

# ***Beszámoló a 69036 OTKA pályázat futamideje alatt elért eredményekről***

A pályázat 3,5 éve alatt összesen **42** publikáció született. Ebből 26 SCI folyóiratcikk (össz-impakt faktoruk **108,06**), 2 beküldött cikk, 2 disszertáció, 9 egyéb folyóiratcikk, 2 könyvben publikálható konferenciacikk és 1 konferenciakiadvány. A pályázat résztvevői összesen 38 (plenáris / meghívott / konferencia / szemináriumi) előadást és posztert mutattak be.

## ***1. Kompakt kettős rendszerek dinamikája***

A gravitációs hullámok létezésére jelenleg csak közvetett bizonyítékok állnak rendelkezésre. Közvetlen kimutatásuk napjaink legnagyobb kihívásai közé tartozik, ami minden bizonnyal a csillagászat egy új ágának kialakulását alapozza meg. A kompakt kettős rendszerek egymás környezetében mozgó fekete lyukak és / vagy neutron csillagok alkotta kettősöket jelentenek. Ezek a rendszerek várhatóan az egyik legjelentősebb forrásául fognak szolgálni a földi, illetve az űrbe telepített gravitációs-hullám mérő berendezéseknek. Ennek egyik oka, hogy viszonylag jól ismertek az általuk keltett hullámformák jelalakjai. A detektor zajos kimenetét a várható jelalakokkal vetik össze. Ezért lényeges ezen kettősök minél jobb elméleti ismerete, illetve a hullámformákat egyre pontosabban és gyorsabban generáló programok elkészítése.

Az összeolvadó kompakt kettősöket a poszt-newtoni formalizmus segítségével tanulmányoztuk. A formalizmus az „inspiral” szakaszban alkalmazható. Elsősorban a testek véges kiterjedéséből származó hatásokra (testek forgása, tömeg-eloszlások kvadrupól-momentuma) fókuszáltunk.

A gravitációs hullámok impulzust visznek el a rendszerből, ennek következtében jöhet létre a kilökődés jelensége. Megadtunk egy zárt elsőrendű differenciálegyenlet rendszert, amely leírja az impulzus transzport szekuláris időfejlődését, spinben vezető rendig. Az egyenletrendszer a kilökődési sebesség korábbiaknál pontosabb meghatározására alkalmas [E2].

A gravitációs hullámok fázisában mind spin, mind tömeg kvadrupól-momentum járulékok megjelennek. A spinek precessziós mozgásából származó járulékokat átlagolva egy radiális periódusra, a fázisban megjelenő együttthatókat renormáltuk ezen átlagolt járulékokkal [18] és [10].

Magyarozatot adtunk az X-alakú rádiógalaxisok kialakulására. Bizonyítottuk, hogy a gravitációs sugárzás és a spin-pálya kölcsönhatás összejátszása nyomán a bespirálózás során a spin iránya (így az annak mentén kialakuló nyaláb is) új irányba fordul [19], [5] és [E6]. Ezekben a munkákban azt is beláttuk, hogy szupernehéz fekete lyuk kettősök találkozásakor a tömegek várhatóan nem közel azonosak, és a nagyon kis tömegarány is valószínűtlen. Tipikusnak az 1:10-hez tömegarány mondható. Neves rádiócsillagászokkal együttműködésben az X-alakú rádiógalaxisok kialakulásának egyéb elméleteit is számba vettük, rámutatva a modellek erősségeire és gyengeségeire [B1].

Megadtuk a fekete lyuk / neutroncsillag kettősök teljes perturbált dinamikáját, amely figyelembe veszi a spineket és kvadrupól-momentumokat. Míg korábban csak a mozgás radiális részének tárgyalására volt lehetőség, ezek a munkák a teljes változókészlet evolúcióját megadják, beleértve az összes szögváltozó fejlődésegyenletét is [6] és [4].

## 2. Gravitációs hullámok

Csoportunk (Gergely Á. L., Keresztes Z. és Veréb L.) 2009 szeptemberében csatlakozott a világszerte mintegy 700 kutatót tömörítő LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) tudományos együttműködéshez. Az együttműködésen belül az erősen spines kettős kompakt rendszerekből származó hullámformákkal foglalkoztunk. Megvizsgáltuk a LIGO S5-szerű zajba injektált spines hullámformák visszanyerési lehetőségeit a matched filtering eljárással. Egymillió véletlenszerűen választott spines hullámformát generáltunk a LAL programcsomagban található SpinTaylor hullámforma segítségével. A hullámforma 14 paramétere közül a 6 spin komponens, és a 2 tömeget változtattuk, amíg a látóirány és a pálya impulzusmomentum egymással bezárt szögét, a forrás távolságát, a kezdeti fázist és az antenna függvények 3 paraméterét (ami meghatározza a forrás helyzetét az égbolton) rögzítettük [E3]. Megvizsgáltuk, hogy a spin paraméterek visszanyerési esélyei nőnek e azáltal, ha két detektort használunk mérésre. Ekkor az átfedések négy típusát számoltuk: A Hanfordi ( $O^H$ ) és a Livingstoni ( $O^L$ ) detektorokra külön-külön, használtuk a LAL programcsomagban található  $O^{HL}$  átfedést, és a detektorok méréseinek keresztkorrelációjával számoltat ( $O_{corr}^{HL}$ ). Azt tapasztaltuk, hogy a tömegek elfogadhatóan visszanyerhetők, bár  $O^H$ ,  $O^L$ ,  $O^{HL}$ -ek mindegyike kissé túlbecsüli azokat. A korrelált match  $O_{corr}^{HL}$  számolásával azonban kiróható egy erős szelekciós kritérium, ami a tömegek pontosabb becsléséhez vezet. A spin nagyságok visszanyerése továbbra is nehézkes. A spin vektorok szögeinek becslését  $O_{corr}^{HL}$  számolása kissé javítja [E1].

