

Trócsányi Zoltán

Kozmológiai fordulópontok: hogyan látjuk ma a világot?

A legősibb tudomány a csillagászat. Fejlődését áttekintve szépen kirajzolódik előttünk, hogy a természet megismerésének legfontosabb eleme a természeti jelenségekre vonatkozó megfigyeléseink, méréseink pontosságának javulása. Forradalmi változást a csillagászatban mindig a mérési adatok pontosságában, valamint az adatok elemzésének pontosságában bekövetkező ugrásszerű változás hozott. Méréspontosság javulást általában az észlelőberendezés feloldóképeségének javítása eredményez. Tételünk alátámasztása érdekében kíséreljük meg röviden áttekinteni a csillagászat történetét.

Kopernikusz forradalma

A modern tudomány születését sokan *Nikolausz Kopernikusz* (1473–1543) napközpontú világmérete megalkotásához kötik. Bár valóban forradalmi gondolat volt a világ középpontjából kivenni a Földet, és helyébe a Napot helyezni, tudományos szempontból a napközpontú világmérete semmivel nem előremutatóbb Ptolemaiosz rendszerénél. Kopernikusz ugyanúgy gondolati úton jutott eredményeire. Feltételezte, hogy a bolygók körpályán keringenek a Nap körül, rendszerét nem pontos mérésekre alapozta. Így rendszerének elsősorban világnézeti jelentősége van.

Kepler forradalma

Az első igazán jelentős előrelépést *Johannes Kepler* (1571–1630) tette. Kepler *Tycho Brahe* (1546–1601) skandináv csillagász segédje, majd utódja volt Rudolf császár udvarában, Prágában. Kepler maga nem végzett jelentős csillagászati megfigyeléseket, azonban felhasználta Brahe adatait. Tycho Brahe közel húsz éven át figyelte és jegyezte fel a bolygók mozgását. Az adatokat nemcsak gyűjtötte, hanem vizsgálatokat végzett a rendelkezésére álló eszközökkel elérhető legnagyobb mérési pontosságra vonatkozóan is. Közvetlenül a távcső megjelentése előtt ő érte el a legnagyobb pontosságot: 2 szögperc pontossággal dolgozott az égitestek pályáira vonatkozó szögmeréseknél.

Kepler igen nagyra értékelte Brahe pontos méréseit:

„Nekünk, kiknek az isteni jószág Tycho Brahe személyében egy mindenkinél pontosabb megfigyelőt ajándékozott, akinek a megfigyelésin keresztül a ptolemaioszi számítások 8 szögperc nagyságú hibájára is fény derülhetett, úgy illik, hogy Isten eme jótéteményét hálás érzülettel elfogadjuk és felhasználjuk. Fáradozásunkat arra irányítjuk, hogy – támogatva az alapul szolgáló feltevések helytelenségét mutató bizonyítékok által – végre megalapozhassuk az égi mozgások helyes formáját. Kizárólag ez a 8 szögperc mutatta meg az utat az egész asztrológia megújításához.” (Kepler: *Astronomia nova*)

Látjuk tehát, hogy az első igazán tudományos előrelépést valóban a megfigyelések pontosságának fejlődése eredményezte. Kepler leírta három tapasztalati törvényét, amelyek alapján mintegy fél évszázaddal később *Isaac Newton* (1643–1727) alkotta meg a testek mozgásának leírására vonatkozó törvényrendszerében.

