

„Nem gondoltuk, hogy ekkorát szól”

Barna Imre Ferenc és Barnaföldi Gergely Gábor fizikusok

-  [Barotányi Zoltán](#)

- 2025. július 9.

Egy új, magyar kutatók által kidolgozott, világszerte komoly visszhangot kiváltó, matematikailag alaposan alátámasztott elmélet adhat magyarázatot a világegyetem működésének számos rejtélyére. De mi a jelentősége egy ilyen felfedezésnek, mit magyaráz meg a forgó világegyetem modellje, mennyit tudunk az univerzum méreteiről és tulajdonságairól? És mit ér egy magyar kutató a világban? És vajon nem szédül-e, amikor irdatlan távolságokba mereszti tekintetét? A publikáció elméleti fizikus szerzőit, a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóközpont munkatársait kérdeztük.

Magyar Narancs: Mindig meglepi a laikusokat, hogy a világegyetem nem csupán tágul, hanem forog is. Hogyan értelmezzük ezt? Miért fontos ez?

Barna Imre Ferenc: Kezdjük egy kis tudománytörténettel. Einstein először azt mondta, hogy statikus a világegyetem, majd jött Erwin Powell Hubble, aki 1929-ben felfedezte a vöröseltolódást, és először fogalmazta meg, hogy tágul az univerzum. A kilencvenes évek végén Samuel Perlmutter, Brian P. Schmidt és Adam Riess észrevették, hogy a világegyetem gyorsulva tágul – 2011-ben meg is kapták érte a fizikai Nobel-díjat. E tágulás szemléltetésére szokták mondani, hogy vegyünk egy léggömböt, amely egyre gyorsabban fújódik fel minden irányba: a felszínén minden felrajzolt pont egyre távolabb kerül egymástól. Ezek a változások a métereket, órákat számláló skálán nem érthetők meg, mégis azt jelentik, hogy valamilyen erő egyre gyorsabban húzza szét a rétestésztát – csillagászati skálákon mérve. Erre nekünk is csupán matematikai formuláink vannak – mi sem tudjuk ezt másképp elképzelni.

MN: Mi az a nevezetes Hubble-állandó?

Barnaföldi Gergely Gábor: A Hubble-paraméter azt méri, hogyan növekszik a tágulás sebessége a távolság függvényében. Különböző kozmológiai modellek vannak ennek értelmezésére. Az egyikben a táguló univerzum idővel össze fog esni, létezik olyan, ahol a tágulás örökké lassul és szépen beáll, s van, amely szerint teljesen konstans. Ez utóbbi az, ami kompatibilis a mérési eredményekkel, és amiről úgy gondoljuk most, az a kozmológiai standard modell, vagy a Lambda-CDM modell. A lambda azt jelzi, hogy benne van ez a sötét anyagos lambda-konstans, az Einstein-egyenlet extra tagja. Ez a modell egészen jól működik, és többféle megfigyeléssel alátámasztható.

MN: Hányféle módon lehet meghatározni a Hubble-állandó értékét? Két alapesetről hallani: amikor a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás, vagy valamilyen csillagászati referenciapont (ún. sztenderd gyertyák) szerint próbáljuk meghatározni.

