

JOHN D. BARROW

A VILÁGEGYETEM SZÜLETÉSE

VILÁGEGYETEM
KÖLTÜRIRADE

VILÁG – EGYETEM

JOHN D. BARROW

A VILÁGEGYETEM SZÜLETÉSE

KULTURTRADE KIADÓ

A VILÁG-EGYETEM sorozat főszerkesztője:

Szentágothai János

A mű eredeti címe: The Origin of the Universe

Copyright © 1994 by John D. Barrow

A fordítás a Basic Books. A Division of Harper Collins

Publishers, Inc. által rendelkezésre bocsátott

kézirat alapján készült.

Fordította: dr. Both Előd

A fordítást ellenőrizte, a jegyzeteket és az irodalomjegyzéket

készítette: dr. Dávid Gyula

Minden jog fenntartva. Kritikákban és recenziókban
felhasznált rövid idézetek kivételével a mű
egyetlen része sem reprodukálható semmilyen eljárással
a jogtulajdonos előzetes engedélye nélkül.

Az első kiadás a Magyar Könyv Alapítvány
támogatásával jelent meg.

Magyar kiadás és terjesztés: KULTURTRADE KIADÓ KFT

(1027 Budapest, Margit körút 64/b)

Felelős kiadó: Vince Gábor,

a KULTURTRADE KIADÓ KFT. ügyvezető igazgatója

Hungarian translation © dr. Both Előd, 1994

A könyvet Badics Ilona tervezte

Borító fotó © Roberto de Vicq de Cumptich

Szedés és tördelés: MA Bt., Mészáros Attila

Nyomtatta és kötötte a Reálszisztéma Dabasi Nyomda Rt.

12,71 (A/5) ív terjedelemben, 1997-ben.

Felelős vezető: Muskát Péter vezérigazgató

Munkaszám: 97-0032

ISBN 963 9069 13 Z / ISSN 1218 4500

*A szépet látjuk, de még szebb, amit értünk is,
a legszebb viszont az, amit fel sem foghatunk.*
NIELS STEENSEN (STENO) 1638-1686

*Dennisnek és Billnek, a kozmológusoknak,
az amatőröknek és a tanároknak,
akiknek mindannyian oly sokkal tartozunk.*

Előszó

Élete delén járó Világegyetemben élünk. Hosszú idő telt már el a legizgalmasabb események óta. Ha egy csillagfényes éjszakán az égbolt felé fordítjuk tekintetünket, néhány ezer csillagot látunk, melyek legtöbbje a Tejút halványan fénylő sávja mentén csoportosul. Ez minden, amit őseink a Világegyetemről tudtak. Később, ahogy egyre nagyobb és jobb felbontóképességű távcsöveket készítettek, elképzelhetetlenül hatalmas Világegyetem tárult a szemük elé. Csillagok sokasága nyüzsgött a galaxisoknak nevezett óriási csillagszigetekben, a galaxisok közötti teret pedig a mikrohullámú sugárzás hideg tengere töltötte ki – a mintegy tizenöt milliárd évvel ezelőtti ősrobbanás maradványa. Úgy tűnik, hogy az idő, a tér és az anyag egy robbanásszerű hevességű eseményben született, amelyből a ma megfigyelhető Világegyetem szakadatlanul tágulva, lassan hűlve és folyamatosan ritkulva fejlődött ki.

A kezdet kezdetén a Világegyetem nem volt egyéb, mint a sugárzások tüzes pokla, ahol oly nagy volt a forróság, hogy még atomok sem léteztek. Az első néhány perc elteltével eléggé lehűlt ahhoz, hogy kialakulhassanak a legkönnyebb elemek atommagjai. Millió éveknek kellett eltelniük, míg a kozmosz eléggé lehűlt ahhoz, hogy megszülessenek az atomok, később az egyszerű molekulák, majd újabb évmilliárdok múlva a fejlődés bonyolult eseménysorozatai eredményeképpen meginduljon az anyag csillagokká és galaxisokká tömörülése. Miután megjelentek a stabil környezeti feltételeket biztosító bolygók, máig sem teljesen tisztázott biokémiai folyamatok bonyolult anyagokat hoztak létre. De vajon hogyan és miért vette kezdetét az eseményeknek ez a roppant bonyolult

láncolata? Mit tudnak mesélni a mai kozmológusok a Világegyetem kezdetéről?

A régi korok teremtéstörténetei a szó mai értelmében nem tekinthetők tudományos elméleteknek. Nem próbáltak meg semmi újdonságot elmondani a világ szerkezetéről; csupán azt a célt tűzték maguk elé, hogy az emberi tudatot megszabadítsák az ismeretlen kísértetétől. Azáltal, hogy meghatározták saját helyüket a teremtés rendjében, őseink saját képükre formálták a világot és megszabadultak az ismeretlen és a megismerhetetlen nyomasztó fogalmától. A modern tudományos elméletnek azonban ennél sokkal többre kell törekednie. Elég alaposnak kell lennie ahhoz, hogy több mindent áruljon el nekünk a világról, mint amennyi ismeretet az elmélet felállításakor felhasználtunk. Ugyanakkor az elméletnek elég átfogónak kell lennie ahhoz, hogy segítségével előrejelzéseket tudjunk tenni, amelyeket azután az elmélet ellenőrzéseképpen a világ már ismert egyéb jelenségeire is alkalmazhatunk. Az elméletnek összhangot kell teremtenie és egységes képbe kell foglalnia olyan tényeket, amelyekről addig nem is hittük, hogy kapcsolatban állnak egymással.

A mai kozmológusok által alkalmazott módszerek egyszerűek, bár a laikusok számára nem feltétlenül nyilvánvalóak. Első lépésként feltételezik, hogy a világ működését szabályozó helyi, vagyis itt a Földön érvényes törvények az egész Világegyetemre igazak. Feltételezésük mellett mindaddig kitartanak, amíg valami ezzel ellentétes következtetésekre nem kényszeríti őket. Általában azt tapasztaljuk, hogy vannak – és még inkább voltak – a Világegyetemben olyan helyek, amelyekre a szélsőséges sűrűség és hőmérséklet a jellemző, ezért nem alkalmazhatók rájuk a Földön közvetlen úton szerzett tapasztalataink. Bizonyos esetekben azt várjuk, hogy az elméleteink ezekben a tartományokban is érvényesek – és várakozásaink beteljesednek. Más alkalmakkor viszont csupán a természet törvényeinek közelítő alakjaival dolgozunk, amely közelítések alkalmazásának korlátai vannak. Ha elérkezünk e korlátokhoz, meg kell próbálkoznunk jobb közelítésekkel, pontosabban leírni az ott talált szokatlan viszonyokat. Sok elméletnek olyan következtetései vannak, amelyeket nem áll

módunkban megfigyelésekkel ellenőrizni. Sokszor éppen ezek az előrejelzések adnak ötleteket a szakembereknek, hogy miféle új megfigyelőműszereket vagy műholdakat kellene építeni a jövőben.

A kozmológusok gyakorta emlegetik a „kozmológiai modell”-jeiket. Ez náluk azt jelenti, hogy a Világegyetem szerkezetének és történetének olyan egyszerűsített matematikai leírását adják, amely számot tud adni a Világegyetem ma megfigyelhető legfontosabb tulajdonságairól. Éppúgy, ahogy mondjuk egy repülőgépmodell is rendelkezik a valódi repülőgépek jónéhány, bár korántsem minden tulajdonságával, ugyanúgy, a Világegyetem modellje esetében sem reménykedhetünk abban, hogy az számot adhat világunk szerkezetének legapróbb részleteiről is.

Kozmológiai modelljeink roppant elnagyoltak és egyszerűek. Első lépésként a Világegyetemet az anyag tökéletesen egynemű óceánjának tekintik. Figyelmen kívül hagyják az anyag csillagokba és galaxisokba történő tömörülését. A tökéletes homogenitástól való eltéréseket csak akkor kell figyelembe venni, ha valamilyen speciális kérdést akarunk tanulmányozni, mondjuk éppen a csillagok vagy a galaxisok keletkezését. Ez a taktika meglehetősen jól bevált. A Világegyetem egyik legmeglepőbb tulajdonsága éppen az, hogy ez az egyszerű közelítés milyen pontosan leírja látható részének viselkedését.

Kozmológiai modelljeink másik fontos vonása, hogy olyan fizikai mennyiségekkel dolgoznak, például a sűrűséggel vagy a hőmérséklettel, amelyek számértéke csak megfigyelésekkel határozható meg, ugyanakkor a modell e mennyiségek közül jónéhány számértékének csak bizonyos meghatározott kombinációit engedi meg. Ez lehetővé teszi, hogy ellenőrizzük a modell és a valódi Világegyetem egyezését és eltéréseit.

A Világegyetem kutatása a múltban különböző irányokban indult meg. A műholdakon, az űrhajókon és a távcsöveken kívül bevetettük a mikroszkópot, az atomokat romboló gyorsítókat, a számítógépeket és az emberi gondolkodást, azért, hogy minél alaposabban megértsük kozmikus környezetünket. A távoli világűr titkain, a csillagokon, a galaxisokon és a Világegyetem nagyléptékű szerkezetein kívül el kellett merülnünk az anyag mélységének finom rejtelmeiben is. Itt élénk tárl az

atommagok és a még parányibb elemi részecskék világa: az anyag legalapvetőbb építőkövei. Az elemi részecskék kevesen vannak és egyszerű szerkezetűek, ugyanakkor kombinációs lehetőségeik révén annak a minket körülvevő roppant bonyolult világnak az alkotórészeivé szerveződnek, amely világnak mi is szerves részei vagyunk.

A megismerésnek ez a két, egymással látszólag ellentétes iránya, az anyagot alkotó elemi részecskék mikrovilágának, valamint a csillagok és galaxisok csillagászati makrovilágának vizsgálata, a közelmúltban egészen meglepő módon szoros kapcsolatba került egymással. A valaha egymástól elszigetelt csoportokban dolgozó és egészen eltérő kérdésekre, gyökeresen különböző módszerekkel választ kereső tudósok érdeklődési köre és kutatási módszere újabban meglepően közel került egymáshoz. Kiderült, hogy a galaxisok születésének titkára nem a csillagos égen derül fény, hanem mélyen a föld alatt, az elemi részecskék tulajdonságait kutató részecskedetektorokban. Az elemi részecskék személyazonossága viszont a távoli csillagfény elemzése útján körvonalazódik. Miközben ifjúkorának maradványai után kutatva megpróbáljuk felgöngyölíteni a Világegyetem történetét, rájövünk, hogy a makro- és a mikrovilág tulajdonságainak egybevetése mély meggyőződésünkkel teszi a Világegyetem egységét.

Könyvünkben megpróbálunk a kezdetekről a kezdőknek mesélni. Milyen bizonyítékaink vannak a Világegyetem korai történetére vonatkozóan? Melyek a legújabb elméletek a Világegyetem keletkezésének lehetséges módjairól? Ellenőrizhetjük-e megfigyelésekkel is elméleteinket? Milyen kapcsolatban van saját létezésünk a Világegyetem történetével? Íme, ízelítőül néhány, az idő kezdetéhez teendő utazásunk során felmerülő kérdések közül. Bemutatok majd néhányat a legújabb, az idő természetéről, a „felfúvódó Világegyetemről” és a „féreglyukakról” szóló, egyelőre a pusztán spekuláció szintjén mozgó elképzelések közül is. Útközben megmagyarázom, hogy mi a jelentősége a COBE műhold megfigyelési eredményeinek, amelyeket 1992 tavaszán a szakma határtalan örömmel fogadott.

Szeretnék köszönetet mondani kozmológus kollégáimnak felfedezéseikért, amelyek lehetővé tették a Világegyetem mo-

dernek történetének megírását. Vállalkozásunk gondolata Anthony Cheetham és John Brockman érdeme. Reméljük kiderül, bölcs dolog volt-e a részükről, amikor felkértek, hogy vegyek részt a munkában. Ezúton mondok köszönetet Gerry Lionsnak és Sara Lippinottnak, szerkesztői munkájukért. Rengeteget segített feleségem, Elizabeth is. Segítségének tudható be, hogy hamar elkészültem a munkával, anélkül, hogy minden mást végérvényesen félre kellett volna dobnom. Mint mindig, most is hálás vagyok Neki mindenért. Családunk legifjabb tagjait, Davidet, Rogert és Louise-t teljességgel hidegen hagyta a vállalkozásunk. Ők viszont Sherlock Holmest szeretik.

Brighton, 1994. Március

Dióhéjban a Világegyetemről

*Meg kell köszönnöm Önnek – szolt Sherlock Holmes –,
hogy felhívta a figyelmemet egy olyan esetre, amely minden
bizonnyal számos érdekességet tartogat számomra.*

A SÁTÁN KUTYÁJA

Hogyan, miért és mikor vette kezdetét a Világegyetem története? Milyen nagy a Világegyetem? Milyen alakú? Miből van? Ezek azok a kérdések, amelyeket minden kíváncsi gyermek föltehet, megválaszolásukkal azonban évtizedek óta gyötrődnek korunk kozmológusai. A kozmológia egyik vonzó tulajdonsága a népszerűsítő írók és az újságírók számára éppen abban rejlik, hogy a leghevesebb tudományos viták kereszttüzeiben álló kérdéseket is könnyű feltenni. Ha csak egy pillantást vetünk a kvantumelektronika, a DNS-kutatás, a neurofiziológia vagy a tiszta matematika legizgalmasabb tudományos problémáira, azonnal azt tapasztaljuk, hogy azokat egyáltalán nem könnyű közérthető nyelven megfogalmazni.

Egészen a huszadik század elejéig sem a filozófusok, sem pedig a csillagászok egy pillanatig sem vonták kétségbe a tér állandóságát. Azét a térét, amely a csillagok, a bolygók és a legkülönbözőbb egyéb égitestek mozgásának a színtere. Az 1920-as években azonban ez az egyszerű kép átalakult. Először Einstein gravitációelméletének következményeit kutató fizikusok véleményének hatására, majd később a távoli galaxisok fényét kutató Edwin Hubble, amerikai csillagász megfigyelési eredményei következtében.

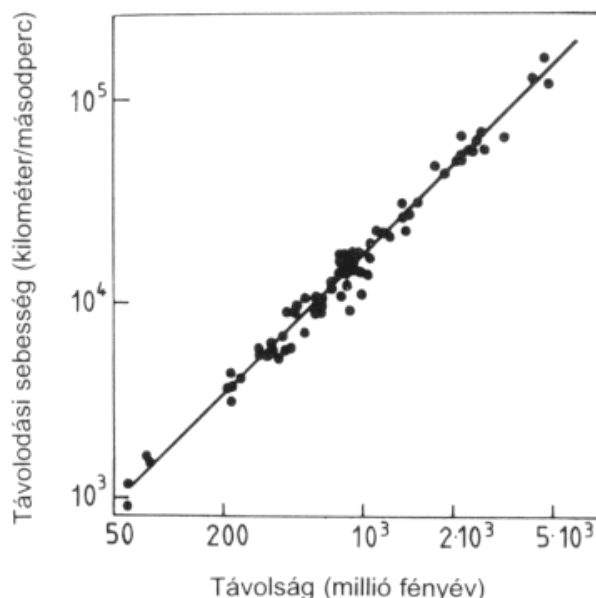
Hubble a hullámok egyik egyszerű tulajdonságát használta ki. Ha ugyanis a hullámok forrása távolodik a megfigyelőtől, akkor a hullámok ritkábban érik a megfigyelőt, frekvenciájuk csökken. Ha meg akarjuk figyelni a jelenséget, szabályos időközönként mártogassuk ujjunkat sima felszínű vízbe és figyeljük

meg, milyen ritmusban érkeznek a hullámok a vízfelszín egy másik, megjelölt pontjába. Ezután lassan távolítsuk az ujjunkat ettől a ponttól, miközben a hullámokat keltjük. Ebben az esetben ritkábban érkeznek a hullámok a megfigyelési pontba, mint amilyen gyakran az ujjunktól kiindulnak. Ha a hullámokat keltő ujjunkat lassan a vonatkoztatási pontunk felé mozgatjuk, akkor a beérkező hullámok gyakorisága megnő. Ezzel a tulajdonsággal nem csak a vízhullámok rendelkeznek, hanem minden hullám. Pontosan ugyanez a jelenség okozza a hanghullámok esetében azt, hogy a mozgó rendőrautó szirénáját vagy a vonat füttyét mélyebb hangúnak halljuk, miután a jármű elhaladt mellettünk. A fény is hullám, ami azt jelenti, hogy ha egy fényforrás távolodik a megfigyelőtől, akkor csökkenni látszik a fényhullámok frekvenciája, azaz a fényt valamivel vörösebbnek látjuk. Ezért nevezik ezt a jelenséget „vöröseltolódás”-nak. Ha ellenben a fényforrás közeledik a megfigyelő felé, akkor az észlelt frekvencia nagyobb, a látható fény kékebbnek tűnik, ekkor „kékelto­lódás”-ról beszélünk.

Hubble észrevette, hogy az általa megfigyelt galaxisok fénye szinte kivétel nélkül minden esetben vöröseltolódást mutatott. Megmérve a vöröseltolódás nagyságát, ki tudta számítani, milyen gyorsan távolodik a fényforrás. Összehasonlítva az azonos típusú (vagyis feltételezhetően azonos valódi fényességű) csillagok látszó fényességét az egyes galaxisokban, következtetni tudott a galaxisok távolságára. Mérései alapján felfedezte, hogy minél messzebb van a fényforrás, annál gyorsabban távolodik tőlünk. Ezt az összefüggést nevezzük Hubble törvényének, melynek ábrázolását – mai mérési adatok alapján – az 1.1. rajzon láthatjuk. Az 1.2. ábrán példát mutatunk arra, milyennek látszik egy távoli galaxis színeképe, amelyben a különféle atomokra jellemző színekp­von­alak laboratóriumban megfigyelt helyükhöz képest eltolódtak a színekp­v­on­al­ak vörös vége felé.¹

Ezzel Hubble lényegében felfedezte a Világegyetem tágulását. A bolygók és csillagok mozgásának örökké állandó színtere helyett azt találta, hogy a Világegyetem folytonosan változik. Ez volt a huszadik század tudományának legfigyelemreméltóbb felfedezése, amely egyúttal megerősítette Einstein általános relativitáselméletének a Világegyetemre vonatkozó megál-

lapítását, mely szerint a Világegyetem nem lehet sztatikus. A galaxisoknak a közöttük fellépő gravitációs erő hatására egymásba kellene zuhanniuk, hacsak nem távolodnak nagy sebességgel egymástól. A Világegyetem nem lehet nyugalomban.

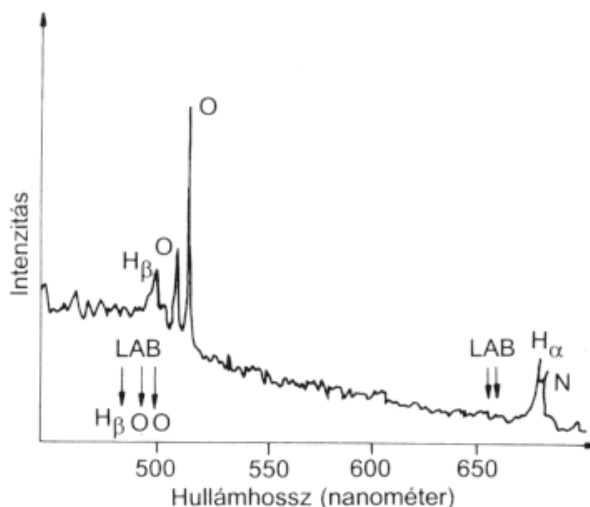


1.1. ábra: A Hubble-törvény ábrázolása mai adatok alapján, amelyről leolvasható, hogy a galaxisok távolodási sebessége a távolságukkal egyenes arányban nő.

Ha a Világegyetem tágul, akkor történetének, eseményeit gondolatban visszafelé lepergetve bizonyítottnak érezzük, hogy az egész világunk valaha kisebb és sűrűbb lehetett, sőt, a gondolatmenetet folytatva, valamikor a kiterjedése zérus kellett hogy legyen. Ez a Világegyetem történetének az a látszólagos kezdőpontja, amely ősrobbanás (vagy Nagy Bumm) néven vált közismertté.

Ezúttal kicsit túlságosan előreszaladtunk a gondolatmenetünkkel. Van néhány nagyon fontos tény a Világegyetem jelenlegi tágulásával kapcsolatban, amelyekre feltétlenül ki kell térnünk, még mielőtt elmélyedünk a múltban. Először is, mit jelent pontosan a tágulás? Az *Annie Hall* című filmben Woody Allen pszichológusa rendelőjében így döbben rá a Világegyetem tágulására: „Ez biztosan azt jelenti, hogy Brooklyn is tágul, én is tágulok, Ön is tágul és mi mindannyian tágulunk.” Szeren-

csére Woody Allen tévedett. Mi nem tágulunk. Brooklyn sem. A Föld sem, de még a Naprendszer sem. Sőt, még a Tejútrendszer sem, de a galaxishalmazoknak nevezett, galaxisok ezreiből álló galaxistömörülések sem. Mindezeket az anyagtömegeket az alkotóelemeik között fellépő kémiai vagy gravitációs erők összetartják, márpedig ezek az erők erősebbek a tágulásnál.



1.2. ábra: A Markarjan 609 jelzésű, távoli galaxis színeképén jól látható, hogy az 500 nm körüli hullámhosszú három (H_β , O és O) és a 650 nm körüli hullámhosszú két (H_α és N) színeképvonal mindegyike miképpen tolódik el a laboratóriumban mért hullámhosszaikhoz képest a színekép vörös vége felé. A vonalak laboratóriumi hullámhosszát a LAB feliratú nyilak jelölik, míg mért helyzetük a színekép intenzitásgörbéjén a nyilakkal jelölt csúcsoknak felel meg. A vonalaknak a színekép vörös vége felé történő eltolódásából kiszámítható a fényforrás távolodási sebessége. (A vörös színű fény hullámhossza kb. 800 nm.)

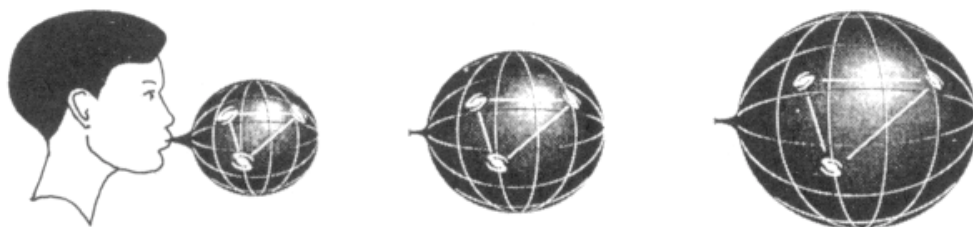
Még a galaxisok százait és ezreit tartalmazó galaxishalmazok léptékén is túl kell jutnunk, ha meg akarjuk figyelni, amint a tágulás úrrá lesz a helyi gravitációs vonzáson. Közele galaxisszomszédunk, az Andromeda-köd például közeledik felénk, mert az Andromeda-köd és a Tejútrendszer között fellépő gravitációs vonzás sokkal erősebb, mint a Világegyetem általános tágulásának hatása. Tehát nem maguk az egyes galaxisok,

hanem csak a galaxishalmazok jelzik a mindenség tágulását. A legegyszerűbb hasonlat kedvéért gondoljunk egy felfúvódó léggömbre, amelynek felületét porszemcsék tarkítják. Ahogy a léggömb fokozatosan tágul, úgy kerülnek egyre messzebb egymástól a felületén látható szemcsék, annak ellenére, hogy maguk a szemcsék nem tágulnak. A porszemcsék egyszerűen csak jelzik számunkra a gumi megnyúlásának mértékét. Hasonlóképpen a Világegyetem tágulását is legcélszerűbb úgy tekinteni, mint a galaxishalmazok közötti tér tágulását, amint azt az 1.3. ábrán is szemügyre vehetjük.

Ezután annak a ténynek a következményei ejthetnek zavarba, hogy a galaxishalmazok mindegyike tőlünk távolodik. Miért éppen tőlünk? Ha valamelyest ismerjük a tudomány történetét, akkor azt mindenképpen tudnunk kell, hogy Kopernikusz megmutatta: a Föld nem a Világegyetem középpontjában helyezkedik el. Márpedig ha az imént arra a következtetésre jutottunk, hogy minden tőlünk távolodik, akkor ezzel éppen hogy visszahelyeztük sajátmagunkat a mindenség középpontjába. Következtetésünk azonban téves volt. A Világegyetem tágulása nem hasonlítható egy olyan robbanáshoz, amelynek valahol a térben volt egy meghatározott kiindulópontja. Nincs olyan rögzített alap vagy háttér, amelyhez képest végbemenne a tágulás. Maga a tér tágul, mert a Világegyetem magában foglalja a teret is.

Képzeljük el a teret rugalmas lepedőként. Az anyag jelenléte és mozgása ebben a nyújtható térben bemélyedéseket és görbületet hoz létre. Világegyetemünk görbült terét úgy kell elképzelnünk, mint egy négy dimenziós gömb három dimenziós felületét –, vagyis olyasvalamiként, amit úgysem tudunk elképzelni. Képzeljük el ezért inkább a Világegyetemet egy mindössze kétdimenziós felületként. Így leginkább egy három dimenziós gömb felületéhez hasonlít, amit viszont könnyű ábrázolni. Képzeljük most el, hogy ez a három dimenziós gömb egyre nagyobb lesz, akár csak az 1.3. ábrán látható felfúvódó léggömbünk. A léggömb felülete ebben az esetben egy táguló, két dimenziós Világegyetem. Ha a felületén megjelölünk két pontot, akkor ezek a pontok a léggömb felfúvódásának ütemében távolodnak egymástól. Rajzoljunk ezután sok jelet mindenfelé a léggömb felületére, és fújuk fel ismét. Azt tapasztaljuk, hogy bármelyik jel

helyére is képzeljük magunkat, úgy tűnik, hogy a felfúvódó gömb felületén az összes többi jel mindig éppen tőlünk távolodik. Könnyűszerrel felismerhetjük a tágulás Hubble-törvényét, mert az egymástól távoli jelek nagyobb sebességgel távolodnak egymástól, mint a közeliak. Ez a kísérlet fontos tanulsággal szolgál. A léggömb felülete jelképezi a teret, a felület azonban nem tartalmazza a léggömb tágulásának a „középpont”-ját. A léggömb felületén nem létezik olyan pont, amely a tágulás középpontja lenne. Sőt, a felületnek széle sincs. Nem tudunk tehát leesni a Világegyetem peremén, mert nem létezik semmi olyan, amely dolognak a belsejében tágulna a Világegyetem, mert a Világegyetem maga a minden létező összessége.



1.3. ábra: A Világegyetem tágulását a tér tágulásaként fogjuk fel. Jelöljük meg néhány pontot egy léggömb felületén – ezek jelképezik a galaxishalmazokat –, majd fújjuk fel. A galaxishalmazok közötti távolság nő, a halmazok mérete azonban változatlan marad. A kísérletben a léggömb felülete egy két térbeli dimenziójú Világegyetemnek felel meg. A felfúvódó felület bármely galaxishalmazra azt tapasztalja, hogy az összes többi távolodik tőle. Vegyük észre, hogy a léggömb felülete nem tartalmazza a tágulás középpontját.