Hubble forradalma

A csillagászatban Kepler után sokáig nem volt jelentős fejlődés, mert a távcsövek feloldóképessége csak igen lassan növekedett, az észlelés nem tudott kilépni csillagrendszerünkől, a Tejútból. Bár a távcsövek mutattak elmosódott fényes foltokat, de azok mibenlétéről nem sikerült mérésen alapuló képet alkotni. Igazán nagy előrelépést *Edwin P. Hubble* (1889–1953) amerikai csillagász megfigyelései hoztak. Hubble észleléseit a minden korábbinál jobb feloldóképességű, 254 cm átmérőjű Palomar-hegyi távcsővel végezte az 1920-as években. Távcsövét az *Androméda-ködre* irányítva *Cefeida* változócsillagot talált. A Cefeida jelentősége abban áll, hogy segítségével távolságot lehet mérni a Világegyetemben. Megerőltük a csillag fényességváltozási időperiódusát, amelyből *Henrietta Leavitt* (1868–1921) amerikai csillagásznő száz évvel ezelőtti mérései alapján meg lehet mondani a Cefeida abszolút fényességét. Az ismert abszolút és a mért relatív fényesség ismeretében pedig egy egyszerű képlet felhasználásával kiszámítható a csillag távolsága. Hubble mérései alapján az Androméda-köd távolsága egymillió fényévnél adódott (ma már tudjuk, hogy a helyes érték két és fél millió fényév), ami legalább tízszer nagyobb távolság, mint amekkora a Tejútrendszer mérete. Hubble tehát felfedezte, hogy a Világegyetemben más csillagrendszerek (galaxisok) is léteznek a Tejúton kívül. Ez mind tudományos, mind világnézeti szempontból rendkívüli jelentőségű felfedezés volt.

Világnézeti szempontból azért volt lényeges, mert a Föld, és rajta az ember szerepe még inkább csökkent a Világegyetemben. Hubble után fokozatosan kiderült, hogy nem csupán a Napunkhoz hasonló csillagból van szinte megszámlálhatatlanul sok (mintegy százmilliárd) a Tejútban, hanem a Tejúthoz hasonló csillagrendszerből is hasonlóan sok van az általunk belátható Világegyetemben. Nehéz elképzelni, hogy ilyen hihetetlenül sok, mintegy 10^{22} db csillag közül

egyedül a mi Napunk lenne olyan, amely körül olyan bolygó is kering, amelyen értelmes élet létezik. (Természetesen az is rendkívüli jelentőséggel bírna, ha kiderülne, hogy valóban csak a Földön van értelmes élet, azonban erre nézve kísérleti bizonyítékot szerezni lehetetlen.)

Tudományos szempontból szintén nagy jelentőségűek voltak Hubble megfigyelései. Az 1920-as évek végére Hubble megmérte 18 csillagrendszer távolságát (r) és távolodási sebességét (v) – az utóbbit a mindenki által jól ismert Doppler-hatás alapján, a csillagrendszer által kibocsátott fényre alkalmazva azt (vöröseltolódás). A távolságot a sebesség függvényében ábrázolva azt találta, hogy a kettő között lineáris összefüggés, az $r = H \cdot v$ Hubble-törvény érvényes. A H állandót tiszteletére Hubble-állandónak nevezzük. A Hubble-törvény azt mondja, hogy minél messzebb van a Tejútól egy csillagrendszer, annál nagyobb sebességgel távolodik tőlünk. Ez a Hubble-féle szétterjedés az alapja a Világegyetem ősrobbanás-modelljének, amely szerint a Világegyetem az idő kezdetén szinte végtelenül sűrű és forró volt, és azóta folyamatosan tágul és csökken a sűrűsége, hőmérséklete.

A kozmikus háttérsugárzás felfedezése

1965-ben a Bell Laboratórium két mérnökét, *Arno A. Penzias* (1933–) és *Robert W. Wilson* (1936–) azzal a feladattal bízták meg, hogy egy új mikrohullámú hullámvevő (antenna) érzékenységi határozzák meg. Azt várták, hogy a hullámvevőt véletlenszerűen különböző irányba állítva elhanyagolható nagyságú jelet fognak észlelni, ha a hullámvevő valóban olyannyira zajmentes, mint amelyet építeni akartak. Nagy volt a meglepetésük, amikor minden irányból egyforma elektromágneses zajt észleltek. Nem jöhetett a zaj a légkörből, hiszen akkor nem lett volna iránytól független, lévén a légkör vastagsága más függőlegesen felfelé, mint a Földre érintőleges irányban. Nem jöhetett a naprendszerből sem, mert sem évszaktól, sem napszaktól nem függött. A Tejút sem lehetett a forrása. Ha úgy lett volna, akkor a Tejútrendszerhez hasonló Androméda-ködnél is sugároznia kellene, de ilyet nem észleltek. Az iránytól való függetlenség miatt inkább arra gyanakodtak, a berendezésben van a hiba. Minden lehetséges hibaforrást kiszűrve arra jutottak, hogy a Világegyetemből ismeretlen sugárzás éri a Földet. Fennállt tehát a kérdés, mi lehet a titokzatos elektromágneses zaj forrása.

