

képterületről vesz fénymintát. Átlagoló fénymérésnél, a gép az egész kép felületén érzékelt fényssűrűség átlagából számítja ki az expozíciót. Amikor csak a megcélzott tárgy fényviszonyait kell figyelembe venni, vagyis a környezet fényviszonyai nem érdekelnek, akkor a gépet át kell állítani szelektív fénymérésre. A legtöbb típusú fényképezőgépnél a fénymérő értékeitől igényeinknek megfelelően el is térhetünk.

Irodalom

- 1] *Baráth B.*: Hagyományos Fotográfiai Alapismeretek; Berzsényi Dániel Gimnázium Honlapja, Budapest, 2000, <http://berzsényi.tvnet.hu/tanszek/szam/BARBALI>
- 2] *Dékán L.*: Fotótechnikai alapok; Fotóvilág, <http://www.fotovilag.com>
- 3] *Holló D.* – *Kun M.*, – *Vásárhelyi I.*: Amatőrfilmes zsebkönyv; Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1972
- 4] *Megyesi L.*: Hagyományos fényképezés; ELTE TTK Oktatástechnika Csoport – UNESCO Információtechnológiai Pedagógiai Központ, Budapest; <http://felis.elte.hu/dept/hu>
- 5] *Pethő B.* – *Sümei A.*: Digitális fényképezés; ELTE TTK Oktatástechnika Csoport – UNESCO Információtechnológiai Pedagógiai Központ, Budapest; <http://felis.elte.hu/dept/hu>
- 6] *Schroiff, K.* – *Vilin, Y.*: Camera Technology; Photo Zone, <http://www.photozone.de/bindex3.html>
- 7] *Shockley W.*: Félvezetők Elektronfizikája, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1958
- 8] *Szalay B.*: Fizika; Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1982
- 9] *Vas A.*: Fotográfia távoktatási modul fejlesztése: III. Modultankönyv, 2000, Dunaújvárosi Főiskola; <http://indy.poliod.hu/program/fotografia/tankonyv.htm>

Kaucsár Márton

Kozmológia

X. rész

A mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás

Sorozatunk egyik előző részében (FIRKA 3/2002), a Metagalaxisban előforduló anyagformák ismertetésekor, röviden már szóltunk a mikrohullámú háttérsugárzásról. Ezen sugárzás kiemelkedő kozmológiai fontossága miatt célszerűnek tartjuk részletesebben is foglalkozni vele.

A kozmológiai elméletek sorában az 1920-as évektől ismert volt az Ősrobbanás (Nagy Bumm), vagy forró Univerzum elmélet, amely szerint a Világmindenség valamikor igen kis méretűre összezsúfolva, igen különleges körülmények közt kezdte — a mai állapotokhoz elvezető, — kezdetben őrült ütemben, később lassabban táguló létezését, az Ősrobbanást követően. Ez az elmélet sokáig háttérbe szorult az állandó állapotú Világegyetem elmélete mellett, ugyanis ez utóbbi teljes mértékben kikerülte a keletkezés kényes problémáját. Az 1950-es évektől komolyabban vett Ősrobbanás-elmélet térhódításában nem kis szerepe volt a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezésének, ami napjainkban széles körben elfogadott egyértelmű bizonyítékot szolgáltat a Világegyetem forró, heves és hirtelen születésére. A háttérsugárzás tanulmányozása terén az utóbbi években elért eredmények egy egész sor igen érdekes információt szolgáltattak az Univerzum fejlődésére és általános szerkezetére vonatkozóan is.

Gamow „jóslata”

George Gamow (1904.IV.4.–1968.VIII.19.) kiváló orosz származású amerikai fizikus volt, aki egyéb eredményei mellett nagymértékben hozzájárult a Nagy Bumm-ról szóló elmélet megalapozásához.