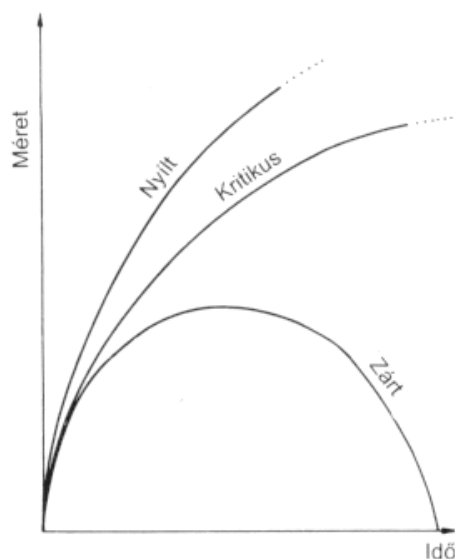
Amikor idáig eljutottunk, feltétlenül fel kell tennünk még egy fontos kérdést, nevezetesen azt, hogy vajon a Világegyetem tágulása a végtelenségig fog-e tartani. Ha feldobunk egy követ, az visszaesik a Földre, mert bolygónk gravitációja visszahúzza. Minél nagyobb erővel dobjuk fel, annál nagyobb energiája lesz a mozgó kőnek, és így annál magasabbra emelkedik, mielőtt visszahullna. Ma már arra is képesek vagyunk, hogy egy tár-

gyat másodpercenként 11 kilométeresnél nagyobb sebességgel indítsunk útnak, így az képes legyőzni a Föld gravitációját. Ez a világűrbe induló rakéták kritikus indítási sebessége, amelyet az űrkutató szakemberek „szökési sebesség”-nek neveznek.²

Hasonló gondolatmenetet alkalmazhatunk egy felrobbanó vagy bármilyen más okból táguló anyagi rendszerre is, amelynek mozgását a gravitáció fékezi. Ha a kifelé irányuló mozgás energiája meghaladja a gravitáció befelé ható vonzását, akkor az anyag sebessége meghaladja a szökési sebességet, ezért mindörökké kifelé tartó mozgást fog végezni. Ha ellenben a rendszer alkotóelemei közötti gravitáció vonzóereje a nagyobb, akkor a testek egymástól való távolodása előbb-utóbb megáll, és elkezdenek egymás felé mozogni, amint azt a Föld és a földobott kő esetében tapasztaltuk. Ugyanez a helyzet a táguló Világegyetem esetében is: létezik egy kritikus nagyságú induló sebesség.³ Ha a tágulás kezdetekor a sebesség ezt felülmúlja, akkor az ilyen Világegyetemben az összes anyag együttes gravitációs vonzása sem képes megállítani a tágulást, így az örökké tart. Ha viszont a kezdeti sebesség nem éri el az említett kritikus nagyságot, akkor a tágulás megáll és visszajára fordul, ami a rendszer összehúzódását eredményezi – egészen a nulla méretig, vagyis ugyanaddig az állapotig, amelyből a tágulás kiindult. A két lehetőség közt az az átmeneti állapot létezik, amelyet „kritikus kompromisszumos Világegyetem”-nek szoktam nevezni. Ennek a kezdeti tágulási sebessége pontosan akkora volt, mint a kritikus sebesség, vagyis az a lehető legkisebb érték, amely mellett a tágulás örökké tarthat.⁴ A ténylegesen létező Világegyetemünkkel kapcsolatos legrejtélyesebb körülmény éppen az, hogy a tágulás sebessége zavarba ejtően közel esik a kritikus értékhez. Valójában oly közel, hogy a rendelkezésünkre álló eszközökkel el sem tudjuk dönteni kellő bizonyossággal, hogy a kritikustól merre is esik a tényleges sebesség. Éppen ezért azt sem tudjuk, milyen jövő vár hosszú távon a Világegyetemünkre.

A kozmológusok véleménye szerint a megfigyelt tágulási sebesség oly közel esik a kritikushoz, hogy ezt nem hagyhatjuk figyelmen kívül, ez a tény feltétlenül magyarázatot igényel. A jelenséget nehéz megérteni, mert ahogy a Világegyetem tágul és öregszik, úgy mind távolabb kerül a kritikus választóvonalától,

hacsak nem pontosan a kritikus sebességgel kezdte a tágulását. Az ügy tehát roppant rejtélyes. A Világegyetem mintegy tizenötmilliárd évvel ezelőtt kezdett tágulni, ennek ellenére még ma is olyan közel van a kritikus állapothoz, hogy azt sem tudjuk eldönteni, merrefelé tér el attól, ha egyáltalán eltér. Annak, hogy ilyen rengeteg idő elteltével még mindig a kritikus érték közvetlen közelében legyünk, az a feltétele, hogy a tágulás kezdetekor a sebességnek csak parányi mértékben szabadott eltérnie a kritikustól. Ezt a parányi eltérést egy olyan kicsiny szám jelöli, amelyikben a tizedesvessző és az egyes között nem kevesebb, mint harmincöt nullát kell írunk. De vajon miért valósulhatott meg ez a valószínűtlen állapot? Később, amikor részletesen szemügyre vesszük a Világegyetem tágulása első néhány pillanatának eseményeit, találni fogunk egy lehetséges magyarázatot erre a felettébb valószínűtlen helyzetre. Egyelőre elégedjünk meg annak megértésével, hogy bármely univerzumnak, amelyik emberi lényeket tartalmaz, a folyamatos tágulás évmilliárdjai elteltével is nagyon közel kell lennie a kritikus állapot választóvonalához.



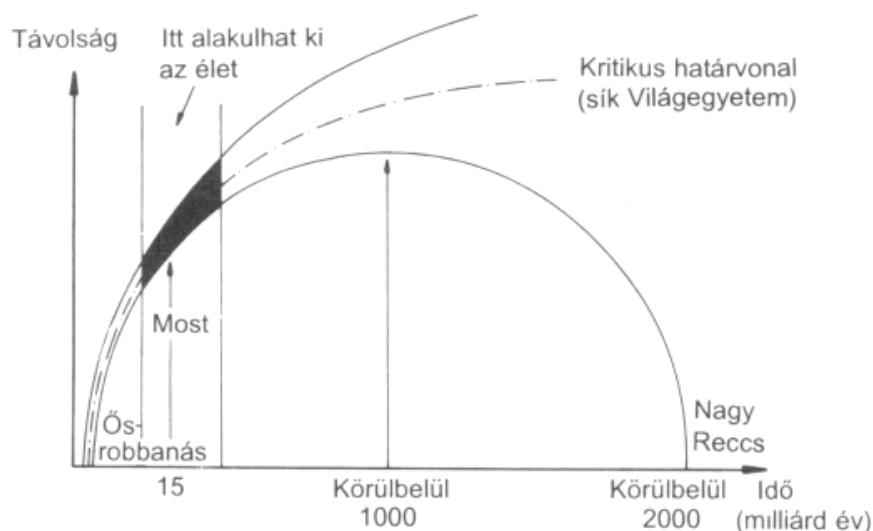
1.4. ábra: A táguló Világegyetem három lehetséges változata. A „nyílt” Világegyetem végtelen kiterjedésű és örökkön örökké tágul. I A „zárt” Világegyetem véges nagyságú, végső sorsa az összeomlás, a Nagy Reccs. A kettő közti határesetet a „kritikus” Világegyetem jelenti, amely a nyílthoz hasonlóan, ugyancsak végtelenül nagy és tágulása soha nem áll meg.

Ha a Világegyetem tágulása a kritikusnál számottevően nagyobb sebességgel kezdődik, akkor a gravitáció soha nem lesz képes az anyagot csillagokká és galaxisokká együvé terelni. Márpedig a csillagok kialakulása a megfigyelhető Világegyetem fejlődésének kritikus lépése. A csillagok az anyag elegendően nagy tömörülései ahhoz, hogy a középpontjukban a nyomás elérje a spontán atommagreakciók beindulásához szükséges nagyságot. Ezen atommagreakciók során a hidrogén héliummá alakul. A csillag életének egy hosszú és nyugodt szakaszában mindvégig így termeli az energiát. A Nap például még csak életútja hidrogénégető szakaszának közepe táján jár. Életük vége felé a csillagok energiatermelése válságba jut. Gyors egymásutánban heves változások követik egymást, melyek során a hélium átalakul szénné, nitrogénné, oxigénné, szilíciummá, foszforra és egy sor más kémiai elemmé, amelyek jelentős szerepet játszanak a biokémiai folyamatokban. Amikor a csillagok szupernóvaként felrobbannak, ezek az elemek szétszóródnak a térben, majd végső soron eljutnak a bolygókra, ahol esetleg emberek alkotórészeivé válnak. A csillagok a szülőanyjai mindazon elemeknek, amelyeken a világ kémiai sokszínűsége, és ennél fogva maga az élet is alapul. Testünk minden egyes szénatomjának magja csillagok belsejében született.

Ha tehát a kritikusnál lényegesen nagyobb sebességgel táguló univerzumokban soha nem születhetnek csillagok, akkor arra sincs lehetőség, hogy létrejöjjenek az olyan bonyolult „lények”, mint például az ember vagy a szilíciumagyú számítógépek. Hasonlóképpen, ha valamely univerzum a kritikusnál sokkal kisebb sebességgel tágul, akkor tágulása hamarabb leáll és átfordul összehúzódásba, még mielőtt a csillagok kialakulásához, felrobbanásához és az élőlények alkotóelemeinek előállításához szükséges idő eltelne. Ismét olyan univerzum született, amely nem adhat otthont az életnek.

Meglepő következtetésre jutottunk tehát: a világ megfigyelésére képes, bonyolult lények előállításához szükséges alapanyagok kizárólag azokban az univerzumokban lehetnek jelen, amelyek tágulási sebessége sok milliárd év eltelte után is még mindig a kritikus érték közelébe esik. Így hát nem szabad meglepődnünk azon, hogy Világegyetemünk a kritikus válasz-

tóvonalhoz oly közeli tempóban tágul. Ha ugyanis a Világegyetem nem ilyen lenne, mi magunk sem létezhetnénk benne.⁵



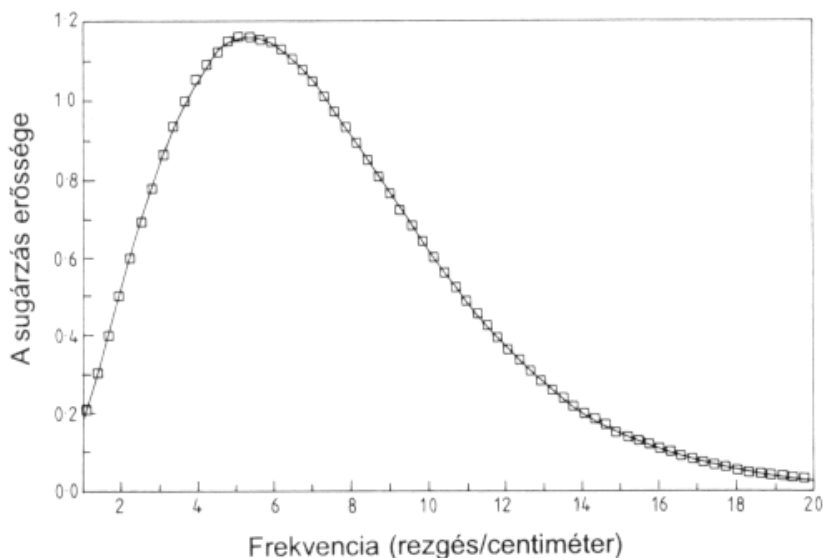
1.5. ábra: A kritikus határt jelentősen meghaladó sebességgel táguló univerzumok tágulása túl gyors ahhoz, hogy az anyag csillagokká és galaxisokká tudjon sűrűsödni. Ezért az ilyen univerzumokban az élet sem alakulhat ki. A kritikusnál sokkal lassabban táguló univerzumok viszont összeomlanak, még mielőtt a csillagok kialakulnának. A beárnyékolt terület jelzi a kozmológiai tágulásnak azt a tartományát és azt az időintervallumot, amelyben a saját Világegyetemüket megfigyelni képes lények létrejöhetnek.

A táguló Világegyetemről alkotott képünk csak rendkívül lassan fejlődött, ugyancsak lassan sikerült elmúlt történetét felgöngyölítenünk. Az 1930-as években Georges Lemaitre belga pap és fizikus vezető szerepet játszott e folyamat elindításában. Az „ősi atom”-ról kidolgozott elmélete a ma ősrobbanás modellként ismert elmélet előfutárának tekinthető. A legfontosabb lépéseket az 1940-es évek végén George Gamow, az Egyesült Államokba kivándorolt orosz fizikus tette meg, két fiatal kollégája, Ralph Alpher és Robert Herman segítségével. Komolyan kezdték venni azt az ötletet, hogy a ma ismert fizikai törvényeket felhasználva kellene kideríteni, milyen lehetett a Világegyetem ősi fizikai állapota. Munkájuk során egy rendkívül figyelemreméltó

következtetésre jutottak: ha a Világegyetem fejlődése kezdetén, valamikor a roppant távoli múltban forró és sűrű volt, akkor a robbanásszerű hevességű kezdet nyomait mindmáig őriznie kell valamilyen sugárzásnak. Pontosabban, rájöttek, hogy amikor a Világegyetem kora még csak néhány perc volt, elég forrónak kellett lennie ahhoz, hogy mindenütt végbemenjenek a magreakciók. Később ezeket a fontos felismeréseket természetesen a pontosabb elméleti előrejelzések és a megfigyelési eredmények egybevetésével kellett ellenőrizni.

1948-ban Alpher és Herman kiszámította, hogy az ősrobbanás maradványsugárzásának, amely sugárzásnak a Világegyetem tágulásával arányosan egyre hűlnie kellett, most körülbelül az abszolút hőmérsékleti skálán öt fok hőmérsékletűnek, azaz öt kelvinesnek kell lennie. (Az abszolút hőmérsékleti skála kiindulópontja -273 °C -nak felel meg.) Előrejelzésük azonban elsüllyedt valahová a fizikai szakirodalom mélyére. Másfél évtizeddel később, más kutatók, anélkül, hogy tudtak volna Alpher és Herman cikkéről, a forró, táguló Világegyetem eredetével kapcsolatban egy másik problémát tanulmányoztak. Akkoriban az információk áramlása még nem volt olyan gyors, mint manapság. Az 1950-es években és a 60-as évek elején a fizikusok egyébként sem tekintették különösebben komoly dolognak a Világegyetem múltjának részletekbe menő felderítését. 1965-ben azonban hirtelen minden megváltozott. Két, rádiózással foglalkozó mérnök, Arno Penzias és Robert Wilson némi szerencséivel felfedezte az Alpher és Herman által megjósolt sugárzást, méghozzá az égbolt minden irányából azonos erősséggel érkező mikrohullámú zaj formájában. Penzias és Wilson New Jersey államban, a Bell Laboratóriumoknál dolgozott, ahol egy érzékeny rádióantennát kellett az első Echo műhold rádióadásainak vételére kalibrálniuk. Eközben, tőlük alig néhány mérföld távolságban, a Princeton Egyetem fizikusa, Robert Dicke által vezetett kutatócsoport tagjai újra elvégezték Alpher és Herman már régesrég publikált számításait, és elhatározták, hogy megterveznek egy vevőberendezést, amely alkalmas lenne az ősrobbanás maradványsugárzásának felfogására. Közben értesültek a Bell Laboratóriumok vevőjében hallható, megmagyarázhatatlan eredetű zajról. Hamarosan

rájöttek, hogy ez pontosan az a sugárzás, amelyet keresnek. Ha a zaj forrása valóban hőmérsékleti sugárzás, akkor a sugárzás hőmérséklete 2,7 K, vagyis nagyon közel van az Alpher és Herman által kiszámított becsléshez. A jelenség a „ kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás ” nevet kapta. ⁶



1.6. ábra: A mikrohullámú háttérsugárzás intenzitása a sugárzás frekvenciájának függvényében, a COBE műholdnak a légkörön túlról végzett megfigyelései alapján. A megfigyelési eredmények (kockák) tökéletes egyezést mutatnak a 2,73 K hőmérsékletű feketetest-sugárzás elméleti intenzitás-eloszlásával (folytonos vonal).

A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás felfedezése jelentette az ősrobbanás elmélet komoly vizsgálatának kezdetét. Fokozatosan, más megfigyeléseket is felhasználva, sikerült a sugárzás további tulajdonságait is megállapítani. A sugárzás erőssége minden irányból egy ezrelékes pontossággal ugyanakkora. Miután különböző frekvenciákon megmérték az intenzitását, megállapították, hogy az a frekvencia függvényében pontosan úgy változik, ahogy annak a tiszta hősugárzás esetében lennie kell. Az ilyen sugárzást a fizikában „feketetest-sugárzás”-nak nevezik. Sajnos a Föld légkörét alkotó molekulák sugárzáselnyelő hatása és saját sugárzása nem tette lehetővé annak igazo-

lását, hogy a sugárzás színeképe a teljes elektromágneses színeképben megfelel a hőmérsékleti sugárzás elméleti frekvenciafüggésének. Egyesek arra gyanakodtak, hogy a sugárzás máshonnan eredhet, például valamilyen, jóval a tágulás kezdete után, a közelünkben bekövetkező, robbanásszerű hevességgel lejátszódó folyamatok során keletkezhet. Ezeket a kételyeket csak akkor lehetett végérvényesen eloszlatni, amikor sikerült a mikrohullámú háttérsugárzást a légkörön túlról is megfigyelni, és a teljes elektromágneses színeképben megmérni a sugárzás erősségét. Nos, ezt a rendkívüli jelentőségű eredményt 1989ben a NASA kozmikus háttérsugárzást kutató műholdjának (COBE, Cosmic Background Explorer) sikerült elérnie. Ez volt a legtökéletesebb feketetest színekép, amelyet valaha is láttunk, és így sziklaszilárd bizonyítékot jelentett amellest, hogy a Világegyetem valamikor legalább sok százezer fokkal forróbb volt, mint ma. A Világegyetemet kitöltő sugárzás csakis ilyen szélsőséges körülmények közepette válhatott tökéletes pontossággal feketetest-sugárzássá.

A nagy magasságban repülő U2 repülőgéppel is végrehajtottak egy kulcsfontosságú kísérletet, amely megerősítette, hogy a mikrohullámú háttérsugárzás nem a közelmúltban és a közelben keletkezett. Ezek az egykori kémrepülőgépek rendkívül kicsik, szárnyaik fesztávolsága viszont nagy, ezért roppant stabil alapot képeznek a megfigyelésekhez. A kémrepülőgépek ez alkalommal kivételesen nem lefelé, hanem felfelé vizsgálódtak: kimutattak egy kicsiny, de szisztematikus változást a háttérsugárzás erősségében. Ez a változás pontosan megfelel annak, amit az előrejelzések arra az esetre jósnak, ha a sugárzás valóban a nagyon régi múltban keletkezett. Ha a Világegyetem fiatalabból származó sugárzás egyenletesen táguló óceánt alkot, akkor mi ebben a sugárzásban mozgunk. A Föld Nap körüli keringésének, a Nap keringésének a Tejútrendszer középpontja körül, a Tejútrendszer galaxisszomszédaihoz képest végzett mozgásának mind, mind tükröződnie kell a sugárzás tulajdonságaiban (lásd az 1.7. ábrát). A mikrohullámú háttérsugárzás akkor fog a legerősebbnek tűnni, amikor éppen a mozgás irányába tekintünk, és akkor észleljük a leggyengébbnek, amikor az ezzel pontosan átellenes irányba fordulunk. E két irány kö-

zött az intenzitásnak jellegzetes, koszinuszos lefutású változást kell mutatnia (lásd az 1.8. ábrán). Olyan ez, mint amikor zuhogó esőben szaladunk. A mellkasunk csuromvizes lesz, miközben a hátunk szinte száraz marad. A kozmikus háttérsugárzás esetén a mikrohullámok nagyobb intenzitással érkeznek a mozgás irányából. A megfigyelések az előrejelzésekkel tökéletes összhangban valóban kimutatták az intenzitás koszinuszfüggvény szerinti változását.

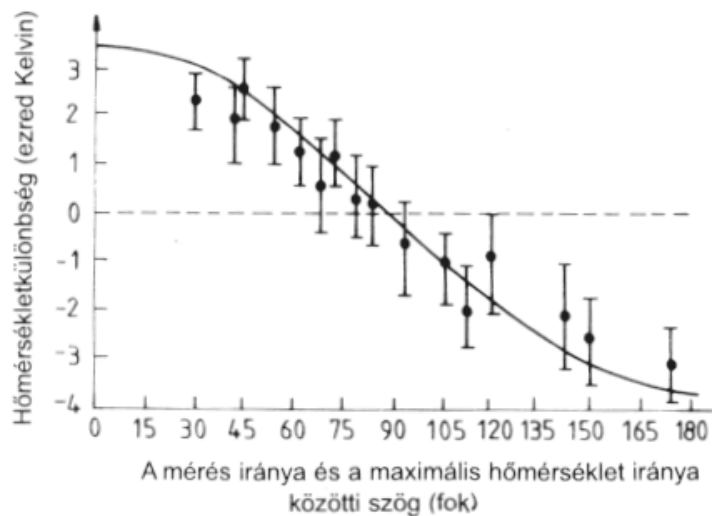


1.7. ábra: Az ősrobbanás maradványaként jelen lévő mikrohullámok izotróp tengerében végzett mozgásunk. A sugárzás abból az irányból a legerősebb, amerre mozgunk, míg az ezzel ellentétes irányból a leggyengébb. A két irány közt az intenzitás jellegzetes koszinuszos változása figyelhető meg.

Ezt követően több különböző kísérlet is megerősítette „a nagy égi koszinusz” néven ismertté vált jelenség felfedezését. Mi a galaxisok Lokális Rendszeréhez tartozunk, ezért ezzel együtt mozgunk a kozmikus mikrohullámok óceánjához képest. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás nem keletkezhet valahol a közvetlen környezetünkben, azaz a Lokális Rendszeren belül, mert akkor velünk együtt mozogna és így nem lehetne kimutatni intenzitásának koszinuszos változását.

Az ősrobbanáskor létrejött mikrohullámú háttérsugárzáshoz képest végzett mozgásunk nem az egyetlen olyan tényező, amelynek következtében a háttérsugárzás erőssége a különböző irányokban csekély mértékben eltérő lehet. Ha a Világegyetem nem minden irányban pontosan ugyanakkora sebességgel tá-

gól, akkor a sugárzás gyengébb (hidegebb) lesz a gyorsabb tágulás irányában. Sőt, bizonyos irányokban hatalmas anyagkoncentrációkat találunk, míg másutt óriási, szinte teljesen anyagmentes üregek találhatók, amelyek szintén megváltoztathatják az adott irányból érkező háttérsugárzás intenzitását. Tulajdonképpen e változások keresése volt a COBE műholdprogram elsődleges célja. Felfedezésük 1992-ben világszerte a lapok címlapjára kerülő szenzáció volt.



1.8. ábra: „A nagy égi koszinusz” a mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékletében kimutatható különbségeket ezred kelvinekben ábrázolja, miközben a megfigyelés irányát a maximális hőmérséklet irányától a minimális felé fordítjuk. A vonalak az egyes hőmérsékletmérések hibájának nagyságát jelzik.

Ha áttekintjük az összes mérés eredményét, amelyekkel az égbolt különböző irányából felénk érkező háttérsugárzás intenzitását vizsgáltuk, számos meglepő dolgot tudhatunk meg a Világegyetem szerkezetéről. Megállapíthatjuk, hogy a Világegyetem egy ezreléknél nagyobb pontossággal azonos sebességgel tágul a tér minden irányába. Ezt idegen szóval úgy is kifejezhetjük, hogy a tágulás izotróp, azaz minden irányban ugyanolyan. Ha valamiféle kozmikus állatkertből véletlenszerűen kiválaszthatnánk különféle lehetséges univerzumokat, akkor számtalan változatot találhatnánk. Lennének olyanok, amelyek

egy bizonyos irányban jóval gyorsabban tágulnának, mint más irányokban. Találhatnánk olyan univerzumot, amelyik gyorsan forog, sőt esetleg olyant is, amely egyes irányokban összehúzódik, miközben másfelé tágul, és így tovább. A mi Világegyetemünk azonban különleges: úgy tűnik, hogy valószínűtlenül rendezett, „jölfésült” állapotban van, amelyben a tágulás jellemzői minden irányban nagy pontossággal azonosak. Olyan ez, mintha egyik nap az összes gyermekünk ágyát mintaszerűen bevetve találnánk –, ami tudvalévólag a hálószobák rendkívül csekély valószínűségű állapota. Ilyenkor arra kell gondolnunk, hogy mindez valamilyen külső hatásra történhetett. Hasonlóképpen, a tágulás meglepően nagyfokú izotrópiájára is kell valamilyen magyarázatnak lennie.

A kozmológusok a Világegyetem tágulásának izotrópiáját már régóta a feltétlenül magyarázatra szoruló, nagy rejtélyek közé sorolják. A kérdés megközelítései bepillantást nyújtanak abba, miképpen gondolkodnak a szakemberek a kozmológia problémáiról. Egyesek véleménye szerint a Világegyetem tágulása a kezdet kezdetén izotróp módon indult el, így a jelenlegi helyzet csupán a különleges kezdeti állapot tükröződése. A dolgok ma azért olyanok, amilyenek, mert valaha olyanok voltak, amilyenek voltak. Ezzel tehát nem sokkal jutottunk előbbre. A gondolatmenet nem ad magyarázatot semmire. Olyan ez, mintha a jó tündér segítségét is beépítenénk az elméletbe. Ettől még persze előfordulhat, hogy a magyarázat helyes. Ha viszont így van, akkor csak abban reménykedhetünk, hogy találunk valami mélyen gyökerező „alapelvet”, amelyből kezdeti állapotként szükségszerűen következik az izotróp tágulás. Egy ilyen alapelvnek lehetnek a mai világunkra vonatkozó következményei is, amelyek alapján meggyőződhetünk helyességéről. E megközelítés kellemetlen vonása az, hogy a Világegyetem jelenlegi állapota magyarázatának terhét teljesen áthárítja az ismeretlen (sőt, talán megismerhetetlen) kezdeti állapotra.

A második felfogás a jelenlegi helyzetet a Világegyetemben ma is ható fizikai folyamatok eredményének tekinti. Eszerint talán teljességgel közömbös, hogy mennyire szabálytalan volt a kezdeti állapot, az azóta eltelt sok milliárd év alatt az egyenetlenségek kisimultak és mára csak a tökéletesen izotróp tágulás

maradt. E megközelítés kétségtelen érdeme, hogy néhány kutatási programot is javasol: Léteznek-e olyan kozmikus folyamatok, amelyek képesek kisimítani a kezdeti állapot egyenetlenségeit? Mennyi ideig tartott a Világegyetem kisimítása? Megszabadíthatnak-e ezek a folyamatok bennünket idővel a ma megfigyelhető irregularitásoktól is, avagy csak a kis egyenetlenségek kisimítására alkalmasak? Ez a stratégia lehetővé teszi, hogy ne kelljen a Világegyetem kezdeti állapotával foglalkoznunk, mert eszerint úgyis léteznek olyan, története korai szakaszában elkerülhetetlenül bekövetkező folyamatok, amelyek gondoskodnak arról, hogy bármilyen is volt kezdetben, úgy tizenöt milliárd év elteltével pontosan úgy nézzen ki, mint amilyennek ma megfigyeljük.

Bár a második gondolatmenet felettébb csábítónak tűnik, van egy árnyoldala. Ha sikerül bebizonyítanunk, hogy a Világegyetem jelenlegi állapota szükségszerűen kialakul, függetlenül attól, hogy milyenek voltak a kezdeti feltételek, akkor a Világegyetem szerkezetére vonatkozó megfigyeléseink alapján nincs reményünk arra, hogy múltbeli állapotára következtessünk ugyanis bármely múltbeli állapot ugyanezt a mai helyzetet eredményezné. Ha viszont a Világegyetem szerkezetének ma megfigyelhető sajátosságai – izotróp tágulása és a galaxishalmazok által kirajzolt nagyléptékű szerkezete – legalább részben a kezdeti állapot tükröződései, akkor reményünk lehet arra, hogy a Világegyetem mai állapotának megfigyelése alapján következtetéseket tudunk levonni kezdeti állapotára vonatkozóan.

A Világegyetem nagy évkönyve

Rajta kívül mindenki szakértő, az ő szakértelme azonban mindenre kiterjed.

A BRUCE-PARTINGTON-TERV

Amikor Einstein 1916-ban közreadta általános relativitáselméletét, még nem volt ismeretes, hogy a Világegyetemet a galaxisoknak nevezett óriás csillagszigetek népesítik be. Az a nézet uralkodott, hogy ezek a Földön kívüli fényforrások – a „ködök”, ahogy akkoriban nevezték őket – a Tejútrendszerhez tartoznak. Sem a csillagászok, sem pedig a filozófusok részéről nem vetődött fel ugyanakkor szemernyi kétely sem arra vonatkozóan, hogy a Világegyetem időben változatlan. Ebben a szellemi környezetben indította útjára Einstein új gravitációelméletét. Ellentétben a gravitációs erő Newton-féle klasszikus leírásával, amelyet Einstein elmélete klasszikus határesetként tartalmazott, és egyúttal ki is váltott, az általános relativitáselmélet rendelkezik azzal a nagyszerű képességgel, hogy egész univerzumok leírására alkalmas, még abban az esetben is, ha azok kiterjedése végtelen. Einstein csak egyenletei legegyszerűbb megoldásait találta meg. Szerencsére a legegyszerűbbek is meglehetősen jól leírják azt a Világegyetemet, amelyben élünk.

