BTK Filozófia Intézet, Logika Tanszék
EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

1088 Budapest, Múzeum krt. 4/i
Tel./Fax: (36 1) 485 5245
http://phil.elte.hu/leszabo

E. Szabó László
DSC, egyetemi tanár

2011. április 26.

Bírálat Dr. Rácz István *Feketelyukak a gravitáció geometrizált elméleteiben* c. akadémiai doktori értekezéséről

Rácz István doktori értekezése közel húsz év kutatási eredményeiből született cikkeire épül, mindenekelőtt arra a kilencre, melyeket a szerző a tézisfüzetben is kiemelten felsorol. A szóban forgó cikkek a témakör legrangosabb nemzetközi folyóirataiban jelentek meg, legtöbbjük a *Classical and Quantum Gravity*-ben.

A dolgozat fejezetei alapvetően három nagy téma vizsgálatára oszthatók. A 2.–4. fejezet eredményei azzal a témakörrel kapcsolatosak, melyet hagyományosan „feketelyuk egyértelműségi tételeknek” szoktunk nevezni. Ezekben a fejezetekben a szerző általános, a téregyenletektől független, geometriai keretek között – az általánosított domináns energiafeltétel teljesülése mellett – *igazolja* azt a korábbi *hipotézist*, hogy a gravitációs kollapszus végállapotát leíró stacionárius feketelyukak eseményhorizontja mindig egy Killing-horizont, amely vagy kettéhasadó, vagy olyan, hogy azon a felületi gravitáció zérus.

Másodikként a disszertáció utolsó, 7. fejezetét említem. Hawking feketelyuk-topológia tétele szerint a feketelyuk-tartományt a téridő más tartományaitól elválasztó dinamikai horizont globális szelései S^2 topológiájúak. Ebben a fejezetben a szerző a feketelyuk-topológia tétel különböző értelemben vett általánosításait adja meg, a 2.–4. fejezetekhez hasonló módon, tisztán geometriai, az Einstein-egyenletek konkrét alakjától független keretek között. A szerző által követett tárgyalást különösen eleganssá – és persze fontossá – teszi, hogy nem támaszkodik az úgynevezett „referencia fóliázás” előzetes feltételezésére.

A harmadik témakör az elektrovákuum feketelyuk-téridőkkel kapcsolatos. A már említett feketelyuk egyértelműségi tételek alapján tudjuk, hogy az aszimptotikusan sík, stacionárius elektrovákuum feketelyukak a Kerr–Newmann-téridők osztályába tartoznak. Fontos kérdés azonban, hogy hogyan jellemezhetőek az ezektől valamilyen mértékben eltérő, úgynevezett deformált feketelyukak. A disszertáció 5. fejezete olyan elektrovákuum téridőket vizsgál, melyek egy egyparaméteres izometriacsoporttal és egy ehhez tartozó kettéhasadó Killing-horizonttal rendelkeznek – fontos azonban, hogy az aszimptotikus viselkedésre vonatkozó megszorítások nélkül. A szerző által kidolgozott matematikai módszer lehetővé teszi a legáltalánosabb deformált feketelyuk téridők vizsgálatát is. A fejezet egyik legérdekesebb eredménye annak megmutatása, hogy egy általános deformált elektrovákuum feketelyuk kettéhasadási felülete mentén bizonyos adatok, mint egy hologram, sűrítve tárolják a felület elemi 4-dimenziós környezetére vonatkozó téridő-geometriai és elektromágneses információt.

A 6. fejezetben a szerző, Hawking feketelyuk merevségi tételének általánosításaként, megmutatja, hogy sima, stacionárius elektrovákuum feketelyuk-téridőkben bizonyos (elég gyenge) feltételeket kielégítő jövő eseményhorizont valóban egy Killing-horizont.

Mindezeket megelőzi egy nagyon jól megírt, a későbbieket kitűnően megvilágító bevezető fejezet.

A fent említett eredményeket a szerző a tézisfüzetben pontokba szedve részletesen és pontosan kimondva összefoglalta.