Az elmélet leglényegesebb felismerése *Gamownak* az az eredménye volt, hogy a Világegyetem legkorábbi állapotában — mondjuk az első órában — az egész világ egy igen forró gázfelhő volt; sőt ha visszamegyünk egészen az első másodpercekig, akkor a szupersűrűségű kozmoszban a sugárzás jelenti az uralkodó anyagformát. Az összes energia rendkívül kemény γ -sugárzás formájában koncentráldott. Ebből jöttek létre az anyagi részecskék a gyorsan végbemenő sűrűségcsökkenés során. A kezdeti sugárzásnak a tágulás folyamán hígulnia kellett, méghozzá a fizika törvényei szerint gyorsabban, mint az anyagnak.



George Gamow

De *Gamow* már a múlt század 40-es éveiben úgy vélte, hogy ezen sugárzás legyengült maradványai ma is megtalálhatók. Ez ma igen kis sűrűségű és az egész Világmindenségben egyenletesen oszlik el, ezenkívül magán viseli annak a nyomát, hogy kezdetben az anyaggal tökéletes egyensúlyban állt. Ez a sugárzás eredetileg a robbanás fénye volt, de időközben hullámhossza megnyúlt, így már csak a mikrohullámú tartományban mérhető.

Az Ősrobbanást követő időszakban az Univerzumban elképzelhetetlenül nagy hőmérséklet uralkodott, így az anyag csak kezdetleges formájában, plazma állapotban volt jelen. Mintegy háromszázezer évvel a Nagy Bumm után a Világegyetem éppen annyira hűlt le, hogy a kósza atommagok és elektronok atomokká egyesülhessenek. Ez volt az a pillanat, amikor a háttérsugárzás is elindult útjára, mivel már nem nyelték el folyton a szabad elektronok.

Tehát mintegy 3–400.000 évvel vagyunk az Ősrobbanás után. A Világegyetem a Nagy Bumm óta folyamatosan növekedett és hűlt. A fiatal Univerzumban még így is elképesztő körülmények uralkodtak. Iszonyatos hőmérsékletek, amelyek mellett nem létezhetett együtt atommag és elektronfelhő. Az anyag „félkész” állapotban, forró „levesként” úszott. Hihetetlen feszültség volt ebben a levesben. A robbanás fénye, a kísérsugárzás egyre jobban próbált kiszabadulni — mindaddig hiába. A fotonok nagy energiájukkal igyekeztek kitörni az anyaggyűrűből, ám mindenhol kósza elektronokba ütköztek. Sokáig nem volt kiút. Azonban most, a sűrűség már $\rho = 10^{-20}$ g/cm³-re, a hőmérséklet pedig $T = 3.000$ K-re sülyded le. Ekkor a protonok és a héliummagok megtalálják a saját elektronjukat, és az anyag semlegessé válik. Kialakulnak tehát a hidrogénatomok és a héliumatomok. A sűrűség már olyan kicsiny, hogy az anyag átlátszóvá válik a fényszórás miatt, a fotonok számára. A nagymennyiségű foton önálló életet kezd, és az egész táguló Univerzumot kitöltve, vele együtt tágulva fotontengert alkot. Nem volt többé akadály; a fotonok hirtelen mindenre keresztülhatolhattak. A sugárzás „levált” az anyagról, a Világegyetem „átlátszóvá” vált. Természetesen ez a fotontenger az Univerzum tágulásával egyre alacsonyabb hőmérsékletű lett.

Gamow még 1941-ben kiszámította, hogy ennek a fotontengernek körülbelül 5 K-re kellett lehűlnie az elmúlt mintegy 15 milliárd évben. Az ilyen alacsony hőmérsékletre tartozó sugárzás rádióhullámokat jelent kb. 10 cm-es hullámhossz környékén. Gamow tehát kiszámította, hogy a Földet minden irányból sugározza egy kb. 10 cm hullámhosszúságú rádiósugárzás. Ezt az elméletileg kiszámított rádiósugárzást *maradványsugárzásnak* nevezték el. Gamow cikkét hamar elfelejtették, mert akkor még — a megfelelő műszerek híján — nem volt lehetőség a rádiósugárzás kimutatására.