Barnaföldi Gergely Gábor: Visszatérnék az Imre által említett modellre: fújuk a lufit, két tetszőleges helyre felrajzolt pont távolodik egymástól. Meg akarjuk mérni, hogy milyen sebességgel távolodik minden mindentől – de ezt hogyan tehetjük meg? Az a kérdés, hogyan tudunk olyan kis pontocskákat definiálni, amelyek valamilyen módon valamilyen referenciakerethez rögzítettek. Ám globális referencia nincs az általános relativitáselméletben, minden egyenlet csak lokálisan érvényes. Nos, akkor keresünk olyan fizikai jelenségeket, amelyeknek minden fizikai rendszerben ugyanolyannak kell lenniük. Az egyik ilyen, ugye, a kozmikus háttérsugárzás. Ez nem sokkal, néhány százezer évvel az ősrobbanás után keletkezett: a később bekövetkezett gyors felfúvódás (avagy infláció) után kifejlődtek az első atomok, majd a különböző kozmikus objektumok, és mintegy 370 ezer évvel az ősrobbanás után a sugárzás elvált („lecsatolódott”) az anyagról. Amikor lecsatolódik a sugárzás az addig vele együtt fluktuáló anyagról, megmarad ennek a fluktuációnak a hatása, és ez az utolsó érték öröklődik a kozmikus háttérsugárzásban. Amikor ma, 13,77 milliárd évvel az ősrobbanás után, megmértem a kozmikus háttérsugárzást, akkor a fluktuációk/darabkák közötti távolságot fogom tudni használni arra, hogy megnézzem, hogyan változott a tágulás mértéke. Igen ám, de ez nekem arról ad képet, hogy akkor ott régen hogyan tágult és hogyan fejlődött az univerzum. Ha ma körbe akarok nézni, akkor figyelembe kell vennem, hogy a fény véges sebességgel terjed.

MN: Mekkora az univerzum, amit látunk kéne?

Barnaföldi Gergely Gábor: Ameddig ellátunk, akkora; nem tudjuk, hogy mi van azon kívül.

MN: De a határ az, amíg ellátunk: a legtávolabbi, valamilyen módon detektálható objektum?

Barna Imre Ferenc: Gyakorlatilag minden irányban egyforma mélységig látunk el. Ez annyit jelent, hogy közel 13,8 milliárd éve történt a legrégebbi esemény, amit látunk. Ameddig ellátunk a távcsöveinkkel, és ez egy gömböt határoz meg, addig tudok vizsgálni objektumokat. Ahogy kialakul egy galaxis, akkor abban nagyjából egyformán fejlődnek a csillagok, és ezek között előbb-utóbb kialakulnak szupernóva-robbanások vagy olyan speciális csillagok, amelyeknek a fényessége meghatározható pontosan egy modell alapján. A szupernóva mindig ugyanakkorát „durran”, tehát ott ismerjük a fényességet. Nagyon erős fényesség. Van egy nagyon távoli objektum (mondjuk, galaxis vagy galaxisklaszter), szinte semmi nem látszik belőle, alig bírjuk felbontani a képét, hogy megtudjuk, mi is az – de történik benne egy ilyen nagyon éles felvillanás, s annak van egy jól meghatározott fénygörbéje. Gyakorlatilag egy termionukleáris robbanás az egész,

remekül ki tudjuk számolni, hogy mennyi energia fog kisugározni. Ezért nevezzük ezeket sztenderd gyertyának. Most már, ahogy egyre mélyebbre és mélyebbre, egyre nagyobb távcsövekkel el tudunk látni, vannak más módszerek. A másik ilyen módszert az elhíresült cefeidák kínálják.

MN: Ezek egyfajta változócsillagok?

Barnaföldi Gergely Gábor: Változócsillagok, bizony, és híres magyar csillagászok is vizsgálják ezeket több száz éve folyamatosan.

A cefeidáknál – pont azért, mert precízen oszcillál a csillag – nagyon pontosan lehet tudni, hogy hol van a helyük a csillagokat nagyságuk, fényességük, színük szerint osztályozó Hertzsprung–Russell-diagramon. Így tudható, mekkora fényességük van. Egy újabb modell abból indul ki, hogy a vörös óriáscsillagoknak van egy felső limitjük, ami megszabja, mekkorára tudnak nőni, és hogy ott milyen fényességük lesz. Ezekkel a módszerekkel, ameddig látom a csillagokat, addig tudok visszalátni, de ez az optikai módszerekkel megragadható távolság elhanyagolható a mikrohullámú háttér korához képest. Tehát ezzel gyakorlatilag a tágulási folyamat végét, utolsó időszakát tudom nézni. Tehát ami most van: milliárd éves objektumokat.

MN: Miért más és más a Hubble-állandó, azaz a tágulás mértéke a kétfajta logikájú mérés esetén?