Megfigyelésekből tudjuk, hogy minden nullától különböző hőmérsékletű test elektromágneses sugárzást bocsát ki. Amennyiben a test hőmérséklete magas, akkor a sugárzás túlnyomó része a látható fény hullámhossz-tartományába esik, és a testet látjuk. Például a Nap mintegy 6000 °C-os felülete főként a kékeszöld fény hullámhosszával sugároz (más hullámhosszon is, csak ott nem olyan erősen). Az izzó vasat vörösnek látjuk, az általa kibocsátott fény a vörösnek megfelelő hullámhossznál a legerősebb. A radiátor a lakásban az infravörös tartományban su-

gároz leginkább, ezért azt sötétben nem látjuk (világosban igen, mert akkor viszszaverődik róla a fény), de melegét érezzük. Minél alacsonyabb egy test hőmérséklete, annál hosszabb a kibocsátott sugárzás uralkodó hullámhossza. Penzias és Wilson az észlelt sugárzás erősségét úgy jellemezték, hogy az ilyen test meglehetősen hideg, mintegy 2,5–4,5 Kelvin fok az abszolút nulla felett. Úgy mondjuk 2,5–4,5 K(elvin) hőmérsékletű sugárzást észleltek. Ez az érték sokkal magasabb volt a vártnál, hiszen elhanyagolható sugárzást vártak. Éppen ezért nem is merték bevallani eredményüket mindaddig, amíg nem hallottak *P. J. E. Peebles* (1935–) amerikai fizikus elméletéről.

Peebles szerint a Világegyetem fejlődésének első néhány percében magas hőmérsékletnek megfelelő elektromágneses sugárzásnak kellett a teret mindenütt kitölteni. Ha nem úgy lett volna, akkor alig lenne a Világegyetemben hidrogén. Ez ellentmondásban lenne azzal a tapasztalati ténnyel, hogy manapság a Világegyetem általunk ismert anyagfajtájának tömege mintegy háromnegyed részben hidrogénből áll. Az atommagok gyors egyesülését csak az akadályozhatta meg, ha nagyenergiájú elektromágneses sugárzás volt jelen, amely az éppen kialakult nehezebb magokat rögtön szét is „bombázta”. Ennek a mindent kitöltő sugárzásnak a Világegyetem Hubble mérései alapján feltételezett tágulásakor fent kellett maradnia, csak éppen a sugárzás hullámhossza a Világegyetem tágulásával arányos mértékben nőtt. Ebből következik, hogy a mai Világegyetemnek is telítve kell lennie elektromágneses sugárzással, csak éppen annak hőmérséklete sokkal alacsonyabb, hiszen a hullámhosszak megnöttek. Peebles becslése szerint ahhoz, hogy nehezebb elemek ne keletkezzenek, a háttérsugárzásnak olyan erősnek kellett lennie, amelynek a mai hőmérséklete 10 K. (Érdemes megjegyezni, hogy Peebles előtt mintegy 15 évvel már *Robert Herman* [1914–1997] és *Ralph Alpher* [1924–] amerikai fizikusok is hasonló feltevést jelentettek meg. Ők a háttérsugárzás hőmérsékletét 5 K-re becsülték.) Ma már tudjuk, hogy a 10 K túlbecslése volt a helyes értéknek. Akkor még a Hubble állandót sokkal nagyobbobbnak, és így a Világegyetem méretét sokkal kisebbnek gondolták. Peebles következtetésének lényege azonban helyes volt: a hidrogénnek a többi elemhez mért magas előfordulási aránya azt jelenti, hogy a Világegyetem az első perceiben szükségszerűen bőséges elektromágneses sugárzással kellett legyen kitöltve ahhoz, hogy nehezebb elemek ne keletkezzenek. Peebles munkájáról értesülve Penzias Wilsonnal együtt elfogadta, hogy az elméleti feltevés ésszerű magyarázatot szolgáltat méréseikre.