Arno Penzias (1933–)

Münchenben született, ahol gondtalanul élte élete első hat évét, de ekkor szüleivel együtt zsidó származásuk miatt deportáltak Lengyelországba. Szerencséjére néhány napi borzalmas vonatozás után visszakérültek Münchenbe. Ekkor tudatosult benne, hogy egyedüli remény az Amerikába való menekülés. Ez családjának sikerült is egy féléves angliai kitérővel. 1940 januárjában érkeztek New Yorkba. Itt később a College of New York-ban tanultva ismerkedik meg a fizikával és hagyja ott a vegyészmérnöki szakot ezen tudomány kedvéért.



Arno Penzias

A kollégiumi tanulmányok elvégzése után két évig katona, majd megnősül, s ezek után iratkozik be a Columbia Egyetemre 1956-ban. A hadseregnél szerzett tapasztalatok segítettek abban, hogy kutató asszisztensi beosztást kapjon a Columbiái Sugárzási Laboratóriumban, ahol elmélyülhetett a mikrohullámú fizikában. Doktorátusi kutatási témája kapcsán kerül kapcsolatba a rádiócsillagászatral. Saját bevallása szerint jobban érdekelte a műszerépítés, mint az észlelések végzése.

1961-ben a tézise befejezése után a Bell Laboratóriumoknál kap ideiglenes munkahelyet, ahol kiváló lehetősége nyílik az elkezdett megfigyelések folytatására. Itt először a csillagközi OH molekulák még fel nem fedezett emissziós vonalait próbálja keresni. Ebben a munkában balszerencséjére mások gyorsabban értek el eredményt. A mérések előkészítésénél végzett számításoknál viszont ő a szokásostól eltérően 2 K sugárzási hőmérsékletet használt a 18 cm-es hullámhosszra, ami valamivel nagyobb volt a korábban használt értéknél. Ezt az értéket azért használta, mert tudomása volt arról, hogy legalább két korábbi mérés esetén is, amit a Bell Laboratóriumokban végeztek, ezen az értéken növekedést észleltek az ég hősugárzási zajában, másfelől pedig olvasmányaiából úgy tudta, hogy az intersztelláris CN ezen a hőmérsékleten kerül gerjesztett állapotba. Ez a háttérsugárzás jelenlétére utaló első jel viszont csupán később, 1966-ban a nagy felfedezés után tudatosult benne.

Az a tény, hogy mások megelőzték az OH detektálásával arra ösztönözte, hogy új kutatási téma után nézzen. Ekkor műszereinek jó részével néhány hónapra a Harvard Kollégium Csillagvizsgálójába költözik, ahol különböző OH megfigyeléseket végez, mivel ebben az időben úgy nézett ki, hogy a Bell Laboratóriumok legnagyobb rádióantennáját egy újabb mesterséges hold — a TESLAR — felbocsátásával kapcsolatos program szolgálatába állítják. Amikor a dolgok szerencsés alakulása folytán az antenna 1962-ben szabaddá vált, akkor Penzias visszatért a Bell Laboratóriumokhoz az asztrofizikai mérések folytatására. Ez teszi lehetővé számára a későbbi nagy felfedezést.

Robert Woodrow Wilson (1936. január 10)



Robert Wilson

Wilson Houstonban született, ahol apja vegyészként dolgozott egy olajtársaságnál. A Rice Egyetemen fizikát tanult, s már diplomázása utáni az Exxonnál töltött első nyári munkája alatt megírta első találmányát.

Ezt követően Caltech-be megy fizikából doktorálni. Itt kerül kapcsolatba az asztrofizikával John Bolton révén, aki éppen akkor létesített it egy rádiócsillagászati obszervatóriumot (Owens Valley Radio Observatory). Közös munkájukként a Tejútrendszer általuk látható részének térképét készítették el, amely munka igen sokszor elvonta kedvenc foglalatosságától, a műszerépítéstől.