Amikor Einstein elkezdett a végére járni annak, hogy mit is mondanak az általa felállított új egyenletek a Világegyetemről, azt tette, amit a kutatók általában tenni szoktak: egyszerűsítette a megoldandó feladatot. A mindenféle tücsköt-bogarat tartalmazó valóságos Világegyetem túlságosan bonyolult állat volt ahhoz, hogy kezelni lehessen. Einstein ezért az egyszerűség kedvéért feltételezte, hogy az anyag eloszlása mindenütt egyenletes. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy figyelmen kívül hagyta azokat a sűrűségváltozásokat, amelyeket az égitestek jelenléte okoz. Feltételezte azt is, hogy a Világegyetem minden irányban

ugyanolyannak látszik. Ma már tudjuk, hogy ezek a feltevések meglehetősen jó közelítései Világegyetemünk tényleges fizikai állapotának, ezért a kozmológusok ma is használják őket, ha a Világegyetem egészének fejlődéséről akarnak megtudni valamit. Einstein azonban – legnagyobb bosszúságára – azt vette észre, hogy egyenletei megkövetelik, hogy az általuk leírt univerzumok az idő múlásával vagy táguljanak vagy összehúzódjanak. Ebben azonban önmagában semmi rejtelmes nincs. Mindez a gravitáció Newton-szerű leírásában is igaz. Ha egy porszemcséből álló felhőt kiteszünk valahová a világűrbe, akkor az azt alkotó részecskékre egymás kölcsönös gravitációs vonzása fog hatni, ezért a felhő fokozatosan összehúzódik. Az egyetlen lehetőség, ami ezt meg tudja akadályozni, valamiféle robbanás, amelynek hatására a porszemcsék sebesen távolodnak egymástól. A részecskék csak akkor tudnak változatlan állapotban maradni, ha valamilyen erő ellene szegül a gravitációnak. Ilyen erő hiányában viszont a sztatikus eloszlású csillagok és galaxisok a gravitáció hatására egymásba zuhannak.



2.1. ábra: A sztatikus Világegyetem nem változik az idő múlásával. Nincs kezdete és nincs vége.

Einstein számára komoly gondot jelentett elméletének ez a jóslata. Nyilvánvalóan hiányzott belőle a kellő meggyőződés annak kimondásához, hogy a Világegyetem nem sztatikus. Akkoriban még a táguló Világegyetem elképzelhetetlenül furcsa fogalomnak tűnt. Így aztán Einstein inkább megpróbálta úgy toldozni-foldozni újdonsült gravitációelméletét, hogy kiírta belőle a Vi-

lágegyetem tágulásának és összehúzódásának a lehetőségét. Rájött, hogy matematikailag mód van gravitációs egyenletébe egy olyan tag bevezetésére, amely egy, az anyagi részecskékre a gravitációval ellentétesen ható taszítóerőt ír le. Ha bevezette ezt az általa „kozmológiai állandó”-nak nevezett tagot az általános relativitáselméletbe, akkor tudott olyan modellt találni, amelyben a kozmológiai állandóval leírt taszítás éppen kiegyensúlyozta a gravitációs vonzást. Ez a modell Einstein sztatikus Világegyeteme néven vált ismertté.

1922-ben Alekszandr Fridman, egy fiatal, szentpétervári matematikus és légkörfizikus elmélyedt Einstein számításainak tanulmányozásában. Meggyőződésévé vált, hogy mestere egy kritikus ponton elnézett valamit. A sztatikus Világegyetem a módosított egyenleteknek csak az egyik, de nem az egyetlen megoldása volt. Léteztek más megoldások is, amelyek táguló világegyetemeket írtak le, pontosan olyanokat, amilyeneket az eredeti egyenletek megköveteltek. Einstein gravitáció ellen ható erejével tehát nem lehetett elkerülni a valóságos Világegyetem tágulását. Fridman megtalálta az összes lehetséges táguló világegyetemet, amelyeket az általános relativitáselmélet egyenletei megengednek. Eredményeit elküldte Einsteinnek. Einstein először azt hitte, hogy Fridman egészen egyszerűen rosszul számolt. Fridman munkatársai azonban hamarosan meggyőzték őt ennek az ellenkezőjéről, így Einstein is belátta, hogy a kozmológiai állandó bevezetése egy, a valóságtól teljesen elrugaszkodott, sztatikus Világegyetemet eredményezett. Ha ugyanis Einstein sztatikus Világegyetemét akár a legcsekélyebb mértékben is megváltoztatjuk, az elkezd tágulni vagy összehúzódni. Az Einstein-féle megoldás eredményeképpen kapott Világegyetem éppoly instabil képződmény, mint egy a hegyére állított tű.

Sok évvel később Einstein úgy emlegette kalandját a kozmológiai állandóval, mint élete legnagyobb tévedését. A fölöslegesnek bizonyult tag bevezetésével Einstein elszalasztott egy soha vissza nem térő, szenzációs lehetőséget: gravitációelmélete alapján előre jelezhetette volna, hogy Világegyetemünknek tágulnia kell. Így ez az érdem Alekszandr Fridmané lett. Sajnos Fridman nem érte meg azt a pillanatot, amikor Edwin Hubble megfigyelései bebizonyították jóslata helyességét, és amikor

ezt követően a táguló Világegyetem elmélete széles körben el fogadottá vált. Meteorológiai kutatásai során Fridman sok, veszélyes, magaslégköri ballonrepülést hajtott végre – akkoriban ő tartotta a magassági világrekordot is. 1925-ben az egyik ilyen repülés utóhatásaként meghalt. Halála az egész tudomány pótolhatatlan vesztesége volt. Mindössze harminchét évet élt.

Bár a sztatikus Világegyetem fogalmát Einstein szellemi elődeitől örökölte, ez nem azt jelenti, hogy az Einstein előtti tudósok tagadták volna a Világegyetem állapotában bekövetkező változások lehetőségét. Bár korábban nem létezett az általános tágulás vagy összehúzódás egységes elképzelése, sokan törték a fejüket azon, hogy a Világegyetem esetleg egy mind rendezetlenebb és egyre lakhatatlanabb állapot felé tart. Ezek a gondolatok akkor merültek fel, amikor a hő energiaforrásként történő felhasználásának lehetőségét kezdték kutatni. Az ipari forradalom jelentős fejlődést hozott mind a tudomány, mind pedig a technika területén. A legfontosabb előrelépést a gőzgép feltalálása és működésének megértése jelentette. Kialakult a hő mint az energia egyik formájának rendszeres kutatása. A kor tudósai felismerték, hogy az energia megmaradó mennyiség. Sem teremteni nem lehet, sem pedig elpusztítani, csupán egyik formájából a másikba átalakítani. Ennél azonban még sokkal fontosabb felfedezéseket is tettek az energiával kapcsolatban. Megállapították, hogy egyes energiatípusok sokkal hasznosabbak, mint mások. Hasznosságuk mértékét az jellemzi, hogy mennyire rendezett körülmények között létezik az energia. Minél rendezetlenebbek a körülmények, annál haszontalanabb az energia. Úgy tűnik, hogy a természeti folyamatokban a rendezetlenség, amelyet az „entrópia”-ként ismert fizikai mennyiség jellemez, mindig csak növekedhet. Ebben tulajdonképpen az égvilágon semmi különleges nincs. Jó példa erre az íróasztalunk, vagy gyermekeink hálószoobája. A Világegyetemnek ezek a részei szemmel láthatóan mindig a rendezett állapottól a rendezetlenebb felé haladnak – visszafelé soha. A dolgok sokkal többféleképpen tudnak a rendezett állapotból a rendezetlenbe eljutni, mint fordítva, ezért a gyakorlatban mindig az előbbi folyamat megvalósulását tapasztaljuk. Mindezeket a felismeréseket egy fontos törvényben összefog-

lalva örökítették meg: a termodinamika második főtételében, amely lényegében azt mondja ki, hogy zárt rendszerek entrópiája soha nem csökkenhet.

A hőerőgépek csodája még a tudósokat is elbűvölte. Rudolf Clausius, aki 1850-ben megfogalmazta a második főtételt és aki az entrópia fogalmát bevezette, több kollégájával együtt úgy vélte, hogy maga a Világegyetem is egy zárt rendszer, amely a termodinamika törvényszerűségeinek engedelmeskedik. Ebből azután meglehetősen pesszimista hosszútávú végkövetkeztetésre jutottak: úgy gondolták, hogy a világon minden egy roppant unalmas, szerkezet nélküli végállapot felé tart, amelyben az energia bármely, jelen világunkban ismert, rendezett formája szertefoszlik. A gondolatmenetet logikusan tovább folytatva, Clausius bevezette a Világegyetem „hőhalál”-ának fogalmát. Jóslata szerint valamikor a jövőben a Világegyetem elérkezik az örökké változatlan halál állapotába, mert az entrópia folytonosan nő, mindaddig, amíg eléri lehetséges legnagyobb értékét, miután további változások már nem lehetségesek. A Világegyetem megfeneklik a maximális entrópiájú állapotában, a sugárzás szerkezet nélküli, végtelen óceánjában, amelyben minden mindenütt egyforma. Nem lennének rendezett anyagi állapotú dolgok, például csillagok, bolygók vagy élőlények, csak hősugárzás létezne, amely egyre hűlne, amíg csak elérne egy egyensúlyi állapotot.

Mások megvizsgálták e gondolatok következményeit a ködbevesző és távoli múltra vonatkozóan. Ebből az a következtetés látszott kibontakozni, hogy a Világegyetemnek kellett hogy legyen egy maximális rendezettségű kezdőállapota. 1873-ban William Jevons, tekintélyes brit tudományfilozófus a következőket állította:

„A Világegyetem hő-történetét nem tudjuk a múlt végtelen távoláig visszafelé követni. Az idő egy bizonyos negatív (azaz múltbeli) értékénél a képletek lehetetlen értékeket adnak eredményül, ami azt jelenti, hogy kellett hogy létezzék a hő valamiféle kezdeti eloszlása, amely a Természet ismert törvényei szerint nem származhatott semmilyen korábbi eloszlásból.” A hőelmélet tanulmányozása során eljutunk tehát a következő dilemmához. Vagy hiszünk abban, hogy a múlt egy

meghatározható időpontjában történt a Teremtés, vagy pedig feltételezzük, hogy valamikor a múltban valamilyen megmagyarázhatatlan változás következett be a természeti törvények működésében.

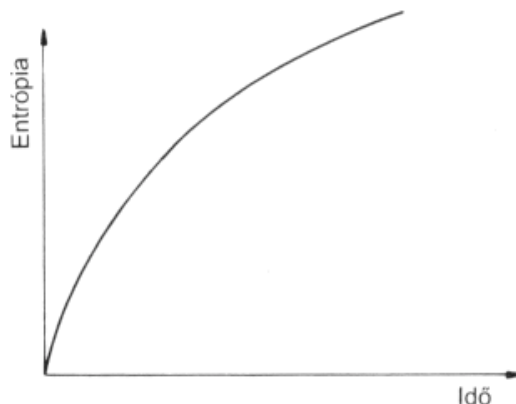
Meglepő módon a Világegyetem kezdete mellett szóló fenti érvelés ötven évvel a táguló Világegyetem fogalmának megszületése előtt látott napvilágot. Az elgondolást az 1930-as években Arthur Eddington brit asztrofizikus elevenítette fel, annak kapcsán, hogy Einstein gravitációelmélete is táguló Világegyetemet eredményezett, miközben Hubble csillagászati megfigyelései a tágulás mellett szóló bizonyítékot jelentettek Eddington így írt:

„Az időt gondolatban visszafelé pergetve a világban egyre több és több rendezettséget találunk. Ha hamarabb nem állunk meg, akkor kétségtelenül eljutunk addig az időpontig, amikor a világban található anyag és energia egyaránt maximális rendezettségű állapotban volt. Innen lehetetlen továbbmenni visszafelé. Eljutottunk a téridő másik végéig, méghozzá egy hirtelen végig, amelyet csupán az idő múlási irányához való viszonyunk miatt nevezünk »a kezdet«-nek. Nem esik különösebben nehezemre elfogadni a jövőre vonatkozó tudományos elmélet következményét, a Világegyetem hőhalálát. Lehet, hogy az csak évmilliárdok múlva következik be, de lassan és feltartóztathatatlanul lejár az időnk. Nem érzek ösztönös ellenszenvet a következtetéssel szemben. Különös, hogy a fizikai Világegyetem elmúlásának elvét pesszimizmusnak és a vallásos vágyakkal ellentétesnek tartják. De vajon mióta tagadta meg az Egyház a tanítást, mely szerint »az ég és a Föld elmúlik«?”

A hőhalál-elmélet az 1930-as években egyre közismertebbé vált, ami jórészt Eddington és honfitársa, James Jeans asztrofizikus nagy példányszámban elkelt népszerűsítő könyveinek volt köszönhető. Az örökké táguló Világegyetem fogalmának és Clausius hőhalál elméletének frigyéből megszületett a Világegyetemalkotóelemeinek belső szerkezet nélküli hősugárzássá való folyamatos felbomlásának fogalma. Az elképzelés sugallta pesszimizmust a kor számos teológiai és filozófiai írásában, de még Dorothy Sayers kortárs író nő regényeiben is fellelhetjük. A művek előre vetítették az élet elkerülhetetlen kipusztulását.

nak a vízióját, ráadásul nem csak a Földön, hanem mindenütt a Világegyetemben, megerősítve azt a szendvicsemberek hirdette üzenetet, mely szerint a világ ugyan nincs még közvetlenül a halál kapuja előtt, de már jó úton halad feléje.

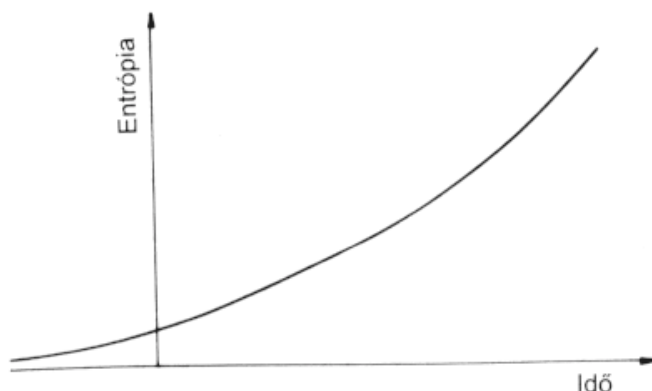
Érdeemes megjegyezni, hogy Jevonsnak és másoknak a Kezdet mellett szóló érvei nem voltak teljesen hibátlanok, ezt azonban akkoriban úgy látszik, senki nem vette észre. Bár a termodinamika második főtétele megköveteli, hogy ha a múltban visszafelé haladunk, akkor a Világegyetem entrópiájának egyre kisebbnek kell lennie, ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy véges időn belül el kell érnie a nulla értéket, amint azt a 2.2. ábra is szemlélteti. Az entrópia az idő múlásával exponenciálisan is növekedhet, és így a múltban egyre közelebb lehetett a nulla értékhez, anélkül, hogy azt valaha is elérte volna, ahogy az a 2.3. ábrán látható.



2.2. ábra: Az entrópia növekedése abban az esetben, amikor a múlt egy véges időpontjában az entrópia értéke nulla volt.

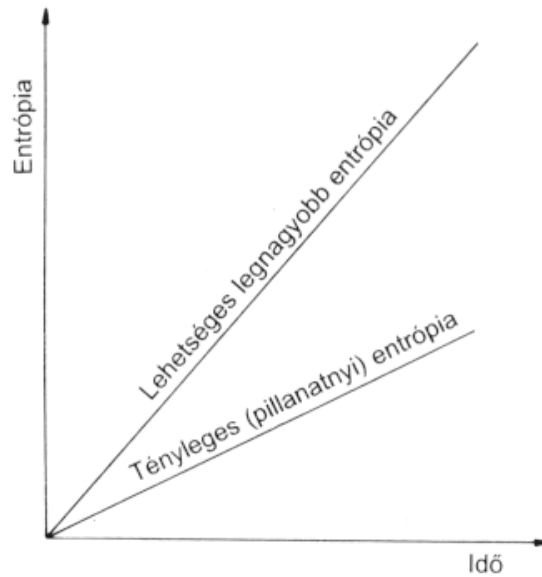
Másrészt viszont az is igaz, hogy a Világegyetem entrópiája az idő múlásával annak ellenére növekedhet, hogy eközben egyes lokális tartományokban csökken. Ez az, ami sokhelyütt jelenleg is történik. Miközben a Föld bioszférája helyi szinten egyre rendezettebbé válik, entrópia csökkenése kisebb annál, mint amekkora növekedést a Nap és a Föld között hőcsere okoz a Világegyetem entrópiájában. Ha elhatározzuk, hogy egy fada-

rabból széket faragunk, akkor az alkotás folyamata során a rendezettség egyre nő, vagyis az entrópia csökken. A termodinamika második főtétele ennek ellenére nem sérül meg, mert a teljes entrópia növekszik, abba ugyanis bele kell számítani annak az energiamennyiségnek a járulékát is, amelyet a testünkben keményítő és cukrok formájában tárolt készletből a munkavégzés során felhasználtunk. Valójában a környezetünkben megfigyelhető élővilág sokfélesége is azoknak a kifinomult módszereknek a bizonyítéka, amelyekkel a Természet képes az entrópia helyi csökkentésére, amit azután a másutt bekövetkező növekedés bőven ellensúlyoz.



2.3. ábra: Egy másik lehetséges Világegyetem, amelyben az entrópia folyamatosan növekszik, a múltban viszont egyre közelebb ül volt a nulla értékhez, amelyet azonban soha nem ért el.

A kozmológusok csak a közelmúltban ismerték fel, hogy az örökké tárguló Világegyetekben a hőhalál a jövőbeli maximális entrópiájú állapot formájában sem fog bekövetkezni. Bár a Világegyetem entrópiája folyamatosan nő, annak a maximális entrópiának az értéke, amelyet a hőhalálhoz el kellene érnie, ennél gyorsabban nő. Ez azt jelenti, hogy a Világegyetem entrópiája soha nem éri utol önmagát, a lehetséges maximális entrópia és a Világegyetem tényleges entrópiája közötti szakadék egyre nagyobb lesz, amint azt a 2.4. ábrán megfigyelhetjük. Ezáltal a Világegyetem az idő múlásával mind távolabb kerül a tökéletes termikus egyensúly „halott” állapotától.

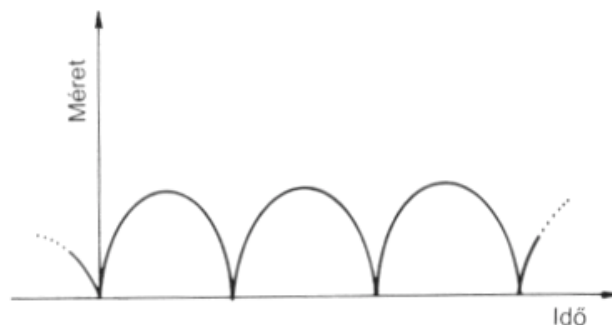


2.4. ábra: A Világegyetem hőhalálának modern elképzelése. Az örökké táguló Világegyetem pillanatnyi entrópiája az időben folytonosan nő, az adott mennyiségű anyagot tartalmazó Világegyetem lehetséges maximális entrópiája azonban ennél gyorsabban nő. Az idő múlásával tehát a Világegyetem egyre messzebb kerül a „hőhaláltól”; vagyis attól az állapottól, amikor lehetséges maximális entrópiáját elérve egyensúlyi állapotba kerül.

Ha kiszámítjuk a Világegyetem jelenlegi entrópiáját, akkor azt meghökkentően alacsonynak találjuk, azaz el tudjuk képzelni a Világegyetemben az energiafajtáknak a most megfigyeltnél sokkal rendezetlenebb eloszlását is. A Világegyetem még mindig roppant rendezett állapotban van, annak ellenére, hogy immár tizenöt milliárd éve az entrópiáját növelő módon tágul. Az ügy rejtélyes. Ebből ugyanis az következik, hogy a Világegyetem kezdeti állapotának elképzelhetetlenül rendezettnak kellett lennie. Ebben a különleges helyzetben talán csupán néhány alapvető szimmetriaelv irányította a sorsát. Sajnos kiderült, hogy a fenti gondolatmenetet kiaknázva sem vagyunk képesek felfedni ezeket az alapelveket, mert nem ismerjük elég pontosan a Világegyetem mai szerkezetét ahhoz, hogy annak alapján azonosítani tudjuk a benne jelen lévő rend és rendezetlenség összes lehetséges formáját. Emiatt a Világegyetem jelen-

legi összes entrópiájára vonatkozó számításaink sem teljes értékűek. 1975-ben például két fizikus, Jacob Bekenstein és Stephen Hawking kimutatta, hogy mélyen rejtőző kvantumos tulajdonságaikkal kapcsolatban a fekete lyukaknak is van entrópiájuk. Roger Penrose, brit matematikus elképzelése szerint hasonló jellegű entrópia rendelhető hozzá a Világegyetem gravitációs teréhez. A gravitáció termodinamikai vonatkozásai teljes megértésének feladata még a jövő kozmológusaira vár. Minderre történetünk legvégén majd még visszatérünk.

Ha nem szívesen képzelünk el egy örökké táguló és örökké növekvő entrópiájú Világegyetemet, amely az élet nélküli végállapot felé halad, akkor választhatunk egy másikat is Alekszander Fridman táguló világegyetemei közül. Ezek közül egyesek elég lassan tágulnak ahhoz, hogy saját anyaguk gravitációs vonzása úrrá legyen a táguláson és így valamikor a távoli jövőben nulla méretűvé zsugorodjanak. Végállapotuk tehát ugyancsak a hőhalál lenne, bár nem a clausiusi értelemben, hanem sokkal vadabbul, úgy, hogy az összehúzódás fokozódásával arányban a hőmérséklet és a sűrűség minden határon túl nő. A Világegyetem fejlődésének ez a modellje a ciklikus világegyetemek régebbi elképzelését sugallja. Eszerint az összeomló Világegyetem saját hamvaiból egy ősrobbanáshoz hasonló folyamatban mindannyiszor fönixmadárként újjászületik.

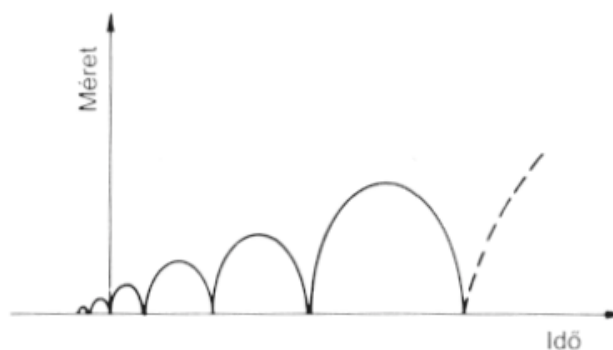


2.5. ábra: Az örökké oszcilláló Világegyetem egy lehetséges modellje, amelyben minden egyes ciklus pontosan ugyanolyan hosszú, mint a megelőző.

Ezen elképzelés szerint egy időben végtelen, oszcilláló Világegyetem táguló szakaszában élünk. Egyszer majd a bolygók, a csillagok és a galaxisok egy Nagy Reccs-ben mind elpusztulnak, hogy azután a tágulás szakaszában ismét új életet kezdhessenek. Ez a megközelítés sokak számára filozófiai szempontból szimpatikusnak tűnhet, így ugyanis nem szükséges megmagyarázni, hogy mi mindennek kellett a Világegyetem kezdetekor történnie ahhoz, hogy világunk olyan legyen, amilyennek ma látjuk. Ugyanakkor az oszcilláló univerzumok elképzelése kritika tárgyát is képezi, éppen a termodinamika második főtételével kapcsolatban. Ezt az érvet az 1930-as években Richard Tolman, amerikai fizikus vetette fel, aki megállapította, hogy a Világegyetem maximális mérete minden egyes ciklus során nagyobb lenne, mint az előzőben, így minden ciklus hosszabb ideig tartana, mint az előző. A jelenséget az okozza, hogy az anyag egy része folyamatosan sugárzássá alakul, ennek következtében egyre nagyobb sugárnyomás szegül ellene a gravitáció összehúzó hatásának, ami lelassítja a folyamatokat és így meghosszabbítja a ciklusokat. Ha tehát az oszcilláló Világegyetemet az időben visszafelé követjük, az egyre kisebb és kisebb lesz. Akkoriban (és utána még hosszú ideig) ebből - helytelenül – arra következtettek, hogy a Világegyetem tágulása véges idővel ezelőtt, nulla méretből kiindulva kezdődött. Lehetséges, hogy így történt, azonban az is elképzelhető, hogy végtelen számú ciklus volt a múltban, melyek mindegyike nagyobb volt ugyan a megelőzőnél, mégsem érjük el a múltban visszafelé haladva soha a nulla méretet.

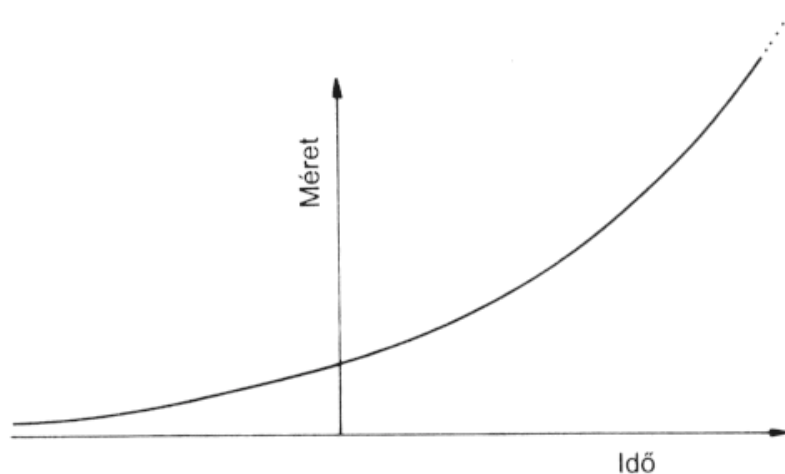
Mások úgy érvelnek, hogy ha végtelen számú oszcilláció következett be a múltban, akkor az entrópia növekedése mostanra elvezetett volna a hőhalál állapotába. Minthogy azonban senki nem tudhatja bizonyosan, mi történhetett az egyes összeomlások és újjászületések között, ez az érvelés nem igazán meggyőző. Egyesek arra gondoltak, hogy a fizikai állandók, az entrópia és a természeti törvények minden egyes ősrobbanásban új kezdőértéket kapnak. Ma már nem sok figyelmet fordítanak erre az érvelésre, mert azt sem értjük teljes egészében, hogy mi minden járul hozzá a Világegyetem entrópiájához. Ha például a gravitációs tér valamilyen ismeretlen formában szintén hordoz-

hat entrópiát, akkor a Világegyetem entrópiájának folyamatos növekedése nem feltétlenül eredményezi az egyes ciklusok folyamatos hosszabbodását.



2.6. ábra: Az entrópia folyamatos növekedése az idő múlásával, a termodinamika második főtételével összhangban, megnöveli a sugárnyomást a Világegyetemben, ezért az idő múlásával az oszcilláló Világegyetem ciklusai egyre hosszabbak lesznek.

