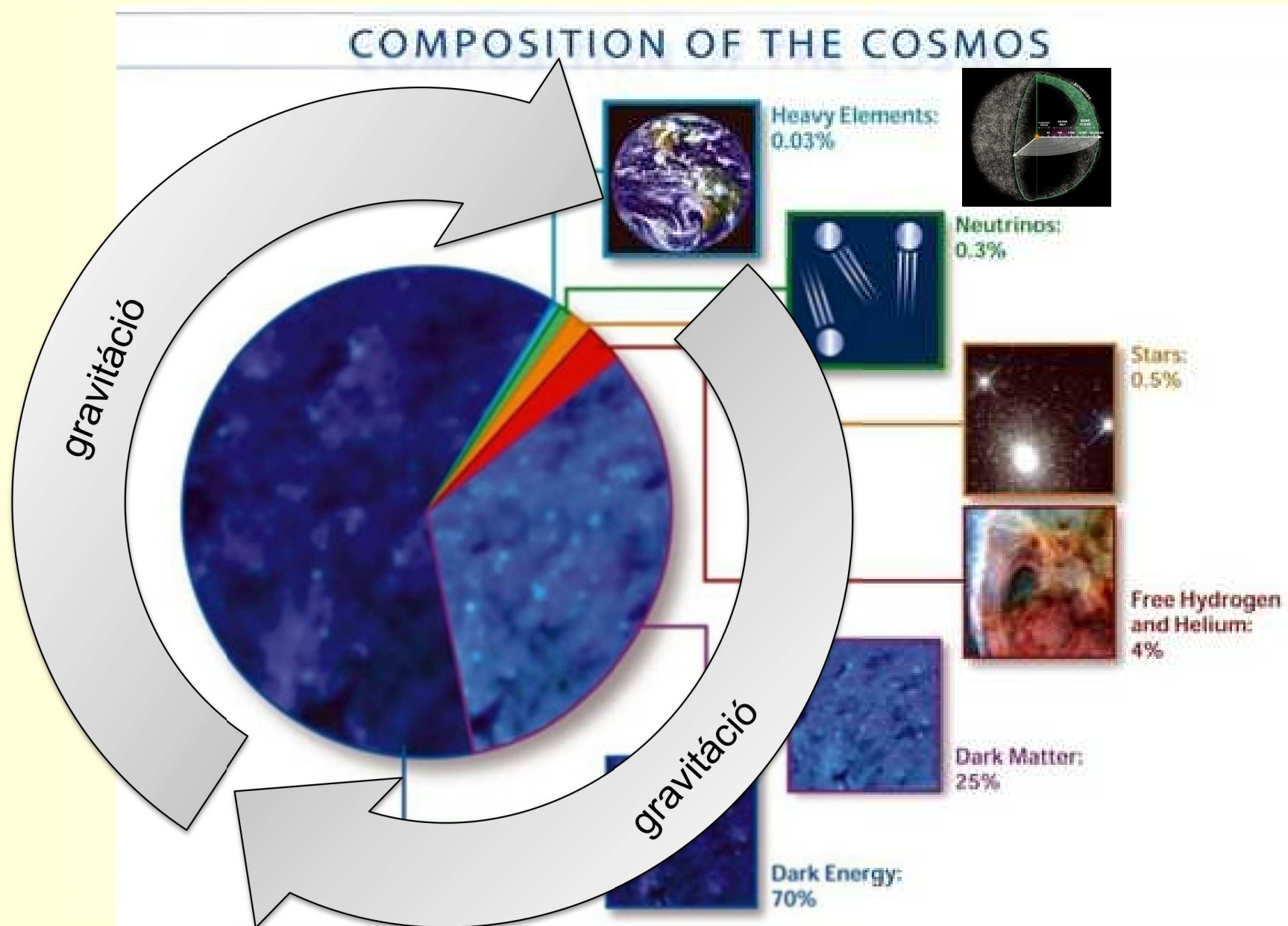
Klasszikus „kölcsönhatás”



