

A MODERN KOZMOLÓGIA EGYES ÁGAI ÉS AZ ANTROPIKUS ELVEK

Doktori értekezés tézislevele

Írta: Hetesi Zsolt

Témavezető: Dr. Balázs Béla egyetemi tanár,
ELTE TTK Csillagászati Tanszéke

Fizika Doktori iskola

Iskolavezető: Dr. Horváth Zsolt egyetemi tanár

Részecskefizika és Csillagászat Doktori Program

Programvezető: Dr. Csikor Ferenc egyetemi tanár

2007

1. Bevezető, célkitűzések

A dolgozatban megvizsgáltam a kozmológiai konstans történetét és helyét a kozmológiában. Az Ia szupernóvák és a WMAP mérések alapján a Világegyetem gyorsulva tágul. A téregyeneletek képesek gyorsuló Univerzumot adni eredményül, ha tartalmazznak egy Λ tagot; ez a kozmológiai konstans. Az 1980-as és 90-es években még nem álltak rendelkezésre precíz értékek ennek konstansnak a nagyságáról, ezért többen az antropikus elvek segítségével próbálták ezt meghatározni (Weinberg, 1987).

Az Ia szupernóva adatsorból tanulmányoztuk a luminozitási távolság és az abszorpció értékek statisztikai tulajdonságait, és arra jutottunk, hogy az adastorban szisztemtikus hiba van. Ezt a diverzitást egy korrelációra vezettük vissza, mely a luminozitási távolságok és az abszorpció között áll fenn. Miután az adatokat módosítottuk, és eltávolítottuk a diverzitást, olyan luminozitási távolságot kaptunk, mely mentes a hibától. Erre illesztve kozmológiai modellt, azt kaptuk, hogy az SN Ia adatok egymagukban nem zárják ki egy $\Lambda = 0$ megoldás létét.

Ezek után felírtunk egy Monte Carlo szimulációt az SN Ia adatsorra. Kimutattuk, hogy a korábban említett korreláció a luminozitási távolság és az abszorpció között nem bukkan fel a szimulált mintában.

Ezek után megvizsgáltuk az antropikus elvek alkalmazásának lehetőségét a Λ értékének meghatározásában. Azért, hogy használhassuk az antropikus elveket, megvizsgáltuk létjogosultságukat a fizikában. Vizsgálatunk arra vezetett, hogy Gödel nem-teljességi tétele meggátolja azokat az erőfeszítéseket, melyekkel az antropikus elvek tagadhatók. Kiindulva a káoszelmélet által használt kaotikus és a kozmológiai finomhangolt régiók saját fázistérbeli topológiai hasonlóságából egy alternatív Ljapunov indikátort vezettünk be a finomhangolás mérésére. Ez az indikátor az Univerzum élethordozó képességének változását mutatja.

Arra a következtetésre jutottunk, hogy az antropikus elvek egyelőre nem alkalmasak Λ pontos értékének meghatározására, ám a kozmológiai konstans finomhangoltsága tény.

2. Módszerek

2.1. A szupernóvák vizsgálata

Az Ia típusú szupernóvarobbanás olyan kettősrendszerben történik, ahol az egyik csillag még termonukleráisan aktív, a másik pedig egy öreg fehér törpe, a robbanás fényessége $-19.5^m \pm 0.2^m$

Napjainkban számos összehangolt erőfeszítést tettek annak érdekében, hogy minél több szupernóva adat álljon rendelkezésre azért, hogy statisztikailag is erős bizonyítékot szolgáltatasson egy pozitív kozmológiai konstans létezése mellett (pl. Riess et al., 1998, 2004, Perlmutter et al., 1999, Tonry et al., 2003, Barris et al., 2004). A kozmológiai felhasználás előtt az adatok redukciója kulcsfontosságú kérdés.

Egy szupernóva m_v látszó fényessége a következő módon áll elő:

$$m_V = M_V + 5 \log_{10}(D_L/h) + A_V(z) + k(H, z) + 25 \quad (1)$$

ahol M_V a szupernóva abszolút fényessége, D_L a luminozitási távolság, h a dimenziótlan Hubble-állandó ($H/100\text{km/s/Mpc}$), A_V az abszorpció (mely az extinkcióból származik, $A_V = R_V E$), $k(H, z)$ a k-korrekción, ami a színek z vöröseltolódásának félempirikus korrekciója. Hogy helyes távolságokat kapjunk, az abszorpció minden fajtáját el kell távolítani az adatokból. Munkánk egyik célja volt, hogy az adatok újraértelmezésével rámutassunk még fel nem dolgozott szisztematikus hibákra, melyek lehetséges oka a szülőgalaxisokban a szupernóvára rakódó, ismeretlen nagyságú abszorpció (Rowan-Robinson, 2002).