A Bell Laboratóriumokkal az együttműködést már 1961-ben elkezdte, de csupán 1963-ban kerül oda dolgozni, ahol a már korábban ott dolgozó Arno Penzias rádiócsillagással kezdi meg az együttműködést.

A Nobel-díjat érő „kellemetlen zaj”

A 60-as évek elején úgy nézett ki, hogy a Bell Laboratóriumok legnagyobb rádióantennáját egy újabb mesterséges hold — a TESLAR — felbocsátásával kapcsolatos program szolgálatába állítják, amelyet 1962 közepén bocsátottak fel, mivel nem bíztak abban, hogy a feladatra készülő európai partnerek időben elkészülnek. A szerencse úgy hozta, hogy az európai partnereknek sikerült időben bekapcsolódniuk a programba, s így a 7,35 centiméteres hullámhosszon működő, igen érzékeny rádióantenna, amelyet a mesterséges holdakkal való kommunikáció céljaira tökéletesítettek, szabaddá vált a rádiócsillagászati kutatások számára. Ekkor, 1963 elején került a laboratóriumhoz Robert Wilson is, aki a már korábban is ott dolgozó Arno Penzias munkatársa lett.

1963-tól kezdődően, amikor a Bell Laboratóriumok nagy rádióteleszkópja szerencsére szabaddá vált a rádiócsillagászati kutatások számára, a két rádiócsillagász, Arno Penzias és Robert Willson nekifogott egy olyan rendszer tökéletesítésének, amely az antennához illesztett műszerek révén igen pontos rádióasztronómiai méréseket tett lehetővé.

Annak ellenőrzésére, hogy az antennára szerelt, általuk kifejlesztett műszerek megfelelőek-e, egy sor rádiócsillagászati megfigyelést végeztek. Ezeket úgy választották, hogy segítségükkel lehetővé tegyék rendszerük legjobb beállítását, valamint a rendszer érzékenységének minél jobb kihasználását. Ezen projektek egyike arra irányult, hogy megmérjék galaxisunk nagy szélességű zónáinak sugárzási intenzitását. Ezek a mérések vezettek el a mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás felfedezéséhez.



Penzias és Wilson az általuk használt rádióantennával

Miközben különlegesen érzékeny berendezésükkel a Tejútrendszer sugárzási intenzitását mérték, egy váratlan zajra bukkantak, amitől semmilyen módon nem tudtak megszabadulni, s amire semmiféle elfogadható magyarázatot nem találtak. Erről a zajról kiderült, hogy nem a készülékeikből származik. Azt tapasztalták, hogy a 7 centiméteres hullámhossz környékén az égbolt körülbelül 3 K-nak megfelelő fényességet mutat, azaz mintegy százszor intenzívebben sugároz, mint az az ismert rádióforrások együttes hatása alapján várható lett volna. A sugárzás minden irányból jött, s ismételt ellenőrzések után úgy tűnt, hogy Tejútrendszerünkön kívülről érkezik.

Ekkor Penzias és Wilson a Princeton fizikusához, Robert H. Dicke-hez fordult segítségért. Dicke elméleti megfontolások alapján rájött arra, hogy ha a Nagy Bumm elmélet igaz az Univerzum születésére, akkor annak nyomát őriznie kell a 3 K hőmérsékletű sugárzásnak napjainkig mindenhol az Univerzumban. Tehát a felfedezett sugárzás nem más mint a korábban már Gamow által is jelzett maradványsugárzás.

Amint azt Ivan Kaminow, a Bell Laboratóriumok egyik korabeli munkatársa mondja, felidézve azt a sok-sok próbálkozást, amivel Penzias és Wilson meg akart szabadulni a talált „szeméttől”, „... ők szemetet kerestek és aranyat találtak, míg másokkal ez általában fordítva szokott történni”.

A megtalált „arany”, a *mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás* felfedezése, a két kutató számára elhozta a tudományos világ maximális elismerését is, amikor 1978-ban fizikai Nobel-díjjal jutalmazták őket.