Barnaföldi Gergely Gábor: A kétfajta mérési eredmény közötti sáv azért változik, paradox módon egyre nő, mert egyre pontosabbak lesznek a mérőeszközök: egyre szuperebb teleszkópokat építünk. Korábban a nagy mérési hibák miatt még el lehetett adni, hogy nagyjából ugyanazt mértük. Mára a hibák jelentősen lecsökkentek – így feltűnőbb a kétféle módon mért értékek közötti 5 szigma (*a szigma a mérési adatok szóródásának mértékét jelzi – minél kisebb az értéke, annál pontosabb a mérés – B. Z.*) különbség. Másrészt viszont a kétféle mérési módszer is eltér egymástól.

Barna Imre Ferenc: Annak megfelelően, hogy óriási az időskála, amin mérünk. Az egyik a nagyon régi időkre vonatkozó mérés, amikor a mi modellünkben még gyorsabban forgott az univerzum, és akkor másképpen is tágult. A másik meg a „mostanában” mért adat, az utóbbi egymilliárd évre vonatkozik, amikor – legalábbis mi azt mondjuk – lassabban forgott, és ismét másképp tágult a világegyetem. Mivel a forgás is időben változik, ezért attól függően, hogy milyen időpontra vonatkoztatjuk, gyakorlatilag az egész folyamatot le tudjuk írni ezzel a viszonylag egyszerűbb, klasszikus modellel.



Barnaföldi Gergely Gábor és Barna Imre Ferenc

Fotó: Sióréti Gábor

MN: Hogyan született meg a nagy visszhangot kiváltott kutatási eredményetek az univerzum forgásáról?

Barnaföldi Gergely Gábor: Itt igazából mi azzal játszottunk, hogy időbeli skálázást raktunk bele egy egyébként teljesen hétköznapi hidrodinamikai modellbe. Tehát ügyesen elindítva berakok port az univerzumba, az addig „üres” térbe, ami azon túl a saját gravitációjára reagál, és megnézem, hogy miként viselkedik. Ami történik, azt nagyon nehéz matematikailag leírni – Imre ebben a szuperzseni, ezzel foglalkozik már nagyon régóta. Különböző fizikai diszciplínákban alkalmazza ezeket az egyébként tisztán matematikai modelleket.

ADVERTISING

Barna Imre Ferenc: Ráadásul mindez a Covid idején történt. Már nagyon elégünk volt mindenből, lent voltam a családdal a Balatonon, azután hazajöttem, bekopogtattam Gergőhöz, hogy van egy ötletem, sokat foglalkoztunk ezzel.

Barnaföldi Gergely Gábor: Vannak ezek az úgynevezett skálázást tartalmazó matematikai módszerek, amelyek nagyon szépek, és meg lehet velük oldani bizonyos fizikai konfigurációkat. És amikor készen voltunk a matematikai részével, utána jött az, hogy nézzük meg, mire is lehet ezt használni.

Barna Imre Ferenc: A matekját hamar megcsináltam – elvégre így szól nagyobb, így lesz több a megoldásunk tudományos értelmezése. Viszont a megfelelő fizika megtalálása lassabban ment.

Barnaföldi Gergely Gábor: De nem gondoltuk, hogy végül ekkorát szól...

Barna Imre Ferenc: Június végére 27 ezren töltötték le ezt a cikket (*amely a Monthly Notices of Royal Astronomical Society című folyóiratban jelent meg – B. Z.*). Van három YouTube-csatorna, ahová felkerült, közöttük két egyenként milliós látogatottságú. Az egyik a NASA-é, a másik meg egy „asztroyoutuberé”.

Barnaföldi Gergely Gábor: Elég vicces, hogy az eredményünkről mi még nem igazán tartottunk előadást, de más már megtette helyettünk is! A YouTube-on az egyik videón a készítője végigveszi az egész cikket, szinte betűről betűre végigmegy rajta és felmondja a tartalmát.

Barna Imre Ferenc: Hozzászoltam, fixáltam, hogy kelet-európai lennénk, és én vagyok az egyik szerző. Megköszöntem, és arra is érkezett egy csomó pozitív reakció.

MN: Vajon az összes fontos publikációról születnek már ilyen magyarázó videók?