Ha valakivel, aki érdeklődik a kozmológia iránt, de nem csillagász, az ősrobbanásról kezdünk beszélgetni, akkor a beszélgetés során bizonyosan nemsokára szóba kerül az „állandó állapotú Világegyetem” elmélete is. Az igazság az, hogy a kozmológusokat az utóbbi harminc évben már egyáltalán nem érdekelte az állandó állapotú elmélet, a köztudatban azonban mindennek ellenére továbbra is az ősrobbanás elmélet ellenlábasaként él. Az elmélet 1948-ban a Cambridge Egyetemen három asztrofizikus, Thomas Gold, Herman Bondi és Fred Hoyle elmeszüleménye volt, miután megnézték *A halál éjszakája* című filmet, amely ugyanúgy végződik, mint ahogy elkezdődött. Mi lenne, ha a Világegyetem sorsa a film szerkezetére hasonlítana? – kérdezték önmaguktól. Tudták, hogy a Világegyetem tágul, azonban nem volt ínyükre a Kezdet gondolata, amely a tágulás egyenes következményének látszott. Azt akarták, hogy a Világegyetem általános képe a végtelen múlttól egészen az örökkéj valóságig mindig ugyanolyan legyen, bármikor is figyeljük meg. Ezért aztán kigondoltak egy olyan modellt, amelyben a Világegyetem nagyjában egészében mindig ugyanolyan, és amelynek nincs kezdete.



2.7. ábra: Az állandó állapotú Világegyetem tágulása. Nincs sem kezdete, sem vége.

Elképzelésük szerint az anyag nem a múlt egy meghatározott pillanatában keletkezett, hanem folyamatosan, mindig keletkezik, még hozzá pontosan olyan ütemben, hogy az átlagsűrűség tágulás miatti csökkenését kiegyenlítse, fenntartva ezáltal a Világegyetem állandó átlagsűrűségét. Mindez így megy a múlt végtelenje óta és így folytatódik mindörökké. Ezzel szemben a táguló Világegyetem ősrobbanás-elmélete szerint az átlagsűrűség folyamatosan csökken, a világ történetének volt egy meghatározott kezdete és időközben további anyag nem keletkezhet. Az igazsághoz az is hozzátartozik, hogy az anyagnak az állandó állapotú elmélet által megkövetelt keletkezési üteme meghökkentően csekély (tízmilliárd év alatt köbméterenként egyetlen atom). Arra tehát semmilyen esélyünk sincs, hogy egy ilyen csigalassúságú anyagkeletkezést valaha is közvetlenül meg tudjunk figyelni. A keletkezési ütem egyébként azért ilyen csekély, mert az egész Világegyetemet elképzelhetetlenül kevés anyag alkotja. Ha a ma létező valamennyi csillagot és galaxist egy egyenletes sűrűségű masszává kennénk szét, akkor annak minden köbméterében egyetlen egy atom árválna. Átlagsűrűségét tekintve tehát a Világegyetem sokkal tökéletesebb vákuumnak tekinthető, mint amilyent földi laboratóriumokban valaha is előállítottak. A világűr tehát – nevéhez méltóan – valóban szinte teljesen üres.

Az állandó állapotú elmélet egyik vitathatatlan érdeme a határozottsága. Az elmélet nagyon határozott jóslatokat mond ki arra vonatkozóan, hogy milyennek kell lennie a Világegyetemnek. Ennek megfelelően az elmélet nagyon érzékeny a megfigyelések eredményeire és természetesen azok segítségével könnyen cáfolható is. Nos, ez így is történt. Ha a Világegyetem történetének minden időszakában pontosan ugyanolyannak látszana, akkor nem lenne szabad előfordulnia olyan időszakoknak, amelyekben rendkívüli események történnek – például megkezdődik a galaxisok kialakulása vagy a kvazárok túlnyomó többséget alkotnak az égitestek között.

A rádiócsillagászat viszonylag újkeletű tudománya a második világháborús radartechnikából fejlődött ki. Lehetővé tette, hogy a csillagászok olyan égitesteket is megfigyeljenek, amelyek sugárzásuk legnagyobb részét nem látható fény, hanem rádiósugárzás formájában bocsátják ki. A csillagászok rádiótávcsöveikkel – többek közt – olyan nagyon öreg galaxisokat is megfigyeltek, amelyek erős rádióforrásoknak mutatkoztak. Ki akarták ugyanis deríteni, hogy a galaxisoknak ez a különleges típusa vajon egy meghatározott időpontban keletkezett, mint ahogy azt az ősrobbanás-elmélet megjósolja, vagy éppen ellenkezőleg, az állandó állapotú elmélet előrejelzése bizonyul igaznak és a rádiógalaxisok egyenletesen oszlanak el az időben. Az 1950-es években gyűlni kezdtek azok a megfigyelések, amelyek azt bizonyították, hogy a Világegyetem a régmúltban nagyon másmilyen volt, mint ma. Az erős rádiósugárzó galaxisok térbeli (és ennek megfelelően időbeli) eloszlása a Világegyetemben távolról sem egyenletes.

Ha megfigyeljük a távoli égitestek fényét, akkor tulajdonképpen a távoli múltjukat figyeljük meg, azt az állapotukat, amikor a fényt kibocsátották. Ha tehát különböző távolságban lévő, de belső szerkezetüket tekintve hasonló égitesteket figyelünk meg, akkor ezáltal kikövetkeztethetjük, hogy milyen volt a Világegyetem a különböző időszakokban. Továbbra is lehet természetesen azon vitatkozni, hogy mit mondanak el a számunkra ezek a megfigyelések. Élénk vita bontakozott ki például, amikor a rádiócsillagászok meg akarták győzni az állandó állapotú elmélet híveit arról, hogy a távoli múltban a rádióga-

laxisok sokkalta gyakoribbak voltak, mint ma. Ez volt az az időszak, amikor az ősrobbanás-elmélet és az állandó állapotú elmélet vitájának szele a laikus nagyközönséget is megérintette. A vita alaphangját „A Világegyetem természete” című, emlékezetes rádióbeszélgetés-sorozat adta meg, amelyet 1950-ben Fred Hoyle vezetett a BBC-ben. Ennek során alkotta meg Hoyle a „Big Bang” (Nagy Bumm) kifejezést, amelyet – természetesen pejoratív értelemben – mindazokra a kozmológiákra használt, amelyekben a Világegyetem egy, a véges múltban lévő, meghatározott kezdőállapot óta folyamatosan tágul.²

A hosszadalmas vita végül is 1965-ben zárult le, amikor Penzias és Wilson felfedezte a mikrohullámú háttérsugárzást. Az állandó állapotú Világegyetem nem engedi meg ilyen jellegű hőmérsékleti sugárzás jelenlétét, mert az ilyen Világegyetemben soha nem volt forró és rendkívüli sűrűségű korszak, hanem éppen ellenkezőleg, a körülmények mindig átlagosak, hűvösek és nyugodtak voltak. Sőt, mi több, a kozmikus elemgyakoriságra vonatkozó későbbi megfigyelések kimutatták, hogy a legkönnyebb elemek eloszlása a Világegyetemben pontosan olyan, mint ahogy azt az ősrobbanás-elmélet előírja. Ezzel bebizonyosodott az a nézet, mely szerint a könnyű elemek a tágulás első három percében végbement magreakciók során keletkeztek. Az állandó állapotú modell ezzel szemben nem tud kézenfekvő, természetes magyarázatot adni a megfigyelt elemgyakoriságra, mert abban a modellben soha nem volt jelen az a nagy sűrűségű és magas hőmérsékletű állapot, amelyben világegyetemszerte végbemehettek volna a megfelelő magreakciók.

E két sikeres megfigyelés megkondította a lélekharangot az állandó állapotú Világegyetem modellje fölött, így az a továbbiakban nem játszott jelentős szerepet a kozmológiában, eltekintve néhány próbálkozástól, amikor is az elmélet hívei megpróbálták azt különféleképpen módosítani.³ Az ősrobbanásmodell bizonyult tehát az egyetlen sikeres hipotézisnek, amely egységes képbe foglalva tudja értelmezni a megfigyeléseket. Nem szabad azonban megfélekednünk arról, hogy az „ősrobbanás-modell” kifejezés semmi egyebet nem jelent, mint a táguló Világegyetemet, amely a múltban sokkal forróbb és sűrűbb volt, mint jelenleg. Ebbe az általános típusba sok külön-

féle kozmológiai modell tartozik. A kozmológusokra vár a feladat, hogy végérvényesen feltárják a Világegyetem tágulásának történetét. Meg kell állapítaniuk, hogyan keletkeztek a galaxisok, miért rendeződnek a megfigyelhető halmazokba, miért akkora a tágulás sebessége, amekkorának megfigyeljük, és végül, de nem utolsósorban magyarázatot kell adniuk a Világegyetem alakjára és arra, hogy miért van benne egyensúlyban egymással az anyag és a sugárzás.

Szingularitás és egyéb nehézségek

A furcsaság¹ csaknem mindig nyomra vezet. Minél jellegtelenebb és hétköznapiabb egy bűnügy, annál nehezebb megfejteni.

A BOSCOMBE-VÖLGYI REJTÉLY

A táguló Világegyetem képéből következik, hogy a múltban valamikor valamilyen roppant hevességű, kataklizmikus eseménynek kellett történnie. Ha a Világegyetem tágulását gondolatban megfordítjuk és az eseményeket az időben visszafelé követjük, akkor úgy tűnik, hogy eljutunk a „kezdetig”, amikor minden összeütközött mindennel: a Világegyetem egész anyaga végtelen sűrűségű állapotba volt összenyomva. Ezt az állapotot a „kezdeti szingularitásnak” nevezzük. Jelenlétének ködbevesző képe a modern kozmológia elgondolásainak számos metafizikai és teológiai extrapolációját sugalmazta.

A Világegyetem ma megfigyelhető tágulási sebessége és a tágulási sebesség csökkenésének üteme alapján kikövetkeztethetjük, hogy a kezdeti szingularitás állapotának mindössze körülbelül 15 milliárd évvel ezelőtt kellett lennie. Az előző mondatban azért írom azt, hogy „mindössze”, mert ez az időtartam emberi mércével mérve ugyan elképzelhetetlenül hosszúnak tűnik, azonban egyáltalán nem érezzük ilyen hosszúnak, ha a földtörténet közismert időszakaival hasonlítjuk össze. Kétszázharmincmillió évvel ezelőtt Argentínában dinoszauruszok sétáltak. A Föld felszínén található legősibb fosszilis baktériummaradványok kora hárommilliárd év, a Grönlandon található legősibb kőzetek 3,9 milliárd évesek, míg a Naprendszer keletkezése idejéről visszamaradt legrégebbi törmelék 4,6 milliárd éves. A Föld születése óta eltelt idő majdnem egy harmada annak, amely a szingularitás rejtelmétől elválaszt bennünket.

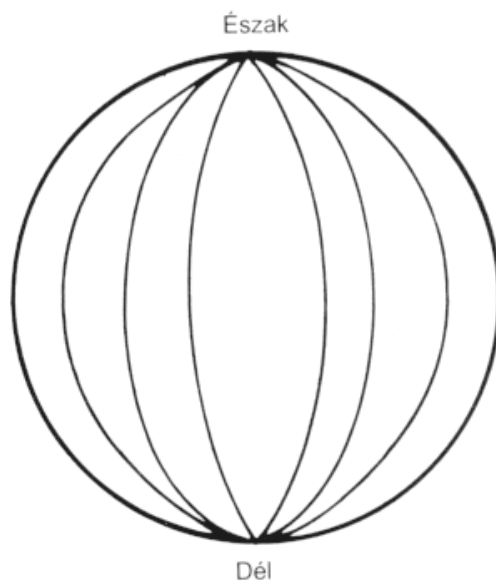
Az 1930-as évek elején sok kozmológus nem szívesen gondolt arra, hogy a tágulás valóban egy végtelen sűrűségű szingu-

laritásból kezdődött. Az elképzelés elfogadásának két akadályát látták. Ha megpróbálunk egy felfújtt léggömböt egyre kisebbre összenyomni, akkor előbb-utóbb meg kell küzdenünk a léggömb belsejében lévő levegőmolekulák által kifejtett nyomással. Ha csökkentjük a rendelkezésükre álló térfogatot, amelyen belül akadálytalanul mozoghatnak, egyre nagyobb erővel ütköznek a léggömb falának. Hasonló a helyzet a Világegyetem esetében is: arra kell számítanunk, hogy a Világegyetemet kitöltő anyag és sugárzás által kifejtett nyomás nem engedi, hogy az univerzumot nulla térfogatra nyomjuk össze. Az összezsugorodó anyag visszapattan, mintha egy csomó biliárdgolyó ütközne össze egymással. Mások szerint a kezdeti szingularitás elképzelése csak azért merült fel, mert elfogadtunk egy olyan képet, amelyben a Világegyetem minden irányban ugyanakkora sebességgel tágul. Ezért, amikor a tágulást időben visszafelé követtük, minden anyag pontosan ugyanakkor érkezett ugyanazon pontba. Ha azonban a tágulás kissé aszimmetrikus volt (mint ahogy valójában az is), akkor a mozgást visszafelé követve a kifelé repülő anyag nem lesz szinkronban, így könnyen elkerülhető a szingularitás kialakulása.

Amikor ezeket az ellenvetéseket alaposabban megvizsgálták, semmiképpen nem sikerült kiküszöbölni a szingularitást. Sőt, a nyomás figyelembevétele még segítette is a szingularitás keletkezését, még hozzá a tömeg és az energia híres, az Einstein-féle $E = mc^2$ összefüggéssel kifejezett egyenértékűsége miatt. A nyomás tulajdonképpen az energia egyik formája, így egyenértékű a tömeggel. Ha nagyon nagy értéket vesz fel, gravitációs erőt ébreszt, amely ellentétes hatású azzal a taszítással, amelynek képzetét általában a nyomáséhoz társítjuk. Ha úgy próbáljuk elkerülni a szingularitást, hogy megnöveljük az összezsugorodásnak gátat vető nyomást, akkor ezzel öngólt lövünk, mert ezzel a szingularitás valójában még rosszabb lesz. Sőt, amikor Einstein gravitációelméletét felhasználva megpróbálták másféle világegyetemeket keresni, például olyanokat, amelyek a különböző irányokban nem ugyanakkora sebességgel tágulnak, vagy olyanokat, amelyekben a tágulás sebessége helyről helyre változik, a szingularitás mindeme próbálkozások ellenére megmaradt. A szingularitás tehát nem csupán a

szimmetrikus Világegyetem-modellek velejárója, hanem minden esetben jelenlévő szükségszerűség.

A kezdeti szingularitással kapcsolatban felmerült utolsó akadály sokkal bonyolultabb volt, így nem csoda, hogy egészen 1965-ig nem is sikerült teljes mélységében megérteni. A problémát egy sokkal közönségesebb esettel érzékeltethetjük. A geográfusok földgömbjein megtaláljuk a szélességi és hosszúsági körök hálózatát, amelyek segítségével megadhatjuk a földfelszín tetszés szerinti pontjának pontos helyét. Ha az Északivagy a Déli-sark felé haladunk, a hosszúsági körök egyre közelebb kerülnek egymáshoz, míg végül a pólusban metszik egymást. Láthatjuk tehát, hogy a térképek koordináta-vonalainak a pólusokban szingularitása van, bár a Föld felszínének e két nevezetes pontjába elutazva ott semmi különlegeset nem tapasztalunk.

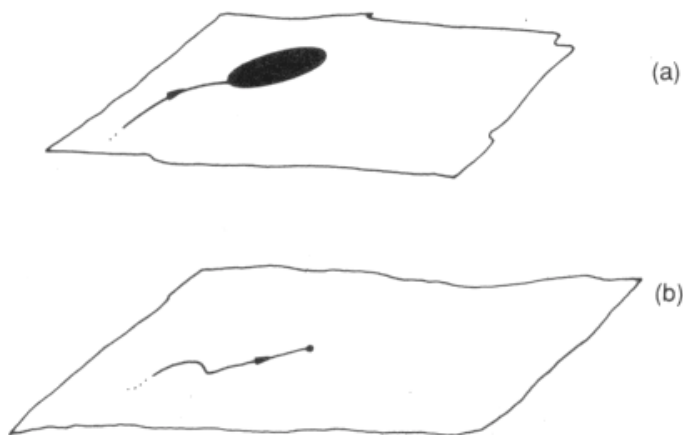


3.1. ábra: A Föld feltérképezéséhez használt hosszúsági körök a pólusokon metszik egymást.

Valójában ezt a mesterséges szingularitást mi magunk hoztuk létre, a térkép koordináta-vonalainak speciális megválasztásával. Ha kedvünk tartja, másféle koordináta-rendszereket is választhatunk, amelyek esetén semmi sem történik a pólusokban. Vajon honnan tudhatjuk, hogy a táguló Világegyetem kezdetén

feltűnő szingularitás nem csupán annak a következménye-e, hogy nem a legcélszerűbben választottuk meg a távoli múlt eseményeinek feltérképezéséhez használatos koordináta-rendszerünket?

Az e problémákkal foglalkozó kozmológusoknak nagyon óvatosan kellett kezelniük azt a kérdést, hogy mit is nevezünk egyáltalán szingularitásnak. Ha az egész Világegyetem történetét – a térét és az időét egyaránt – egy óriási, a szemünk előtt megnyúló lepedőként képzeljük magunk elé, akkor a végtelenül nagy sűrűségű és hőmérsékletű szingularitásokat nevezetes helyek formájában találhatjuk meg. Tételezzük fel, hogy körülvágjuk ezeket a kóros helyeket és eltávolítjuk őket a lepedőből. Így a lepedőnk likacsos lesz ugyan, de legalább szingularitásokat már nem tartalmaz. Ez is egy lehetséges Világegyetem. Az az érzésünk azonban, hogy ezzel a csellel becsaptuk magunkat. Egészen bizonyos, hogy valamilyen értelemben az ilyen Világegyetem is „csaknem” szinguláris. És ha valaha sikerül egy szingularitás nélküli Világegyetemet találni, honnan tudhatjuk, hogy vajon a keresés közben nem „vágtuk-e ki” valahogy mesterségesen a szingularitásokat?



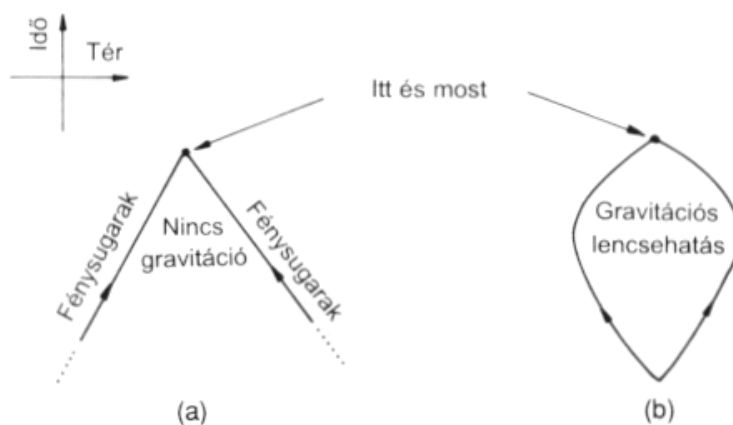
3.2. ábra: Két lepedő, amelyek olyan világegyetemek téridő szerkezetét ábrázolják, amelyekben a fénysugarak végét érhetnek. Az (a) esetben egy lyukat vágtunk a világegyetembe, amelynek peremén az odaérkező fénysugár megáll. A (b) változatban a fénysugár szingularitásba érkezik, ahol megszűnt a tér és az idő szerkezete.

A dilemmára azt tudjuk válaszolni, hogy fel kell adni a szingularitás hagyományos fogalmát, amely szerint azt végtelen sűrűségű és hőmérsékletű helyként képzeljük el. Inkább azt mondjuk, hogy szingularitás akkor következik be, amikor valamely fénysugár téridőben befutott útja véget ér és nem is képes folytatódni. Mi lehet „szingulárisabb”, mint ez a tapasztalat, amelyhez hasonlóakat Alice szerzett Csodaországban? Pályája végén a fénysugár eléri a tér és az idő peremét. „Eltűnik” a Világegyetemből. A szingularitás ezen meghatározása azért roppant elegáns, mert ha a sűrűség valahol végtelenül nagy lesz, akkor ott a fénysugár megállásra kényszerül, mert a tér és az idő megszűnik létezni. Ha viszont egy ilyen pontot eltávolítunk a Világegyetemből, akkor a helyén tátongó lyuk peremén ugyancsak megáll a fénysugár.

Az a kép, melyben a szingularitást a Világegyetem peremeként ábrázoltuk, rendkívül hasznosnak bizonyult. Ezáltal sikerül ugyanis elkerülnünk mindazokat a nehézségeket, amelyek a Világegyetem alakjával és nyomásával kapcsolatosan felmerültek, valamint így nem találjuk magunkat szemben a koordináták segítségével történő feltérképezés többértelműségével sem. Az ilyen fajta szingularitás további előnye, hogy benne a sűrűség és a hőmérséklet felvehet szélsőséges értéket, amint például azt az ősrobbanással keletkezett, táguló Világegyetem esetében elképzeljük, az extrém körülmények megléte azonban nem szükségszerű velejárója a szingularitás létezésének.

Hétköznapi gondolkodásmódunkban további változtatásokat is végre kell hajtánunk, ha a Világegyetem kezdetéről akarunk beszélni. Annak ugyanis nem kellett szükségszerűen mindenütt ugyanakkor bekövetkeznie. Az időben rátalálhatunk olyan, különböző útvonalakra, amelyekről – útjukat egészen szinguláris kezdetükig visszafelé követve – kiderül, hogy különböző időpontokban kezdődtek. Elképzelhető, hogy az a tény, hogy a Világegyetem egyes tartományait ma kisebb sűrűségűeknek észleljük, mint másokat, éppen annak a tükröződése, hogy ezeken a részekben valamivel korábban kezdődött a tágulás, így a rendelkezésre álló hosszabb idő alatt sűrűségük nagyobb mértékben csökkent, mint a másutt megfigyelhető, nagyobb átlagsűrűségű tartományoké.

Az 1960-as évek közepén, miután Penzias és Wilson felfedezte a mikrohullámú háttérsugárzást, az ősrobbanás-modellt kezdték komolyan venni. A kozmológusok arra a kérdésre összpontosították szellemi erőfeszítéseiket, hogy szinguláris kezdete volt-e a Világegyetemnek. Miután a ma megfigyelhető objektumok sorsát a téridőben visszafelé követve tisztázták, hogy milyenek kellett lennie ennek a kezdetnek, újabb kihívással találták szembe magukat. Ki kellett ugyanis deríteni, hogy valamikor a múltban, az idő kezdetén valóban tartalmazott-e a mi Világegyetemünk egy ilyen fajta szingularitást. Roger Penrose kimutatta, hogyan lehet ezeket a kérdéseket olyan teljesen újszerű geometriai megfontolások segítségével megválaszolni, amelyeket a csillagászok korábban még soha nem használtak. Elméleti matematikai előképzettségének és figyelemreméltó geometriai intuícióinak köszönhetően hatékony, új módszer állt Penrose rendelkezésére. Ezzel elemezni tudta a fénysugarak téridőbeli mozgását, méghozzá olyan mélységig, hogy azt is el tudta dönteni, hogy a végtelen múltból érkeznek-e vagy sem. Később ez irányú erőfeszítéseiben Hawking és mások is csatlakoztak hozzá, többek között két fizikus, Robert Geroch és George Ellis.



3.3. ábra: (a) A téridőben haladó lehetséges útvonalakat gravitációs tér hiányában az állandó sebességgel haladó fénysugarak jelölik ki. (b) A gravitációs tér elgörbíti a fénysugár útját. Ha a Világegyetem elegendő anyagot tartalmaz, akkor a fénysugarak a múlt felé haladva egy szingularitás felé tartanak.

Penrose kimutatta, hogy ha a Világegyetem anyaga által kifejtett gravitációs erő mindig és mindenütt vonzó jellegű, továbbá ha elegendő anyag van a Világegyetemben, akkor az anyag gravitációs hatása lehetetlenné teszi, hogy minden egyes fénysugár útját a végtelen múltig kövessük nyomon.²

Legalább egyeseknek (de lehetséges, hogy az összesnek) el kell érkeznie egy végállomáshoz – egy szingularitáshoz –, amelyet az ősrobbanásról alkotott szemléletes képünkkel azonosíthatunk. Ezen szigorúan következetes matematikai levezetések szépsége abban rejlik, hogy nem tartalmazzák a térképezéshez használt koordináta-rendszerek és a speciális szimmetriák okozta bizonytalanságokat. Alkalmazásukhoz nem szükséges, hogy részletekbe menően ismerjük a Világegyetem szerkezetét vagy a gravitáció törvényét. Azt azonban hangsúlyoznunk kell, hogy mindezek csupán hipotézisek, nem pedig tudományosan igazolt elméletek. Bizonyos feltevésekkel élnek a Világegyetem természetéről, amelyek, ha igazak, logikus következményként garantálják a szingularitás létezését a múltban. Ha viszont ezekről a feltevésekről kiderül, hogy nem igazak a mi Világegyetemünkre, akkor nem következtethetünk arra, hogy nem létezett a szingularitás, sőt, ez esetben a Világegyetem kezdetét illetően egyáltalán semmilyen következtetést nem áll módunkban levonni. Ez esetben ugyanis a hipotézis egyszerűen nem érvényes a mi Világegyetemünkre.

Mindkét feltevés – tehát az, hogy a gravitáció mindig és mindenütt vonzó kölcsönhatás, valamint az, hogy a Világegyetem elegendő anyagot tartalmaz – izgalmas, mert bár a hipotézis felállítói matematikai nyelven fejezték ki őket, mégis megfigyelésekkel ellenőrizhetőek. Figyelemreméltó, hogy a Világegyetem anyagának mennyiségére vonatkozó követelményt az újonnan felfedezett mikrohullámú háttérsugárzás már önmagában kielégíti. Így ezután már csak a másik követelmény maradt, vagyis az, hogy a gravitáció mindig és mindenütt vonzást jelentsen. Az 1960-as években ezt teljesen ésszerű feltételezésnek tartották. Nem volt olyan megfigyelési bizonyíték, amely ennek ellentmondani látszott volna, valamint az anyag nagy sűrűségű állapotban történő viselkedését leíró, fizikailag jól megalapozott elméletek egyike sem jósolta azt, hogy az anyag

bármely formája antigravitációs hatású lehetne. A hétköznapi körülmények között a gravitációs vonzás annak az egyszerű ténynek a következménye, hogy az anyag tömege és ennek következtében sűrűsége is pozitív. Ha azonban nagyon nagy sűrűsége összenyomott, vagy a c fénysebességhez közeli sebességgel mozgó anyaggal van dolgunk, akkor ismét eszünkbe kell, idéznünk az Einstein-féle $E = mc^2$ összefüggést. Az E energia bármely formája egyenértékű egy m tömeggel, ezért minden más anyag gravitációs erőt gyakorol rá. Amint azt már tisztáztuk, a nyomás az energia egyik formája (mert az például a gázt alkotó molekulák mozgási energiájából adódhat), így a nyomásra szintén hat a gravitáció. Minthogy a tér, amelyben a nyomást létrehozó részecskék mozoghatnak, három dimenziós, ezért az a kikötés, hogy a gravitációs erő vonzás legyen, egyenértékű azzal a matematikai feltétellel, hogy az s sűrűség és a fénysebesség négyzetével elosztott P nyomás háromszorosának összegeként előállított S mennyiség pozitív legyen, azaz

$$S = s + 3P/c^2 > 0.$$

A fenti egyenlőtlenség igaz a Világegyetem minden jól ismert anyagfajtájára, a sugárzásra, az atomokra, a molekulákra, a csillagokra, a közetekre, és így tovább. Ennek köszönhetően az 1960-as évek végén és végig az 1970-es években széles körben ismertté és elfogadottá vált az az elmélet, mely szerint a Világegyetemnek kellett hogy legyen időbeli kezdete. A matematikai kozmológusok munkásságának központi kérdése többnyire annak tisztázása volt, hogy mi történhetett a szingularitás közvetlen közelében, illetve annak kiderítése, hogy milyen hatást gyakorolhattak volna a közelükben lévő anyagra az elképzelhető legbonyolultabb szingularitások.

Az idő kezdetére vonatkozó következtetések érdekes mellékterméke volt, hogy kihúzták a talajt a ciklikus Világegyetem hipotézisének lába alól. Mint emlékszünk rá, a ciklikus Világegyetem rendszeresen összehúzódik, majd összeomlik egy Nagy Reccs formájában, végül poraiból újjászületve kezdetét veszi egy táguló szakasz. Ha viszont Világegyetemünk történetét nyomon követjük egy szingularitásig, akkor abban a pillá-

natban értelmét veszíti a „Mi volt előtte?” kérdés. Elméletileg sincs lehetőségünk arra, hogy megtudjunk valamit egy esetleges korábbi, összehúzódó szakaszcól, így tehát minden erre vonatkozó spekuláció szükségképpen megmarad a tudományos fantasztikum birodalmában.