görbült téridőn

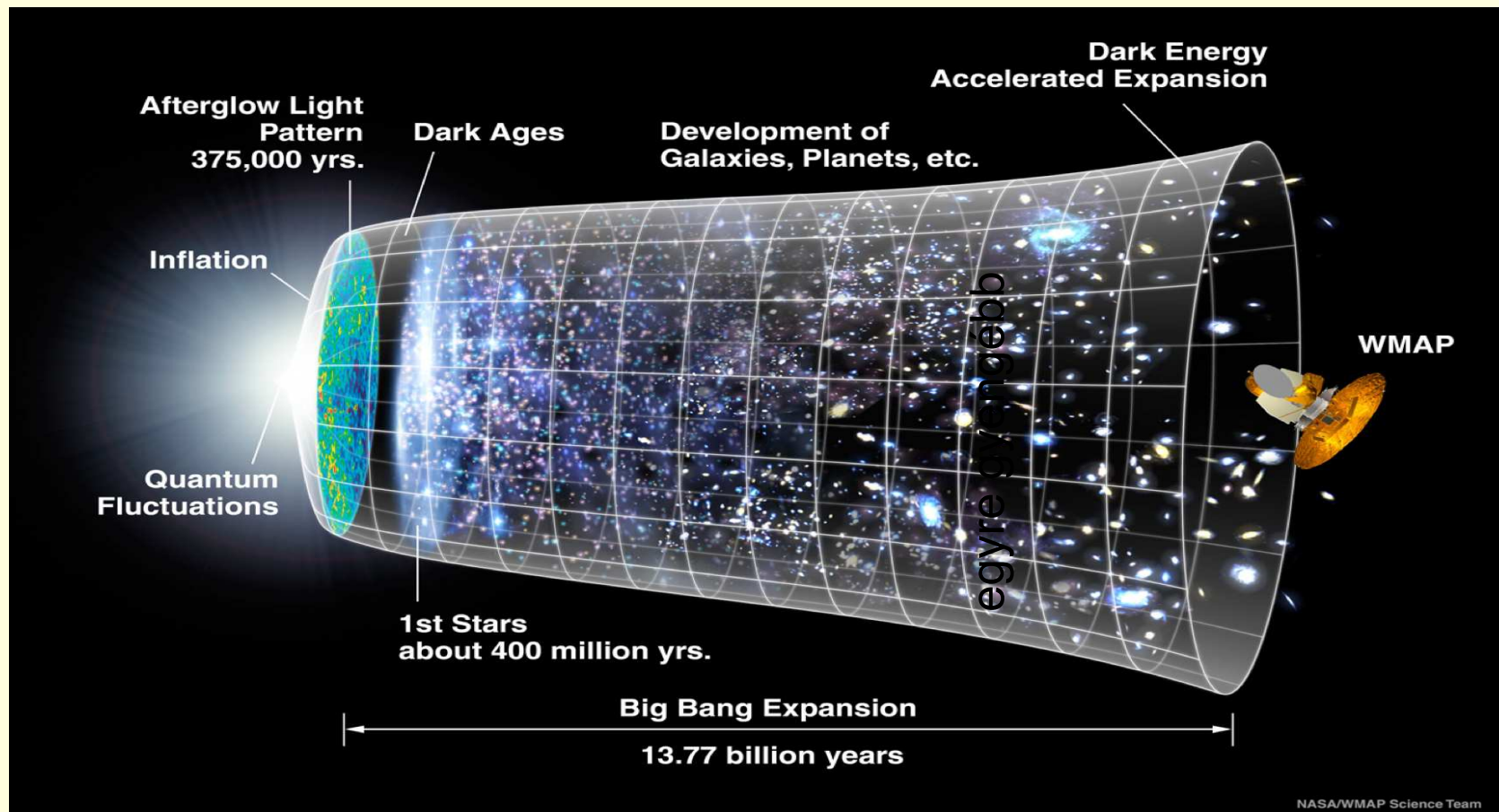


# A Világegyetem összetétele





# Távolság- és időskálák az Univerzumban



gravitáció





# Research Group in Gravitation, University of Szeged, Hungary



## **László Árpád GERGELY**

*Associate Professor, Head of the Group*  
Cosmology & dark energy models; black holes;  
gravitational waves & compact binaries;  
accretion, jets & X-shaped radio galaxies;  
gravitational lensing; alternative gravity;  
brane-worlds; general relativity; quantization

*Present group members :*



## **Zoltán KERESZTES**

*Magyary & OTKA Postdoctoral Fellow*  
Cosmology & dark energy models;  
gravitational waves & compact binaries;  
brane-worlds & alternative gravity  
gravitational lensing  
[inSPIRE publication data](#)



## **Krisztina Éva GABÁNYI**

*Magyary Postdoctoral Fellow*  
Active Galactic Nuclei  
radio astronomy & interferometry;  
black hole jet structure  
[inSPIRE publication data](#)



## **Zsolt HORVÁTH** *TÁMOP Postdoctoral Fellow*

Gravitational lensing in  
alternative gravity;  
black holes; dark energy  
[inSPIRE publication data](#)



## **Marek DWORNIK**

*Jedlik Predoctoral Fellow*  
Dark matter alternatives;  
galaxy structure;  
[inSPIRE publication data](#)