Barna Imre Ferenc: Inkább csillagászati dolgokkal kapcsolatban.

Barnaföldi Gergely Gábor: Szinte minden hónapban születik itt a Wigner Intézetben egy izgalmas publikált kutatási eredmény, nem csak a miénk. Hogy mit kapnak fel az emberek, az már egy másik sztori.

Barna Imre Ferenc: Én arra gondolok, hogy nekünk is most esik le: foglalkozunk a kvantummechanikával, de hát azt kevés ember érti. Viszont ha egy gyerek fölneáz az égre és azt hallja, hogy univerzum meg forgás, akkor ez rögtön beülteti a hintába. Ez két olyan fogalom, hogy emberi mivoltodból adódóan megfog.

Barnaföldi Gergely Gábor: Igyekszünk válaszolni olyan kérdésekre, amelyeket az emberek föltesznek. A mi történetünk annyi, hogy megtaláltuk a megoldást, kipróbáltuk, ki tudtuk hozni rá a Hubble-konstanst – sőt az eredményünk kompatibilis volt vele. A miénk sokkal egyszerűbb modell, mint a Lambda-CDM: ebben kizárólag sötét anyag van.

Barna Imre Ferenc: Meg áramlástan. Egy harmadikos gépészmérnök hallgatónak el lehet magyarázni ezt a néhány tagot – összesen három egyenlet az egész, ráadásul az is hely- és időfüggő –, egy bizonyos fokig le tudjuk egyszerűsíteni. Végső formulánk nincsen, de a lényeg az, hogy még egyszerűsítjük, és onnantól egy laptopon megnyomsz egy entert, közben megiszol egy kávét, és meg is van a megoldás.

Barnaföldi Gergely Gábor: Annyi a varázslat benne, hogy ez tulajdonképpen egy analitikus megoldás. Mint a középiskolában: kijön az eredmény, és kétszer alá lehet húzni. A legtöbb fizikai egyenlet, amivel manapság dolgozunk, nem ilyenre vezet: annyira

bonyolult differenciálegyenletek, amelyeket nem lehet egykönnyen megoldani. Azzal a megoldással, hogy a skálázást belerakjuk, rögtön lehet találni analitikus vagy közel analitikus megoldásokat: gyakorlatilag tényleg egy notebookon ki lehet számítani.

Barna Imre Ferenc: Annak az egyenletnek is rengetegféle megoldása van, de némi megszorítással kijön ez is.

Barnaföldi Gergely Gábor: Ebből először írtunk egy cikket egy matematikai lapba, majd megírtuk egy másik cikkben azt, hogy kompatibilis a Hubble-állandóval. Viszont feltűnt az is, hogy attól függően, hogyan állítjuk be ezt az időbeli változást, egy picit más lesz az értéke. Akkor jött az ötlet, hogy nézzük meg, mi a fizikája annak, hogy régen más volt a Hubble-paraméter, mint most. Mások is kezdik feszegetni, hogy a Hubble-állandó igazából nem is állandó. A mai kor fizikájában ezt mind több dologról feltételezik. Egyenleteinkből is az következett, hogy a Hubble-paraméter időfüggő: akkor miért is ne vonjuk be a matematikai modellünkbe a forgást, ami egy kézenfekvő ötlet?

MN: Az univerzum forgását először Gödel feltételezte még a múlt században.

Barnaföldi Gergely Gábor: Ezt először valóban a múlt század egyik legjelentősebb matematikusa és fizikusa, az Einstein-tanítvány osztrák Kurt Gödel vetette fel, de egészen más módon képzelte el.

Barna Imre Ferenc: Hérakleitosz ókori görög filozófus mondta egykor, hogy „panta rhei” – azaz minden mozog. Szerzőtársunk, Szapudi István kitalálta, hogy úgy hangzana: *panta kykloutai!* (παντα κυκλoutai!) – azaz minden forog! Én ehhez már csináltam egy pólót, NASA-betűtípussal – egy konferencián felvesszük majd, úgy fogjuk prezentálni az eredményeket.

