

## OPPONENSI VÉLEMÉNY

Gergely Árpád László  
Gravitációsan sugárzó kompakt kettősök és bránelméleti kutatások  
című MTA doktori disszertációjáról

Lukács Béla, a fizikai tudomány doktora

Jelölt a dolgozat tárgyában 58 referált cikket írt, amelyekre a hivatkozások száma benyújtáskor 257 volt. Ezzel tudomásom szerint a benyújtás feltételeit teljesítette. A Tézisekben ebből valamiért 18-at nevez meg, és az ezekre kapott hivatkozásokat nem összesíti. Ennek okát nem értem, de az ügyben a T. Bizottság majd úgy is állást foglal. Fogalmam sincs, hogy Jelölt miért mellőzött a Tézisekben 40 munkát.

A dolgozat formailag mintaszerű, amennyiben magyar nyelvű, és nem tézises védés. Jelöltnek, persze különjárás díj fizetése mellett, módja lett volna 58 munkája fénymásolatait egy néhány oldalas összefoglalóval benyújtani, ahogyan azt jelen években sokan teszik; ő nem tette, ezzel tiszteletben tartva az MTA hagyományait, és segítve a magyar fizikai szaknyelv fejlődését. 159 + 11 oldal terjedelmű, 2 Részből, és összesen 10 fejezetből áll. Durván szólva az első Rész 4 dimenziós általános relativitáselméletet tartalmaz, a 2. viszont legalább 5 dimenzióst. Egy általános relativista azonban annyi dimenzióban tárgyalja a fizikát, ahányban akarja és szükségesnek látja. Bár én nem fogadnék a bránmodellek sikerére, ez az én magánvéleményem, amit itt csak azért említek meg, hogy nyoma maradjon.

Az 1. Rész alapján fekete lyukak ütközésére/összeolvadására vonatkozó számításokat tartalmaz. A számítások általában közelítőek, ami senkit ne lepjen meg, de nem numerikusak. A jelenség valószínűleg fontos, mert az lehet a gamma-kitörések legalábbis egy része mögött. Mivel gamma-kitörési észlelés annyi van már, hogy jó statisztikákat is lehet rájuk csinálni, e rendkívül ritka események eléggé gyakoriak lehetnek. A látszó önellentmondás mögött az van, hogy két kiválasztott fekete lyuk esetén az ütközés nagyon ritka, de az utolsó fázis kozmológiai távolságból is észlelhető. Az eddig látott legrégebbi/legtávolabbi csillagászati esemény egy gammakitörés  $z=8,3$ -ból. Ez régebbi, mint a megfigyelt galaxisok, távolsága pedig annyira modellfüggő, hogy számot már nincs értelme mondani, de biztosan nagyobb, mint 10 milliárd fényév.

Az ütközést egy egymáshoz spirálózás előzi meg, és ez a newtoni esetben akadályozó közeg nélkül meg sem történhetne, de az általános relativitáselméletben a gravitációs sugárzás üres térben is energiát csatolhat ki a kettétestrendszerből. Világos, hogy a folyamat számítása nagyon nehéz, illetve véletlenszerűen kiválasztott kezdőfeltételek direkt erőszakos számítása semmiféle általánosítható tapasztalathoz nem vezet. Ehelyett Jelölt konzekvens közelítő módszereket alkalmazott. Ezek segítségével néhány különböző scenáriót írt le kvalitatíve, és jó közelítéssel kvantitatíve. A különböző scenáriók leginkább a 2 kompakt objektum (fekete lyuk, de esetleg neutroncsillag is) tömegeiben különböznek. Jelölt 3 tömegtartományt különböztet meg: A jellemzően Naptömegnyi lyukak csillagfejlődési folyamatokban keletkeznek, és biztosan léteznek. A közepes tömegűek elvileg akár mik lehetnek, mondjuk 500 és 3000000 naptömeg között, de ilyeneket alig látunk. 3000000 naptömeg felett látni vélünk fekete lyukakat galaxisok közepén. Saját galaxisunk közepén van ezek közül a legkisebb.