## **Márton TÁPAI**

*PhD Fellow*  
Gravitational waveforms;  
LIGO Scientific Collaboration  
[inSPIRE publication data](#)



## **Emma KUN**

*PhD Fellow*  
Spinning supermassive black  
hole binary signatures in jets  
[inSPIRE publication data](#)

*Present undergraduate student : Zsolt GYÖNGYÖSI*

*Past group members :*



## **Zoltán KOVÁCS**

*Postdoctoral Fellow*  
Geometrodynamics; brane-worlds;  
accretion & black hole perturbations  
[inSPIRE publication data](#)



## **Balázs MIKÓCZI**

*PhD Fellow*  
Compact binary dynamics  
& gravitational wave phase  
[inSPIRE publication data](#)



## **Gülçin BERKÖZ ULUYAZI**

*Long Term Visitor*  
Brane-worlds  
[inSPIRE publication data](#)

*Past undergraduate students : András MIHÁLY, Botond NAGY, Barbara DARÁZS, László VERÉB*



# Mit jelent a csoportunkban dolgozni?

## Követelmények:

- Angol tudás (szakcikkek, könyvrészletek önálló olvasására)
- Jó számolási készség
- Programozási tapasztalat (C, Python, Maple)
- „Dolgozni csak pontosan, szépen, ahogy a csillag megy az égen, úgy érdemes”

## Kutatások, amelyekbe be lehet kapcsolódni:

- Az általános relativitáselmélet és annak skalármezőkkel bővített módosításai: elméleti, matematikai jellegű vizsgálatok
- Kozmológiai perturbációszámítás, struktúraképződés
- Fekete lyukakkal kapcsolatos kutatások: akkréció, magnetoszféra, jet-ek, gravitációs lencsézés, kettős rendszerek
- Gravitációs hullámok erős gravitációs háttéren
- LIGO Tudományos Kollaboráció keretén belül végezhető programozási, adatfeldolgozási munkák
- A gravitáció hamiltoni tárgyalása, kvantálási kísérletei

## Mit jelent a csoportunkban dolgozni? (folyt.)

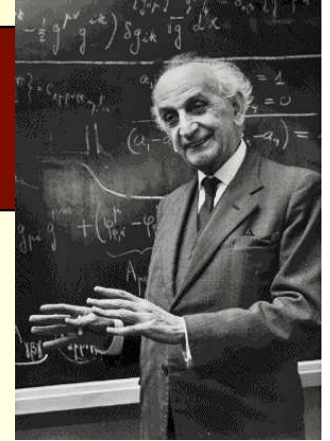
Legutóbbi hallgatói munkák a csoportunkban:

- Spines gravitációs hullámformák programozása és összehasonlítása szuperszámítógépen (Tápai Márton, Veréb László, Tarjányi Tamás)
- A téridő egy új fajta  $2+1+1$  dimenziós felbontásának kidolgozása (Gyöngyösi Zsolt)
- Sötét anyag modellek összevetése galaktikus megfigyelésekkel (Dwornik Marek)
- Téridőtartományok illesztése tenzor-skalár gravitációelméletekben (Racskó Bence)
- Fekete lyukak jet-jeivel kapcsolatos adatok feldolgozása (Kun Emma)
- Gravitációs lencsézés (Horváth Zsolt)

Kinek érdemes bekapcsolódni:

- Aki szeretne eljutni olyan szintre, hogy kutatásait rangos nemzetközi folyóiratban publikálja
- Aki PhD megszerzésében gondolkodik
- Aki szeret nemzetközi kollaborációban dolgozni (akár kislétszámú, akár nagylétszámú kollaborációban részt lehet venni)
- Akit lenyűgöz az Univerzum működése és szeretné jobban érteni

# Ízelítő a formalizmusból: Lánczos Kornél 2 fontos általános relativitáselméleti eredménye



## Különböző téridő tartományok illesztése: A Lanczos-egyenlet

- Megadja a határfelületen található forrás (energia-impulzus tenzor) és a (külső) görbület diszkontinuitása közötti kapcsolatot

$$\Delta K_{ab} = -\epsilon \tilde{\kappa}^2 \left( \tau_{ab} - \frac{1}{d-1} g_{ab} \tau \right)$$

elektromágneses analógia: elektromos térerősség, ill. mágneses indukció megfelelő komponenseinek diszkontinuitása töltött vagy áramátjárta felületeken

## A távoli testek gravitációs hatása: A Lanczos-potenciál

- Lokálisan az Einstein egyenlet a görbület ún. Ricci részét határozza meg
- A görbület fennmaradó, ún. Weyl részét a távoli tömegek határozzák meg (peremértékként)

Weyl-tenzor pl. a gravitációs sugárzás, a Nap hatása a Földre, stb.