A mikrohullámú háttérsugárzás titkai

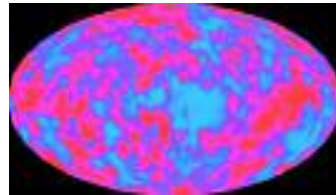
A mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás 1965-ben történt felfedezése a Forró Univerzum (vagy Ósrobbanás, Nagy Bumm) hipotézis döntő bizonyítékának tekinthető.

A felfedezés óta számos földi és űreszköztől végzett kutatás vizsgálta ezt a milliméteres hullámhosszokon jelentkező sugárzást. Megállapították, hogy az égbolt minden irányából egyforma erősséggel és spektrummal, meglepően izotrop módon érkezik a Földre. A háttérsugárzás spektruma szinte tökéletesen megegyezik egy $T = (2,726 \pm 0,017)$ K hőmérsékletű, abszolút fekete test sugárzásának spektrumával, így a Wienn-törvénnyel összhangban a sugárzás maximuma a 2 mm hullámhossznál van. A Stefan–Boltzmann-törvényből kiszámítható a háttérsugárzás energiasűrűsége, ebből pedig az $E = mc^2$ összefüggés felhasználásával tömegsűrűséget kaphatunk: $\rho_\gamma = 4,7 \cdot 10^{-34}$ g/cm³. Látható, hogy a háttérsugárzás nagyságrendekkel kisebb mértékben játszik szerepet a Világegyetem átlagsűrűségében, mint a világító és sötét anyag. A háttérsugárzás járuléka a teljes tömegsűrűséghez mindössze ezred-ötvenezeredrésznyi.

A háttérsugárzásnak nemcsak az energiasűrűsége számítható ki, hanem a fotonok darabszámának a sűrűsége is: $n_\gamma = 420$ cm⁻³. Vagyis a részecskesűrűséget tekintve a fotonok vannak többen, számuk nyolc-kilenc nagyságrenddel nagyobb, mint a barionoké.

A háttérsugárzás minden irányban mérve pontosan feketetest-spektrumot mutat, de a hozzá tartozó hőmérséklet kissé változik az iránnyal. A hőmérséklet mindig abban az irányban a legnagyobb, amerre a Föld mozog (az apex irányában), az ellenkező irányban pedig a legkisebb. A Föld pekuliáris (sajátságos) mozgásait, melyek ezt a *dipólus-anizotrópiát* okozzák, már felsoroltuk az izotrópiáról szóló részben. A maximum- és minimumirányban mért hőmérsékletek eltérése egy ezreléknyi. A dipólus-anizotrópiából kiszámolható a Föld pekuliáris mozgásának iránya és nagysága, ez nincs teljes összhangban a 10–100 MPC távolságban lévő galaxisok eloszlásának inhomogenitásából számolt értékekkel. A vizsgálatok hibahatárát is figyelembe véve azonban az egyezés sem zárható ki. A háttérsugárzásnál észlelt dipólus-anizotrópia tehát valószínűleg megmagyarázható a Föld pekuliáris mozgásával.

Amint azt korábban már láttuk, a mikrohullámú háttérsugárzás jellegzetessége, hogy az égbolt minden pontjáról szinte ugyanolyan intenzitással érkezik. Ebből arra következtethetünk, hogy az Univerzum a korai időszakokban (amikor a sugárzás útjára indult) viszonylag homogén rendszer volt. Az anyagnak többé-kevésbé egyenletesen kellett eloszlania ahhoz, hogy a sugárzás is ilyen egyenletes legyen. Most azonban azt látjuk, hogy a Világegyetemben az anyag galaxisokba, galaxis-halmazokba, szuperhalmazokba tömörül, tehát teljesen egyenetlen. Mi történt közben? Valószínűleg a gravitáció fokozatosan összehúzta az anyagot az idő során, így alakulhattak ki a gócok. Persze ez a csomósodás csak akkor lehetséges, ha létezett egy olyan kezdeti állapot, amely már eleve nem volt teljesen homogén. Igaz, egy ilyen helyzetben a sűrűségkülönbségek még csak elenyészőek, ám a gravitáció hatására rendkívül felerősödtek az évmilliárdok alatt. Ha nagyon nagy érzékenységgű műszereket használunk, akkor felfedezhetők a háttérsugárzásban parányi intenzitás-különbségek, irregularitások, fluktuációk. Ezek az ingadozások – amelyeket először a COBE (Cosmic Background Explorer) nevű NASA műhold fedezett fel 1992-ben – csupán 1/100000-nyi mértékűek.