A disszertációban kifejtett kutatási eredmények, a tézisfüzetben felsorolt tézisek, a vonatkozó publikációk, valamint Rácz István eredményeinek nemzetközi és hazai elismertsége alapján, kétség nem fér ahhoz, hogy teljesíti az akadémiai doktori fokozattal szemben támasztott követelményeket, ezért a fokozat megadását támogatom.

Az alábbiakban szeretnék néhány gondolatot felvetni, részben kérdések formájában. Szeretném azonban leszögezni, hogy megjegyzéseim, kérdéseim és az azokra remélt válaszok a fokozat odaítélésével kapcsolatos támogató álláspontomat érdemben nem befolyásolják.

1. A 25. oldalon az 2.2. fejezet elején magyarázatot kapunk a csapdázott felületek fizikai jelentésére vonatkozóan. Ez a magyarázat csak a $\theta^{(l)} < 0$ és $\theta^{(n)} > 0$ esetre tűnik értelmesnek, míg a fogalom definíciója (2.1.6. Definíció) a fordított esetet is megengedi. (A későbbiekből kiderül, hogy a fizikai magyarázat nyilván csak a „jövő értelemben csapdázott" felületre vonatkozik. Ezt a kifejezést a szerző mindvégig használja, de úgy látom, ez külön nem lett definiálva. Ezzel összefüggésben felmerül a kérdés, hogy a mi lenne a múlt értelemben csapdázott felület fizikai jelentése?)

2. Van egy feltételezhetően LaTeX-hiba, amely a 103.–106. oldalon okozott számomra teljes konfúziót. Mint kiderült, a hiba egyszerű: a 6.5.2. fejezetben az egyenletek számozása újra kezdődik, ezáltal bizonyos egyenletek száma megegyezik a 6.5.1 fejezetbeli számokkal, miközben vegyesen, hol az egyikre, hol a másikra vonatkoznak a hivatkozások. Utólag megnézve, ilyen probléma több helyen is van, pl. 40. és 41. oldal: (3.1.1) számú formulából is kettő van.

3. A „stacionárius feketelyuk téridő" fogalma több helyen is szerepel az állítások a premisszáiban. Tekintve, hogy a szerző minden más alapvető fogalmat nagyon világosan megmagyaráz, és fizikai példákkal alátámaszt, hiányolom, hogy az meglehetősen komplex 2.3.1 Definíció mellé semmiféle magyarázat nem társul, és nincs arról említés, hogy végül is mi teszi fizikailag plauzibilissé a stacionaritás feltételezését.

4. A disszertáció szövegében is és a tézisfüzetben is gyakran használja a szerző azt a fordulatot, hogy „ábrázol" vagy „megjelenít" („reprezentál" értelemben). Néhány példa: a tézisfüzet 5. oldalán az első tézisben,

   (A) „Megvizsgáltuk azon stacionárius feketelyuk-téridők lokális kiterjeszthetőségét, amelyekben a feketelyuk jövő esemény-horizontját egy olyan $\mathcal{N}$ Killing-horizont jeleníti meg, melyhez található [...]"

a disszertáció 100. oldalán a 6.5.1 fejezet második mondatában,

(B) „Az anyagmezőket [...] sima $(0, l_i)$ típusú $T_{(i)a...b}$ tenzormezőkkel ábrázoljuk."

vagy a tézisfüzet 4. oldalának első bekezdésében,

(C) „[...] a téridőnek – az összes elvileg megfigyelhető klasszikus fizikai események összességének – az elméleten belüli megjelenítése is a differenciálható sokaságok és azokon értelmezett Lorentz-szignatúrájú metrikák fogalmára, valamint ilyen párok izometria-transzformációk által indukált ekvivalencia-osztályaira épül."

Fel szeretném hívni a figyelmet ennek a megfogalmazásnak a többértelműségére. Elhomályosítja ugyanis az állítások pontos episztemológiai státuszát. A következő három esetre gondolok:

Analitikus állítás: Az (A) idézetben nyilván erről van szó. 'Ha az eseményhorizont olyan Killing-horizont, melyhez található ..., akkor (kiterjeszthető).'