Annak érdekében, hogy el tudjuk dönteni, a felfedezett sugárzásnak van-e az ősrobbanás elméletéhez köze, modellt kell alkotnunk, amivel megjósoljuk, milyen sugárzást észlelnénk, ha az ősrobbanás-elmélet helyes. Ha a jóslat és az észlelés megegyezik, az ugyan még nem bizonyítja az elmélet helyességét, de megerősíti azt.

Einstein munkássága óta tudjuk, hogy a fénynek – és minden más elektromágneses sugárzásnak – vannak legkisebb egységei, amelyeket fénykvantu-

moknak nevezünk. Ennek az a lényege, hogy a fény a többi elemi részecskével való kölcsönhatása során maga is elemi részecskéként viselkedik. Igaz, hogy nincs töltése, mint az elektronnak, vagy a protonnak, nincs nyugalmi tömege sem, mint a hasonlóan semleges neutronnak, de jól meghatározott, csak a sugárzás frekvenciájától függő energiája és lendülete van. Tehát az elektromágneses sugárzást is tekinthetjük úgy, mint elemi részecskék halmazát.

Hőtani megfigyeléseinkből tudjuk, hogy ha valamit összenyomunk, azaz kisebb térrészre korlátozzuk, akkor az fel is melegszik. Ha elegendően nagy a hőmérséklet, akkor az anyag elpárolog. Ha még melegebb, akkor a molekulák szétesnek, az atomok pedig ionizálódnak, azaz az elektronok és az atommagok szétválnak. Az anyagnak ezt az állapotát elektromágneses plazmának hívjuk. Az ősrobbanásról alkotott képünk szerint biztosan volt a múltban olyan pillanat, amikor a Világegyetem anyaga plazmaállapotban volt. Minthogy mind az elektron, mind az atommagok elektromos töltéssel rendelkeznek, így az elektromágneses sugárzással kölcsönhatásba lépnek. A Világegyetemnek ebben az állapotában a fény nem tud szabadon nagy utat megtenni, mint manapság, hanem igen gyakran ütköznek a fénykvantumok más, töltött részecskékkel: a fény szóródik az anyagon. Ahhoz hasonló ez a jelenség, mint amikor felhős az ég, és nem látjuk a Napot, mert a felhőn szóródik a fény. A plazmaállapotú Világegyetem átlátszatlan az elektromágneses sugárzás számára.

Azt is tudjuk, hogy minél sűrűbb az anyag, annál gyakrabban ütköznek a benne levő részecskék egymással. A gyakori ütközésnek az eredménye, hogy ha valamely részecskének az átlagosnál nagyobb a mozgási energiája, az gyorsan elveszíti az energiatöbbletet, átadja a társainak. Azt mondjuk, hogy a részecskék átlagos szabad úthossza rövid, ezért az anyagban levő hőmérsékletkülönbségek kiegyenlítődnek, a hőmérsékleti (termikus) egyensúly hamar kialakul. Ha nagyon sűrű az anyag, akkor a hőmérsékleti egyensúly sokkal gyorsabban beáll, mint amilyen ütemben tágul a Világegyetem. Így bár a Világegyetem tágulása annak hűlésével jár együtt, a gyakori ütközések eredményeként az anyag minden része mindig hőmérsékleti egyensúlyban van egymással. Más szóval a hőmérsékletkiegyenlítődés üteme sokkal gyorsabb, mint a tágulás üteme. A hőmérsékleti egyensúly statisztikus értelemben értendő: nem ugyanakkora az energiája az összes részecskének, hanem egy bizonyos energiával rendelkező részecskék száma időben nem változik.

Tudjuk, hogyan lehet jellemezni az anyaggal hőmérsékleti egyensúlyban levő elektromágneses sugárzást, továbbá azt is, hogyan módosul ez a sugárzás, ha az szabadon tágul, és így a hullámhossza nő (a hőmérséklete csökken). Abból indultunk ki, hogy ha igaz az ősrobbanás-elmélet, akkor valaha az anyag elektromágneses plazma állapotban volt, amelyben az elektromágneses sugárzás az anyaggal hőmérsékleti egyensúlyban van. Ahogy tágult a Világegyetem, a hőmérséklete csökkent. Mintegy 3000 K hőmérsékletet elérvén, a plazmában levő elektronoknak már nem volt elegendő mozgási energiájuk, hogy elszökjenek az

atommagok vonzása elől, kialakultak az atomok. Ennek eredményeként a Világegyetem átlátszóvá vált a fotonok számára – nem voltak többé szabad elektromos töltések, amelyeken a fotonok szóródhattak volna. Ettől kezdve a kezdetben hőmérsékleti sugárzasként jellemezhető elektromágneses sugárzás szabadon tágult mind a mai napig. A szabad tágulás eredményeként a sugárzás energiájának hullámhossz szerinti eloszlása csak annyiban változott, hogy a hőmérséklete a Világegyetem tágulásának mértékével fordított arányban csökkent.