Ha a Világegyetem valóban egy szingularitással kezdődött, amelyből az anyag végtelen sűrűségű és hőmérsékletű állapotban bukkant fel, akkor a továbbiakban számos problémával kell szembenéznünk, ha kozmológiánkat tovább akarjuk fejleszteni. „Mi” határozza meg, hogy milyen univerzum bukkant fel a szingularitásból? Ha a tér és az idő nem létezik a szinguláris kezdet előtt, akkor hogyan adhatunk számot a gravitáció, a logika vagy a matematika törvényszerűségeiről? Vajon e törvények már a szinguláris kezdet „előtt” is léteztek? Ha igen – márpedig úgy tűnik, hogy ennyit legalábbis megelőlegeztünk, amikor a matematika és a logika törvényeit magára a szingularitásra alkalmaztuk –, akkor el kell ismernünk egy, az anyagi valóságában megtestesülő Világegyetemünknel nagyobb rendszer létezését. Sőt, mi több, ha meg akarjuk érteni Világegyetem jelenlegi állapotát, akkor ehhez a lehetetlenre kell vállalkoznunk, azaz meg kell értenünk a szingularitást. A szingularitás azonban egyedi esemény volt: hogyan is lehetne tehát tudományos módszerrel úrrá lenni fölötte?

A kozmológusok először is hozzáláttak, hogy megvizsgálják az általunk már korábban említett két stratégiát: olyan alapelveket kerestek, amelyek megszabják, milyennek kell lennie egy szingularitásnak, vagy megpróbálták bebizonyítani, hogy nem számít, milyen volt a szingularitás, mert a Világegyetem többékevésbé ugyanúgy nézne ki, függetlenül attól, hogy milyen volt a kezdete.

A következőkben kiemelünk néhány olyan dolgot, amit a kozmológusoknak sikerült kideríteni a Világegyetemről, illetve néhány olyan kérdést, amelyekre szeretnének válaszolni. Ha meg akarjuk magyarázni a Világegyetem jelen állapotának bizonyos sajátosságait, például azt, miért olyan alakúak és méretűek a galaxisok, mint amilyenek megfigyeljük őket, akkor vissza kell tekintenünk az időben és rekonstruálnunk kell a Világegyetem történetét, felhasználva ehhez az anyag nagyon ma-

gas hőmérsékleten és nagyon nagy nyomáson mutatott viselkedéséről eddig szerzett ismereteinket. A Világegyetem múltjából fennmaradt bizonyíték-törmelékek segítségével szeretnénk ellenőrizni következtetéseink helyességét, sajnos az élet azonban nem ilyen egyszerű. A Világegyetem nagyon hatásosan titkolja a múltját, ezért a régmúlt kevés nyomára akadhatunk csak rá. Ami azonban még alapvetőbb: nem ismerjük elég alaposan az anyag viselkedését szélsőséges hőmérsékleti és nyomásviszonyok közepette. A Földön elvégezhető kísérleteinknek a gazdasági szükségszerűségek éppúgy határt szabnak, mint a rendelkezésünkre álló korlátozott energia, ezért képtelenek vagyunk tökéletesen utánozni azokat a fizikai viszonyokat, amelyeknek a Világegyetem történetének első századmásodpercében uralkodniuk kellett.

Ennek következtében izgalmas helyzet állt elő. A kozmológusok a részecskefizikusokhoz fordulnak, hogy azok adjanak számot az anyag és a sugárzás nagyon magas hőmérsékleten mutatott viselkedéséről, mert ezáltal a Világegyetem története a látszólagos kezdethez egyre közelebbig felgöngyölíthető. A részecskefizikusok viszont a Földön rendelkezésre álló forrásokra támaszkodva nem tudják végrehajtani a rájuk bízott feladatot. A földi részecskegyorsítók nem tudják előállítani az ősrobbanáskor uralkodó energiákat, a detektorok pedig nem képesek felfogni az anyag legtünékenyebb elemi részecskéit. Így aztán a részecskefizikusok a Világegyetem történetének legkorábbi pillanatait fürkészik, hogy ott próbálják elméleteik helyességét ellenőrizni. Ha például legújabb elméletük alapján arra a végkövetkeztetésre jutnak, hogy csillagok vagy galaxisok nem létezhetnek, akkor ez az elmélet nyilvánvalóan sutba dobható. Az mindenesetre látható, hogy érzékeny egyensúlyú helyzet állt elő, amennyiben részben ellenőrzött (vagy teljesen ellenőrizetlen) fizikai elméleteket használunk a Világegyetem első másodperce történetének felderítéséhez.

Az olvasó legjobban teszi, ha a Világegyetem története első másodpercének végét valamiféle kozmikus vízválasztónak tekinti. Feltételezhető, hogy ezt követően a Világegyetem hőmérséklete már elegendően alacsony volt ahhoz, hogy a földi fizika alkalmazható legyen, illetve a megállapításokat kísérletileg el-

lenőrizni lehessen.³ Tekintettel azonban arra, hogy nem vagyunk képesek teljes egészében leírni a Világegyetem első másodpercének eseményeit meghatározó fizikai folyamatokat és elemi részecskéket, az első másodperc története meglehetősen bizonytalanná válik. Ugyanakkor az első másodperc vége az az időpont, amelynek fizikai viszonyai meghatározzák a hélium gyakoriságát a Világegyetemben. Márpedig a hélium mennyiségének megfigyelése révén közvetlenül ellenőrizhetjük, miképpen tárgult világunk annak idején.

Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy a Világegyetem egy másodperces kora után történt összes eseményt értjük. Értjük például az általános fizikai alapelveket, és a Világegyetemet alkotó anyag viselkedését az első másodperc utántól napjainkig irányító törvényeket. Vannak azonban olyan különleges eseménysorok – mindenek előtt a galaxisok keletkezésével kapcsolatban –, amelyek rendkívül bonyolultak, és amelyeket ezért nem tudunk teljes részletességükben rekonstruálni. Hasonló ez az időjárási rendszerekkel kapcsolatos tudásunkhoz. Ismerjük mindazokat a fizikai alapelveket, amelyek az időjárás alakításáért felelősek, emellett számot tudunk adni bármely múltbeli éghajlatváltozásról. Mindennek ellenére nem vagyunk képesek egyértelműen előre jelezni az időjárás alakulását, még a másnapi időjárást sem, mert az időjárás pillanatnyi állapotát számtalan tényező bonyolult és érzékeny összjátéka együttesen határozza meg. Minthogy nem ismerjük tökéletesen mindeme tényezők állapotát, ezért csak korlátozott hatókörű előrejelzésekre vagyunk képesek.

Az 1970-es évek végén az anyag legtöbb elemi részecskéjének vizsgálata szoros kapcsolatba került a csillagászzal és a kozmológiával. Gyakran előfordul, hogy egy-egy szubatomi részecske újabb változata létezésének bizonyos csillagászati következményei lennének, miközben a részecske kölcsönhatásai túlságosan gyengék ahhoz, hogy részecske-ütköztető kísérletekben ki lehessen mutatni a létezését. Ilyen esetekben sokszor a csillagászati bizonyítékok segítségével lehetett kizárni egy-egy újabb részecske-típus létezésének a lehetőségét.

A kozmológia és az elemi részecskék fizikája közötti szimbiózis szép példája volt a Genfben működő CERN (Európai Mag-

fizikai Központ) nagy pontosságú részecskefizikai kísérleteinek eredményei és a Világegyetem történetének első néhány percében lezajló magreakciók kozmológiai elmélete közötti összjáték. Mindkét megközelítés azt vizsgálja, hányféle változatban létezhet a neutrínó nevű elemi részecske. A neutrínók kísérteties elemi részecskék, amelyek az anyag bármely egyéb formájával csak roppant gyengén lépnek kölcsönhatásba, ezért nagyon nehéz kimutatni jelenlétüket, holott akár a saját testünkön is rengeteg halad pillanatonként akadálytalanul keresztül. A neutrínó két fajtáját, az úgynevezett elektron-neutrínót és a müon-neutrínót már régóta ismerik a fizikusok: mindkettőt közvetlenül is ki lehet mutatni a részecskegyorsítókban végzett számtalan kísérletben. A harmadik változat, a tau-neutrínó ezzel szemben csak közvetett úton, más részecskék bomlása révén ad hírt magáról. Létrehozásához oly sok energiára van szükség, hogy eddig közvetlenül még nem sikerült kimutatni.⁴ Vajon bizonyosak lehetünk-e ezek után abban, hogy a tau-neutrínó valóban létezik, illetve abban, hogy nem létezhetnek-e a neutrínók más, eddig még soha nem észlelt típusai is?

Mindenekelőtt lássuk, miképpen teszi lehetővé a Világegyetem történetéről alkotott képünk, hogy csillagászati megfigyelések felhasználásával állapítsuk meg, hányféle neutrínótípus létezik. Ezután az így kapott számot összehasonlíthatjuk a CERN-ben a közelmúltban végzett kísérletek eredményeivel, amely kísérletekben közvetlenül mérték a neutrínótípusok számát.

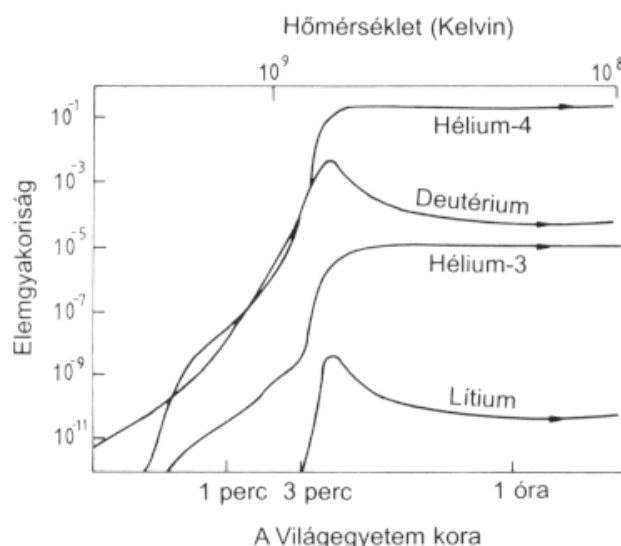
A kozmológusok az 1970-es évek óta feltételezték, hogy a neutrínóknak három és csakis három típusa létezik. Ezt a feltevést kiinduló adatként használták a fiatal Világegyetem alkotóelemeiről felállított modelljükben. Számukra rendkívül fontos annak ismerete, hogy hányféle neutrínó létezik a természetben, mert ez megszabja a nagyon korai Világegyetemben az anyag és a sugárzás teljes sűrűségét, ami viszont meghatározza a Világegyetem tágulási sebességét. Mindezeket az információkat az egy és az ezer másodperc közötti korú Világegyetem eseményeinek részletes vizsgálatához használják fel. A kozmikus történelem ezen időszakában a táguló Világegyetem még elegendően

forró volt ahhoz, hogy a neutronok és a protonok egyesülésének különböző kombinációi révén létrejőjenek a legkönnyebb elemek atommagjai. Korábban a hőmérséklet olyan magas volt, hogy az egyetlen protonból álló hidrogén atommagnál nehezebb atommagok keletkezésük pillanatában azonnal szét is estek (amikor a Világegyetem egy milliomod másodpercnél fiatalabb volt, akkor még a hidrogénmagok sem létezhetek). Az első tíz másodperc során a keletkező összetett magok egyidejű, folyamatos bomlása miatt a könnyű elemek felépülése lassú, hogy azután száz másodperc elteltével a nukleáris aktivitás mindent elsöprő rohamával tetőzzön, még mielőtt a hőmérséklet és a sűrűség folyamatos csökkenése ezer másodperccel az ősrobbanás után véget vet a folyamatnak.⁵

Ha meg akarjuk jósolni a magreakciók végkimenetelét, ismernünk kell a rendelkezésre álló protonok és neutronok arányát. Ez határozza meg ugyanis a belőlük keletkező atommagok végső mennyiségét. A reakciók során a következő atommagok keletkeznek: deutérium, azaz a hidrogén egy protonból és egy neutronból álló izotópja, a két különböző izotópból álló hélium, amelyek egyik izotópja két protont és egy neutront (hélium-3), míg a másik két protont és két neutront (hélium-4) tartalmaz, végül a három protonból és négy neutronból felépülő lítium (lítium-7).

Amikor a Világegyetem egy másodpercesnél fiatalabb, akkor egyenlő számban kell jelen lenniük a protonoknak és a neutronoknak, mert a közöttük fellépő úgynevezett gyenge kölcsönhatás kölcsönösen egymásba alakítva a két részecskét, megteremti közöttük a létszámbeli egyensúlyt. Amikor azonban a Világegyetem kora eléri az egy másodpercet, a tágulás üteme már túlságosan gyors ahhoz, hogy a gyenge kölcsönhatás fenn tudja tartani a tökéletes neutron-proton egyensúlyt. Valamivel nehezebb lesz a protont neutronná alakítani, mint fordítva, mert a neutron tömege hajszálnyival nagyobb a protonénál, így előállításához valamicskével több energiára van szükség. Amikor a gyenge kölcsönhatás szerepe megszűnik, a Világegyetemben meghatározott proton/neutron arány marad vissza. Az elméleti számítások szerint ez az arány hét az egyhez. Mintegy száz másodperccel később a magreakciók elkezd-

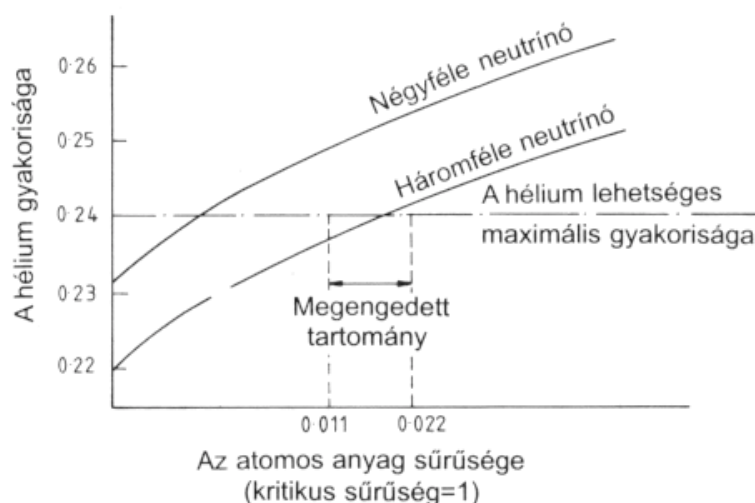
dik ezeket a neutronokat és protonokat deutériummá, héliummá és lítiummá egyesíteni. Az összes anyag mintegy 23 százaléka hélium-4-gyé alakul. A megmaradó anyag csaknem teljes egészében hidrogén, eltekintve a megmaradó néhány szízezred részt alkotó hélium-3 és deutérium izotópoktól, valamint a néhány tízmilliárdod résznyi lítiumtól.



3.4. ábra: A Világegyetem történetének első három percében a jelenlévő protonokból felépülnek a legkönnyebb elemek magjai. A magreakciók gyorsan végbemennek, mielőtt a hőmérséklet egymilliárd kelvin alá csökken. Később a magreakciók leállnak, mert a táguló Világegyetemben gyorsan csökken az anyag sűrűsége és hőmérséklete.

A Világegyetemben található hélium, deutérium és lítium mennyiségére vonatkozó csillagászati megfigyelések megerősítik az elméletileg megállapított relatív gyakoriságokat. A legegyszerűbb ősrobbanás-modell és a csillagászati megfigyelések között ragyogó az egyezés. Mindenki számára nyilvánvaló azonban, hogy ez az egyezés annak a feltevésnek köszönhető, mely szerint a természetben három különböző fajta neutrínó létezik. Ha négy lenne; akkor gyorsabb lenne a Világegyetem tágulása, ezért a gyenge kölcsönhatás jelentéktelenné válásának pillanatában több neutron maradna a protonok számához

viszonyítva. Ennek következtében megnőne a korai Világegyetemben keletkező hélium részaránya. A kérdés fontosságára való tekintettel nagyon alapos vizsgálatokat végeztek, melyek során figyelembe vették az összes rendelkezésre álló megfigyelés eredményét és azok hibáját. Ennek alapján a kozmológusok azt állítják, hogy a neutrínónak nem létezhet más, a már ismert háromfélehez hasonló, negyedik fajtája.



3.5. ábra: A Világegyetem korai állapotában keletkező hélium-4 mennyisége a Világegyetem átlagsűrűségének különböző értékeire. A sűrűséget a Világegyetem „zártságának” határesetét jelentő kritikus értékhez viszonyítjuk. A keletkező hélium mennyiségét két esetre mutatjuk be, aszerint, hogy a neutrínónak három vagy négy altípusa létezik. A Világegyetemben a csillagászati megfigyelések tanúsága szerint a hélium-4 részaránya 0,22 és 0,24 közötti. Ha az anyag átlagsűrűsége a kritikus sűrűség 0,011 0,022 része, akkor a hélium-3, a deutérium és a lítium mennyisége összhangban van a megfigyelésekkel. A sűrűség szélső értékei ugyancsak összhangban vannak a csillagokban és a galaxisokban lévő anyag ma megfigyelhető sűrűségével. Négy neutrínófajta létezése esetére a számítások jóval több héliumot jósolnak, mint a megfigyelések által megengedett maximális érték (0,24). A megfigyelések és az előrejelzések eredményei közt csak akkor tapasztalunk egyezést, ha a neutrínónak három altípusa létezik. Ebben az esetben a hélium részaránya a Világegyetem anyagában a számítások szerint 0,235 és 0,240 közötti.

A CERN-ben végzett kísérletek megerősítették ezt az előrejelzést. A gyorsítóban nagyon nagy számban állították elő a Z bozonnak nevezett, rövid életű elemi részecskéket. Ezek mindegyikének kilencvenkétszer akkora a tömege, mint a protoné és nagyon gyorsan könnyebb részecskék, köztük neutrínók, sokaságára bomlanak. Minél többféle neutrínó létezik, annál több lehetőség áll a Z bozon rendelkezésére az elbomlásra, ezért annál gyorsabban eltűnik. A CERN fizikusai nagy számú Z bozon bomlását kísérték figyelemmel, hogy meghatározzák, hányféle neutrínóvá bomlottak el. A válasz $2,98 \pm 0,05$ volt, figyelembe véve a kísérlet minden bizonytalansági tényezőjét. Úgy tűnik tehát, hogy a részecskefizikusok szerint is háromféle neutrínó létezik.

Mindez szép példa arra, hogyan tudják kiegészíteni egymást a részecskefizikusok és a kozmológusok kutatásai, annak érdekében, hogy alaposabban megértsük a Világegyetemet, mint egységes egész rendszert. A Világegyetem ősrobbanás-elméletének legnagyobb sikere az volt, hogy helyesen tudta előre jelezni a könnyű elemek mennyiségét. Az előrejelzések felettébb érzékenyek az egy másodperces korú Világegyetem szerkezetének apró változásaira. Ez viszont lehetővé teszi, hogy következtetéseket vonjunk le arra vonatkozóan, hogy milyen lehetett akkoriban a Világegyetem. Ha például a különböző irányokban eltérő sebességgel tágult, vagy helyenként erős mágneses tereket tartalmazott, akkor a tágulás sebessége megnőtt volna és emiatt a hélium gyakorisága sokkal nagyobb lenne a ma megfigyelhetőnél. A legkönnyebb elemek kozmikus gyakoriságára vonatkozó csillagászati megfigyelések az idő sokkal távolabbi mélységeibe vezetnek vissza bennünket, mint a mikrohullámú háttérsugárzás megfigyelése; így ezekkel a csillagászati észlelésekkel tudjuk leghatékonyabban felderíteni, milyen lehetett a Világegyetem egyetlen másodperccel a tágulás kezdete után.

Az ősi nukleáris reakciók tanulmányozásának van egy további fontos vonása is, amely rávilágít az ősrobbanás-modell egy általános tulajdonságára. Ha ki akarjuk számítani a Világegyetem korai szakaszában keletkezett elemek mennyiségét, akkor ehhez nem szükséges ismernünk, hogy milyen volt a Világegyetem a kezdet kezdetén. A protonok és a neutronok egy-

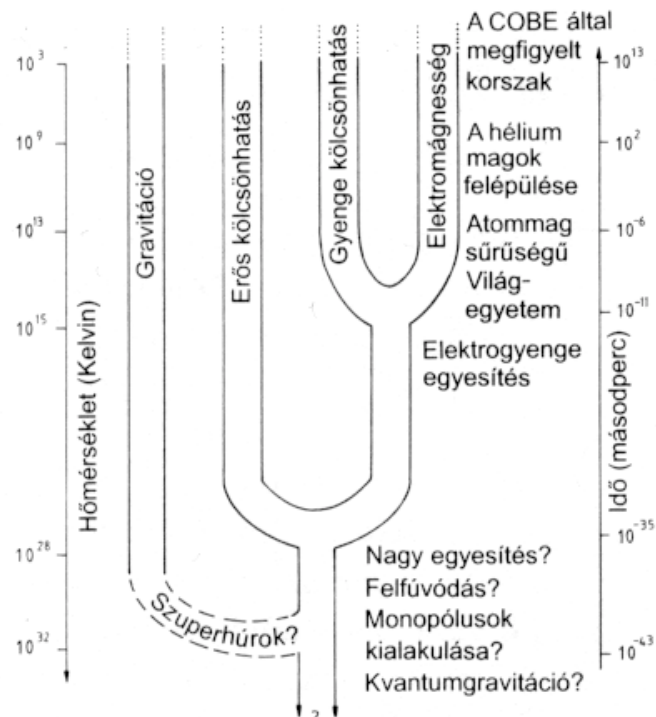
máshoz viszonyított számát az a hőmérséklet határozza meg, amely a gyenge kölcsönhatás szerepének megszűnésekor uralkodott. Ez az ősrobbanással kezdődött Világegyetem fontos tulajdonsága; a forró egyensúlyi állapot biztosítja azt, hogy a hőmérséklet határozza meg pontosan az anyagot alkotó részecskék és a sugárzás relatív gyakoriságát. Ezt a tényt egészen 1951-ig nem tudták kellő súllyal értékelni. Azelőtt sok kozmológus úgy gondolta, hogy a Világegyetem nagyon korai állapotában az elemek relatív gyakorisága a kezdet kezdetén jelen lévő protonok és neutronok egymáshoz viszonyított számától függött. Ez azonban nem így van. Egészen addig, amíg a Világegyetem el nem érte az egy másodperces kort, a protonok és a neutronok száma pontosan azonos volt. Vannak tehát dolgok, amelyek függetlenek attól, mik voltak az előzményeik.⁶

Felfúvódás és részecskefizika

*Már réges-régen az az egyik alapelvem,
hogy a kis dolgok messze a legfontosabbak.*
A KÉTES SZEMÉLYAZONOSSÁG

Az 1970-es évek közepén a kozmológia fejlődése új irányt vett. 1973-ban a részecskefizikusok új elmélettel hozakodtak elő arról, hogyan viselkedik az anyag szélsőséges körülmények közt. Korábban arra gondoltak, hogy a hőmérséklet és az energia növekedésével a kölcsönhatások egyre erősebbek és bonyolultabbak lesznek. Ennek megfelelően nem különösebben lelkesedtek az ősrobbanás utáni első másodperc fizikai viszonyainak tanulmányozásáért; a megoldható problémák sokkal sürgősebbek voltak. Az elemi részecskék közötti nagy energiájú kölcsönhatások sikeres, új leírása azonban arra mutatott, hogy a hőmérséklet és az energia növekedésével a kölcsönhatások gyengébbek és egyszerűbbek lesznek. Ezt a tulajdonságot „aszimptotikus szabadság”-nak nevezték el, mert feltételezték, hogy ha az energia végtelen nagyra válik, akkor a részecskék közötti kölcsönhatás teljesen megszűnik.

A részecskefizikusok elkezdtek kutatni annak a lehetőségét, hogyan lehetne a természet négy alapvető kölcsönhatását, a gravitációt, az elektromágnességet, valamint az erős és a gyenge magerőket egyetlen elméletté egyesíteni. Először 1967-ben sikerült megfogalmazni a radioaktivitás bizonyos formáiban megmutatkozó gyenge kölcsönhatás és az elektromágnesség egységét, amelyet azután 1983-ban a CERN-ben látványosan igazoltak azáltal, hogy felfedezték az elemi részecskék két új típusát, melyek létezését az elektrogyenge kölcsönhatás elmélete jósolta meg. Most a kutatók leginkább azon fáradoznak, hogy ebbe az egységes képbe beépítsék az atommagokat összetartó erős kölcsönhatást is. A reményeik szerint így előálló „nagy egyesített elmélet”-ből már csak a gravitáció hiányozna.



4.1. ábra: A hőmérséklet feltételezett menete a Világegyetem története első egymillió évében, miközben az egyre régebbi múlt felé haladunk. A hőmérséklet növekedésével változik az alapvető természeti kölcsönhatások erőssége és várható, hogy bekövetkezik egyesülésük. Ezt az erők egybeolvadásával ábrázoltuk.

Első pillanatra ezek az egységesítésre való törekvések halva születetteknek tűnnek, mert tudjuk, hogy a természet alapvető kölcsönhatásai nagyon eltérő erősségűek és különböző típusú részecskékre hatnak. Hogyan lehetnek ezek az egymástól távolinak látszó dolgok ugyanannak a valaminek a megnyilvánulásai? A kérdésre az a válasz, hogy a természet erőinek erőssége a környezet hőmérsékletétől függ. Igaz tehát, hogy a megszokott, alacsony energiájú világunkban alapvetően különböznek egymástól, magas hőmérséklet esetén lassan változni fognak. A kifejlesztett, előremutató elméletek jóslata szerint nagyon nagy energiákon az erős és az elektrogyenge kölcsönhatás nagyjából ugyanakkora. Ehhez körülbelül 10^{15} GeV energia kell, aminek mintegy 10^{28} K hőmérséklet felel meg, ami messze sokkal nagyobb annál, amit földi gyorsítóknál lehet érné, viszont akkora, mint ami a korai Világegyetemben mindössze 10^{-35} má-

sodperccel annak látszó kezdete után uralkodott. Legegyszerűbben úgy győződhetünk tehát meg arról, hogy hordoz-e valamiféle fizikai tartalmat a nagy egyesített elmélet gondolata, ha megpróbáljuk annak kozmológiai következményeit kideríteni. Sőt, mi több, lehet, hogy a kozmológusok majd úgy találják, hogy ezek az elemi részecskék viselkedésére vonatkozó új előrejelzések fényt derítenek a Világegyetem eddig megmagyarázatlan tulajdonságaira is.

Mint már említettük, a nagy egyesített elméletek sikerrel birkóztak meg a különböző erősségű kölcsönhatások egyesítésének problémájával, még hozzá azáltal, hogy figyelembe veszik a kölcsönhatások erősségének a hőmérséklettől függő változásait. A másik problémát, amelyet az elméletnek meg kellett oldania, az a tény jelentette, miszerint minden egyes kölcsönhatás az elemi részecskék más-más osztályára hatott. Ha teljes egészében egyesíteni akarjuk az erőket, akkor ezeknek a részecskéknek kölcsönösen át kellett tudniuk alakulni egymásba. Ehhez viszont nagyon nagy tömegű közvetítő részecskék létezésére van szükség. Az ezek számára megkövetelt tömeg oly nagy, hogy a közvetítő részecskék csak akkor létezhetek, amikor a Világegyetem még elegendően forró volt ahhoz, hogy a részecskék ütközései során ilyen nagy tömegű részecskék is létrejöjjenek. Az efféle elméletek elkerülhetetlenül megjósolták a nehéz részecskék két új családjának létezését. Az első, amelyet X részecskének nevezünk, Isten adományának látszik: bármely más ismert elemi részecskével ellentétben ez ugyanis rendelkezne azzal a tulajdonsággal, hogy anyagot antianyaggá képes átalakítani. Ez a furcsa teremtmény lehetővé tette, hogy a nagy egyesített elméletek magyarázatot adjanak a Világegyetem egy különleges aszimmetriájára.