Szintetikus állítás: A világ empirikus ténye, hogy az általunk ismert fizikai mezők azzal a tulajdonsággal bírnak, hogy egy megfelelő tenzormezővel írhatók le – (B) eset.

Konvenció, választás: A fizikai világ valamely entitásának vagy objektív tulajdonságának a reprezentálása empirikusan aluldeterminált, és választás kérdése, hogy mivel reprezentáljuk. A (C) esetben a téridőt az izometrikus (M, g)-k valamelyikével reprezentáljuk. (Maga a tény, hogy ilyenekkel, illetve ezek egy ekvivalencia-osztályával lehet a fizikai téridőt reprezentálni, a fizikai világ egy tulajdonságát kifejező szintetikus – tehát a (B) esettel azonos típusú – állítás.)

Érdemes lenne tehát mindenütt pontosítani, mikor miről van szó.

5. A fenti (C) idézetben is megfogalmazódik az a széles körben elfogadott idea, mely szerint ha (M, g, T) egy univerzum (téridő+anyagmező) modellje, akkor tetszőleges (M, g', T') is modellje ugyanannak a fizikai univerzumnak, ha létezik olyan $\varphi : M \to M$ diffeomorfizmus, hogy $g' = \varphi^* g$ és $T' = \varphi^* T$ – abban a triviális értelemben, hogy például azt a fizikai eseményt (a fizikai univerzum azon lokális epizódját), melyet az egyik modellben az $x \in M$ pont reprezentált, azt a másik modellben a $\varphi(x) \in M$ pont reprezentálja. Ez tehát a diffeomorfizmusokkal szembeni „ekvivalenciának" a triviális értelme. A 101. oldalon alulról a második bekezdésben ezt olvashatjuk:

> „[...] a (6.5.1) és (6.5.2) egyenleteket felírhatjuk kvázi-lineáris elsőrendű hullámegyenletként, így azok a sima esetben – diffeomorfizmusok erejéig – egyértelmű maximális Cauchy-fejlődéssel rendelkeznek, minden alkalmas kezdőértékprobléma esetén."

Ez a gondolatjelek közé szúrt, minden további magyarázat nélküli „diffeomorfizmusok erejéig" azt sugallja, hogy itt is a fenti értelemben vett triviális „téridő-modell” ekvivalenciáról van szó. Felfogásom szerint azonban ez a triviális ekvivalencia koncepcionálisan különbözik attól az egyáltalán nem triviális, a fóliázást rögzítő *lapse* és *shift* mezők szabadságából származó gauage-ekvivalenciától, amely a dinamikai egyenletek tulajdonsága. Az előző ugyanis minden esetben – a téregyenletektől függetlenül – triviálisan fennáll, míg a második csak akkor, ha a téregyenletek, azaz a csatolt Einstein- és anyagmező-egyenletek rendelkeznek ezzel a tulajdonsággal. Az idézett esetben nyilván az utóbbiról van szó.

6. Végül egy apró tűnődés. A tézisfüzet 4. oldalán, két helyen, összesen három dolgot tanulhatunk arról, hogy mi is az a téridő: Az 1) *elvileg megfigyelhető* 2) *klasszikus* 3) *lehetséges* események összessége. Az elvileg megfigyelhető azonos-e a lehetségessel? Ha a téridő csak a klasszikus események összessége, hol vannak a nem klasszikus (kvantum?) események, és mik azok? Ha a téridő a *lehetséges* események összessége – ha tehát van „lehetséges” és, ezzel szemben, „aktuális” –, akkor az aktuális világ aktuális eseményei ennek egy valódi részsokaságát képezik? És hogyan helyezkednek el az aktuális események a lehetséges események között? Állhat-e kauzális kapcsolatban két olyan lehetséges esemény, amelyek nincsenek ugyanabban az aktuális világban? (Egyes szerzők[1] amellett érvelnek, hogy a világ modális szerkezetének matematikai leírása nem fedhető le egyetlen téridő/kauzális struktúrával.)

[1]Nuel Belnap: Branching space-time, *Synthese* **92** (1992) 385–434.