A legkiterjedtebb, számunkra használható dimenziójú adatokat tartalmazó lista két cikk adataiból áll össze (Tonry et al., 2003, Barris et al., 2004). Ezek maguk is korábbi kutatások adataiból összeállított kompilációk. Az első minta 230, a második 23 szupernóvát tartalmaz, többek közt a számunkra fontos D_L , z és A_V adatokkal.

Az anyagaxis-beli abszorpció-értékek 0 és 4.1 magnitúdó közé esnek, de néhány kivételtől eltekintve lényegében a 0 – 1 magnitúdó közti tartományt

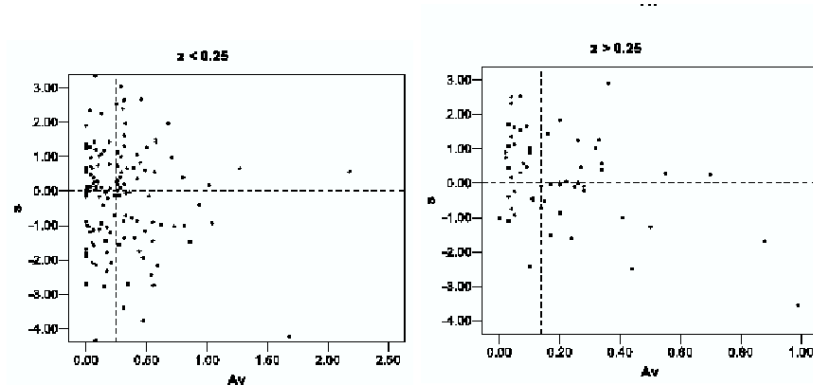
fedik le. A mért adatokat Monte Carlo szimulációval modelleztük is. A szimuláció és a valóságos adatok jól egyeznek, a két adatsoron végzett K-S próba szerint az adatok $p = 0.55$ valószínűséggel ugyanabból a háttéreloszlásból valók.

A vöröseltolódás-adatok eloszlása kétmódusú. Az adatsor $z = 0.25$ -nél választható ketté. A további statisztikai vizsgálatokhoz kiszámítottuk az $s = (D_L - D_{L0})/\sigma_{DL}$ standardizált eltérést az üres modelltől, ahol D_L a mért logaritmusos luminozitási távolság, σ_{DL} a hozzá tartozó mérési hiba, D_{L0} pedig luminozitási távolság az üres Univerzumban.

A mért és az egy bizonyos (jelen esetben az üres) modellhez tartozó számított D_L -ek s eltérése jó illesztés esetén szimmetrikus kell, hogy legyen. Az abszorpció mediánja és a $z = 0.25$ -ös vágás négy részre bontja a mintát. Az ún. előjel-tesztet használtuk annak eldöntésére, hogy az s standardizált eltérések az üres modelltől szimmetrikusak-e az üres Univerzum referenciavonalára a kicsi és a nagy vöröseltolódású alminta esetén. A "+" előjel szignifikáns többlete egy $\Lambda \neq 0$ modellt erősítene meg, míg az ellenkező eset egy hagyományos Friedmann-modellt támasztana alá.

A vizsgálat során feltételezzük, hogy az s ellógások "+" (vagy "-") előjelének valószínűsége binomiális eloszlást követ. A közeli, kis z -jú szupernóvákat tartalmazó alminta szimmetrikus, függetlenül az abszorpció értékétől (ti. attól, hogy az abszorpció értéke kicsi-e, vagy nagy). Ezzel ellentétes a nagy vöröseltolódású alminta, mert kis és nagy abszorpciójú részei statisztikailag eltérő tulajdonságúak.

Míg az alacsony abszorpciójú rész szembeűnő többletet mutat olyan pontokból, amelyek az üres Univerzum referenciavonala fölött vannak, addig azok a pontok, melyek az A_V mediánja fölött vannak, ugyanezt nem mutatják, azaz elhelyezkedésük szimmetrikus a referenciavonalra. Ez a jelenség valószínűleg egy rejtett korrelációval magyarázható az s standardizált ellógások és az A_V abszorpcióértékek között a nagy z -jú tartományban. Azonban nemcsak ezt az egyszerű statisztikai próbát lehet alkalmazni. A nagy z -jú mintán Student-féle t-próbát, Mann-Whitney tesztet és Kolmogorov-Szmirnov pró-



1. ábra. A közeli (balra) és a távoli (jobbra) szupernóvák almintája az $s - A_V$ fázissíkon ábrázolva. A vízszintes vonal az üres Univerzum referenciavonala, a függőleges vonal pedig az abszorpció mediánja. Látható, hogy míg a közeli almintá s standard ellógásai szimmetrikusak az üres Univerzum referenciavonalára, mind az A_V mediánja alatt, mind fölött, addig a távoli almintá kis abszorpciójú részhalmaza nem szimmetrikus, ugyanakkor a nagy abszorpciójú rész pedig az. Ha az adatok minden szisztematikus hibától mentesek, ez nem fordulhatna elő.

bát is végeztünk; minden esetben pozitív eredménnyel:

1. táblázat. További tesztek eredményei a minta nagy z -jú részére.