Fejlesztettük a LAL programcsomag SpinTaylor hullámformáját azáltal, hogy figyelembe vettük az ön-spin és a kvadrupól-monopól kölcsönhatások járulékát a gravitációs hullám fázisában. Jelenleg a hullámforma amplitúdójának magasabb rendű korrekcióit programozzuk.

## 3. Aktív galaxismagok, akkréciós folyamatok, részecskenyalábok, mágneses terek

Vizsgáltuk az aktív galaxismagokban zajló részecskefizikai folyamatokat [9], [E5] és [K3].

A fekete lyukak poloidális tartományából eredő nyalábok spektruma olyan részecskefizikai folyamatokra utal, amelyek igen gyors forgást feltételeznek. Fontos tehát megérteni, mitől forognak annyira gyorsan a szupernehéz fekete lyukak. Ennek első lépéseként modellezzük az akkréciós folyamatot egy fekete lyuk + akkréciós korong + nyaláb + nyílt és zárt mágneses erővonalrendszer által alkotott szimbiotikus rendszerben [B2].

Akkréciós folyamatokat vizsgáltunk egzotikus objektumok, úgymint neutron csillagok, kvark csillagok [13], „grava” csillagok [15], féreglyukak [16], a Horava-Lifshitz [14], bránvilágok [20] és az  $f(R)$  [22] módosított gravitációs elméletek fekete lyukjai körül, a vékony korong hipotézis feltevésével. Megállapítottuk a korong sugárzásában fellépő különbségeket a Schwarzschild fekete lyukba akkrétáló anyag esetéhez képest.

## 4. Brán-világok kovariáns tárgyalása

Brán-világok közül a Randall-Sundrum 2-es típusúakat tanulmányoztuk. Az Randall-Sundrum 2-es modellben a megfigyelhető univerzumunk egy 5-dimenziós (5d) sokaságba ágyazott 4-dimenziós (4d) időszerű hiperfelület, a brán. A gravitáció kivételével minden standard anyagi mező és kölcsönhatás a bránra korlátozott. A gravitációs dinamika a bránon jelentősen megváltozik az általános relativitáselmülethez képest. A bránelméletben érvényes effektív Einstein egyenletben forrásként megjelenik egy a magas energiákon domináns, a brán disztribucionális energia-impulzus tenzorában négyzetes tag és az 5d nemlokális hatásait leíró ún. Weyl folyadék. További forrásként szolgálhatnak az 5d anyagi mezőkből és a brán aszimmetrikus beágyazásából származó járulékok.

Az általános relativitáselméletben a kozmológiai perturbációk mértékinvariáns leírásában igen sikeresnek bizonyult az ún. 3+1 kovariáns formalizmus, amely a téridő 3+1 alakú felbontását használja. A formalizmus változói a kinematikai (gyorsulás, expanzió, nyírás, örvény), gravito-elektro-mágneses (a weyl tenzor elektromos és mágneses része), valamint az anyagi mezőket leíró mennyiségek (energia sűrűség, energia áram, izotróp és anizotróp nyomás komponensek). Ezt a formalizmust általánosítottuk a Randall-Sundrum 2-es típusú brán-világokra. A leírás könnyen általánosítható Dvali-Gabadadze-Porrati brán-világra is. Megadtuk a formalizmusban használt kovariáns deriváltak kommutációs relációit és az egyes mennyiségek transzformációit infinitezimális bázisváltoztatásra. Utóbbi a perturbációszámításban igen fontos. A 3+1+1 formalizmus általános egyenleteinek egy alsoportjából származtattuk a gravitációs dinamikát bránon leíró egyenletek. Ezek korábban csak kozmológiai állandóval rendelkező vákuum 5d téridőbe tükörszimmetrikusan ágyazott bránra voltak ismertek [8], [7] és [K1].

## 5. Brán-kozmológia

A kozmológiai brán fejlődése során az Ősrobbanást követő hatalmas hőmérsékletről hűlt le a háttérsugárzásként napjainkban észlelhető 2.7 K fokra. A hagyományos bránelméletben a brán-feszültség ennek során változatlan marad. Ezzel szemben a folyadék-membránok analógiája a membrán feszültségének Eötvös-törvény szerinti hőmérséklet-függését mutatja. Kidolgoztuk a változó feszültségű bránok kovariáns dinamikáját legáltalánosabb esetben és alkalmaztuk Friedmann bránra [21].

Átvéve a brán-feszültség változására az Eötvös-törvényt, bevezettük az Eötvös brán fogalmát. Kidolgoztuk az Eötvös brán kozmológiáját. Korai univerzumbeli kialakulása után mind a brán-feszültség, mint a 4-dimenziós gravitációs állandó értéke kisebb a mainál, ez módosítja az inflációs forgatókönyvet, a Kaluza-Klein módusok nagyobb szerephez jutnak, esetleges nem-gaussi jelleg megjelenéséhez vezetve. A modell teljesíti a nukleoszintézis-kényszereket és összeegyeztethető az Ia típusú szupernóva adatokkal, azaz a jelenlegi univerzum gyorsuló tágulásával [17], [K2].