A bespirálózási folyamat leírása sok változót igényel, ugyanis az Általános Relativitáselméletben a spínek közvetlenül is érezhetőek. Jelölt megalkotta a szükséges leírást, és számításokat végzett. Ennek részletei illetően Jelölt állításait elfogadom és nem ismételtem meg őket., csak az időskálára reagálok, mivel egyrészt a 4.2 táblázat szerkezete és szövege számomra úgy tűnik, nem vág teljesen össze, de másrészt a számok így is tanulságosak. Jelölt megmutatja, hogy reális kezdőfeltételekre először a pályamomentum jóval nagyobb, mint a lyukak spínjei, de a gravitációs sugárzás a pályamomentumot csökkenti, és a bespirálózás végén már a spínek a nagyobbak. Az első szakasz százmillió naptömegű lyukakra nagyjából százmillió évig tart, az utolsó viszont kevesebb, mint 1 évig. Mindenesetre a megfigyelt gamma-kitörések inkább



másodpercesek.

Az eredmények és a dolgozat nagyon hasznosnak látszanak bárki számára, aki gamma-kitörésekről csillagászati kijelentéseket akar a jövőben tenni; de itt most 2 kérdés merül fel, amik szinte biztosan javítást igényelnek. Ezek:

1) A 4.2 táblázat 3 sora 3 különböző mennyiségre mutat időskálákat. A 3 oszlop viszont az ábraszöveg szerint 3 különböző tömegarányra adja az értéket, míg a táblázat saját szerkezete szerint az evolúció 3 szakaszára vonatkozik. A két kijelentés egyszerre nem lehet igaz, kérdezem tehát, hogy mik valójában a 4.2 táblázat oszlopai.

2) Jelölt maga vezetett be egy új mennyiséget (3.4. Összefoglalás, 44. old.: „...Az önkölcsönhatási spin járulékok létezése munkám előtt nem volt ismert....”) Mármint a dolgozat elolvasása után nem kétséges, hogy önkölcsönhatási spin járulék *van*, de az még kétséges, *mi* az. Konkrétan: a (3.29-33) egyenletek adják az energia felbontását 3 tagra, de úgy, hogy az  $N$  tag (3.30), a QM tag (3.32), de az SS tag (3.31) és (3.32). Az első az SS-self indexet viseli, a második az  $S_1S_2$ -t. Mármint bármik is legyenek a részletek, magyarul csak az SS-self lehet önkölcsönhatás, mivel a másik nyilván a 2 spin kölcsönhatása (nem ön-). (3.31) viszont megint csak problematikus, mivel két spinünk van, nem egy, tehát nem világos, mi hatna itt kölcsön *önmagával*. A probléma itt nem az önkölcsönhatás, ahhoz már a modern részecskefizika és a Diósi-Lukács (befejezetlen, de ld. két évtizede a munka kezdetén az Élet és Tudományban hivatkozott Karinty-fordulatot, miszerint „...álmban két macska voltam és játszottam egymással...”) kvantumgravitáció is hozzászoktatott minket magyarul, de itt nincs *egyetlen*  $S$  ami önkölcsönhatna. Tehát: mi az önkölcsönhatási spin járulék, és mi az igazi neve? (Természetesen Jelölt írhatott volna angol disszertációt, akkor én átsiklottam volna felette, de akkor sem tudnók, mi volt ott.)

Ezzel akkor az 1. Résszel végeztem, a publikált eredményeket elfogadom, és értékesnek tartom. A 2. Rész eredményeit is elfogadom matematikailag, értékesnek tartom, a megközelítés teljesen jogos, de az *interpretáció* számomra egyelőre kérdéses, rögtön látjuk, miért.

A bránok olyan leírásokban jönnek elő, ahol a téridő dimenziószáma  $>4$ , de ezek közül egy sem mikroszkópikus, tehát nem kompakt. Ilyen leírás hasznos *lehet*, például sötét anyag céljából. A nyilvánvaló problémát, miszerint az extra dimenziókat nem látjuk, egy rendkívül anizotróp metrikával oldjuk meg, amelyben a minket tartalmazó 4 dimenziós hiperfelület egy nagyon vékony környezetében marad mindig a minket elérő fény.

A probléma az, hogy a Kozmológiai Elv nem nagyon kedveli az ilyen megoldásokat. Ha pl. az Univerzumnak maximális térbeli Killing-szimmetriája van, mint a Robertson-Walker téridőknek, akkor az ilyen anizotrópia lehetetlen.