- Lánczos észrevette, hogy a Weyl tenzor előállítható egy potenciálból

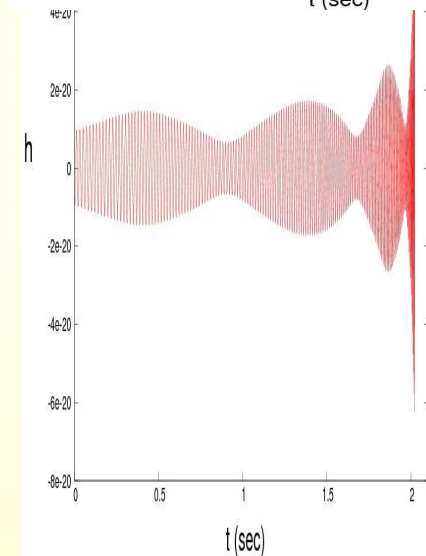
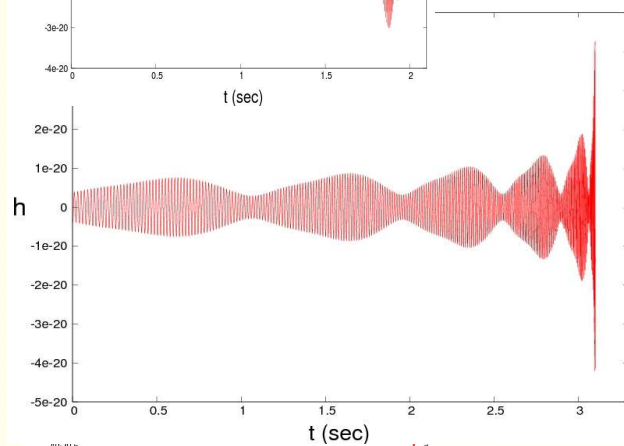
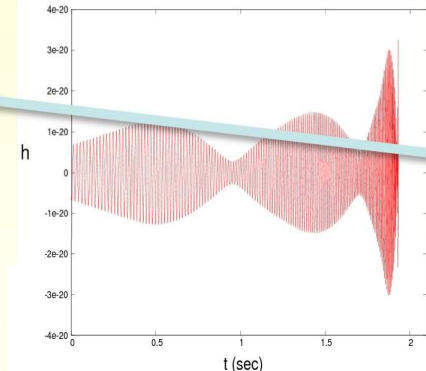
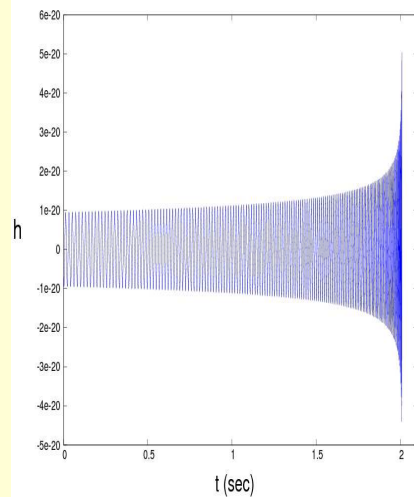
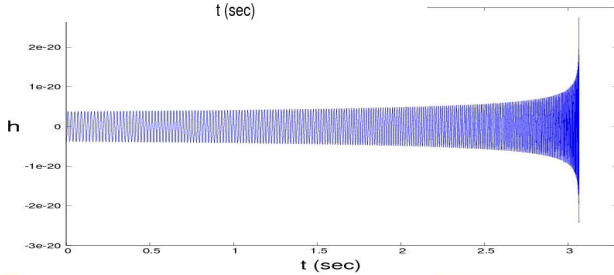
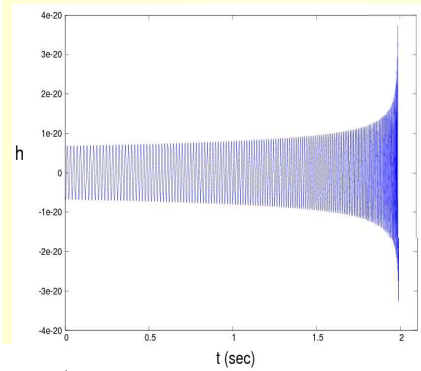
$$C_{abcd} = H_{abc;d} + H_{cda;b} + H_{bad;c} + H_{dcb;a} + (H^e_{(ac);e} + H_{(a|e|}^e{}_{;c)})g_{bd} + \\ + (H^e_{(bd);e} + H_{(b|e|}^e{}_{;d)})g_{ac} - (H^e_{(ad);e} + H_{(a|e|}^e{}_{;d)})g_{bc} - (H^e_{(bc);e} + H_{(b|e|}^e{}_{;c)})g_{ad} - \frac{2}{3}H^{ef}{}_{f;e}(g_{ac}g_{bd} - g_{ad}g_{bc})$$

a Lanczos-potenciál:

- az elektromágneses 4-es potenciál megfelelője
- forrásos hullámegyenlet vonatkozik rá (vákuumban forrásmentes!!  $\square H_{abc} = 0$ )

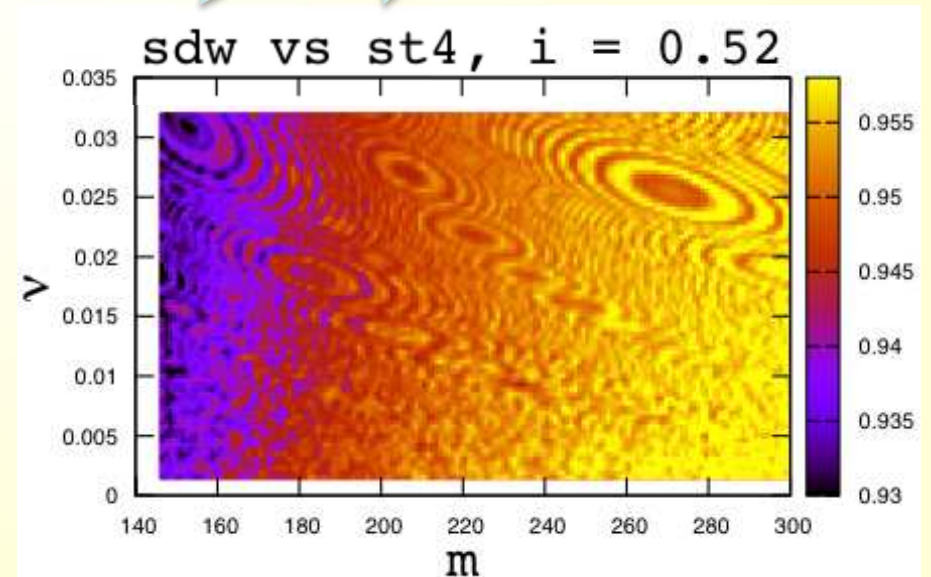


# Ízelítő a LIGO Tudományos kollaborációban végzett munkából



Különböző  
gravitációs  
hullámformák

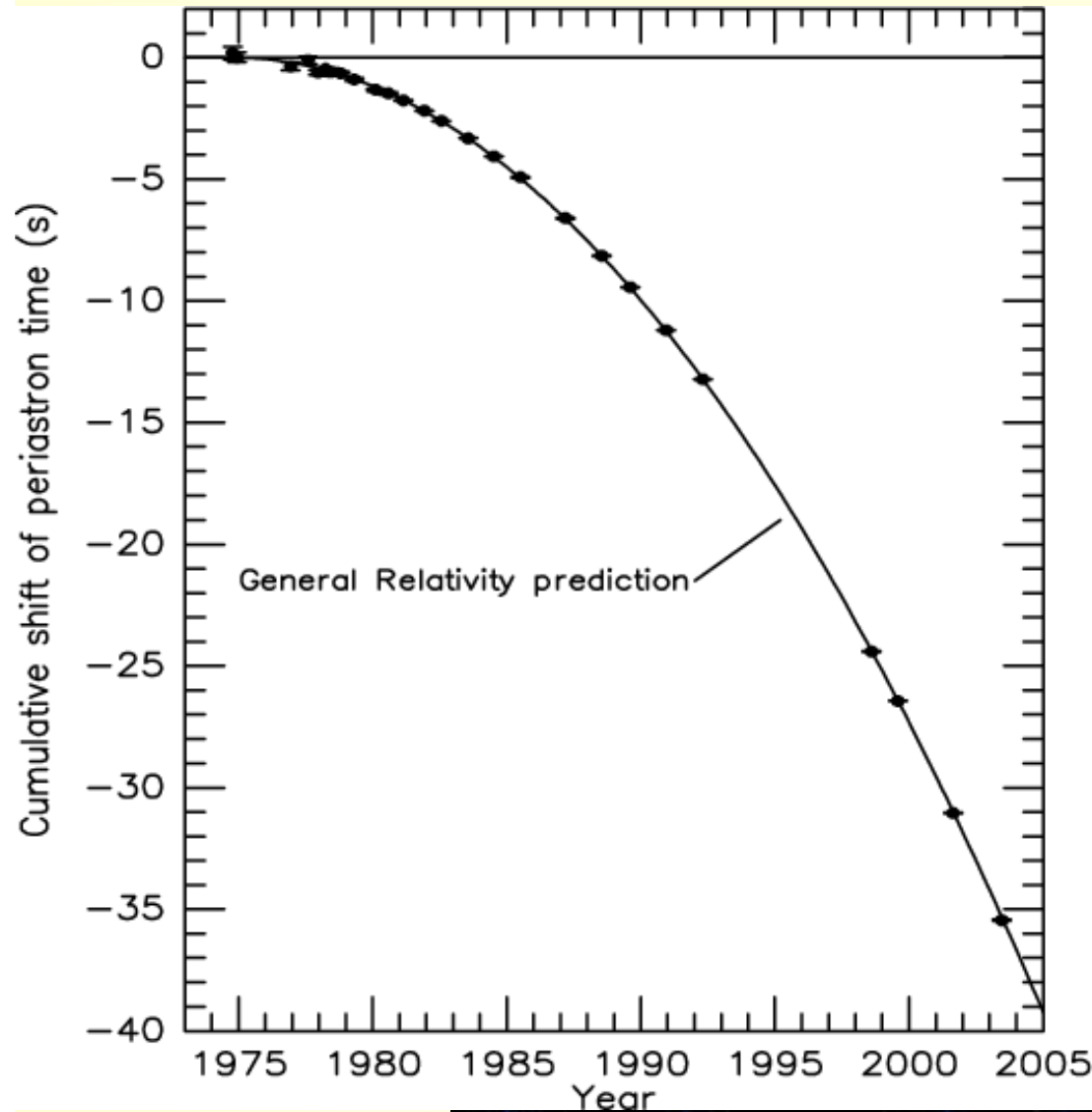
összehasonlítása  
„matched filtering”  
technikával