Ötdimenziós Birkhoff-tétel alatt azt az eredményt értik, hogy Friedmann bránt tartalmazó, az extra dimenzió mentén annak szimmetriáival rendelkező 4d hiperfelületekkel fóliázható, negatív kozmológiai állandóval rendelkező 5d téridők sztatikusak és az általánosított Schwarzschild - Anti-de Sitter osztályba tartoznak. A tételt sérti az 5d Gergely-Maartens (GM) téridő, amelyik nem tartozik az említett osztályba, de rendelkezik a megfelelő szimmetriákkal. Erre a téridőre az 5d Birkhoff-tétel bizonyítása során használt lépések mindegyike nem alkalmazható. Megvizsgáltuk az 5d Birkhoff-tételben szereplő téridő osztály és a GM metrika kapcsolatát. Azt

találtuk, hogy negatív  $5d$  kozmológiai állandó esetén a GM metrika az  $5d$  Birkhoff-tételben szereplő hiperbolikus  $5d$  Schwarzschild-Anti-de Sitter téridő degenerált horizontjának környezetét írja le. Pozitív  $5d$  kozmológiai állandóra pedig, a GM téridő az  $5d$  Schwarzschild-de Sitter degenerált horizontjának környezetét adja. Általános relativitáselméletben hasonló kapcsolat a Bertotti-Robinson és az extrémális Reissner-Nordström téridők között ismert [24].

Megadtuk analitikusan a luminozitás-vöröseltolódás reláció brán-világokra érvényes alakját, majd összehasonlítást végeztünk az Ia típusú szupernóva adatokkal. Meghatároztuk a modell azon paraméter tartományát, amellyel az illeszkedés  $1-\sigma$ -n belüli [E7]-[E9].

## 6. Brán fekete lyukak

Megvizsgáltuk a gyenge gravitációs lencsézést árapály-töltésű fekete lyuk környezetében. Származtattunk egy olyan lencseegyenletet, amely a fókuszáló és a szóró jellegű fényeltérítésre is alkalmazható. Kimutattuk a Schwarzschild lencsézéshez képesti különbségeket a tömeg ill. árapály dominálta esetekben. Megoldottuk a lencseegyenletet a tömeg dominálta esetben, ahol az árapály-töltés perturbációként jelenik meg. Meghatároztuk a képek helyzetét, nagyításait és a fluxusok arányát. A fluxus arány jelentősen eltér a Schwarzschild lencsézéshez viszonyítva. Amikor az árapály-töltés dominál, a képek száma és az optikai tengelyhez viszonyított helyzete hasonlóan változik a fekete lyuk jellemzőinek függvényében, mint a Schwarzschild téridőben, azzal a különbséggel, hogy az árapály-töltés és a tömeg előjele ellenkező szerepet játszik. A képek fényességeinek aránya a képek szögtávolságával hatványfüggvény kapcsolatban áll. A hatvány kitevője jelentősen eltér az árapály-töltésű ill. a Schwarzschild esetben. Ez az eredmény alkalmazható lehet a bránelméletek tesztelésére csillagászati megfigyelések segítségével [3].

A perturbatív módon meghatározott fényelhajlási szög felhasználásával korlátokat állapítottunk meg a brán fekete lyuk árapály-töltésére és a brán-feszültségre. Naprendszerbeli tesztekben az általunk származtatott kényszer szolgáltat legkisebb felső korlátot az árapály-töltés értékére [11].

Árapály-töltésű fekete lyukak termodinamikai tulajdonságait, valamint termodinamikai metrikákkal tanulmányozható fázis-átalakulásait vizsgáltuk. Az ütköző fekete lyukak sugárzási határfokának termodinamikailag megengedhető legnagyobb értékéből felső korlátot állapítottunk meg az árapály-töltés mértékére [1].

Speciális szimmetriák esetén alkalmaztuk a  $3+1+1$  kovariáns formalizmust új brán téridő származtatására. A brán stacionér és lokálisan forgás szimmetrikus. A lokális forgás szimmetria minden pontban egyértelműen kijelöl egy térbeli irányt, ezért a brán téridőt tovább bontottuk  $2+1+1$  alakba. Vizsgálatainkat az általános relativitáselméleti lokálisan forgás-szimmetrikus téridők három osztálya közül az I-es típusú örvényes téridőre korlátoztuk. A Weyl folyadék anizotróp nyomás tagjára kirótt segéd-feltétel figyelembe vételével származtattunk két másodrendű, nem lineáris differenciál egyenletből álló rendszert, aminek általános megoldása szolgáltatja a feltevésekkel konzisztens brán téridőket. Az egyenletek nem-linearitása miatt partikuláris megoldás keresésére szorítkoztunk. A talált téridő formálisan az általános relativitáselméleti elektromosan töltött Taub-NUT-(A)dS téridőnek feleltethető meg. A Taub-NUT-(A)dS téridő egy kozmológiai vákuumba ágyazott elektromosan töltött, tömeges, NUT (Newman-Unti-Tamburino) töltéssel rendelkező fekete lyukat ír le. A NUT töltés egyik érdekes következménye, hogy a téridő egyes régióiban zárt időszerű görbék vannak. A brán megoldásban az elektromos töltés szerepét az  $5d$  nem lokális gravitációs hatások

eredményeképpen megjelenő árapály-töltés veszi át. Amíg az elektromos töltés a fekete lyuk gravitációs vonzását gyengíti, addig az árapály-töltés előjelétől függően erősítheti is azt. Az új téridő az árapály-töltésű Taub-NUT-(A)dS bránként interpretálható [8].