A természetben létező minden elemi részecskének – a foton kivételével – létezik az antirészecskéje, amelynek minden tulajdonsága ellentétes a párjáéval, hasonlóképpen ahhoz, ahogy a mágnesrúd északi pólusa ellentétes tulajdonságú, mint a déli. Bár a részecskefizikai laboratóriumi kísérletek során teljesen demokratikus módon, azonos mennyiségben keletkeznek részecskék és antirészecskék, mégis, ha körbepillantunk a Világegyetemben, vagy felfogjuk a kozmikus sugárzás részecskéit, akkor mindig csak Földön kívüli anyaggal találkozunk, Földön kívüli

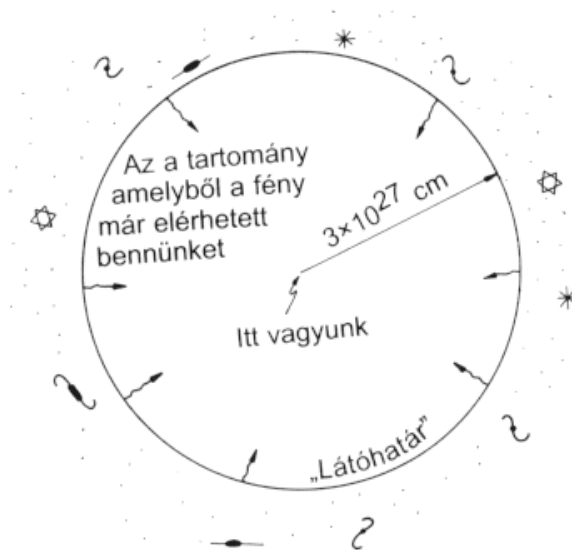
antianyaggal soha. Úgy tűnik, hogy a Világegyetemet az anyag uralja. Márpedig ha ez ma így van, akkor ebből a kozmológusok arra következtetnek, hogy ennek a kezdet kezdetén is így kellett lennie, mivel nem látunk semmilyen módot arra, hogy az antianyag anyaggá alakuljon. Más szavakkal: léteznie kellett egy kezdeti aszimmetriának, amely magyarázatot szolgáltat a jelenlegi kiegyensúlyozatlanságra. Igaz persze az is, hogy a jelenlegi aszimmetriát nem túl szerencsés a múltba visszavetítve egy múltbeli aszimmetriával megmagyarázni, mert ezzel tulajdonképpen semmit nem magyaráztunk meg. Könnyen elképzelhető, hogy az egyetlen „természetes” kezdőállapot az lehet, amelyben egyenlő mennyiségben van jelen az anyag és az antianyag. Sajnos úgy tűnik azonban, hogy ebből az egyensúlyi állapotból semmiképpen nem alakulhatott ki a Világegyetemben ma megfigyelhető aszimmetria. Ez az a pillanat, amikor színre lép a nagy egyesített elméletek által megkövetelt X részecske. Az erős és az elektrogyenge kölcsönhatás között játszott közvetítő szerepének melléktermékeként ugyanis az X részecske képes arra, hogy anyagot antianyaggá alakítson át. Ugyanakkor az X részecske és antirészecskéje nem ugyanolyan sebességgel bomlanak.² Következésképpen, ha a kezdeti állapotban tökéletes egyensúly volt az anyag és az antianyag között (vagyis pontosan ugyanannyi X részecske volt jelen, mint amennyi anti-X), akkor a Világegyetem nagyon korai pillanataiban végbement aszimmetrikus bomlásuk végeredményben létrehozhatta a ma megfigyelhető anyag-antianyag aszimmetriát.

A megfigyelt anyag-antianyag aszimmetria megoldásának a lehetősége 1977 és 1980 között a részecskefizikusok körében óriási érdeklődést keltett a nagyon korai Világegyetem tanulmányozása iránt. Voltak azonban rossz hírek is, amelyekről az emberek legszívesebben tudomást sem vettek volna. Emlékezzünk vissza arra, hogy az X részecske csak az egyike volt annak a két elemi részecskének, amelyek a Világegyetem történetének első pillanataiban mindenütt elkerülhetetlenül létrejöttek. Míg az X részecskék rövid idő alatt kvarkokra és elektronokra bomlottak, amelyek ma a minket körülvevő atomok alkotórészei, addig a másik részecskecsoport nemkívánatos volt és ráadásul még csak el sem volt hajlandó tűnni.

Ezeket a „mágneses monopólus”-nak nevezett, nemkívánatos részecskéket a nagy egyesített elmélet minden változata megköveteli, abban az esetben, ha olyan világot akarunk létrehozni, mint amilyen a miénk, vagyis olyant, amelyikben jelen van a közismert mágnesség és az elektromosság. Az elektromossághoz és a mágnességhez fűződő szoros kapcsolata miatt a mágneses monopólust nem lehet egyszerűen az elmélet toldozása-foldozása által kiirtani. Valamilyen körmönfontabb módszert kellett kieszelni arra, hogyan lehetne ezeket a betolakodókat eltávolítani a korai Világegyetemből, minthogy a megfigyelések egyértelműen arra utalnak, hogy ma már nem léteznek mágneses monopólusok. Még ennél is rosszabb, hogy ha ezek a részecskék valóban léteztek, akkor milliárdszor nagyobb mértékben járultak volna hozzá a Világegyetem átlagsűrűségéhez, mint a csillagokban és galaxisokban lévő közönséges anyag. Márpedig ez nem igaz arra a Világegyetemre, amelyben élünk. Az anyag bármely formájának ilyen mérvű túlsúlya esetén a Világegyetem tágulásának üteme oly rohamosan csökkent volna, hogy egész története már évmilliárdokkal ezelőtt egy Nagy Reccs-ben ért volna véget. Sem galaxisok, sem csillagok, sem emberek nem létezhetnének. A helyzet tehát felettébb súlyos volt. Hogyan szabadulhatunk meg ezektől a bajkeverő monopólusoktól, vagy hogyan szüntethetjük meg a keletkezésüket? A válasz új fejezetet nyit a Világegyetemről vallott felfogásunk történetében és alapvetően megváltoztatja annak keletkezéséről felállított elméleteinket. Ha meg akarjuk érteni e változások mélységét, akkor először fogjunk hozzá annak kiderítéséhez, hogy vajon a ma megfigyelhető Világegyetem azonos-e a Világegyetem egészével, illetve miért olyan titokzatos a megfigyelhető szerkezete.

Ha a Világegyetemről beszélünk, szem előtt kell tartanunk egy fontos különbséget. A Világegyetem – minden létező dolgok összessége. Lehet, hogy kiterjedése végtelen, de az is lehetséges, hogy véges. Nem tudjuk. Mindenesetre meg kell ezen belül különböztetnünk a látható Világegyetemet, vagyis a Világegyetemnek azt a feltétlenül véges tartományát, amelynek bármely részéből a Világegyetem tágulásának kezdete óta rendelkezésre állt idő alatt ideérkezhetett a fény. A látható Világegyetemet tizenötmilliárd fényév sugarú gömbként képzelhetjük el, amely-

nek mi a középpontjában vagyunk. Az idő múlásával a látható, Világegyetem sugara folytonosan növekszik.

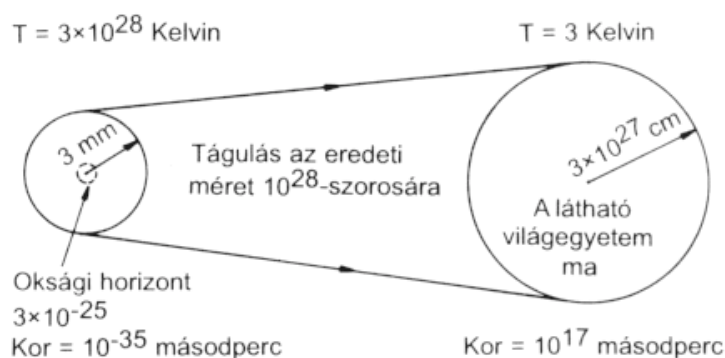


4.2. ábra: Látható Világegyetemnek azt a körülöttünk elhelyezkedő, gömb alakú térrészt nevezzük, amelyből a fényjelek a tágulás kezdete óta rendelkezésre álló idő alatt elérkeztek hozzánk. A gömb sugara jelenleg 3×10^{27} centiméter.

Próbáljuk meg most csak a látható Világegyetem történetét felvázolni. Magától értetődően ennek anyaga is kezdettől fogva részt vesz a tágulásban, ezért a benne található anyag (amely ma mintegy százmilliárd galaxist alkot) valaha sokkal kisebb helyet foglalt el, mint ma. Ahogy a tágulás következtében ennek a tartománynak a sugara nő, az őt kitöltő sugárzás hőmérséklete a tágulással fordított arányban csökken, összhangban a termodinamika jól ismert és sokszor ellenőrzött törvényeivel. Ez azt jelenti, hogy a sugárzás hőmérsékletét bármely múltbeli időpontban felhasználhatjuk a pillanatnyilag belátható Világegyetem méretének jellemzésére. Ha a mérete kétszeresére nő, akkor hőmérséklete felére csökken.

Ugorjunk most gondolatban vissza a Világegyetem történetének nagyon korai időszakába, akkorra, amikor a három alapvető kölcsönhatás nagy egyesülése az elméleti számítások szerint bekövetkezett. Ez az a pillanat, amikor a Világegyetem hőmér-

séklete elegendően nagy volt ahhoz, hogy létrejöjjenek az X részecskék és a monopólusok. Ez a nagy hőmérséklet mintegy 3×10^{28} kelvin lehetett. Ahhoz, hogy ezt elérjük, nem kevesebb, mint 10^{-35} másodpercre kell megközelíteni a tágulás kezdetét.



4.3. ábra: A látható Világegyetemünk tágulásának történetét felvázolva azt találjuk, hogy 10^{-35} másodperces korában annak egész anyaga egy 3 milliméter sugarú térrészbe volt összezsúfolva. Ez alatt a roppant rövid idő alatt azonban a fénysugár csak 10^{-25} centiméter utat tudott befutni. Utóbbi adat jelöli ki abban a pillanatban a kauzális horizont helyét.

Mára, 10^{17} másodpercnyi tágulás után a sugárzás hőmérséklete 3 K-re csökkent. Ez azt jelenti, hogy a nagyon korai kezdet óta a hőmérséklet 28 nagyságrendet csökkent (10^{28} -szor kisebb lett), ugyanakkor viszont azt is jelenti, hogy az az anyag, amely ma a látható Világegyetemet alkotja, akkoriban egy 10^{28} -szor kisebb sugarú térrészbe volt összezsúfolva. A ma látható Világegyetem sugarát akkor kapjuk meg, ha a korát megszorozzuk a fény sebességével. Eszerint ez a sugár nagyjából 3×10^{27} centiméter. Gondolatmenetünket folytatva azt kapjuk, hogy a nagy egyesítés korszakában a ma látható Világegyetemet alkotó összes anyagot egy csupán három milliméter sugarú gömb tartalmazta. Ez első pillanatban megdöbbentően kicsinynek látszik, valójában azonban a gondot az okozza, hogy még ez is túl nagy. Addig a pillanatig ugyanis a tágulás kezdete óta eltelt 10^{-35} másodperc alatt a fénysugár a maga 3×10^{10} centiméteres másodpercenkénti sebességével 3×10^{-25} centiméter utat tudott megtenni. Ez az

a legnagyobb távolság, amelyet bármely jel a tágulás kezdete óta egyáltalán megtehetett. Ezt a „kauzális horizont³ távolságá”nak nevezzük. Ha a Világegyetem kezdeti állapotában esetleg jelen volt valamilyen irregularitásokat később a sűrűsödés vagy bármely más hatás kisimítja, akkor az eseményhorizont távolsága szabja meg azt a maximális távolságot, ameddig adott idő alatt az egyenetlenségeket kisimító hatás elérhet, mivel semmiféle hatás nem terjedhet gyorsabban a fény sebességénél. A legnagyobb fejtörést az okozza tehát, hogy annak a tartománynak a mérete, amelyből a tágulás során a ma látható Világegyetem kialakult, abban a roppant korai időszakban elképesztő mértékben felülmúlta az eseményhorizont távolságát. Emiatt egy rejtéllyel és egy problémával kell szembenéznünk.

A *rejtély* a következő: hogy lehet megmagyarázni a Világegyetemünk nagyfokú egyformaságát, vagyis azt, hogy mindenütt és minden irányban ugyanúgy néz ki, abban az esetben, ha a korai Világegyetem nagy számú, egymástól független tartományból állt. Márpedig a részeknek függetleneknek kellett lenniük egymástól, mert mint láttuk, a Világegyetem kezdete, óta nem állt elég idő rendelkezésre ahhoz, hogy a fénysugár az egyikből a másikba eljusson. Hogy lehetséges az, hogy ennek ellenére az egyes részekben a hőmérséklet vagy a tágulás sebessége ezreléknél pontosabban azonos, ha nem állt rendelkezésre elég idő ahhoz, hogy hőcsere vagy az energia bármely más formájának átadása révén kiegyenlítődjenek a különbségek? Úgy tűnik, arra a végkövetkeztetésre kell jutnunk, hogy a kezdeti állapot egyszerűen olyan volt, hogy a feltételek mindenütt ugyanolyannak „teremtődtek”.

A *problémát* az jelenti, hogy a mágneses monopólusok mindenütt jelen vannak. Ezek a részecskék a korai Világegyetemben azokon a helyeken keletkeztek, ahol a nagy egyesítés elméletében szereplő különleges mezők beállításának iránya rosszul illeszkedett. Ahol ilyen illeszkedési hiba lépett fel, ott egy energiacsomó alakult ki: a monopólus. Abban az időben a kauzális horizont távolsága 10^{-25} centiméter volt, amiből az következik, hogy ilyen távolságon belül a mezőknek tökéletesen kell illeszkedniük egymáshoz, azaz nem keletkezhetnek monopólusok. Az a tartomány viszont, amelyből a ma látható Világegye-

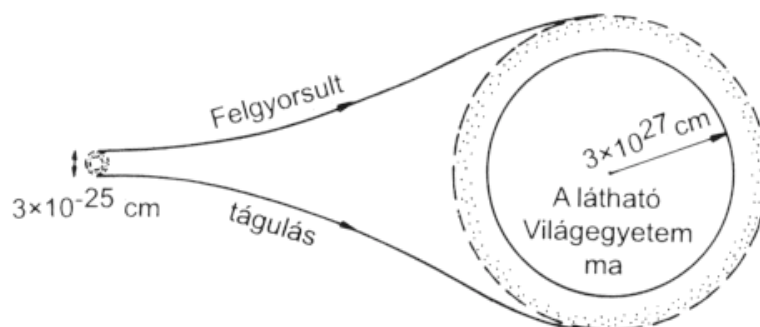
tem kifejlődött, akkor 10^{24} -szer akkora átmérőjű volt, mint a horizont mérete, ezért óriási számban kellett illeszkedési egyenletlenségeket tartalmaznia, aminek következtében viszont a ma látható Világegyetemben elfogadhatatlanul nagy számban kellene a monopólusoknak jelen lenniük.⁴ Ezt nevezzük a „monopólusok problémájának”.

Ezek után hasznosnak bizonyul, ha ezen részletektől visszafordulunk fő kérdésünk felé, és megpróbáljuk áttekinteni, mi is történt. A fizikusok részletes elméleteket dolgoztak ki arra vonatkozóan, hogyan viselkedik az anyag nagyon magas hőmérsékleten. Ezen elméleteknek magától értetődően alkalmazhatóaknak kell lenniük a Világegyetem történetének első pillanataira. Ha segítségükkel megpróbáljuk rekonstruálni az első pillanatok eseményeit, akkor számos izgalmas újdonságra bukkanhatunk, magyarázatot kaphatunk például arra, miképpen lett úrrá a Világegyetemben az anyag az antianyag fölött. Az elméletek azonban egyúttal az anyag új típusú elemi részecskéinek létezését is megjósolják, amelyeket mágneses monopólusoknak nevezünk és amelyeknek az elmélet szerint roppant nagy számban kellene ma is létezniük, amit viszont a megfigyelések egyáltalán nem támasztanak alá. Azon egyszerű oknál fogva számítunk ilyen rengeteg monopólus létezésére, mert a ma látható egész Világegyetem anyaga nagyon kis térrészbe volt bezsúfolva abban az időben, amikor a fizikai állapot lehetővé tette a monopólusok születését. Akkoriban azonban a Világegyetem mérete sokkal nagyobb volt annál a távolságnál, amelyet a fénysugár a tágulás kezdetétől addig eltelt idő alatt képes volt befutni. Emiatt nagyon sok olyan illeszkedési hibát kellett tartalmaznia, amilyenek monopólusokat hoznak létre. A fizikusokat lenyűgözte a nagy egyesített elméletek sikere, ezért ahelyett, hogy a monopólus-probléma miatt elvetették volna az egészet, inkább csak félrerakták a problémát és folytatták az elméletek más következményeinek vizsgálatát, abban reménykedve, hogy valami majd csak történik. Nos, történt.

1979-ben Alan Guth, fiatal amerikai részecskefizikus, a Stanfordi Lineáris Részecskegyorsító munkatársa rábukkant a monopólus-probléma megoldására, és a nagy egyesítés elméletét összhangba hozta a Világegyetemről szerzett ismereteinkkel.

Azóta a „felfúvódó Világegyetem” néven közismertté vált elképzelése a korai Világegyetem kutatásának kulcsfontosságú része lett. A felfúvódás elmélete önálló tudományággá fejlődött, amely mindazon lehetőségek vizsgálatával foglalkozik, amelyek révén a felfúvódás megvalósulhatott.

Amint láttuk, a monopólus-probléma a nagyon korai Világegyetem kauzális horizontja túlságosan kicsiny méretének a következménye. Ebben az esetben, alapul véve a horizont méretét a nagy egyesítés idejében, megállapítható, hogy a horizonton belüli tartomány mostanra csak legfeljebb mintegy száz kilométer átmérőjűre tágulhatott volna. A kauzális horizont mérete csak úgy érhetne el a ma megfigyelhető átmérőjét, ha korai szakaszában a Világegyetem gyorsabban tágult, mint ma. Nos, éppen ez az az ötlet, amelyet Alan Guth felfúvódó Világegyetem hipotézise felvetett. A modell szerint a Világegyetem nagyon korai szakaszában léteznie kellett egy rövid időszaknak, amikor a tágulás gyorsuló ütemben folyt. Ez az időszak valóban nagyon rövid lehetett, elegendő, ha a Nagy Bumm utáni 10^{-35} -től 10^{-33} másodpercig tartott.



4.4. ábra: A felfúvódás felgyorsítja a tágulást a Világegyetem nagyon korai szakaszában, lehetővé téve ezáltal, hogy a 10^{-25} centiméter sugarú térrész átmérője mostanra elérje a ma látható Világegyetem kiterjedését. Hasonlítsuk össze ezt a rajzot a lassú tágulás menetét bemutató 4.3. ábrával.

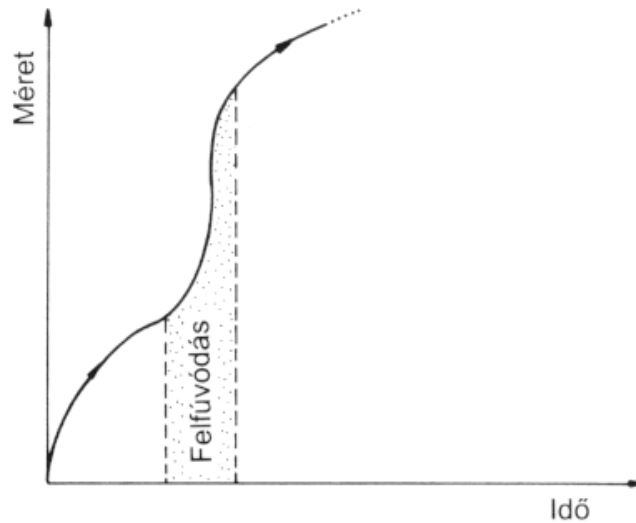
Ha ez a gyorsuló tágulás valóban bekövetkezett, akkor annak , kezdetén az egész látható Világegyetem elegendően kicsi lehetett ahhoz, hogy a tágulás kezdete óta eltelt idő alatt a fénysu-

gár teljes egészében be tudja járni. Így érthetővé válik a Világegyetem simasága és izotrópiája. Ami azonban még ennél is fontosabb, kiiktatódnak a monopólusok, hiszen ez esetben a látható Világegyetem tágulása egy olyan kis tartományból indult, amely legfeljebb egyetlen egy olyan illesztetlenséget tartalmazhatott, amely monopólus keletkezését eredményezhette. A monopólusok problémája ezzel tehát megoldódott. Hasonló a helyzet a Világegyetem megfigyelt simaságával is. Ennek magyarázatához nincs szükség valamiféle új, az egyenetlenségeket kiirtó mechanizmusra, vagy egy új alapelvre, amely megköveteli, hogy a kezdeti állapot kényszerűen rendezett legyen, hanem önmagában az a tény mindent megmagyaráz, hogy jelenleg a korai Világegyetem egy kicsiny tartományának a kitágult képét látjuk. Ez a tartomány elég kicsi volt ahhoz, hogy a felesleges energiát a forróbb területekről a hidegebb részekre átszállító, az egyenetlenségeket kisimító folyamatok hatása az egész tartományra kiterjedhetett, lehetővé téve, hogy az egyenetlenségek eltűnjenek. Ezen a tartományon kívül természetesen lehettek különféle inhomogenitások, de azok mindmáig a mi kauzális horizontunkon kívül maradtak. Ezek nem tűntek el, csupán kisodródtak a Világegyetem általunk belátható részének peremén túlra.⁵

A kozmikus történelem röpke szakasza, amelyben a Világegyetem tágulása felgyorsult, olyan, mint valami parányi, csillogó ékkő a Világegyetem nagyon távoli múltjában, melynek azonnali és messzeható következményei egyaránt vannak. Korábban már szó volt Penrose, Hawking, Geroch és Ellis szingularitásokkal kapcsolatos elképzeléseiről. Emlékezzünk vissza arra, hogy ezek az elméletek azon a feltevésen alapultak, mely szerint az anyag mindenütt és mindenkor ki van téve a többi anyag gravitációs hatásának. Az 54. oldalon megtárgyaltuk, hogy a gravitációs erő akkor jelent vonzást, ha az ott bevezetett S mennyiség, amely a Világegyetem nyomásának és sűrűségének függvénye, pozitív értéket vesz fel. Ha S pozitív, akkor bármely táguló világegyetem tágulásának lassulnia kell. Ezt várták el az ősrobbanás-modelltől is a felfűvódás gondolatának felvetése előtt. Függetlenül attól, hogy milyen sebességű volt kezdetben a tágulás és attól, hogy a tágulás örökké tart-e vagy egy Nagy

Reccs formájában véget ér, a gravitáció hatása mindenképpen lassítja a tágulás sebességét, mert az anyag minden része a Világegyetem összes többi anyagára vonzóerőt fejt ki. Ha tehát azt szeretnénk, hogy valamikor a Világegyetem története során a lassulást átmenetileg gyorsulás váltsa fel, akkor ehhez arra van szükség, hogy az S mennyiség értéke átmenetileg negatív legyen. Ez az egész felfűvódó Világegyetem hipotézis lényege. Ezzel magyarázatot kapunk a Világegyetem homogenitására és feloldjuk a monopólus problémát. Mindehhez csupán azt kell megkövetelnünk, hogy létezzék az anyag antigravitáló állapota, amely röviddel az ősrobbanás után létre tudja hozni a tágulás rövid ideig tartó felgyorsulását. Ha ilyen anyag nem létezik a természetben, akkor az elmélet kudarcot vall. Ha viszont létezik, akkor a következő fejezetben látni fogjuk, hogy a Világegyetemben milyen bizonyítékok tanúskodhatnak a felfűvódás régenvolt korszakáról.

Az 1960-as években teljesen ésszerűnek tűnt az a feltételezés, hogy az anyag minden fajtája gravitációs vonzást fejt ki, nem pedig taszítást. Az 1980-as években azonban a kozmológusok kezdtek rádöbbenni, hogy a nagyon nagy sűrűségű anyagokban előfordulhat olyan különleges állapot, amikor gravitációs taszítás lép fel. Ezt a pálfordulást ugyancsak a részecskefizika által feltárt új elméletek teremtték meg, amelyek megjósolták, hogy léteznie kell az anyag olyan minőségileg új formáinak, amelyek nagy negatív nyomást hozhatnak létre. Ez a negatív nyomás képes ellensúlyozni a pozitív sűrűséget, miáltal gravitációs taszítást kelt (vagyis az 54. oldalon tárgyalt S tényező negatívvá válik). Ha ezek az anyagformák tényleg léteznek a valóságban is, nem csak papíron, akkor a Világegyetem tágulásával ezek erőssége lassan, de biztosan nő, mígnem végül antigravitációs hatást fejtenek ki a tágulásra. Ennek következtében a tágulás gyorsulni fog. A Világegyetem felfűvódik, egészen addig, amíg az ezért felelős anyag-mezők el nem bomlanak az anyag és a sugárzás evilági formáivá, amelyek már kizárólag gravitációs vonzást mutatnak. Ezután a tágulás üteme ismét lassulni fog, mint ahogyan az a felfűvódás kezdete előtt történt és ahogy az ma is megfigyelhető. Ez tehát a nagyon korai Világegyetem felfűvódó tágulásáról szóló forgatókönyv lényege.

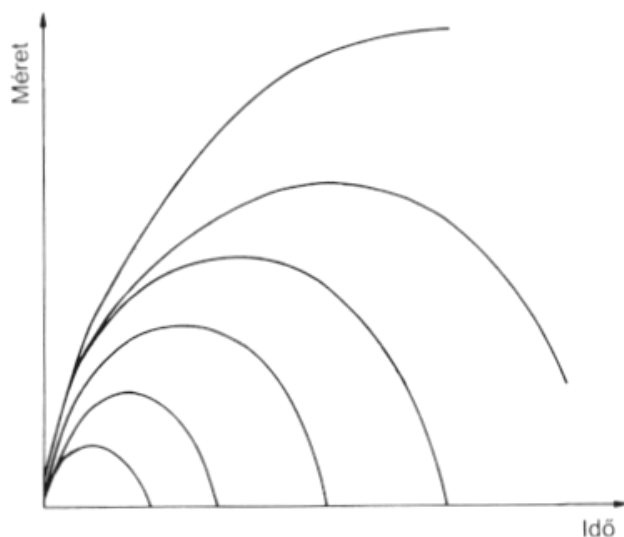


4.5. ábra: A felfúvódó Világegyetem sugarának időbeli változása. A felfúvódás időszakát jelentősen felnagyítottuk a rajzon. A valóságban a felfúvódás a tágulás kezdetétől számított 10-35 és 10-33 másodperc között következett be. A Világegyetem kora jelenleg tizenöt milliárd év. Az ábráról leolvasható, hogy kezdetben a Világegyetem tágulása lassuló jellegű, ezután rövid, gyorsuló szakasz következik, a felfúvódás, majd annak befejeztével visszaáll az eredeti, csökkenő sebességű tágulás.

A kozmikus történelem fentebb vázolt képe a kozmológusok számára sok szempontból nagyon vonzó. Láttuk, hogy feloldja a monopólusok problémáját és lehetővé teszi, hogy megértsük a Világegyetem nagy léptékű homogenitását. További előnye, hogy a látható Világegyetem jelenlegi állapotára vonatkozóan két olyan előrejelzést tesz, amelyek alapján lehetőségünk nyílik ellenőrizni az elmélet helyességét.