A COBE által mért fluktuációk a háttérsugárzásban

Amellett, hogy a háttérsugárzás fontos bizonyítéka a Nagy Bumm elméletnek, rengeteg problémát vet fel. Könnyen kiszámítható, hogy ha a fluktuációk csak ilyen kis mértékűek, akkor ennyi idő alatt nem formálódhattak volna ki azok a nagy galaxishalmazok, amelyek előfordulnak a mai Univerzumban. Ez csak akkor lehetséges, ha sokkal több anyag van a Világegyetemben, mint amiről tudunk.

A COBE méréseit követő években több csoport is közölt néhány ívperces — néhány fokos szögskálájú, 10^{-5} nagyságrendű anizotrópiára utaló észleléseket.

Az Univerzum jelenleg tágul, de ez nem jelenti azt, hogy örökké tágulni fog. Elképzelhető, hogy létezik elegendő anyag a kozmoszban ahhoz, hogy a befelé ható gravitáció megállítsa a tágulást. Ekkor a Világegyetem tere elkezd majd összezsugorodni, és sok milliárd év múlva bekövetkezik a Nagy Reccs, a Nagy Bumm ellentéte. Ellenkező esetben viszont az Univerzum tere örökké csak növekedne.

Létezik egy kritikus anyagsűrűség, amelyet meg kell haladnia a Világegyetemnek ahhoz, hogy megálljon a tágulás. Ha „lapos” Univerzumban élünk, akkor Világegyetemünk anyagsűrűsége pont ezt a kritikus értéket veszi fel. Ez a legnagyobb sűrűségű olyan állapot, amely még örökké táguló Világegyetemet eredményez.

2000 áprilisában egy nemzetközi kutatócsoport az első meggyőző bizonyítékkal állt elő arra vonatkozóan, hogy Világegyetemünk „lapos”, azaz az Univerzumban lévő anyag sűrűsége közel esik az ún. kritikus értékhez.

A mérésekhez léggömböt alkalmazó Boomerang-program minden korábbinál pontosabban vizsgálta a háttérsugárzás hőmérséklet-eloszlását.

Egy másik ilyen program keretében működik az Atacama-sivatag egyik 5080 méter magasságú platóján telepített rádiótávcső-rendszer, a Cosmic Background Imager (CBI).



A Boomerang-program keretében használt léggömbök



A Cosmic Background Imager 13 önálló, de egymással összekapcsolt és együttműködő rádióteleszkópból áll, amelyek mindegyike 90 cm átmérőjű. Az antennák a mikrohullámú tartományban interferométerként működnek



A 300 000 éves Univerzum képe – az árnyalatok a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás intenzitását ábrázolják (a sötét foltok a hidegebbek, a világosak a melegebbek). A CBI az égbolt három területén vizsgálta a sugárzást, amelyek mindegyike két négyzetfokos volt (a telihold átmérőjének négyszerese). A hőmérséklet intenzitás-különbségei mindössze száz mikrokelvinesek. Ezek a felvételek (6-15 ívperces felbontással) a jelenlegi legélesebbek és legérzékenyebbek a háttérsugárzásról.