## 7. Geometrodinamika

A geometrodinamika az általános relativitáselmélet Hamiltoni tárgyalásmódját jelenti. A téridőt az ADM (Arnowitt-Deser-Misner) felbontás segítségével  $3+1$  alakba térre és időre bontjuk. A formalizmus változói a 3-dimenziós térszerű felületeken indukált metrikák és a hozzájuk kanonikusan konjugált impulzusok, amelyek az egyes felületek külső görbületeihez kapcsolhatók.

A gravitáció kanonikus elméletében az idő-változónak a téridőről való alkalmas leválasztása jelenti a fő nehézséget. További nehézséget jelent, amikor valamelyik térszerű irány is kitüntetett szerepet játszik. Ilyen fordulhat elő a 4 dimenziós elméletben egy térszerű szimmetria (Killing vektor) jelenlétében, vagy amikor 5 dimenziós bránelméletet tekintünk. Tetszőleges  $s > 1$  esetén formalizmust dolgoztunk ki a geometria és dinamika  $s+1+1$  felbontására [26].

## 8. Sötét energia modellek

A sötét energia modellek célja magyarázatot adni a Világegyetem késői gyorsuló tágulására. A gyorsuló tágulásra eredetileg az Ia típusú szupernóva adatokból következtettek. Azóta számos további megfigyelés igazolta ( kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékleti anizotrópiája, barion akusztikus oszcillációk, stb). A megfigyelésekkel való összehanghoz úgy tűnik, hogy az Univerzum teljes energia sűrűségének mintegy 72%-át kitevő sötét energiára van szükség. Mára a sötét energia természetének megértése a fizika egyik központi kérdésévé vált.

A sötét energia modellek közül egy olyat vizsgáltunk, amelyben a sötét energiát egy tachion mező szolgáltatja. Ebben a modellben az Univerzum a de Sitter végállapotba fejlődik, ha a mező potenciálja a jövőben mindvégig valós marad. A potenciál azonban képzetessé is válhat, ha ezzel egyidőben a mező változási sebessége a fénysebességnél nagyobb lesz. Ekkor az univerzum a „Big Brake”-nek nevezett gyenge („soft”) szingularitásba fut. Származtattuk numerikusan a luminozitás-vöröseltolódás relációt, amit összevetettünk az Ia típusú szupernóva adatokkal. Azt találtuk, hogy a szupernóva adatokkal jól illeszkedő  $(1-\sigma-n)$  belüli kezdeti feltételek esetén a trajektóriák egy alhalmaza a „Big Brake” szingularitásba fut [12] és [E4]. A „Big Brake” szingularitás további vizsgálata azt mutatta, hogy az az univerzumnak nem végső állapota, a geodetikusak folytathatók. Azt találtuk, hogy az univerzum a „Big Brake”-et követően a „Big Crunch” szingularításban végződik. Megadtuk az egyes szingularítások elérésének időskáláját. A szupernóva adatokkal leginkább illeszkedő kezdeti feltételek esetén a tachion mező porként viselkedett a távoli múltban. Ez azt a lehetőséget hordozza magában, hogy a tachion mező a hideg sötét anyag egy részére is magyarázattal szolgálhat [2].

Egy másik lehetséges sötét energia modell a Chaplygin-gáz. Ennek legáltalánosabb alakja egy olyan energia-forma, mely nagy energiasűrűségnél sugárzasként viselkedik, kis energiasűrűségnél pedig negatív nyomású sötét energiaként. Viszkózus disszipatív Chaplygin gáz által létrehozott homogén és izotróp kozmológiai modellt vizsgáltunk. Megmutattuk, hogy az univerzum skálafaktorának és a gáz energiasűrűségének viselkedése jól reprodukálja a megfigyeléseket. Az Ia típusú szupernóva adatokkal való összevetés megadta a modell megfigyelésekkel kompatibilis paraméter-tartományait [25].