Rövidtávú cél:  
a gravitációs hullámok első közvetlen észlelése

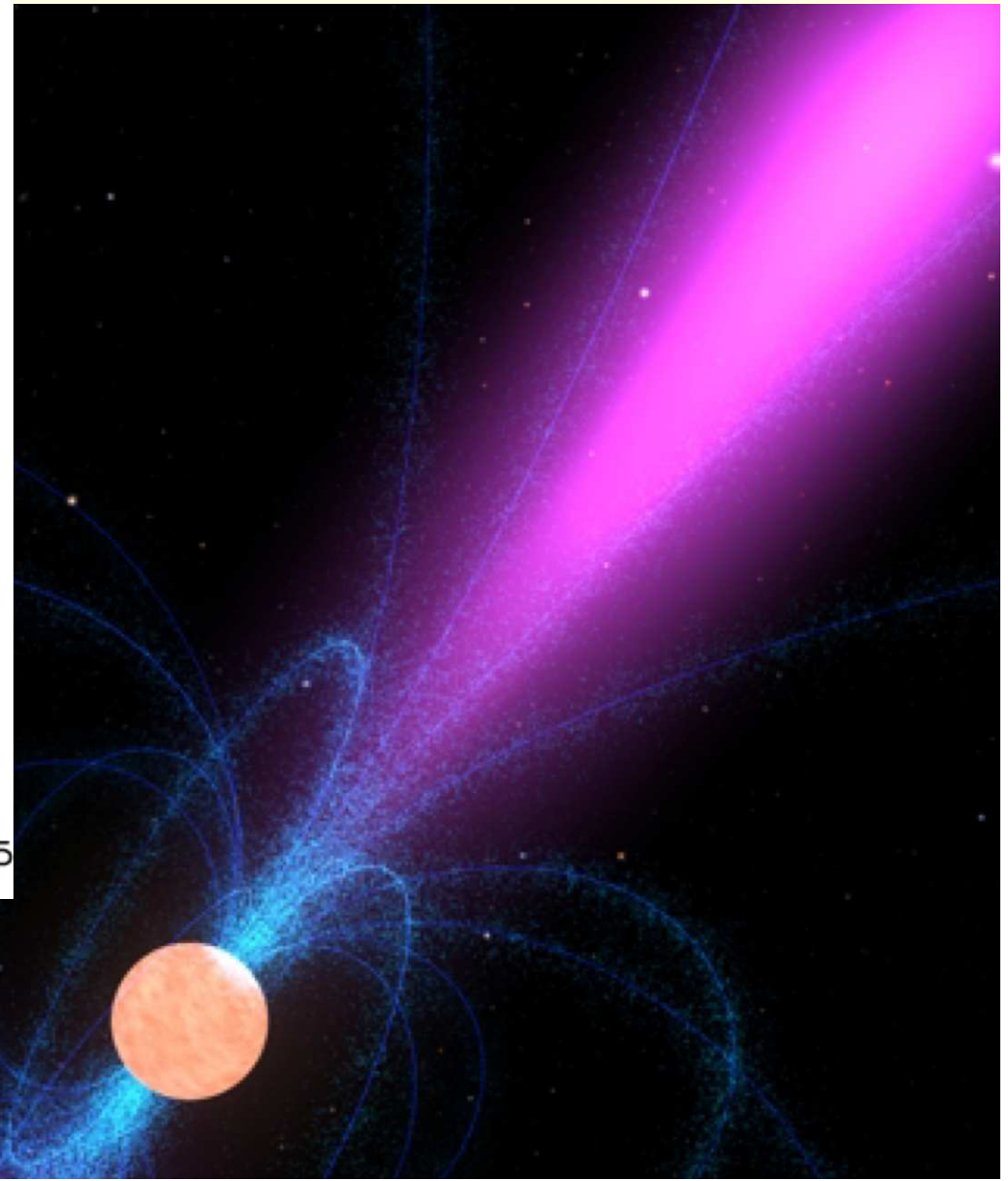
Középtávú: a források fizikai paramétereinek meghatározása gravitációs hullámokból