Teszt típus	szign.	Mintaszám
Student t	0.044	61
Mann-Whittney	0.025	61
Kolmogorov-Szmirnov	0.005	61

A Student féle t -próba az átlagokat veti össze a medián két oldalán, míg a másik három teszt magát az s eloszlását. Megállapítható, hogy a további vizsgálatok is megerősítették az előjelteszt eredményét.

Feltettük, hogy egy f rejtett változó van jelen mind az s , mind az A_V adatsorban, mely felelős a korrelációért. Az előbbi feltevés alapján a megfigyelt s és A_V értékek kifejezhetőek f szerint:

$$\begin{pmatrix} A_V \\ s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_0 \\ s_0 \end{pmatrix} f + \begin{pmatrix} \varepsilon_A \\ \varepsilon_s \end{pmatrix} \quad (2)$$

ahol A_0 , s_0 állandók, ε_A , ε_s pedig a zaj-tagokat jelentik. Hogy megbecsül-

hessük A_0 , s_0 és f értékét, faktoranalízist alkalmazunk.

Hogy eldönthessük, az általunk fellelt korreláció valós-e, vagy csak a véletlen műve, Monte Carlo-szimulációt készítettünk az SN Ia adatsorra (Balázs et al. 2007). Nullhipotézisként feltettük, hogy az effektus pusztán a véletlen műve, ebből kiindulva $A_V - s$ párokat szimuláltunk. A nullhipotézist megtudtuk cáfolni.

2.2. Antropikus elvek

Az antropikus elvet lényegében így vezethetjük be:

A fizikai és kozmológiai mennyiségek minden megfigyelt értéke nem egyforma valószínűségű, hanem olyan értéket vesz fel, ami azzal a követelménnyel korlátozott, hogy léteznek helyek, ahol az élet ki tud fejlődni és hogy az Univerzum elég idős ahhoz, hogy ez már megtörtént. (WAP)¹

Megvizsgáltuk, hogy a gyenge és az erős antropikus elv rendelkezik-e valós fizikai tartalommal, azaz része-e a fizikának, vagy pusztán bölcséleti kérdés. Erre pozitív válasz adódott.

Ezek után azt kellett megvizsgálni, hogy az eddig, pusztán szavakban megadott elvre felírható-e valamilyen matematikai meghatározás, mely alkalmas tesztelésre? A finomhangolás matematikai alakba öltése segítheti az antropikus érvelést. Célunk volt a finomhangolás egy egyszerű definíciójának megalkotása, mely a káoszelmélet-beli Ljapunov-indikátor analógiája.

Végül pedig egy kérdés marad hátra: valóban megbecsülhető-e segítségével a kozmológiai konstans értéke? Egyelőre úgy tűnik, hogy a tény, miszerint léteznek galaxisok erős megszorítást jelent a Λ értékére, tehát az finomhangolt, de az elvek ettől többet nem tesznek lehetővé mondani.

¹Weak Anthropic Principle. A későbbiekben a fenti rövidítéssel hivatkozunk rá. A definíció eredetije: The Anthropic Cosmological Principle, p. 16.