# Publikációs lista

## SCI folyóirat cikkek:

- [1] *Geometro-thermodynamics of tidal charged black holes* **IF=2.746**  
**LÁ Gergely**, N Pidokrajt, S Winitzki  
Eur. Phys. J. C **71**, 1569 (2011) [arXiv: 0811.1548 [gr-qc]]
- [2] *Will the tachyonic universe survive the big brake?* **IF=4.922**  
**Z Keresztes, LÁ Gergely**, AY Kamenshchik, V Gorini, D Polarski  
Phys. Rev. **82**, 123534-1-12 (2010) [arXiv: 1009.0776 [gr-qc]]
- [3] *Image formation in weak gravitational lensing by tidal charged black holes* **IF=3.029**  
**Zs Horváth, LÁ Gergely**, D Hobill  
Class. Quantum Grav. **27**, 235006-1-22 (2010) [arXiv: 1005.2286 [gr-qc]]
- [4] *Spinning compact binary inspiral II: Conservative angular dynamics* **IF=4.922**  
**LÁ Gergely**  
Phys. Rev. D **82**, 104031-1-15 (2010) [arXiv: 1005.5330 [gr-qc]]
- [5] *Supermassive black hole spin-flip during the inspiral* **IF=3.029**  
**LÁ Gergely**, PL Biermann, LI Caramete  
*Proceedings of the Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDWI4*, Roma, Italy 2010,  
Ed. F Ricci  
Class. Quantum Grav. **27**, 194009-1-10 (2010) [arXiv: 1005.2287 [astro-ph.CO]]
- [6] *Spinning compact binary inspiral: Independent variables and dynamically preserved spin configurations* **IF=4.922**  
**LÁ Gergely**  
Phys. Rev. D **81**, 084025-1-10 (2010) [arXiv: 0912.0459 [gr-qc]]
- [7] *Covariant gravitational dynamics in 3+1+1 dimensions* **IF=3.029**  
**Z Keresztes, LÁ Gergely**  
Class. Quantum Grav. **27**, 105009-1-39 (2010) [arXiv: 0909.0490 [gr-qc]]
- [8] *3+1+1 dimensional covariant gravitational dynamics on an asymmetrically embedded brane: The average equations* **IF=1.844**  
**Z Keresztes, LÁ Gergely**  
*Proceedings of the Grassmannian Conference in Fundamental Cosmology (Grasscosmofun'09)*,  
Szczecin, Poland 2009, Eds. MP Dąbrowski, KA Meissner, YuV Shtanov  
Ann. Physik **19**, 249-253 (2010). [part of arXiv: 0911.2495 [gr-qc]]
- [9] *Active Galactic Nuclei: Sources for Ultra High Energy Cosmic Rays.* **IF=1.046**  
PL Biermann, JK Becker, L Caramete, **LÁ Gergely**, IC Mariş, A Meli, V de Souza, T Stanev  
*Proceedings of High-Energy Gamma-rays and Neutrinos from Extra-Galactic Sources*,  
Heidelberg, 2009, Eds. E Resconi, F Aharonian  
Int. J. Mod. Phys. D **18** (10) 1577-1581 (2009) [arXiv: 0904.1507 [astro-ph.HE]]
- [10] *Renormalized spin coefficients in the accumulated orbital phase for unequal mass black hole binaries.* **IF=3.029**  
**LÁ Gergely**, PL Biermann, **B Mikóczy, Z Keresztes**  
*Proceedings of the Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDWI3*, San Juan, Puerto Rico, 2009, Eds. MC Diaz, FA Jenet and SD Mohanty.  
Class. Quantum Grav. **26**, 204006-1-10 (2009) [arXiv: 0909.0487 [gr-qc]]
- [11] *Second-order light deflection by tidal charged black holes on the brane* **IF=3.029**

- LÁ Gergely, Z Keresztes, M Dwornik**  
Class. Quantum Grav. **26**, 145002-1-11 (2009) [arXiv: 0903.1558 [gr-qc]]
- [12] *Tachyon cosmology, supernovae data and the Big Brake singularity* **IF=4.922**  
**Z Keresztes, LÁ Gergely, V Gorini, U Moschella, AYu Kamenshchik**  
Phys. Rev. D **79**, 083504-1-8 (2009) [arXiv: 0901.2292 [gr-qc]]
- [13] *Thin accretion disks around neutron and quark stars* **IF=4.179**  
**Z Kovács, KS Cheng, T Harko**  
Astron. Astrophys. **500** 621-631 (2009) [arXiv: 0903.4746 [gr-qc]]
- [14] *Testing Horava-Lifshitz gravity using thin accretion disk properties* **IF=4.922**  
**T Harko, Z Kovács, FSN Lobo**  
Phys. Rev. D **80**, 044021 (2009) [arXiv: 0907.1449 [gr-qc]]
- [15] *Can accretion disk properties distinguish gravastars from black holes?* **IF=3.029**  
**T Harko, Z Kovács, FSN Lobo**  
Class. Quant. Grav. **26**, 215006 (2009) [arXiv:0905.1355 [gr-qc]]
- [16] *Thin accretion disks in stationary axisymmetric wormhole spacetimes* **IF=4.922**  
**T Harko, Z Kovács, FSN Lobo**  
Phys.Rev. D **79**, 064001 (2009) [arXiv:0901.3926 [gr-qc]]
- [17] *Eötvös branes* **IF=4.922**  
**LÁ Gergely**  
Phys. Rev. D **79**, 086007-1-6 (2009) [arXiv:0806.4006 [gr-qc]]
- [18] *Renormalized 2PN spin contributions to the accumulated orbital phase for LISA sources* **IF=4.922**  
**LÁ Gergely, B Mikóczy**  
Phys. Rev. D **79**, 064023-1-11 (2009) [arXiv:0808.1704 [gr-qc]]
- [19] *The spin-flip phenomenon in supermassive black hole binary mergers* **IF=7.364**  
**LÁ Gergely, PL Biermann**  
Astrophys. J. **697**, 1621-1633 (2009) [arXiv:0704.1968 [astro-ph]]
- [20] *Thin accretion disks onto brane world black holes* **IF=5.050**  
**CSJ Pun, Z Kovács, T Harko**  
Phys. Rev. D **78**, 084015 (2008) [arXiv:0809.1284 [gr-qc]]
- [21] *Friedmann branes with variable tension* **IF=5.050**  
**LÁ Gergely**  
Phys. Rev. D **78**, 084006-1-12 (2008) [arXiv:0806.3857 [gr-qc]]
- [22] *Thin accretion disks in  $f(R)$  modified gravity models* **IF=5.050**  
**CSJ Pun, Z Kovács, T Harko**  
Phys. Rev. D **78**, 024043 (2008) [arXiv:0806.0679 [gr-qc]]
- [23] *Electromagnetic signatures of thin accretion disks in wormhole geometries* **IF=5.050**  
**T Harko, Z Kovács, FSN Lobo**  
Phys. Rev. D **78**, 084005 (2008) [arXiv:0808.3306 [gr-qc]]
- [24] *On the validity of the 5-dimensional Birkhoff theorem: The tale of an exceptional case* **IF=3.035**  
**Z Keresztes, LÁ Gergely**  
Class. Quantum Grav. **25**, 165016-1-12 (2008) [arXiv:0712.3758 [gr-qc]]
- [25] *Viscous dissipative Chaplygin gas dominated homogeneous and isotropic cosmological models* **IF=5.050**  
**CSJ Pun, LÁ Gergely, MK Mak, Z Kovács, GM Szabó, T Harko**  
Phys. Rev. D **77**, 063528-1-11 (2008) [arXiv:0801.2008 [gr-qc]]
- [26] *Gravitational dynamics in  $s+1+1$  dimensions II. Hamiltonian theory* **IF=5.050**