MN: Említsük meg a szóban forgó tudományos cikk további szerzőit is.

Barna Imre Ferenc: Négyen vagyunk a tanulmány társszerzői. Én az elvi-matematikai részét találtam ki, Gergő pedig megtámogatta fizikával. Az első szerző egy doktorandusz, Szigeti Balázs, gyakorlatilag ő végezte a számolásokat. Szapudi István a második szerzőnk, ő Hawaii csillagászprofesszor, és sokat segített, hogy jó helyre kerüljön a tanulmány. A hawaii és a budapesti időzónák adta lehetőségek szerint, reggelente és esténként sok izgalmas diszkusszió zajlott.

MN: Ha egyszer forog az univerzum, akkor mi a tengelye, amely körül forog?

Barna Imre Ferenc: Ez egy klasszikus hidrodinamikai modell. Fölveszek egy koordinátarendszert x , y és z tengelyekkel, s abban valamilyen tengely körül forog valami. De hogy hozzánk képest az univerzumban hol van ez a tengely, amely esetleg „mászik” is? Azzal nem foglalkozunk. Teszünk bele egy folytonos közeget, az képes arra, hogy gyorsulva táguljon, saját magával gravitáljon, forogjon, nem viszkózus, nincs súrlódás. Ez a legegyszerűbb forgó modell. Az időben változó Hubble-paramétert a

sűrűségből viszonylag egyszerűen lehet származtatni, és azt össze lehet vetni a mérési eredményekkel.

Barnaföldi Gergely Gábor: Gödel elgondolásának a szépsége abban rejlik, hogy bár forog az univerzum, nem látom ezt a forgási tengelyt. Erre azt a példát szoktam mondani, hogy ha felülsz egy körhintára és bekötöm a szemed, akkor nem látod a tengelyt – de érzed, hogy forogsz. Igaz, ott lehet tudni, hogy merrefelé van a tengely. Itt is körülbelül ez van, csak ez egy nagyon gyenge effektus. Fontos filozófiai kérdés, hogy ha nem forog és statikus az univerzum, akkor gömbszimmetriával bír. És ebben könnyű megoldani mindent, mert akkor gyakorlatilag csak a középponttól mért távolságtól függenek a fizikai változók. Egy homogén gömb mindig ugyanúgy fog kinézni. De ha megforgatom, még ha nem látom is a tengelyt, akkor is elveszti a gömbszimmetriáját, mert lesz egy kitüntetett irány. Onnantól kezdve ez már csak egy hengerszimmetrikus objektum. Így lehet az is, hogy a Hubble-paraméter értéke is eltér az egyes irányokban.

MN: Lassú vagy gyors ütemű a világegyetem forgómozgása?

Barna Imre Ferenc: Mindenki, aki ezzel korábban foglalkozott, igen gyors forgómozgást feltételezett. Mi ezzel külön nem foglalkoztunk, egyszerűen csak kijött az eredmény, hogy nagyon kicsi ez a forgási sebesség.

MN: Mennyi a világegyetem forgási ideje?

Barna Imre Ferenc: Az van, hogy 500 milliárd év alatt fordulna meg az univerzum, tehát gyakorlatilag a mostani korának közel 36-szorosa alatt.

Barnaföldi Gergely Gábor: Azaz elképzelhetetlenül hosszú idő alatt tenne meg egy teljes fordulatot az egész.

MN: Milyen a világegyetem szimmetriája? Tudjuk, ha egy gömbszimmetrikus objektum forog, ezt az ember úgy képzei el, mint a Föld forgását, márpedig annak van egy kitüntetett iránya.

Barnaföldi Gergely Gábor: Amíg nincs egy ilyen kitüntetett irány, addig nem veszed észre a forgást. Ha van egy külső referenciapont, akkor ki fogod szűrni a forgást. Itt meg nincs ilyen, mert nem látunk ki a vonatkoztatási rendszerünkből.

MN: Hogyan képes egy magyar kutatóműhely ilyen sikeresen helytállni a nemzetközi tudományos versenyben?