Ha meg akarjuk oldani a monopólusok problémáját, akkor a felfúvódás időszakának legalább hetvenszer olyan hosszú ideig kell tartania, mint amennyi idő a tágulás kezdetétől a felfúvódás megindulásáig eltelt. Ez az a folyamat, amely a korábban egy milliméter átmérőjű tartományból létrehozta a látható Világegyetemünket. A felgyorsult tágulás fontos következménye, hogy emiatt a Világegyetem gyorsabban és hosszabb ideig fog tágulni, mint akkor tenné, ha nem iktatódott volna közbe életé-

ben a felfúvódó szakasz. Felfúvódás nélkül a Világegyetem csupán a másodperc törtrészéig tágult volna (természetes kezdőfeltételek esetén), mielőtt elkezdődött volna az összehúzódása. A felfúvódás közbeiktatódásával a tágulás könnyűszerrel eltarthat akár évtrilliókig is. A tágulás felgyorsulásának köszönhetően Világegyetemünk nagyon közel kerül ahhoz a kritikus választóvonalhoz, amely az örökké táguló, illetve a katasztrofális összehúzódás végén a Nagy Reccsben elpusztuló univerzumok közötti határt jelenti. A felfúvódás így természetes magyarázatot szolgáltat arra a rejtélyesnek tűnő tényre, hogy a látható Világegyetem fizikai állapota nagyon közel esik a kritikushoz.



4.6. ábra: Különbőle zárt univerzumok, különböző teljes élettartamokkal. Látható, hogy a leghosszabb ideig táguló világegyetek kerülnek legközelebb a kritikus választóvonalhoz.

Ha a felgyorsult tágulás időszaka elegendően hosszú ideig tart ahhoz, hogy magyarázatot adjon arra, hogy miért nem látunk mágneses monopólusokat, akkor arra a megállapításra jutunk, hogy a tágulás jelenlegi üteme egy milliomod résznyi pontossággal a kritikus választóvonal közelébe esik, vagyis a Világegyetem átlagsűrűsége 2×10^{-29} gramm anyag köbcentiméterenként.

Ez a megállapítás két okból is érdekes. Először is, ha a sűrűség ilyen közel van a kritikushoz, akkor soha nem leszünk

képesek arra, hogy eldöntsük, vajon Világegyetemünk szerkezete nyílt vagy zárt, megfigyeléseink segítségével ugyanis semmiképpen nem tudjuk a Világegyetem látható részének átlagsűrűségét egymilliomod résznyi pontossággal meghatározni. Még közvetlenebbül érint azonban bennünket a második következmény, mivel a világító anyag megfigyelt sűrűsége legalább tízszer kisebb annál, mint ami a kritikus szint eléréséhez szükséges lenne. Ha a felfűvódó Világegyetem elmélete helyes, akkor a látható Világegyetem anyagának legnagyobb részben valamilyen nem világító formában kell léteznie, nem pedig csillagokba vagy galaxisokba tömörülve. Ezt a következményt a szakmai körökben örömmel fogadták, ugyanis a csillagászok megfigyeléseik alapján már régóta gyanították, hogy egyes csillagok és galaxisok gyorsabban mozognak, mint ahogy az a környező világító anyag rájuk gyakorolt gravitációs hatása alapján várható lenne. Nyilvánvalóan jelentős mennyiségű sötét, tehát láthatatlan anyag létezik, amelynek tömegvonzása lehet a felelős a csillagok és a galaxisok rendellenes mozgásáért.

Erről az egyenlegről tudomást szerezve első gondolatunk az, hogy rengeteg sötét anyag lehet jelen a csillagok és a galaxisok közötti térben (talán nagyon halvány csillagok, szikladarabok, gáz, por vagy egyéb törmelék formájában), vagyis olyan anyag, amely kimaradt a csillagok születését eredményező folyamatokból. Ez azt jelenti, hogy a Világegyetemben a fény eloszlásának feltérképezése önmagában nem elegendő az anyag eloszlásának megismeréséhez, amiben még semmi különös nincs. Ha például a világűrből a Földre pillantva feltérképezzük a Föld sötét oldalán az éjszakai fények eloszlását, akkor ez nem valami jól tükrözi a népszerű eloszlását. Sokkal inkább a gazdagság térképét kaptuk így meg, hiszen a Nyugati világ nagyvárosai fényesen ragyognak, miközben a Harmadik Világ túlszűfolt nagyvárosai csak halványan pislákolnak.

Sajnos a Világegyetemben nem ilyen egyszerűek a dolgok. Lehet, hogy mi a magunk részéről ésszerűnek tartjuk, hogy a Világegyetem nagy mennyiségben tartalmazzon közönséges atomokból és molekulákból álló, sötét anyagot, szanaszét szórva a térben, a Természet azonban nem osztja ebbéli vélekedésünket. Emlékezzünk vissza, hogy a táguló Világegyetem elmé-

letének egyik sarkköve volt az a tény, mely szerint képesek vagyunk részletesen felírni azoknak az atommag-reakcióknak az eredményét, amelyek akkor mentek végbe, amikor a Világegyetem kora még csak néhány perc volt. Ezek a számítások figyelemreméltó egyezést mutatnak a hidrogén, a deutérium és a hélium két izotópjának megfigyelt mennyiségével. Ez arról tanúskodik, hogy az említett magreakciókban részt vevő anyag legfeljebb a kritikus sűrűség elérésének a tizedéhez elég. Ha a tényleges sűrűség ennél nagyobb lenne, akkor a magreakciók olyan sok neutront építettek volna be a hélium-4 magokba, hogy a reakciók melléktermékeiként keletkezett anyagok közt sokkal kevesebb deutérium és hélium-3 mag lenne található, mint amennyit ma megfigyelünk. A hélium-3 és a deutérium mennyisége rendkívül érzékenyen jelzi az anyag akkori kozmikus sűrűségét. A könnyű elemek kozmikus gyakorisága tehát arról árulkodik, hogy ha a benne rejtőző sötét anyaggal együtt a Világegyetem átlagsűrűsége a kritikus közelében van, akkor ez a sötét anyag semmilyen formában nem vehet részt a magreakciókban. Ez azt jelenti, hogy a sötét anyagnak valamilyen neutrínószerű részecskék formájában kell megmutatkoznia. Emlékeztetünk rá, hogy a neutrínóknak nincs elektromos töltésük, ezért az elektromágneses erők nem hatnak rájuk. Hasonlóképpen az erős magerők hatását sem érzik, kizárólag a gravitáció és a gyenge kölcsönhatás befolyásolja a viselkedésüket.

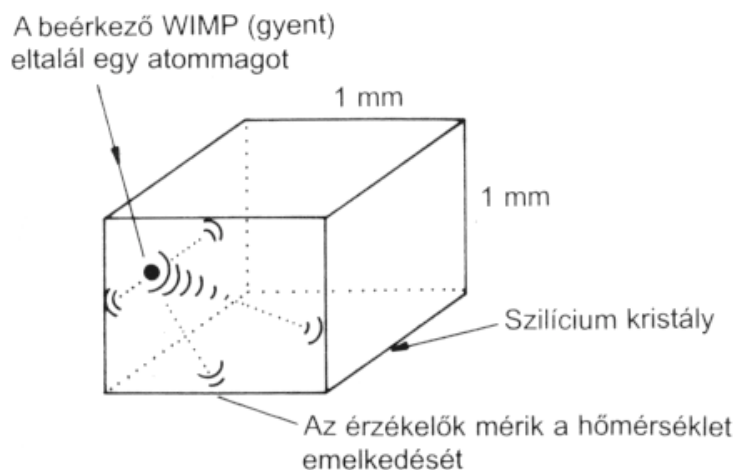
A neutrínó három különböző változatát ismerjük, mindaddig azonban egyikről sem sikerült bebizonyítani, hogy tömege nullától különböző lenne.⁶ A bizonyítékok azonban meglehetősen gyenge lábakon állnak, ugyanis minthogy a neutrínó közönséges anyaggal való kölcsönhatása roppant gyenge, a tömegük, megmérésére irányuló kísérletek rendkívül bonyolultak és mindennek ellenére nagyon érzéketlenek a neutrínó lehetséges, parányi tömegére. A részecskefizikusok azonban itt is tartogatnak számunkra egy kis meglepetést. A természet összes kölcsönhatásának egyesítésére irányuló próbálkozásaik során megjósolták egy nagy tömegű, de gyengén kölcsönható elemi részecske létezését. A részecske az angol nyelvű elnevezésének rövidítéséből alkotott betűszó alapján a WIMP elnevezést kapta (Weakly

Interacting Massive Particles = gyengén kölcsönható nagy tömegű elemi részecskék), magyarul talán *gyent*-eknek lehetne nevezni őket. A WIMP-eket (gyenteket) mindeddig földi, laboratóriumi kísérletekben nem sikerült kimutatni. A Genfben tervezett új részecskeütköztető gyorsító létesítésének egyik célja éppen ezeknek a nehéz részecskéknek a felfedezése lenne.

Ha a neutrínó három ismert változata mindegyikének a tömege nem több, mint kilencven elektronvolt (egyetlen hidrogénatom tömege körülbelül egymilliárd elektronvolt), akkor a Világegyetemben szanaszét kószáló neutrínók együttes tömege oly mértékben megnöveli a Világegyetem átlagsűrűségét, hogy világunk „zárt” szerkezetű lesz, vagyis jövő sorsa az összeomlás lesz. Hasonlóképpen, ha a WIMP-ek (gyentek) léteznek és tömegük kétszer akkora, mint a hidrogénatomé, akkor az ősrobbanás elmélet előrejelzése értelmében az átlagsűrűséghez való hozzájárulásuk elég ahhoz, hogy a Világegyetem zárt legyen.

Ha a Világegyetem alapvetően ezeknek a gyengén kölcsönható részecskéknek a tengeréből áll, akkor joggal tehetjük fel a kérdést, hogy miért nem mutatjuk ki közvetlenül a létezésüket, lezárva ezzel egyszer és mindenkorra az egész szövevényes ügyet. Sajnos nincs reményünk arra, hogy valaha is sikerül közvetlenül kimutatnunk az ismert neutrínók Világegyetemet kitöltő tengerét, mert a neutrínók tömege roppant kicsiny és alig hajlandók detektorainkkal kölcsönhatásba lépni. Az egyetlen, amit tehetünk, az, hogy laboratóriumban megmérjük a neutrínó tömegét, ott ugyanis olyan energiájú neutrínókat állíthatunk elő, amelyek valamivel szívesebben lépnek kölcsönhatásba más részecskékkel. Ennek alapján modellezhetjük, hogy milyen hatással lenne ez a fénylő anyag tömörüléseire, majd a számítógépes szimulációk eredményeit összehasonlíthatjuk az anyag megfigyelt tömörüléseivel. Ha viszont a sötét anyagot WIMP-ek (gyentek) alkotják, az ügyek sokkal izgalmasabbak. Ezeknek a részecskéknek ugyanis egymilliárdszor nagyobb a tömegük, mint amennyi a neutrínókéra feltételezhető, ezért detektorainkat is sokkal nagyobb energiával érik. Valójában kimutathatóságuk éppen a lehetőségeink határán van, feltéve persze, hogy elég nagy számban vannak jelen ahhoz, hogy a sötét anyag teljes tömegét ezek alkossák.

Jelenleg Nagy-Britanniában és az Egyesült Államokban számos kísérletező csoport foglalkozik olyan föld alatti detektorok fejlesztésével, amelyekkel megpróbálják felfedezni a WIMP-ek (gyentek) kozmikus óceánját. Ha ezen részecskék egyike eltalálja egy kristályrácsba ágyazódó atom magját, akkor ennek hatására a mag visszalökődik, a részecske által leadott energia pedig kissé felmelegíti a kristályt. Ha csupán egy kilogramm tömegű anyagot figyelünk, akkor naponta egy és tíz közötti számú ilyen eseményt várhatunk. Ha minden más zavaró hatást sikerülne kiszűrniük – a kozmikus sugárzástól kezdve a radioaktív bomlásokon keresztül egészen az egyéb, földi eredetű eseményekig –, akkor lehetséges lenne kimutatni, hogy valóban körülvesznek-e bennünket a WIMP-ek (gyentek). A zavaró jelek kiküszöbölése azáltal érhető el, hogy a detektort a Föld alá helyezzük, egy hűtőszekrény belsejébe, amely az abszolút nulla fok közelébe hűti le a detektort, ráadásul az egész hűtőszekrényt elnyelő anyaggal vesszük körül.



4.7. ábra: Egy, a WIMP-ek (gyentek) kimutatására talán alkalmas fizikai folyamat. Egy 1 milliméter oldalhosszúságú, kicsiny, kocka alakú kristályt néhány század kelvin hőmérsékletre hűtünk. A beérkező WIMP (gyent) eltalálja a kristályt alkotó egyik atom magját. A mag visszalökődik, de gyorsan lelassul, miközben a visszalökődés energiáját lökéshullám formájában leadja. Ez kicsiny, de mérhető nagyságú felmelegedést okoz a kristályban.

Reméljük, hogy az elkövetkező néhány évben már értesülhetünk az ehhez hasonló kísérletek első eredményeiről. Ezek azt ígérk, hogy segítségükkel váratlan módon, figyelemreméltó dolgokat tudhatunk meg a Világegyetemről. Az, hogy a Világegyetem szerkezete zárt vagy nyitott, az anyag legapróbb elemi részecskéinek tulajdonságaitól függhet. A kozmológia fontos kérdéseire talán nem a csillagos eget fürkésző távcsövek adják meg a választ, hanem a mély bányákban, a föld alatt rejtőző részecskedetektorok. Nincs kizárva, hogy az óriás galaxishalmazok csak egy-egy apró cseppet jelentenek a Világegyetem anyagának óceánjában. Az anyag legnagyobb része, amely talán még ahhoz is elég, hogy a téridő szerkezetét zárttá görbítse, egészen különleges, és eddig még a nagy részecskegyorsítókban sem látott elemi részecskék formájában lehet jelen. Ha ezekre a kérdésekre választ tudnánk adni, az a Világegyetem megismerésének történetében a legújabb kopernikuszi fordulatot jelentené. Nem csak hogy nem vagyunk a Világegyetem középpontjában, ráadásul még csak nem is a Világegyetemben legnagyobb mennyiségben előforduló anyagból épülünk fel.

Felfúvódás és a COBE kutatásai

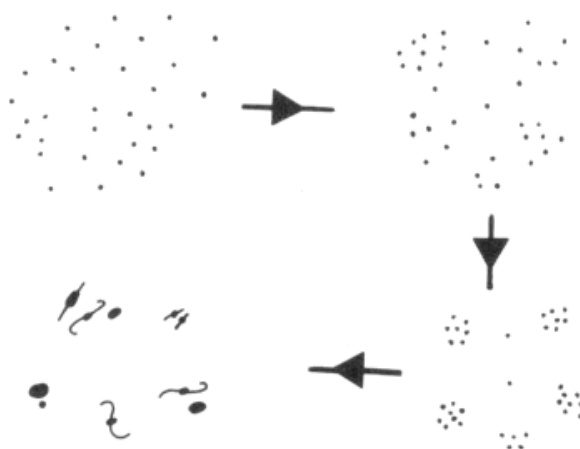
Ez olyasmi, mint a három cső problémája. Fogadjunk, hogy mostantól ötven percig Ön nem fog hozzánk szólni.

A VÖRÖSHAJÚAK EGYESÜLETE

1992 tavaszán az egész világ hírközlő szerveit lázba hozta az a bejelentés, mely szerint a NASA kozmikus háttérsugárzást kutató műholdja (COBE, Cosmic Background Explorer) kicsiny változásokat figyelt meg a mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékletében. Azáltal, hogy a COBE a Föld légkörén kívülről figyelte meg a háttérsugárzást, elkerülte a légköri változások által okozott megtévesztő ingadozásokat és sokkal pontosabb méréseket tudott végezni, mint a hasonló célú földi berendezések. A műhold nem csinált mást, mint az égboltot pásztázva, egymástól legalább tíz fok távolságban lévő irányokban (összehasonlításképp megemlítjük, hogy a telihold látszó átmérője fél fok), időnként bekapcsolta detektorát és meghatározta a kozmikus háttérsugárzásnak a két különböző irányból érkező fotonjai közötti hőmérséklet-különbséget. De vajon mit jelentenek ezek a kicsiny hőmérséklet-különbségek, és miért hoztak lázba mindenkit az eredmények (egyes szélsőséges elemzők még attól sem riadtak vissza, hogy minden idők legjelentősebb tudományos felfedezésének minősítsék a COBE eredményeit!)?

Bizonyos struktúrák, például a csillagok vagy a bolygók létezését fizikai alapismereteink révén könnyen megértjük. Amikor azonban már a galaxisokról van szó, sokkal bizonytalanabbak vagyunk. Nem tudjuk, hogy a természet különböző kölcsönhatásai közötti egyensúly elegendő magyarázatot nyújt-e a galaxisok és galaxishalmazok megfigyelt tömegének, alakjának és méretének megértéséhez. Csaknem bizonyosan nem. A galaxisok és a galaxishalmazok az anyag olyan szigetei, amelyekben a sűrűség nagyságrendekkel felülmúlja a Világegyetem többi részének átlagsűrűségét. A mi galaxisunk, a Tejútrend-

szer átlagsűrűsége például körülbelül egymilliószerosa a Világegyetem átlagsűrűségének. Az ilyen mértékű irregularitások létezése egyáltalán nem tekinthető rejtélyesnek. Ha az anyag tökéletesen egyenletes eloszlásából indulunk ki, amelybe beviszünk egy kicsiny inhomogenitást, akkor az hólabdaszerűen, egyre több anyagot magába gyűjtve egyre nagyobbra hízik. Minthogy bármely olyan hely, ahol az átlagosnál több anyag gyűlik össze, az átlagosnál erősebb tömegvonzást gyakorol a többi anyagra, ezért a környező, kisebb sűrűségű területek rovására mind több anyag halmozódik fel a csomóban.



5.1. ábra: A gravitációs instabilitás az anyag enyhén egyenetlen eloszlását fokozatosan egyre gyarapodó csomóvá alakítja át.

Ezt a „gravitációs instabilitás”-nak nevezett folyamatot elsőként Isaac Newton ismerte fel, mintegy háromszáz évvel ezelőtt. A gravitációs instabilitás mindenképpen fellép, függetlenül attól, hogy a Világegyetem tágul-e vagy sem, bár a táguló, Világegyetemben az anyag lassabban gyűlik össze, mert a tágulás miatt a még összegyűjthető anyag egyre távolabb kerül a csomósodás központjától. Az idő múlásával ezek az anyagcsomók olyan sűrűek lesznek a Világegyetem többi részéhez képest, hogy belsejük a továbbiakban már nem vesz részt a Világegyetem tágulásában. Ehelyett az anyag stabil szigeteivé válnak, amelyeket az alkotórészeik közötti tömegvonzás és az azok mozgásából származó, kifelé ható nyomás egyensúly tart

fenn. Belátható azonban, hogy ha a gravitációs instabilitás segítségével szeretnénk megmagyarázni a galaxisok és a galaxishalmazok keletkezését, akkor legalább hozzávetőlegesen ismernünk kell a tágulás kezdetekor, illetve a közvetlenül azt követően uralkodó fizikai viszonyokat. Az irregularitások által adott időpontig elért sűrűség attól függ, hogy mekkora volt az átlagsűrűség a csomósodás kezdetekor.

A legtávolabbi galaxisok és feltételezett őseik csillagászati megfigyelése arra utal, hogy a ma megfigyelhető nagyobb sűrűségű helyek már akkor is léteztek, amikor a Világegyetem kiterjedése a mainak még csak ötödrésze volt. Igazán arra vagyunk azonban kíváncsiak, hogy mekkorák voltak ezek a sűrűsödések, amikor a Világegyetem még csak egymillió éves volt, kiterjedése pedig jelenlegi méretének csak az ezredrészét érte el. A Világegyetem eme nagyon korai korszakának a fizikai viszonyait figyelte meg a COBE műhold, azt az időszakot tehát, amikor a sűrűsödések még egyáltalán nem hasonlítottak a ma megfigyelhető galaxisokra vagy galaxishalmazokra. A műhold által összegyűjtött információkat a mikrohullámú háttérsugárzás a későbbi időszakok eseményeitől érintetlenül őrizte meg számunkra. A COBE adatait mostanában kezdik kiegészíteni a legérzékenyebb földi kísérletekből származó adatok.

Amint láttuk, a Világegyetem korai, forró időszakából származó sugárzás a Világegyetem tágulásával arányosan hűl. Amikor a tágulás már egymillió éve tartott, addigra a sugárzás hőmérséklete annyira csökkent, hogy az atommagok és elektronok óceánjában megindulhatott az atomok és molekulák születése. Korábban ez azért nem volt lehetséges, mert az összekapcsolódó részecskéket azonnal szétszakították volna a sugárzás beléjük ütköző, nagy energiájú fotonjai. Egemillió évi tágulás után viszont a fotonok szabadon kezdtek kóborolni a téridőben, miközben a keletkezési körülményeikre vonatkozó információt magukban hordozták. Ezzel létrejött a ma is megfigyelhető mikrohullámú háttérsugárzás. Azokon a helyeken, ahol a sűrűség valamivel nagyobb volt az átlagosnál, a sugárzás hőmérséklete kicsit lassabban csökkent, mint a ritkább tartományokban. Ez azt jelenti, hogy a mikrohullámú háttérsugárzás ma pillanatfelvételt szolgáltat az anyag eloszlásáról a sugárzás létrejöttének

korában. Ezáltal tehát a csupán egymillió éves, még jóval a galaxisok megszületése előtti korban járó Világegyetem fizikai viszonyait vehetjük szemügyre.

A kozmológusok éveken át mindhiába keresték földi detektoraikkal a háttérsugárzás parányi ingadozásait. Ezeket csak a COBE műholdnak sikerült megtalálnia. A változások roppant kicsik, mindössze egy százezredrésznnyiek. Ez a szám viszont elárulja, hogy a gravitációs instabilitások segítségével hányszorosára kell erősödniük, hogy a Világegyetem egymilliárd éves korában megszülethessenek az első galaxisok és galaxishalmazok. Ez segíthet részletesen tisztázni azokat az eseményeket, amelyek a közbenső időszakban a galaxisok keletkezéséhez vezettek. A háttérsugárzás fluktuációinak felfedezése rendkívül izgalmas esemény volt, a kozmológusokat azonban nem különösebben lepte meg. Az igazi meglepetést a fluktuációk hiánya jelentette volna, mert akkor fel kellett volna tételeznünk, hogy a galaxisok a kezdeti sűrűsödések teremtette lehetőségek kihasználása nélkül születtek, azaz létrejöttük magyarázatához nem elegendő pusztán a gravitációs instabilitás folyamata.

A fluktuációk nagysága lehetőséget teremt a felfűvódó Világegyetem hipotézisének ellenőrzésére is. Annak megértéséhez, hogy ez miképpen lehetséges, kicsit alaposabban szemügyre kell vennünk a felfűvódás jelenségét.

A felfűvódás gondolatának felmerülése előtt a kozmológusok alig foglalkoztak a galaxisok és a galaxishalmazok eredetének kérdésével. Nem állt rendelkezésre semmiféle támpont, amelynek alapján meg lehetett volna mondani, hogyan és mikor jöhettek létre az anyag és a sugárzás sűrűségének első fluktuációi és mekkorák voltak ezek a sugárzás és az anyag szétcsatolódásának az idején. Az egyetlen lehetőség az volt, hogy a galaxisok ma megfigyelhető eloszlását időben visszafelé követjük, miközben feltételezzük, hogy az események a gravitációs instabilitás hatására következtek be, és ennek alapján megpróbáljuk kikövetkeztetni, hogy adott múltbeli időpontban mekkora fluktuációkat kell megkövetelnünk. Sajnos a Világegyetemben feltételezhetően mindenkor jelen lévő, véletlenszerű fluktuációk sokkal kisebbek voltak annál, ami a ma megfigyelhető szerkezetek létrehozásához szükséges.

A szakemberek hamarosan rájöttek, hogy a felfúvódó modell erre a rejtélyre is új megoldási lehetőséget kínál. Ha a Világegyetem egy kicsiny tartománya átmenetileg felgyorsult tempóban tágul, akkor a véletlenszerű fluktuációk is felfúvódnak és ezáltal a ma látható Világegyetem peremén kívül eső irregularitások csíráivá válnak. A fluktuációk nagyságát az anyag antigravitáló formái (vagyis a negatív S értékkel jellemezhető anyagfajták) határozzák meg, amelyek egyúttal a tágulás felgyorsulásáért is felelősek. Ha valakinek van megfelelő jelöltje egy ilyen anyagfajtára, akkor kiszámíthatja, hogy mekkora fluktuációk jönnek létre a felfúvódás időszakában. Ez mindenesetre jelentős lépés előre, a galaxisok és galaxishalmazok eredetének megismerése felé vezető úton. Noha nem kell tudnunk, hogyan kezdődött a Világegyetem története, azt viszont tudnunk kell, hogy az antigravitáló anyag pontosan milyen fajtái váltották ki a felfúvódást, mert a keletkező irregularitások nagysága nagyon érzékenyen függ az anyag fajtájától és attól, hogy ennek milyen erős a kölcsönhatása önmagával és a közönséges anyagfajtákkal. Ha a felfúvódás bekövetkezett, a COBE által mért jelek erőssége elárulja, milyen erősek voltak ezek a kölcsönhatások. Szerencsére a COBE mérési eredményei még ennél is több információt rejtenek; méghozzá olyan információt, amely nem függ kritikus mértékben az antigravitációt létrehozó anyag fajtájától.

Ha feltérképezzük a galaxisok és a galaxishalmazok eloszlását a Világegyetemben, akkor azt tapasztaljuk, hogy a csomósodás mértéke attól függ, mekkora tartományt vizsgálunk. Ahogy egyre nagyobb és nagyobb anyagtömegeket veszünk szemügyre, azt tapasztaljuk hogy a csomósodás egyre jobban kisimul, amikor tehát a Világegyetem sűrűség-ingadozásainak nagyságáról beszélünk, mindig meg kell azt is mondanunk, hogy milyen léptékű jelenségeket vizsgáltunk. Ezeket a léptéktől függő változásokat az irregularitások „spektrális meredekségének” nevezzük. Nagysága megfigyelésekből határozható meg, vagy a galaxishalmazok eloszlásának tanulmányozása alapján, vagy pedig a mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékletének az égbolt nagy területein mutatott változásának megfigyelése révén. A felfúvódás elméletének egyik legszimpatikusabb vonása, hogy előrejelzése szerint nagy valószínűséggel meghatározott

spektrális meredekség jön létre. A relatív hőmérséklet-ingadozás – az égbolt két különböző irányában mért hőmérséklet különbségének és az átlagos hőmérsékletnek a hányadosa – független attól, hogy mekkora a két mérési irány által bezárt szög. Az ilyen spektrális meredekséget „lapos”-nak nevezzük.

A COBE megfigyelései azért voltak alapvető fontosságúak, mert végső soron bizonyítékot szolgáltatott azoknak a fluktuáció-embrióknak a létezésére, amelyekből később a galaxisok és a galaxishalmazok kifejlődtek. A kozmológusok számára azonban mindemellett az a legérdekesebb, hogy a fluktuációk spektrális meredeksége megegyezik-e a legegyszerűbb felfűvódó modell előrejelzésével, vagy nem. A COBE műhold éveken keresztül, több, egymástól független észlelési periódusban gyűjtötte az adatokat. A nyers adatokat bonyolult előfeldolgozásnak vetették alá, melynek során eltávolították a helyi kozmikus környezetünkből származó, ismert hatásokat, mint például a mesterséges holdak elektronikus egységeitől származó, vagy a Hold és a Föld közelségéből adódó zavarokat, ezek ugyanis statisztikus bizonytalanságokat okoznak az eredményekben. Az első észlelési forduló eredményeit 1992-ben publikálták. Ezek szerint a spektrális meredekség 70 százalékos-bizonyossággal $-0,4$ és $+0,6$ közötti. (A lapos spektrális meredekséghez tartozó érték nulla lenne.) Amikor 1994 elején további COBE észlelési eredményeket is feldolgoztak, az eredeti adatokat is újra elemezték, újabb számítógépi programok segítségével. Megállapították, hogy 70 százalékos bizonyossággal minden adat összhangban van a spektrális meredekség nulla és $+1,1$ közötti értékével. A további mérési eredmények elemzése remélhetőleg tovább szűkíti majd azt a tartományt, amelybe a meredekség értéke eshet. Minél közelebb esnek az eredmények a nulla értékhez, annál inkább megerősíteni látszanak a legegyszerűbb felfűvódó Világegyetem modellek jóslatait.

