

E. Szabó László
DSC, egyetemi tanár

**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 téziszfűzetben 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 kettéhasad, 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 elegánssá – 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 jellemezhetők 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 L^AT_EX-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 egyeseken, 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 kiterjeszhetőségét, amelyekben a feketelyuk jövő eseményhorizontját 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 $T_{(i)a\dots b}$ tenzorme-
zőkkel ábrázoljuk.”

vagy a tézisfüzet 4. oldalának első bekezdésében,

(C) „[...] a téridőnek – az összes elvileg megfigyelhető klasszi-
kus fizikai események összességének – az elméleten be-
lüli megjelenítése is a differenciálható sokaságok és azokon
értelmezett Lorentz-szignatúrájú metrikák fogalmára, vala-
mint ilyen párok izometria-transzformációk által indukált
ekvivalencia-osztályaira épül.”

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

Analitikus állítás: Az (A) idézetben nyilván erről van szó. ‘Ha az ese-
ményhorizont olyan Killing-horizont, melyhez található . . . , akkor (kiter-
jeszhető).’

Szintetikus állítás: A világ empirikus ténye, hogy az általunk ismert fizi-
kai mezők azzal a tulajdonsággal bírnak, hogy egy megfelelő tenzorme-
zővel írhatók le – (B) eset.

Konvenció, választás: A fizikai világ valamely entitásának vagy objek-
tív tulajdonságának a reprezentálása empirikusan aluldeterminált, és vá-
lasztás 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 elfoga-
dott 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 $\varphi : M \rightarrow M$ 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 kezdőértékprob-
léma esetén.”

Ez a gondolatjelek közé szűrte, minden további magyarázat nélküli „dif-
feomorfizmusok 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 tünődés. 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 lehetőségessel? 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 szerzők¹ mellett érvelnek, hogy a világ modális szerkezetének matematikai leírása nem fedhető le egyetlen téridő/kauzális struktúrával.)

E. Szabó László

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