**Z Kovács, LÁ Gergely**  
Phys. Rev. D **77**, 024003-1-13 (2008)

[arXiv: 0709.2131 [gr-qc]]

## Publikálásra benyújtott cikkek:

- [B1] *On the origin of X-shaped radio galaxies*  
Gopal-Krishna, PL Biermann, **LÁ Gergely**, PJ Wiita

[arXiv: 1008.0789 [astro-ph.CO]]

- [B2] *Maximal spin and energy conversion efficiency in a symbiotic system of black hole, disk and jet*  
**Z Kovács, LÁ Gergely**, PL Biermann

[arXiv: 1007.4279 [astro-ph.CO]]

## Egyéb folyóirat cikkek:

- [E1] *Compact binary waveform recovery from the cross-correlated data of two detectors by matched filtering with spinning templates*

**L Veréb, Z Keresztes**, P Raffai, Zs Udvari, **M Tápai, LÁ Gergely**

*Proceedings of the Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDAW14*, Roma, Italy 2010, Ed. F Ricci

J. Phys.: Conf. Series (JPCS) **243**, 012008-1-6 (2010)

[arXiv: 1005.2101 [gr-qc]]

- [E2] *Secular momentum transport by gravitational waves from spinning compact binaries*

**Z Keresztes, B Mikóczy, LÁ Gergely**, M Vasúth

*Proceedings of the Eight Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (Amaldi8)*, New York, USA 2009, Eds. Sz Márka, Zs Márka

J. Phys.: Conf. Series (JPCS) **228**, 012053-1-8 (2010)

[arXiv: 0911.0477 [gr-qc]]

[[http://iopscience.iop.org/1742-6596/228/1/012053/pdf/1742-6596\\_228\\_1\\_012053.pdf](http://iopscience.iop.org/1742-6596/228/1/012053/pdf/1742-6596_228_1_012053.pdf)]

- [E3] *Recovering a spinning inspiralling compact binary waveform immersed in LIGO-like noise with spinning templates*

**L Veréb, Z Keresztes**, P Raffai, Sz Mészáros, **LÁ Gergely**

*Proceedings of the Eight Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (Amaldi8)*, New York, USA 2009, Eds. Sz Márka, Zs Márka

J. Phys.: Conf. Series (JPCS) **228**, 012003-1-6 (2010)

[arXiv: 0911.0473 [gr-qc]]

[[http://iopscience.iop.org/1742-6596/228/1/012003/pdf/1742-6596\\_228\\_1\\_012003.pdf](http://iopscience.iop.org/1742-6596/228/1/012003/pdf/1742-6596_228_1_012003.pdf)]

- [E4] *Do supernovae favor tachyonic Big Brake instead of de Sitter?*

**LÁ Gergely, Z Keresztes**, AY Kamenshchik, V Gorini, U Moschella

*Proceedings of the Invisible Universe International Conference*, Paris, France 2009, Eds. JM Alimi, A Füzfa

AIP Conference Proceedings **1241**, 884-891 (2010)

[arXiv: 0910.3887 [gr-qc]]

- [E5] *Active Galactic Nuclei: Sources for ultra high energy cosmic rays?*

PL Biermann, JK Becker, L Caramete, A Curutiu, R Engel, H Falcke, **LÁ Gergely**, PG Isar, IC Mariş, A Meli, K-H Kampert, T Stanev, O Taşcău, C Zier

Invited review in the *Proceedings of the CRIS 2008 – Cosmic Ray International Seminar: Origin, Mass, Composition and Acceleration Mechanisms of UHECRs*, Malfa, Italy 2008, Ed. A Insolia  
Nucl. Phys. B, Proc. Suppl. **190** 61-78 (2009)

[arXiv: 0811.1848 [astro-ph]]

- [E6] *Supermassive binary black hole mergers*

**LÁ Gergely**, PL Biermann

[arXiv: 0805.4582 [astro-ph]]

*Proceedings of the Seventh Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves (Amaldi7)*,



Sydney, Australia 2007, Eds. SM Scott and DE McClelland,  
*J. Phys.: Conf. Series (JPCS)* **122**, 012040-1-7 (2008)

[[http://www.iop.org/EJ/article/1742-6596/122/1/012040/ipconf8\\_122\\_012040.pdf?request-id=9b2bfde3-af3a-42f2-aae5-c5b7a45708f2](http://www.iop.org/EJ/article/1742-6596/122/1/012040/ipconf8_122_012040.pdf?request-id=9b2bfde3-af3a-42f2-aae5-c5b7a45708f2)]