A CBI kutatói az eddigi legnagyobb részletességgel térképezték fel az Univerzum első, legősibb sugárzásának hőmérsékleti eloszlását. Az ún. kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás e legújabb, legrészletesebb vizsgálata a korábbiaktól függetlenül bizonyítja, hogy az Univerzum „lapos” s hogy a számunkra ismeretlen sötét anyag és a sötét energia uralma alatt áll. Az eredmények azt is megerősítik, hogy a Világegyetem közvetlenül születése után drámai felfúvódáson ment keresztül. Az Ősrobbanás módosított elmélete szerint az Univerzum közvetlenül kialakulása után, a legelső másodperctoredékben hirtelen és hatalmas kiterjedésen ment keresztül. Ez az elmélet 1980-ban látott napvilágot és az *inflációs modell* néven került be a szakirodalomba. A CBI által mért hőmérséklet-eloszlás pontosan megfelel az inflációs modell elvárásainak. A CBI új mérései – amelyek már tízmilliomod foknyi eltéréseket is kimutattak – megerősítik, hogy az Univerzumban levő anyag mennyisége közel esik a kritikus értékhez.

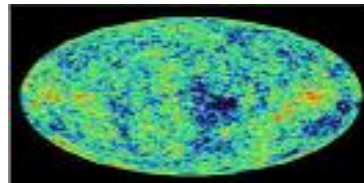
Az új adatok abban is sokat segíthetnek, hogy többet megtudjunk arról a titokzatos, egyre komolyabban feltételezett erőről, amelyet „sötét erő”-nek neveznek, s amely taszító hatása révén örök tágulásra kárhoztathatja az Univerzumot.

A „lapos” világegyetem modellje szerint nagyon nagy távolságokon egy, a gravitációt kiegyensúlyozó, azaz a téridőt „kisímítő” hatás lép fel. Ez a „taszítóerő” a gravitációs téregyenletekben egy kozmológiai állandó bevezetésével jeleníthető meg. A legújabb mérések és elemzések sorra megerősítik a kozmológiai állandó és a taszító hatás forrásaként szolgáló, a Világegyetemet betöltő „sötét energia” létezését.

2003 februárjában a NASA közzétette az Univerzum „bébi” állapotáról készült eddigi legjobb képet. Az Ősrobbanás után kb. 380 ezer évvel bekövetkezett fázisról — az anyag és a sugárzás szétválása — ma a 2,7 K hőmérsékletű mikrohullámú háttérsugárzás tanúskodik. A NASA kutatói ezen háttérsugárzás tulajdonságait, anizotrópiáját tanulmányozták a WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) űrszondával.

A legújabb megfigyelések egyik legizgalmasabb eredménye, hogy a csillagok első generációja már az Univerzum születése után 200 millió évvel létrejött, sokkal korábban, mint ahogyan eddig gondolták. Az eredményekből az eddigiéknél jóval pontosabban megbecsülhető a Világegyetem kora is, ami 13,7 milliárd évnél adódik.

Az Ősrobbanást követő „felfénylés” nyomai a 2,73 K átlagos hőmérsékletű háttérsugárzásban nagyon kicsi — mindössze néhány milliomod foknyi — ingadozásokat okoznak, amiket most a WMAP műszereivel sikerült megfigyelni. A képen a világosabb foltok „melegebb”, a sötétebb részek pedig „hidegebb” területeket jeleznek.



A NASA által felbocsátott WMAP űrszondával készített térkép a kozmikus háttérsugárzásról

A mikrohullámú kozmikus háttérsugárzás fent vázolt rejtelméi alapján minden túlzás nélkül megállapíthatjuk, hogy ennek felfedezése a XX. század egyik legnagyobb tudományos eredményének számít.

Összeállította:

Szenkovits Ferenc

Hibaigazítás

A jelen számban sajnálatos hiba miatt tévesen jelennek meg a 12. és 13-ik oldalon található egyes képletek. Az egyenletek helyesen a következők:

$$ds^2 = dr^2 + r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2) \quad (2)$$

$$ds^2 = g_{ik} dx^i dx^k \quad (3)$$

$$ds^2 = \left(c^2 - \frac{2mG}{r}\right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{2mG}{c^2 r}} - r^2 (d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)$$