Barnaföldi Gergely Gábor: Alapvetően kis költségvetésből működünk, még ha ez talán idővel növekszik is. Az biztos, hogy amikor a közelmúltban átvilágították a HUN-REN Wigner Fizikai Kutatóintézetet, akkor meghökkentek azon, hogy ilyen kis költségvetésből ilyen magas szintű, nemzetközileg is elismert kutatómunkát lehet folytatni. A saját kutatásunk sikere részben azon múlt, hogy mégiscsak saját ötletből indultunk ki – igazából ez a harmadik cikkünk ebben a témában. Kellott a sikerhez kozmológus

szerzőtársunk, Szapudi István is, aki a Konkoly Obszervatórium rendszeres vendégkutatója.

MN: Az ilyen sikerek inspirálhatják arra a fiatal fizikusokat, hogy itthon vagy legalább a szakmában maradjanak?

Barnaföldi Gergely Gábor: A fiatalok közül sokan elmennek. Akik a csoportomból kikerültek, azok többnyire vállalati középvezetők vagy saját céggel rendelkeznek, és körülbelül tízszer annyit keresnek, mint itt, diákként. Ez elég nagy mozgást generál. A matematika és a fizika képes a leginkább arra, hogy megtanítsa modellt építeni, értelmezni. A modell úgy épül föl, hogy egyszerűsítsem a világot; nemcsak a laikusok, de mi sem tudjuk máshogy elképzelni. Azt tudjuk csinálni, hogy használunk egy nyelvet, amelyet értünk: ez a matematika nyelve. A modellalkotás pedig az a tudás, amelyet ezeken a természettudományos szakokon az ember elsajátít. A magyar oktatási rendszer hagyományosan – lehet, hogy a poroszos gyökerek miatt is – egy széles spektrumú kutatást tesz lehetővé. Nagyon könnyű egy magyar diákot átállítani egyik témáról a másikra, ugyanez iszonyatosan fájdalmas egy külföldi diákkal. A bolognai rendszer és a nemzetközi trendek is arra visznek, hogy egyvalamiben mélyüljön el a diák.

MN: Aki kutatóként az univerzummal foglalkozik, benne iszonytató távolságokkal, óriási léptékekkel, nem fut végig rajta a borzongás?

Barnaföldi Gergely Gábor: Az a szép az elméleti fizikában, hogy bejön valaki a szobádba és azt mondja: van egy ötletem! Jó, akkor nézzük meg! És mennyire jó, sőt milyen szép, ha kijön – vagy ha éppen nem jön ki! Vagy kitalálni, mit kéne vele csinálni, hogy kijöjjön. Ez a része az igazán izgalmas. Utána jön a gondolat: ez használható is valamire! Az alap kutatásnak ez az egyik varázsa, ha úgy tetszik: misztikuma. Az ember pusztán a szépség miatt kipróbál rengeteg dolgot, és utána a diákja ebből milliomos lesz. Nekem van ilyen történetem egyébként.

Barna Imre Ferenc: Folyamatban van egy publikációnk a kollégánkkal, Telcs Andrással közösen, amely a diffúzióelmélet kapcsolatát firtatja a Black–Scholes-modellnek nevezett, utóbb közgazdasági Nobel-díjjal elismert pénzügyi egyenlettel. Erre vannak újfajta megoldásaink.

Barnaföldi Gergely Gábor: Számunkra, vagy legalábbis számomra mindegyik csak egy modell. Teljesen mindegy, hogy forintokról vagy az univerzumról, porról vagy izzó plazmáról, esetleg partonokról – kvarkokról és gluonokról – beszélünk. Alapvetően az izgat, hogy le tudjam írni a természet jelenségeit. No, meg hogy tudok-e jósolni ez alapján – mert a fizikának ez volna a lényege. A fáraók és a királyok egykor rengeteg támogatást adtak az asztrológusoknak, mert ők meg tudták mondani, hogy hol és mikor lesz napfogyatkozás, amivel ámítani lehet az embereket.

MN: De ha nem sikerült nekik, rosszul jártak.

Barnaföldi Gergely Gábor: Ja, néha levágták a fejüket. Ebben azért van némi javulás.