- [E7] *The luminosity-redshift relation in brane-worlds: II. Confrontation with observational data*  
GM Szabó, **LÁ Gergely**, **Z Keresztes** [*astro-ph/0702610*] **open access**  
*PMC Physics A* **1** : 8-1-18 (2007) [<http://www.physmathcentral.com/content/pdf/1754-0410-1-8.pdf>]
- [E8] *The luminosity-redshift relation in brane-worlds: I. Analytical results* **open access**  
**Z Keresztes**, **LÁ Gergely**, B Nagy, GM Szabó [*astro-ph/0606698*]  
*PMC Physics A* **1** : 4-1-24 (2007) [<http://www.physmathcentral.com/content/pdf/1754-0410-1-4.pdf>]
- [E9] *Cosmological tests of generalized RS brane-worlds with Weyl fluid*  
**LÁ Gergely**, **Z Keresztes**, GM Szabó  
*Particles, Strings and Cosmology, Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Symposium (PASCOS 2007)*, London, UK 2007, Eds. A Rajantie, P Dauncey, C Contaldi, H Stoica,  
*AIP Conference Proceedings* **957**, 391-396 (2007) [*arXiv: 0709.0933 [astro-ph]*]

## Konferencia kiadványok:

- [K1] *3+1+1 dimensional covariant gravitational dynamics on an asymmetrically embedded brane: The difference equations*  
**Z Keresztes**, **LÁ Gergely**  
to be published in the *Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting*, Paris, France 2009,  
Eds. T Damour, RT Jantzen and R Ruffini, *World Scientific*, Singapore, p. 1-3 (2011)  
[*part of arXiv: 0911.2495 [gr-qc]*]
- [K2] *Variable tension brane-worlds*  
**LÁ Gergely**  
to be published in the *Proceedings of the Twelfth Marcel Grossmann Meeting*, Paris, France 2009,  
Eds. T Damour, RT Jantzen and R Ruffini, *World Scientific*, Singapore, p. 1-3 (2011)  
[*arXiv: 1002.4954 [gr-qc]*]
- [K3] *Ultra High Energy Particles and Cosmic Ray Electrons/Positrons: from Massive Star Explosions*  
PL Biermann, J Becker, L Caramete, **LÁ Gergely**, IC Mariş, A Meli, E-S Seo, V de Souza, T Stanev, O Taşcau  
in *HIGHLIGHTS and CONCLUSIONS of the Chalonge 13th Paris Cosmology Colloquium: 'The Standard Model of the Universe: From Inflation to Today Dark Energy'*,  
*Ecole Internationale d'Astrophysique Daniel Chalonge*, Observatoire de Paris, July 2009 by HJ de Vega, MC Falvella, NG Sanchez  
[*arXiv: 1007.2846 [astro-ph.CO]*]

## Disszertációk:

- [D1] *Randall-Sundrum 2-es típusú bránelméletek és tachion sötét energia modell*  
**Keresztes Z.**  
Doktori (PhD) értekezés Szegedi Tudományegyetem, (2010)  
Témavezető: Gergely Á L
- [D2] *Kompakt kettős rendszerek poszt-newtoni fejlődése*  
**Mikóczy B.**  
Doktori (PhD) értekezés Szegedi Tudományegyetem, (2010)  
Témavezető: Gergely Á L

## Előadások:

### *Gergely Árpád László (37)*

- 2010 *Supermassive black hole mergers and their gravitational radiation* (special colloquium)  
University of Bonn, Germany
- 2010 *SpinQuadTaylor: Quadrupole-monopole and self-spin contributions included in the gravitational waveform*  
Krakow, Poland: LSC-Virgo Collaboration Meeting (oral presentation + poster LIGO-G1000823-v2)
- 2010 *Coalescing supermassive black hole binaries and their gravitational radiation: The birth of X-shaped radio galaxies*  
University of Pécs, Hungary: Roland Eötvös Physical Society Meeting  
University of Szeged, Hungary: Physics Student's Teahouse Seminar
- 2010 *Supermassive black hole binaries (2 h)*  
*Current status and open problems in brane-world gravity (2 h)*  
Balatonyörök, Hungary: International Balaton Summer School of Physics, General Relativity and Astrophysics section
- 2010 *Current status and open problems in brane-world gravity* (invited plenary lecture)  
University Babes-Bolyai, Cluj-Napoca, Romania:  
7-th Bolyai-Lobachevsky-Gauss International Conference on Non-Euclidian Geometry and its Applications
- 2010 *Supermassive black hole binaries*  
University of Bonn, Germany: Black Holes in a Violent Universe WG4 Meeting
- 2010 *Black hole binaries and their gravitational radiation* (invited seminar)  
Universita degli Studi di Napoli Federico II, Italy
- 2010 *Supermassive black hole spin-flip during the inspiral* (poster + short oral presentation)  
University Sapienza, Rome, Italy: 14<sup>th</sup> Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDAW14  
[ <http://agenda.infn.it/getFile.py/access?contribId=119&sessionId=10&resId=1&materialId=poster&confId=1157> ]
- 2010 *Compact binary waveform recovery from the cross-correlated data of two detectors by matched filtering with spinning templates* (poster + short oral presentation)  
University Sapienza, Rome, Italy: 14<sup>th</sup> Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDAW14  
[ <http://agenda.infn.it/getFile.py/access?contribId=120&sessionId=10&resId=1&materialId=poster&confId=1157> ]
- 2009 *Do supernovae favor tachyonic Big Brake instead de Sitter?* (invited talk)  
Université Montpellier 2, France: Cosmology Workshop Montpellier09, Cosmology and Astroparticles  
[ [http://www.lpta.univ-montp2.fr/users/moraes/English\\_version/Programme2.htm](http://www.lpta.univ-montp2.fr/users/moraes/English_version/Programme2.htm) ]
- 2009 *Black holes* (fellow seminar)  
Institute of Advanced Study, Collegium Budapest, Hungary  
[ <http://www.colbud.hu/programme/calendar/event.shtml?cmd%5B8%5D=i-8-4b662f4bf0405c5b36156c93fc84328e> ]
- 2009 *Research in gravitation at Szeged*  
Balatonlelle, Hungary: Hungarian Astronomer's Meeting in the International Year of Astronomy
- 2009 *Spinning waveform immersed in LIGO-like noise recovered with spinning templates*  
Eötvös Loránd University LSC-VIRGO September 2009 Meeting
- 2009 *3+1+1 dimensional covariant gravitational dynamics*  
University of Szczecin, Poland: Grassmannian Conference in Fundamental Cosmology (Grasscosmofun'09)