Vegyük példaként azt, amit Penzias és Wilson talált, azaz a mintegy 3 K hőmérsékletű kozmikus eredetű sugárzást. Ha ez valóban a régmúltban jelen volt 3000 K-es hőmérsékleti sugárzás maradványa, akkor azóta a Világegyetem 1000-szeresére tágult. Így ez a sugárzás messze a legrégebbi, és így a legtávolabbról jövő jel, amelyet a csillagászok valaha is észleltek – *jóval a galaxisok és csillagok keletkezése előtt indult útjára*. Természetesen ahhoz, hogy a sugárzás eredetére vonatkozó értelmezés helyes legyen, be kell tudni bizonyítani, hogy valóban hőmérsékleti sugárzást észlelt Penzias és Wilson. Ehhez meg kell mérni a sugárzás erősségét különböző hullámhosszakon, és belátni, hogy a mérési eredmények az elmélet által jósolt eloszlásgörbére illeszkednek. Egy ilyen mérést földi antennával nem lehet kivitelezni. Ennek az oka, hogy a Föld légköre, amely átlátszó a mikrohullámok, tehát az 1 cm-es, vagy annál nagyobb hullámhosszú elektromágneses sugárzás számára, elnyeli a rövidebb – infravörös – hullámokat. (Ennek eredménye többek között a jól ismert üvegházhatás is.) Így bár az 1960–70-es években sok mérést végeztek különböző hullámhosszakon a kozmikus sugárzás spektrumának kimérésére, a Földről csak a spektrum hosszuhullámú tartományát lehetett ellenőrizni, ezért a mérések nem voltak bizonyító erejűek mindaddig, amíg az antennát fel nem vitték a világűrbe. Ezzel a céllal indították útjára 1989-ben a COBE (*Cosmic Background Explorer*) űrszondát. A COBE rendkívüli jelentőségű eredményt szolgáltatott. *Az általa mért spektrum volt a legtökéletesebb hőmérsékleti sugárzási színekép, amelyet valaha is láttunk*, így sziklaszilárd bizonyítékot jelentett arra nézve, hogy a Világegyetem valamikor legalább 1000-szer kisebb és sokkal forróbb volt, mint ma. Csak olyan körülmények között válhatott a Világegyetemet kitöltő elektromágneses sugárzás tökéletes pontossággal hőmérsékleti sugárzássá.

Van azonban az ősrobbanás-elméletnek egy másik következménye is, amelyet ellenőrizni kell, mégpedig a kozmikus háttérsugárzás irányfüggetlensége. Már említettük, hogy Penzias és Wilson éppen ebből következtek a sugárzás kozmikus eredetére. Az ő méréseik szerint a kozmikus háttérsugárzás 10%-os eltéréseken belül iránytól független. Ahhoz azonban, hogy az ősrobbanás-elméletet alátámassza, az ő méréseiknél pontosabbakra van szükség. A COBE ebből a szempontból is döntő jelentőségűnek bizonyult.

A COBE talán legfontosabb felfedezése azonban az volt, hogy valójában a mérés hibahatáránál nagyobb eltérések vannak a háttérsugárzás hőmérsékletében a különböző irányokban. Ma a kozmológusok az irányfüggetlenségtől való 10^{-5} -es

relatív eltérést annak bizonyítékaként fogják fel, hogy *az újszülött Világegyetemben voltak olyan sűrűség-ingadozások, amelyek az anyag közötti gravitációs vonzás erősítő hatása révén a ma megfigyelt szerkezet (galaxisok, galaxishalmazok) kialakulásához vezettek.*

Hogyan látjuk ma a világot?