Mármint 1985-ben B. Lukács és A. Mészáros (Inhomogeneities and the Cosmological Principle, Astrophysics & Space Science, **114**, 211) rámutatott, hogy mivel a Kozmológiai Elv csak elv, szükség szerint gyengíthető, és pl. a teljes térbeli Killing-szimmetria helyettesíthető konform Killing-szimmetriával. A teljes térbeli Killing-szimmetria 6 Killing-vektor, de az ilyen téridők konform szimmetriákra 15 konform Killinggel bírnak, ami a  $(4+1)*(4+2)/2 = 15$  miatt a maximálisan lehetséges konform szimmetria, ami szép és mélyértelmű.

5 dimenzióban ez 21 konform szimmetriát jelentene, és pl. ilyen brán-világot javasolt is 1999-ben Lisa Randall és R. Sudrum (Phys. Rev. Lett. **83**, 3370 & 4690), bár elsősorban azért, mert a Tevatronon reméltek megerősítést. Az persze nem jött el, lévén a gravitáció *nem* kölcsönhatás, amit ízlés szerint beépíthetünk egy GUT-ba, De itt a lényeg az, hogy Randall és Sudrum egy

$$ds^2 = -dt^2 + dx^2 + dy^2 + dz^2 + e^{2\Phi(x^5)} dx^{52}$$

metrikát javasolt, és ez bránelméletileg szerintük elegendő lett volna, ha

$$\Phi(x^5) = Kx^5$$

és  $K$  „elég nagy”. Mármint Lukács rámutatott (May Kaluza Ride Again? Relativity Today, eds. C. Hoenselaers & Z. Perjés, Akadémiai, Budapest, 2002, p. 161), hogy egy ilyen metrikának teljes konform Killing szimmetriája van (21 konform Killing vektor), vagyis a Gyengébb Kozmológiai Elv szerint jó és szép Univerzum. A megjegyzésnek természetesen semmilyen visszhangja sem lett.

A lényeg az, hogy az extra dimenzió extra szabadságokat hoz be, amikre *nem lehetnek* közvetlen megfigyelések (onnan fény nem jöven hozzánk). Egy 5 dimenziós elmélet kapcsolata a



mi (esetleg csak gyakorlatilag) 4 dimenziós világunkkal kérdéses, mivel a 15 metrikus tenzor komponensből mi csak 10-et tudunk megfigyelni. A nem észlelhető részben akármi lehet, és azzal az észlelhetőben majdnem akármit meg lehet magyarázni.

A helyzet persze nem ennyire reménytelen 5 dimenziós kozmológiában például a Kozmológiai Elv különböző változatai általában segítenek. Ha viszont par excellence lokális objektumokról van szó (pl. fekete lyuk/gravitációs kollapszus), akkor a „megmagyarázás” meggyőző ereje kérdéses.

Ennek ellenére persze a 2. Rész eredményeit, *mint matematikai eredményeket*, elfogadom. De azt megjegyzem, hogy a 8.3 fejezet, és a 10. 2b pontja egyaránt „5D gravitonokat” említ. 8.3-ban Jelölt helyesen megjegyzi, hogy ez részecskefizikai nyelvezet. Gravitonokról akkor lehetne szó, ha az 5D Általános Relativitáselmélet a Relativisztikus Kvantumgravitáció volna, amire semmi jel sem mutat. Működőképes Általános Relativitáselmélet – Kvantumtérelmélet egyesítés (egyelőre?) nincs, és a graviton egy ilyen elmélet objektuma lenne, mint ahogyan a foton a Speciális Relativitáselmélet és a Kvantummechanika egyesítéseként adódó Kvantumtérelmélet objektuma. Jelölt terminológiája 8.3-ban („...kis fluktuációk gravitációs hullámokat keltenek, ezek egyrésze az extra dimenzióba távozhat”), pontos és helyes. De 10. 2b Jelölt saját összefoglalása, és itt ellenzem a „graviton” terminológiát.

A dolgozatot támogatóan ajánlom a Bizottság figyelmébe. Jelölt szerintem érdemes a fokozatra, és további sikeres szakmai pályafutást kívánok neki.

Lukács Béla

a fizikai tudomány doktor  
MTA Wigner Intézete