[ [http://cosmo.fiz.univ.szczecin.pl/pliki/grasscosmofun/talks/L\\_Gergely/GrassCosmoFun\\_3+1+1.pdf](http://cosmo.fiz.univ.szczecin.pl/pliki/grasscosmofun/talks/L_Gergely/GrassCosmoFun_3+1+1.pdf) ]

- 2009 *Variable tension brane-world models*  
Paris, France: the 12<sup>th</sup> Marcel Grossmann Meeting
- 2009 *Super-massive black hole binary mergers (1.5 h)*  
*Brane-world physics (1 h)*  
*Tachyon cosmology, supernovae data and the Big Brake singularity (1 h)*  
Balatonyörök, Hungary: Balaton Summer School of Physics: from Quarks to Galaxies
- 2009 *Spin contributions to the momentum transport by gravitational waves from inspiralling compact binaries*  
(poster presentation)  
Columbia University, New York, USA: 8<sup>th</sup> Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves  
[ [http://7168223078989316519-a-1802744773732722657-s-sites.googlegroups.com/site/amaldi8posters2/posters/Poster\\_5\\_Gergely.pdf](http://7168223078989316519-a-1802744773732722657-s-sites.googlegroups.com/site/amaldi8posters2/posters/Poster_5_Gergely.pdf) ]
- 2009 *Recovering a spinning waveform from spinning templates* (poster presentation)  
Columbia University, New York, USA: 8<sup>th</sup> Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Waves  
[ [http://7168223078989316519-a-1802744773732722657-s-sites.googlegroups.com/site/amaldi8posters2/posters/Poster\\_58\\_Meszáros.pdf](http://7168223078989316519-a-1802744773732722657-s-sites.googlegroups.com/site/amaldi8posters2/posters/Poster_58_Meszáros.pdf) ]
- 2009 *Tachyon cosmology, supernovae data and the Big Brake singularity*  
Paris, France: Invisible Universe Conference  
Calgary, Alberta, Canada: 13<sup>th</sup> Canadian Conference on General Relativity and Relativistic Astrophysics
- 2009 *Super-massive black hole binary mergers*  
Banff, Alberta, Canada: Black Holes VII, Theory and Mathematical Aspects
- 2009 *Tachyon cosmology, supernovae data and the Big Brake singularity* (invited seminar)  
University of Köln, Germany: Relativity Seminar  
University of Szeged, Hungary: Seminar in Theoretical Physics  
Eötvös University, Budapest, Hungary: Seminar in Particle Physics
- 2009 *Renormalized 2PN spin contributions to the accumulated orbital phase* (poster presentation)  
San Juan, Puerto Rico: 13<sup>th</sup> Gravitational Wave Data Analysis Workshop GWDAW13
- 2008 *Brane cosmology: the variable tension case and black hole horizon metrics* (invited talk)  
Université Montpellier 2, France: Cosmology Workshop Montpellier08, Cosmology and Astroparticles  
[ [www.lpta.univ-montp2.fr/users/moraes/Mtp08Talks/Gergely.pdf](http://www.lpta.univ-montp2.fr/users/moraes/Mtp08Talks/Gergely.pdf) ]
- 2008 *Cosmology and black holes on the brane* (invited seminar)  
Queen Mary College London, United Kingdom: Relativity Seminar
- 2008 *Closing scalar perturbations in DGP*  
University of Portsmouth, United Kingdom
- 2008 *Viscous dissipative Chaplygin gas dominated homogenous and isotropic cosmological models*  
London South Bank University, United Kingdom: Research Day 2008 (poster presentation)
- 2008 *On the 5-dimensional Birkhoff theorem: The tale of a counter-example* (invited talk)  
University of Umeå, Sweden: GRSweden meeting
- 2007 *Cosmological tests of the generalized RS brane-worlds with Weyl fluid* (poster presentation)  
London South Bank University, United Kingdom: Faculty Forum 2007
- 2007 *Super-massive black hole binary mergers* (invited talk)  
Université Montpellier 2, France: Cosmology Workshop Montpellier07, Cosmology and Astroparticles
- 2007 *The spin-flip phenomenon due to gravitational radiation*  
Bonn, Germany, “From the lowest frequencies to the highest energies – the radio astronomy-astroparticle connection” – A tribute to Peter Biermann on the occasion of his 65<sup>th</sup> birthday  
[ [http://www.mpifr-bonn.mpg.de/old\\_mpifr/div/theory/links/Peter%20Celebration/Talks/Gergely.pdf](http://www.mpifr-bonn.mpg.de/old_mpifr/div/theory/links/Peter%20Celebration/Talks/Gergely.pdf) ]

**Keresztes Zoltán (1)**  
2009 *3+1+1 dimensional covariant gravitational dynamics on an asymmetrically embedded brane:  
The difference equations*  
Paris, France: the 12<sup>th</sup> Marcel Grossmann Meeting