A Világegyetemről alkotott képünk pontosításához a háttérsugárzásnak az iránytól való piciny függését mennyiségileg kell tudnunk megfogalmazni, hogy a kapott eredményt a különböző ősrobbanás-modellek által jósolt irányfüggéssel pontosan össze tudjuk hasonlítani, lehetőséget teremtve ezáltal egyes modellek megerősítéséhez, mások kizárásához. Hogyan lehet ezt a mennyiségi megfogalmazást megtenni? Ennek megértése céljából egy kis kirándulást kell tennünk a hangtan területére.

A hangokat három fizikai tulajdonsággal, a hangerősséggel, a hangmagassággal és a hangszínnel szoktuk jellemezni. Mint mindjárt látni fogjuk, a harmadik nem független az első kettőtől. A hang a hullámokat szállító rugalmas közeg, többnyire levegő rugalmas rezgése. A hangerősség az észlelt hanghullámok által idő és felületegységenként szállított energia jellemzője. A szállított energia a rezgés amplitúdójának négyzetével arányos, tehát az erősebb hang nagyobb amplitúdójú rezgést jelent.

A levegő rezgését valamilyen rezgésre képes rugalmas anyag kelti, például az emberi beszéd esetén a gégefőben található hangszalag. Könnyebben tanulmányozhatóak egy kifeszített rezgő húr, például a hegedűhúr rezgései. A két végén rögzített véges hosszúságú húron nem tud akármilyen hullámhosszú, vagy más-ként mondva akármilyen frekvenciájú rezgés tartósan fennmaradni, csak olyan, amelynek a félhullámhossza egész számszor ráfér a húrra. Ilyen módon a keltett hang frekvenciája sem lehet akármekkora. Amikor a húron csak egyetlen egy félhullám rezeg, a keltett hangot a húr alapharmonikusának nevezzük, amikor több, az így keltett hangok a felharmonikusok.

A rezgő húron egyszerre többféle hullámhosszú rezgés is kialakulhat, ilyenkor egyszerre halljuk az alap- és felharmonikusokat. Az alap- és felharmonikusok amplitúdóinak viszonya határozza meg a hallott hang hangszínét. A hangszínt a hang spektrumával, azaz az egyes harmonikusokhoz tartozó hanghullámok amplitúdójával – tehát erősségével – lehet jellemezni. Egy véges hosszúságú húron kialakuló bármilyen rezgés egyértelműen felbontható az alap- és felharmonikus rezgésekre, tehát egyértelműen jellemezhető a hang spektrumával (a hangszínnel). Ugyanez elmondható egy kifeszített rugalmas hártya (például dob) rezgéséről is, csak a felbontás matematikailag összetettebb.

A háttérsugárzás hőmérsékletfüggése és egy kifeszített hártya rezgése között párhuzamot vonhatunk, és így meghatározhatjuk a háttérsugárzás spektrumát. Ez

a spektrum mennyiségileg határozza meg mennyire hirtelen változik a kozmikus sugárzás hőmérséklete, ha különböző irányokba tekintünk az égen. A spektrumot össze lehet vetni az ősrobbanás-modellek által számított spektrumokkal, és így egyes modelleket ki lehet zárni, másokat meg lehet erősíteni. A COBE adatai azonban nem elegendően pontosak, a hőmérsékleti térkép felbontása durva, így a spektrumnak csupán az első néhány elemét lehet meghatározni. Az adatok pontosítása érdekében 2001. június 30-án egy új műholdat, a WMAP-at (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) fellőtték a NASA Kennedy Űrközpontjából. A WMAP minden korábbi mérésnél pontosabban határozta meg a háttérsugárzás hőmérsékleti térképét. A csecsemő Világegyetemről készített fénykép egyszerre kitisztult.