# A gravitációs hullámok bizonyítéka: Hulse-Taylor kettős pulzár



A létező fizikai elméletek egyik legpontosabb igazolása:

40s eltérés 30 év alatt !! ( $4 \times 10^{-8}$ )



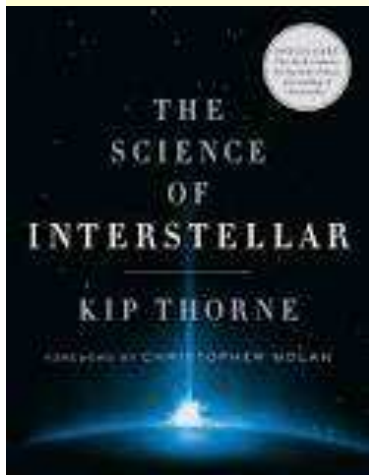
Nobel-díj  
1993



# Interstellar és általános relativitáselméleti fogalmak



- Féreglyuk köt össze távoli helyeket
- Az idő lassabban telik, ha erős a gravitáció
- Fekete lyuk környezetében akkréció és gravitációs lencsézés



OPEN ACCESS

IOP Publishing

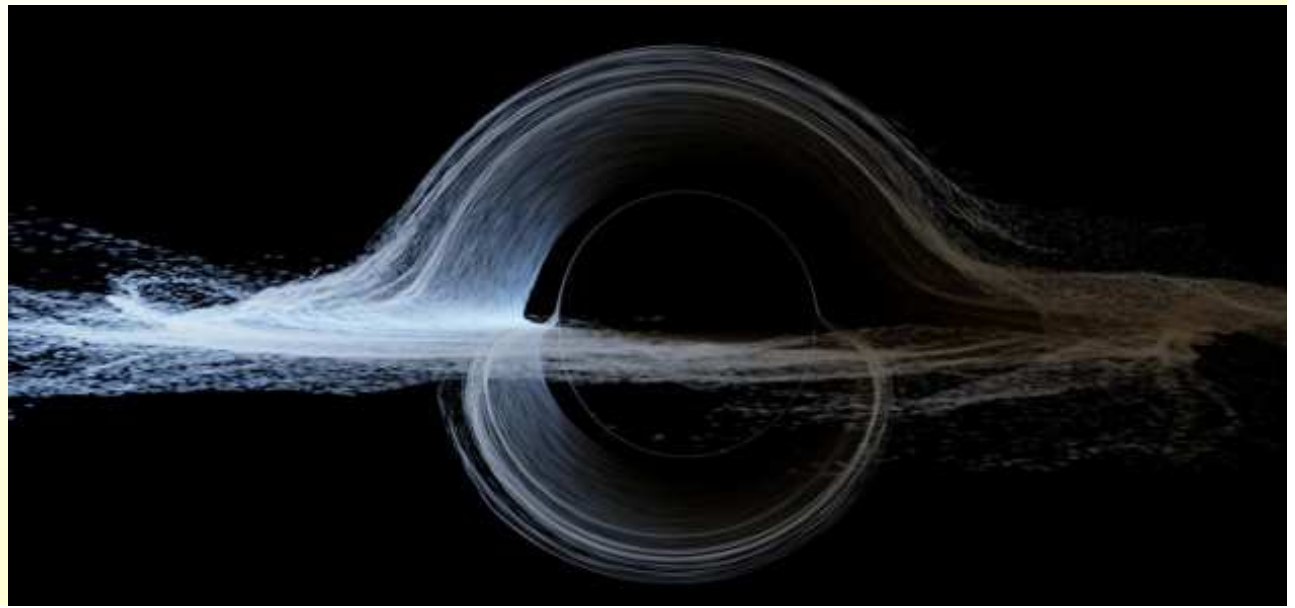
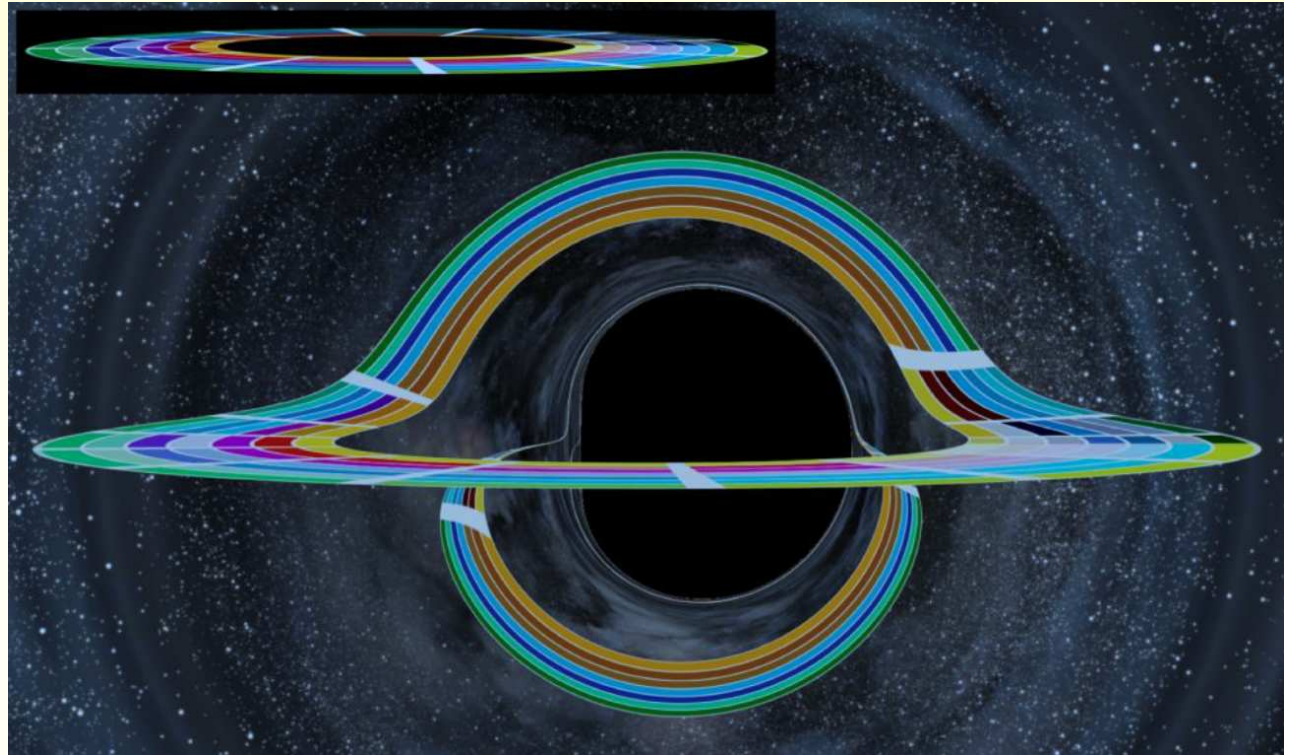
Classical and Quantum Gravity

Class. Quantum Grav. 32 (2015) 065001 (41pp)

doi:10.1088/0264-9381/32/6/065001

**Gravitational lensing by spinning black holes in astrophysics, and in the movie *Interstellar***

Oliver James<sup>1,\*</sup>, Eugénie von Tunzelmann<sup>1</sup>,  
Paul Franklin<sup>1</sup> and Kip S Thorne<sup>2</sup>





## Zárszó

- A csoportunk megújulóban van, így örömmel fogadunk ügyes hallgatókat, akik szeretnék „féreglyukat létesíteni” a gravitáció modern elméletével
- A témába való beletanuláshoz és munkájukhoz megadjuk a szükséges szakmai segítséget
- Jelentkezni Keresztes Zoltánnál vagy nálam lehet
- Köszönöm a figyelmet!