3. Tézisek

1. A szupernóva adatbázison (Tonry et al., 2003, Barris et al., 2004) végzett, a 2.1. részben leírt statisztikus vizsgálatok egy eddig ismeretlen szisztematikus hibára derítettek fényt, mely az adasort terheli. (Balázs et al. 2006).
2. A szupernóva adatmintában talált szisztematikus hibából eredő korrelációt a z, D_L, σ_{DL}, A_V adatok Monte Carlo-szimulációjának alapján is meg lehet erősíteni; az nem lehet véletlen effektus. (Balázs et al. 2007)
3. A korrigált adatokra kozmológiai modellt illesztve, eredményül az $\Omega_\Lambda = 0.47$ és az $\Omega_M = 0.43$ értékeket kaptuk, amik lényegesen különböznek az eddig elfogadott $\Omega_\Lambda = 0.7$ és $\Omega_M = 0.3$ értékektől. Míg a korábbi, nem korrigált adatsor erőteljesen alátámasztja a $\Lambda \neq 0$ modelleket, addig a $\Lambda = 0$ megoldási lehetőség is felmerül az új adatsor illesztésének konfidencia-intervallumait vizsgálva. A kanonikus $\Omega_\Lambda = 0.7$ and $\Omega_M = 0.3$ értékek kívül esnek a legvalószínűbb 99%-os tartományon a korrigált minta esetén. Egyébként ha ragaszkodunk ahhoz, hogy a Világegyetem euklideszi szerkezetű legyen, akkor az $\Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ egyenes az $\Omega_\Lambda = 0.55$ és $\Omega_M = 0.45$ értékpárt metszi ki az 1σ tartományból. A korrekció elvégzése után az adatok szórása a $z > 0.25$ tartományban a legjobban illeszkedő modellhez képest kisebb a korrigált adatsor esetén, mint a nem korrigált esetben. Számszerűen, az egy szabadsági fokra eső χ^2 értéke $\chi_{df}^2 = 1.46$ a nem korrigált esetben, míg $\chi_{df}^2 = 0.38$ a korrigált esetben. (Balázs et al. 2006)
4. Az antropikus elv létezését nem zárhatja ki egy mindent egyesítő elmélet a fizikában. A természet tartalmazza a természetes számokat (Kitada, 2006), ebből következően a természet egészét leíró fizikai elmélet tartalmazza a természetes számokat, mely utóbbiak leírására készült a Principia Mathematica. Így, mivel a Principiára érvényes a Gödel-tétel, érvényes a mindent leíró elméletre is. Ezért az antropikus elv

nem zárható ki a fizikából. (Hetesi-Balázs, 2006)

5. A kozmológiai konstans becslésére olyan elv alkalmas, mely matematikailag kezelhető. Az antropikus elvek alapját képező finomhangolás esetén a párhuzam a káoszelmélet és a finomhangolás között nem önkényes feltevés; ennek a gondolatnak a mentén alkotható matematikai meghatározás az antropikus elvre. Amint a káoszt a nullától különböző Ljapunov-indikátor jelzi, úgy a finomhangoltság pedig azt jelenti, hogy léteznek élethordozó szigetek a fizikai állandók paraméterterében. (Hetesi-Végh, 2007, Oberhummer et al. 2000)

4. Következtetések

Az Ia szupernóva adatsorból tanulmányoztuk a luminozitási távolság és az abszorpció értékek statisztikai tulajdonságait, és arra jutottunk, hogy az adatsorban szisztémikus hiba van. Ezt a diverzitást egy korrelációra vezettük vissza, mely a luminozitási távolságok és az abszorpció között áll fenn. Miután az adatokat módosítottuk, és eltávolítottuk a diverzitást, olyan luminozitási távolságot kaptunk, mely mentes a hibától. Erre illesztve kozmológiai modellt, azt kaptuk, hogy az SN Ia adatok egymagukban nem zárják ki egy $\Lambda = 0$ megoldás létét.

Továbbá igaz, hogy az antropikus elvek egyelőre nem alkalmasak Λ pontos értékének meghatározására, ám a kozmológiai konstans finomhangoltsága tény.

Hivatkozások

- [1] Balázs, L. G., **Hetesi, Zs.**, et al.: 2006, AN **327**, 917
- [2] Balázs, L. G., **Hetesi, Zs.**, et al.: 2007, AN **328**, 858
- [3] Barris, B. J., Tonry, J. L., Blondin, S., et al.: 2004, ApJ **602**, 571

- [4] Barrow, J. and Tipler F.: 1996, *The anthropic cosmological principle* (Oxford University Press, New York)
- [5] **Hetesi, Zs.**, Balázs, B.:2006, Acta Physica Polonica B, **37** 2729
- [6] **Hetesi, Zs.**, Véggh, L.: 2007, Acta Physica Polonica B, **38** 247
- [7] Kitada, H.: 1999, arXiv:gr-qc/9910080 v3
- [8] Leibundgut, B.: 2001, ARA&A **39**, 67
- [9] H. Oberhummer, A. Csótó and H. Schattl: 2000, Science, **289** 88.
- [10] Perlmutter, S., Aldering, G., Goldhaber, G., et al.: 1999, ApJ **517**, 565
- [11] Riess, A.G., Filippenko, A.V., Challis, P., et al.: 1998, AJ **116**, 1009
- [12] Riess, A.G., Strolger, L.-G., Tonry, J., et al.: 2004, ApJ **607**, 665
- [13] Rowan-Robinson, M.: 2002, MNRAS **332**, 352
- [14] Weinberg, S.: 1987, Phys. Rev. Letters **59**, 2607