A WMAP adatai és más csillagászati megfigyelések alapján a következő egységes képünk alakult ki a Világegyetemről:

- A Világegyetem születése után mintegy 2 századmásodperccel, 13,7 milliárd évvel ezelőtt igen nagy sűrűségű és hőmérsékletű elektromágneses plazmával volt kitöltve. A plazmát nagyrészt elektronok, pozitronok, elektromágneses sugárzás alkották, ezenkívül volt benne kevéske proton és neutron. A kormeghatározás hibája alig több mint 1%.
- A Világegyetem születése után gyorsan tágult és hűlt. Amikor a hőmérséklete 900 millió Kelvin alá süllyedt, a harmadik perc végén hirtelen kialakultak a könnyű elemek (a hidrogén, a hélium, a lítium, a berillium és a bór) atommagjai.
- 379 ezer évvel később, amikor a hőmérséklet mintegy 3000 K alá süllyedt, az elektromágneses plazmából kialakultak a semleges atomok, és így a sugárzás és az anyagi részecskék közötti kölcsönhatás gyakorlatilag megszűnt. Ettől kezdve a sugárzás szabadon tágult a Világegyetemmel, és hűlt a ma mérhető 2,73 K-es értékre.
- Az első csillagok mintegy 200 millió évvel később gyulladtak ki a tömeggel rendelkező anyagi részecskék között fellépő gravitációs vonzás következtében keletkező sűrűsödés és felmelegedés hatására.
- A Világegyetem tágulását meghatározó **Hubble-állandó** jelenlegi értéke $H = 71 \text{ (km/s)/Mpc} = 1/(13,7 \text{ milliárd év})$. A mérés relatív hibája 5%.
- Az adatok jelenlegi értelmezése szerint a Világegyetem örökké tágulni fog, azonban az erre vonatkozó ismereteinket újabb, pontosabb mérési adatok módosíthatják.
- A Világegyetem 4%-a áll a bennünket is felépítő atomokból. 23%-a olyan hideg „sötét anyag”, amelyet laboratóriumban mindeddig nem sikerült előállítani, így tulajdonságait nem ismerjük. A Világegyetem energiájának 73%-a ismeretlen „sötét energia” formájában van jelen. Mielőtt bárki szeretné a sötét energiát az emberiséget érintő energiaválság megoldására felhasználni, hangsúlyozni szeretném, hogy ezek az adatok a tágulással egyetemben csak elképzelhetetlenül nagy, mintegy 100 Mpc-nél nagyobb

léptékben érvényesek. A Földön nincs sem titokzatos sötét anyag, sem sötét energia.

A WMAP adatai alapján olyan kérdéseket is feltehetünk, hogy milyen volt a Világegyetem az első 2 századmásodpercben. A modellek által jósolt hőmérsékleti spektrum és a mért spektrum összevetése azt sugallja, hogy a nagyon korai időszakban volt egy rövid „felfűvódási” szakasz, amikor egyelőre ismeretlen fizikai ok miatt a Világegyetem lényegesen gyorsabb ütemben tágult. A mai kutatások elsősorban e felfűvódási szakasz jobb megértésére irányulnak.

Remélem, előadásomban sikerült igazolnom, hogy a tudományos forradalom elsősorban a megfigyelési pontosság ugrásszerű fejlődéséhez, és így a műszaki fejlődéshez kötődik. Ezzel nem kívánom kicsinyíteni a véletlen nagy felfedezések szerepét, bár sokszor a véletlen sem annyira véletlen, mint első pillanatra látszik. A kozmikus háttérsugárzás felfedezését például tekinthetjük előre nem várt véletlen felfedezésnek, de tekinthetjük úgy is, hogy a mikrohullámú vevők zajszintjének csökkentésében elért műszaki fejlesztés eredménye. E tekintetben komoly aggodalomra ad okot, hogy míg a növekvő pontosság elérése egyre nagyobb kihívást jelent, addig a fiatalok körében egyre csökken az érdeklődés a műszaki- és természettudományok iránt.

Természetesen a felvázolt kép jelentősen fogja befolyásolni a teológiai gondolkodást is. A rendelkezésünkre álló tudományos adatok azt mutatják, hogy az általunk észlelt sokrétű, színes világ egy rendkívül egyforma (differenciálatlan) anyagból alakult ki a természet törvényei szerint. Úgy tűnik, hogy az Alkotó a törvényeket és talán a kezdeti feltételeket alkotta. Ha üzenni próbált a világot megfigyelő értelmes lényeknek, akkor annak egy kiváló eszköze a Világegyetemet mindenütt kitöltő, és így mindenhol észlelhető kozmikus háttérsugárzás. Hogy mit üzent, azt továbbra is erőnk és tudásunk összpontosításával nyomozzuk.