A COBE műhold csak egymástól legalább tíz fok távolságban lévő irányokban végzett mérések alapján tudta a spektrális meredekséget meghatározni. Kisebb szögtávolságok esetére csak akkor lehetne méréseket végezni, ha egy jóval nagyobb kísérleti berendezést sikerülne a világűrbe küldeni. Jelenleg számos földi obszervatóriumban folynak nagy pontosságú mérések, így pél-

dául a kaliforniai Owens-völgyben, a Kanári-szigeteken fekvő Tenerifében és a Déli-sarkon. (A Föld felszínéről viszont a nagy szögtávolságban lévő irányokban nem lehet egyidejűleg méréseket végezni, mert a földi légkör állapotában a nagy szögtávolságban fekvő irányokban jelentős lehet a különbség, ami meghamisítja a mérési eredményeket.) 1994 januárjában a tenerifei kutatók négy foknál nagyobb szögtávolságokra végzett méréseik eredményét publikálták. Eszerint – a COBE méréseivel összhangban – a spektrális meredekség nagyobb, mint -0,1.

Következtetéseinket tehát az alábbiakban foglalhatjuk össze. Megállapítottuk, hogy a Világegyetem tágulásának nagyon rövid ideig tartó gyorsuló szakasza, az úgynevezett „felfúvódás” során szükségszerűen helyről helyre kicsiny változások léptek fel a Világegyetem átlagsűrűségében. Ezen változások egy bizonyos spektrális meredekséggel jellemezhetők. Ez a spektrális meredekség rajtahagyja a saját ujjlenyomatát a mikrohullámú háttérsugárzáson, így módunkban áll ellenőrizni, hogy a COBE műhold által megfigyelt spektrális meredekség összhangban van-e a felfúvódó Világegyetem elméletek előrejelzéseivel. Eddig úgy tűnik, hogy igen. Ezért közvetlen módon is ellenőrizhetjük a Világegyetem 10^{-35} másodperces korában lezajló fizikai folyamatokat. Ebben az ügyben azonban számítanunk kell a jó szerencsénkre. Nincs okunk feltételezni, hogy a Világegyetemet olyanra tervezték, hogy az a számunkra kényelmes legyen. Eltűnődhetünk azon, hogy valaha is rátalálunk-e a természet összes törvényére, és van-e elég eszünk ahhoz, hogy csupán az emberi gondolkodás segítségével feltárjuk a törvényekben rejtőző legmélyebb matematikai szerkezeteket. Tételezzük fel, hogy sikerül megtennünk. Ebben az esetben figyelemreméltóan nagy szerencse lenne, ha még annak a módját is megtalálnánk, hogyan lehet elképzeléseinket kísérletileg ellenőrizni. Miért kellett volna bármilyen nyomnak fennmaradnia a Világegyetem első pillanatainak idejéből, kizárólag azért, hogy számunkra lehetővé tegye az arra az időszakra vonatkozó elméleteink helyességének ellenőrzését? A Világegyetem legmélyebb szerkezetéről és távoli múltjáról ritkák és egymástól távoliak az alapvetően fontos megfigyelési tények, azonban ez esetben nem az a csodálatos,

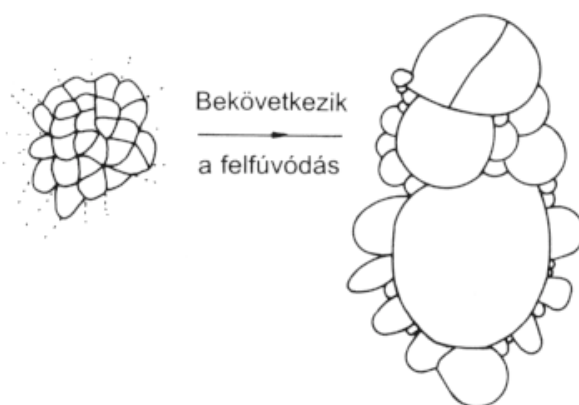
hogy csak ilyen kevés maradványt találunk, hanem az, hogy egyáltalán léteznek ilyenek.

Felvillantottunk egy-két gondolatot a felfúvódó Világegyetemről és annak megfigyelési következményeiről. Egészen mostanáig a Világegyetem tágulásáról felrajzolt fenti képet csak ígéretes elméletnek nevezhattuk. A COBE műhold adatainak és az azokat kiegészítő földi kísérletek eredményeinek jövőbeni feldolgozása alapján esetleg majd ki lehet mutatni, hogy az elmélet előrejelzései egyeznek vagy ellentmondásban állnak-e a kozmikus háttérsugárzás változásaival. Optimista elméleti kutatóhoz illően, tételezzük azonban fel, hogy a Világegyetem kezdetének megfelelő magyarázataként elfogadjuk a felfúvódást és mindaddig kitartunk emellett, amíg helyességét a megfigyelések egyértelműen ki nem zárják. Vajon, ebben az esetben milyen következményekkel van a felfúvódás a Világegyetem kezdetéről alkotott képünkre?

Először is emlékeztetünk arra, hogy a felfúvódás akkor következik be, ha jelen vannak olyan anyagfajták, amelyekhez az S mennyiség negatív értéke tartozik. Márpedig ez a feltétel éppen ellentétes azzal, amit Penrose, Hawking, Geroch és Ellis a szingularitási elméletükben feltételezett. Felfúvódó Világegyetemben viszont ezek a szingularitási elméletek nem alkalmazhatók, ezért egyáltalán nem vonhatók le következtetések a Világegyetem kezdetére vonatkozóan. A felfúvódó Világegyetem esetén lehetséges, hogy volt valaha egy szinguláris kezdet, de az is lehet, hogy nem volt. E bizonytalanság ellenére a felfúvódás egészen különleges módon kitágítja a képzeletünket arra vonatkozóan, hogy milyen lehetett a Világegyetem.

Amikor leírtuk a felfúvódás mikéntjét, akkor hallgatólagosan azt tételeztük fel, hogy a folyamat a Világegyetemben mindenütt ugyanúgy ment végbe. A valóságban a felfúvódás az egyes helyeken kissé eltérő módon mehetett végbe. Tételezzük fel, hogy a Világegyetemet a felfúvódása előtti korszakában cellákra osztottuk, melyek mindegyike elegendően kicsiny ahhoz, hogy a fénysugár még a felfúvódás kezdete előtt teljes egészében bejárhatta. A hőmérséklet és a sűrűség az egyes cellákban eltérő. Lehet, hogy az eltérések a véletlen ingadozások következményei és ezért kicsik, de az is lehet, hogy az eltérő kezdeti

állapot következményei, amely esetben viszont jelentősek is lehetnek. Akárhogy is, ennek az a következménye, hogy az egyes cellákban a felfúvódás kissé eltérő módon megy végbe. Egyik vagy másik mikroszkopikus cella iszonyú méretűre fúvódik fel, úgy, hogy átmérője legalább tizenöt milliárd fényév lesz, míg akadnak olyan cellák is, amelyekben gyakorlatilag be sem következik a felfúvódás.



5.2. ábra: A kaotikus felfúvódás. A nagyon korai Világegyetem kicsiny tartományaiban különböző mértékű a felfúvódás. Csak az eléggé felfúvódó cellák képesek legalább kilenc milliárd fényév kiterjedésű világegyetemeket létrehozni, amelyekben azután megszülethetnek a csillagok, a szén és végül az eleven megfigyelő.

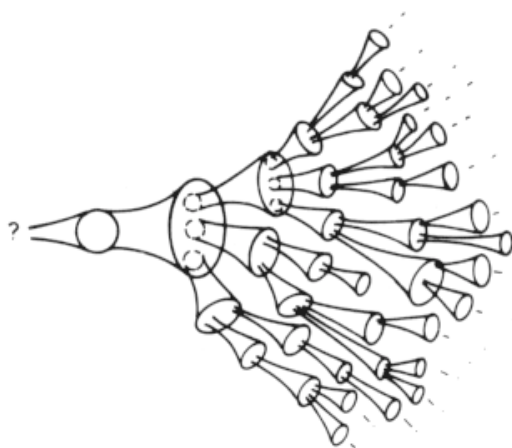
Ezek után elképzelhetünk egy akár végtelen kiterjedésű Világegyetemet is, amelyben kaotikusan véletlenszerű kezdeti állapotok uralkodtak. A tér egyes tartományaiban az ott uralkodó feltételek megengedték az felfúvódást, akár olyan mértékben is, hogy létrejöhetett a ma megfigyelhető kiterjedésű, látható Világegyetem. Más tartományokban a feltételek ugyanezt nem engedték meg. Ha valamilyen trükkös eljárással sikerülne túllátnunk a látható Világegyetem peremén, akkor azon túl számos ilyen, a miénktől eltérő módon felfúvódott cellával találkozhatnánk. Ezekben a sűrűség és a hőmérséklet különbözhet a mi Világegyetemünkben tapasztalttól. Ha ilyen megfontolások után veszünk szemügyre néhány felfúvódó modellt, akkor kiderül, hogy még jelentősebb különbségek is létezhetnek: így

például az is előfordulhat, hogy a tér dimenzióinak száma is világegyetemről világegyetemre változik.

A kaotikus felfűvódó Világegyetem néven ismert modellt elsőként Andrej Linde szovjet fizikus vetette fel 1983-ban. A modell új elgondolásokat vezet be a Világegyetem tanulmányozásában. Mint korábban már kifejtettük, a látható Világegyetem nagy mérete és idős kora nem a pusztán véletlen műve, hanem szükséges feltétele az általunk életnek nevezett, bonyolult biokémiai jelenségek előfordulásának. Az összes, különböző mértékű felfűvódást mutató cella közül csak a legalább több milliárd fényév átmérőjűre felfűvódókban keletkeznek csillagok, ami elengedhetetlen ahhoz, hogy a bonyolult biológiai anyagokhoz szükséges nehéz elemek létrejöjjenek. Ennek viszont fontos következménye van. Felettébb valószínűtlen, hogy valamelyik cellában ilyen óriási mértékű a felfűvódás, azonban ennek a lehetőségét mégsem zárhatjuk ki teljesen, hiszen azt tapasztaljuk, hogy mi magunk is egy ilyen valószínűtlenül nagy cella lakói vagyunk. Sőt, mi több, ha a Világegyetem végtelen kiterjedésű, akkor várhatóan a cellák minden fajtájának elő kell fordulnia benne, így többek közt olyanoknak is, amelyek a mi látható Világegyetemünkhöz hasonló, nagy méretű tartományokká fejlődnek. Linde a felfűvódás imént vázolt kaotikus képének egy további, meglepő tulajdonságára is rájött. Egyes felfűvódó cellák belsejében véletlen fluktuációk lépnek fel, ami lehetővé teszi, hogy a cella egyes al-cellái felfűvódjanak, amelyekben újabb felfűvódó al-al-cellák keletkezhetnek, és így tovább, egészen a végtelenségig. Ha tehát a felfűvódás egyszer beindul, akkor úgy tűnik legalábbis – önfenntartóvá válik. A látóhatárunkon túl létezniük kell olyan tartományoknak, amelyekben éppen most következik be a felfűvódás. Úgy tűnik, hogy ennek az állandósuló felfűvódási folyamatnak nem szükségszerűen van kezdete, bár ez a kérdés egyelőre még megoldatlan.²

A kaotikus és az örökké tartó felfűvódás egymásra épülő elméletei jól érzékeltetik azt az utat, ahogy a felfűvódó Világegyetem elképzelése kitágította a térről és az időről vallott felfogásunkat. Az elmélet azt sugallja, hogy a Világegyetem sokkal bonyolultabb, mint amilyennek a látható Világegyetemnek nevezett aprócska részét megfigyelve feltételeztük. A felfűvódó Világ-

egyetem elméletének felvetése előtt az ilyen lehetőségeket egyszerűen metafizikus spekulációknak minősíthettük. A tudományosan jól megalapozott részecskefizikai modellekre épülő felfűvódó Világegyetem modell ezeket a metafizikainak vélt okfejtéseket a korai Világegyetemben uralkodó fizikai feltételek lehetséges következményévé teszi. A felfűvódás gondolatának felmerülése előtt a legésszerűbbnek az a feltételezés tűnt, hogy a látható Világegyetem nagyban-egészében hasonló a Világegyetem többi részéhez. Ma már ezt egészen másképp látjuk.

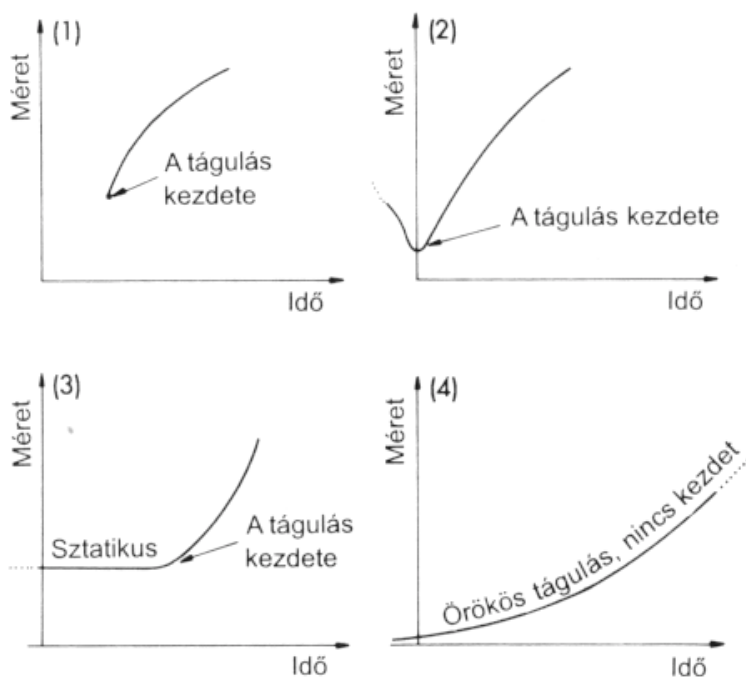


5.3. ábra: Az örökké tartó felfűvódás. Minden egyes felfűvódó cella újabb, ugyancsak felfűvódó alcellákat hoz létre, és ez így folytatódik a végtelenségig.

A felfűvódó Világegyetem kozmológiája izgalmas lehetőségeket vet ugyan fel, az elmélet egyes részei azonban még bizonytalan lábakon állnak. A felfűvódás segítségével megértjük a látható Világegyetem számos tulajdonságát, függetlenül attól, hogy miképpen kezdődött a Világegyetem tágulása. Ezzel óriási lehetőség birtokába jutottunk: meg tudjuk jósolni a jelent, anélkül, hogy ismernünk kellene a múltat. Van azonban a dolognak egy árnyoldala is, ugyanaz a hátrány, amit már az 1. fejezet végén is említettünk. Ha a jelen nem függ kritikus mértékben attól, hogyan kezdődött a Világegyetem története, akkor nem következtethetünk a jelen állapot megfigyeléséből a múltbeli körülményekre. A felfűvódás után minden tiszta lappal indult.

De mi történt a felfúvódás előtt? Másképpen megfogalmazva: mi van, ha a leírtak közül csak egyetlen egy cella felfúvódás előtti történetével foglalkozunk? Mire bukkanhatunk, ha ezt az időben visszafelé követni próbáljuk? Természetesen lehetséges, hogy egy végtelen sűrűségű és hőmérsékletű szingularitást találunk. Ez azonban nem biztos, mert legalább négy másik lehetőséget is létezik, amelyek mindegyike összhangban van mindazzal, amit ma a Világegyetemről tudunk.

- (1) A tér az idő és az anyag Világegyeteme nem végtelen sűrűségű állapotban veszi kezdetét, hanem véges sűrűségű állapotban jön létre, és kezdi meg tágulását.
- (2) A Világegyetem egy korábbi maximális, de véges összehúzódását követően mintegy „visszapattan” a tágulás állapotába.³
- (3) A Világegyetem tágulása hirtelen indul meg egy sztatikus állapotból, amely a végtelen örökkévalóság óta tart.
- (4) A Világegyetem a múltba tekintve egyre kisebbre zsugorodik, anélkül, hogy a nulla kiterjedésű állapotot elérné. A Világegyetemnek nincs kezdete.



5.4. ábra: A Világegyetem tágulásának kezdetére vonatkozó néhány hipotézis.

Miért ilyen bizonytalanok az ismereteink? Miért olyan nehéz a meglévő fizikai elméleteinket az első másodperc törtrészére, extrapolálni és ennek alapján eldönteni, hogy volt vagy nem volt meghatározott kezdete a világnak? Korábban már rávilágítottunk a tágulás történetének néhány lényeges mozzanatára. Egy másodpercnyi tágulás után a hőmérséklet már elég alacsony volt ahhoz, hogy a Világegyetem állapotának leírására a Földön ismert fizikai törvények alkalmasak legyenek. Ebből az időszakból közvetlen bizonyíték maradt fenn, így következtetéseink helyességét ellenőrizni tudjuk. Ha még messzebbre megyünk vissza az időben, egészen a tágulás kezdete utáni 10^{-11} másodpercig, akkor a fizikai viszonyok olyanok, amelyhez hasonlóakat a Földön csak a legnagyobb részecskegyorsítókban tudunk előállítani. Ennél is távolabbra utazva az időben, olyan fizikai viszonyokkal találjuk szembe magunkat, amelyeket a Földön még részlegesen sem tudunk szimulálni. Sőt, ez esetben már azt sem tudjuk egészen pontosan, hogyan kell ilyen nagy energiákon a természet törvényeit alkalmazni. Ezért folyamatosan azon dolgozunk, hogy felépítsük az anyagot alkotó elemi részecskék helyes és átfogó elméletét, beleértve a viselkedésüket szabályozó kölcsönhatásokat és a Világegyetem tágulására gyakorolt hatásukat. Mindezen kutatások azon a feltevésen alapulnak, mely szerint Einstein gravitációelmélete helyesen írja le a Világegyetem egészének tágulását. Igaz, hogy az elmélet meglepő sikerrel állta ki az összes lehetséges megfigyelés próbáját. Ez azonban nem jelenti azt, hogy nyugodt lélekkel alkalmazhatjuk egészen a tágulás kezdetéig. Éppúgy, ahogy Newton gravitációelmélete csődöt mond, amikor a fényéhez közeli sebességű mozgásokkal és nagyon erős gravitációs terekkel kell dolgozni, várható, hogy létezik a fizikai viszonyoknak egy olyan szélsőséges tartománya, ahol végül is Einstein csodaszép elmélete is kudarcot vall. Erre akkor kell számítanunk, amikor az első 10^{-43} másodperc eseményeit akarjuk leírni. Ebben a „Planck-idő”-nek nevezett időszakban az egész Világegyetemet a kvantummechanikai bizonytalanságok uralják, ezért teljes leírása csak akkor lehetséges, ha sikerül a gravitációt a természet másik három kölcsönhatásával a „Mindenség Elméleté”-ben⁴ egyesíteni. Ha el akarjuk dönteni, hogy bármi-

lyen értelemben volt-e a világnak kezdete, akkor előbb meg kell értenünk a gravitáció viselkedését ebben az időszakban. Ez a viselkedés az anyag kvantummechanikai sajátosságainak megnyilvánulása.

A Planck-idő hétköznapi valóságunktól való szédítő távolságát akkor tudjuk igazán értékelni, ha szemügyre vesszük az atomoknál kisebb elemi részecskék világát leíró kvantummechanikai képet, amelyet az elmúlt hetven év fizikusgenerációi igen részletesen kidolgoztak. A kvantummechanika a fizika legpontosabb része. A technika erre épülő csodái a számítógéptől a CCD kameráig ma már mindennapjaink szerves részét alkotják. Ha megpróbáljuk megfigyelni a nagyon parányi dolgokat, akkor maga a megfigyelés folyamata jelentősen megzavarja a vizsgálni kívánt állapotot. Ennek következtében létezik a megfigyelés pontosságának egy alapvető korlátja, amelynél pontosabban egyetlen tárgynak sem mérhetjük meg egyidejűleg a helyét és a sebességét. A szubatomi világban nem jósolhatjuk meg egyértelműen valamely kísérlet, mérés vagy egyéb kölcsönhatás végeredményét, csak a lehetséges kimenetek bekövetkezésének valószínűségét. Ezt a helyzetet sokszor úgy szokták megfogalmazni, hogy az anyag és a fény, amelyeket általában parányi részecskékből állónak gondolunk, bizonyos körülmények közt hullámként viselkedik. Ezeket a „részecskehullámokat” azonban nem szerencsés mondjuk a víz felszínén kialakuló hullámokhoz hasonlítani, sokkal inkább például az érzelmi hullámokhoz, hiszen itt tulajdonképpen információhullámokról van szó. Ha a környezetünkön végigsöpör egy érzelmi hullám, akkor ennek következtében sokkal nagyobb valószínűséggel fordul elő ott az érzelemgazdag viselkedés, mint máskor. Hasonlóképpen, ha elektronhullám éri a detektorunkat, akkor ez semmi többet nem jelent, mint azt, hogy nagyobb valószínűséggel fogunk egy elektront detektálni. A kvantummechanika leírja az anyagot alkotó minden egyes részecskefajta viselkedését, és ennek megfelelően egyik vagy másik tulajdonság detektálásának a valószínűségét.

Az anyag minden egyes részecskéjéhez a kvantummechanikai hullámtermészetéből adódóan meghatározott hullámhossz tartozik.⁵ Ez a hullámhossz fordítva arányos a testek tömegével.

Ha valamely tárgy sokkal nagyobb a saját kvantummechanikai hullámhosszánál, akkor minden gyakorlati célra nyugodtan elhanyagolhatjuk az illető tárgy kvantummechanikai sajátosságaiból eredő bizonytalanságokat. Nagy tömegű testek esetén, mint például Ön vagy én, a kvantummechanikai hullámhossz elhanyagolhatóan kicsiny, ezért az útesten való áthaladáskor nyugodtan elhanyagolhatjuk a közeledő autó pozíciójának kvantummechanikai bizonytalanságát.⁶

Tételezzük fel, hogy a fenti megfontolásokat a látható Világegyetemre alkalmazzuk. Ma a Világegyetem sokkal nagyobb, mint a kvantummechanikai hullámhossza, ezért szerkezetének leírásakor a kvantummechanikai hatásokat nyugodtan elhanyagolhatjuk. Az időben visszafelé haladva azonban a látható Világegyetem sugara egyre csökken, hiszen azt úgy kapjuk meg, hogy a Világegyetem T korát megszorozzuk a fény sebességével. A $T = 10^{-43}$ másodperces Planck-idő azért mérőföldkő a Világegyetem történetében, mert azt megelőzően a látható Világegyetem mérete kisebb, mint a kvantummechanikai hullámhossza, ezért úrrá lesznek rajta a kvantummechanikai bizonytalanságok. Amikor ez bekövetkezik, nem ismerjük semminek a helyét, sőt, még a tér geometriai szerkezetét sem tudjuk meghatározni. Ez az a pillanat, amikor Einstein gravitációelmélete csődöt mond.

Ez a helyzet arra készítette a kozmológusokat, hogy megpróbálják létrehozni a gravitáció új elméletét, amelyben teljes mértékben figyelembe veszik a gravitáció kvantumtermészetét, és ennek alapján megtalálják a lehetséges kvantumos Világegyetemeket. A következőkben áttekintünk majd néhányat e merész próbálkozások eredményei közül. Szerzőik egyike sem állítja, hogy megtalálta a végső megoldást, az eddigi elképzelések annak csak egy-egy kis részét alkothatják. Az azonban bizonyosnak látszik, hogy a végső elmélet legalább ilyen radikálisan bánik majd a ma még dédelgetett kozmológiai fogalmainkkal.

A látható Világegyetem tágulásának lehetséges kezdetét ábrázoló rajzokon (5.4. ábra) bemutattuk, mit tapasztalhatunk, ha a Világegyetem méretét a múltban visszafelé követjük. Egyes esetekben úgy tűnik, mintha a tér az idő és minden egyéb fejlődése egy szingularitásból indult volna ki. Más esetekben a tér és

az idő mindig is léteztek. Van azonban egy még izgatóbb lehetőség. Tételezzük fel, hogy a Planck-korszakig visszaérve, magának az időnek a természete változik meg. Ettől kezdve a Világegyetem kezdetének a kérdése szorosan összefonódik magának az időnek a természetével.

Az idő még rövidebb története

Mycroft bátyó jobb belátásra tér.
A BRUCE-PARTINGTON-TERVEK

Az idő igazi természete már nagyon régóta okoz fejtörést az embereknek. A különböző kultúrák gondolkodói évezredek óta rendszeresen szembetalálkoztak a következő problémával: elképzelhetjük-e az időt egy változatlan és mindenek fölötti létezőként, amelyre rárakódnak a különféle események, vagy helyesebb-e maguk az események által meghatározottnak tekintenünk, olyan értelemben, hogy ha nem történnének események, akkor idő sem lenne. Ez a különbségtétel felettébb fontos a számunkra, mert az első feltételezés ahhoz a végkövetkeztetéshez vezet el, hogy kezdetben létezett az idő, amelyben a Világegyetem keletkezett. A másik lehetőség értelmében az időt úgy tekinthetjük, mint ami a Világegyetemmel együtt jött létre. Nem létezett tehát a Világegyetem kezdete „előtt” fogalma, hiszen hol volt, hol nem volt, akkoriban még idő sem volt.

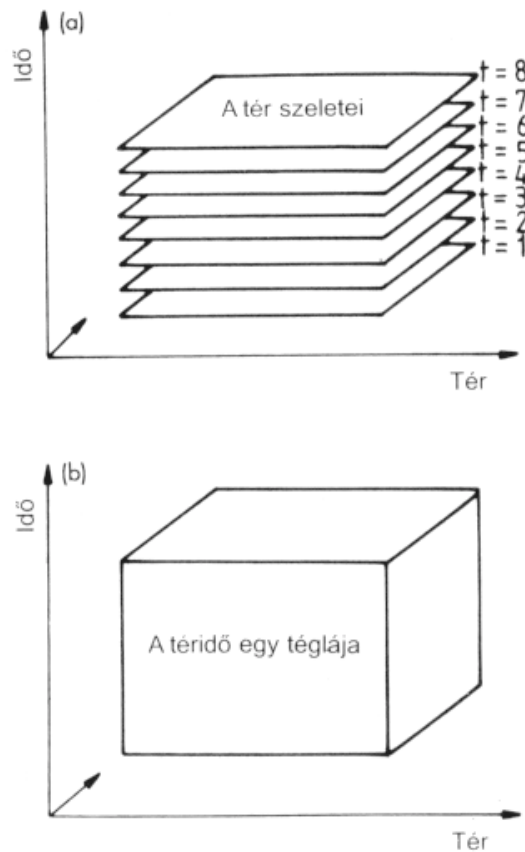
Hétköznapi tapasztalataink alapján az idő múlását közismert természeti eseményekhez viszonyítjuk: az inga lengéséhez a Föld gravitációs terében, a napóra által vetett árnyéknak a Föld forgása következtében látszó mozgásához, vagy egy céziumatom rezgéséhez. Nem tudjuk megmondani, „micsoda” is az idő, legfeljebb csak azt, hogyan kell a múlását mérni. Az időt gyakran a dolgok változásának módjával határozzuk meg. Ha ez a felfogás helyes, akkor elképzelhetetlenül különös dolgoknak kell történni az idő természetével, amikor az ősrobbanás utáni első pillanatok roppant szélsőséges körülményeit vizsgáljuk.

Isaac Newton tizenhetedik századi világképe tapasztalattól független, transzcendens státuszt biztosított az időnek. Az idő feltartóztathatatlanul és egyenletesen múlt, egyáltalán nem zavartatva az eseményektől és a Világegyetemet alkotó objek-

tumoktól. Einstein időről vallott felfogása gyökeresen eltérő volt. Szerinte a tér geometriáját és az idő múlásának ütemét egyaránt a Világegyetemben lévő anyag határozza meg. Akárcsak az Einstein-féle tér természete, éppúgy az einsteini időfelfogás is azon az alapfeltevésen nyugodott, hogy semminek sincs kitüntetett szerepe a Világegyetemben. Teljesen mindegy, hol vagyunk és milyen mozgást végzünk, az elvégzett kísérletekből mindig pontosan ugyanazokra a fizikai törvényekre következtetünk.

Ez a megfigyelőkkel való roppant demokratikus bánásmód Einstein általános relativitáselméletében azt jelenti, hogy a Világegyetemben nincs kitüntetett módszer az idő megállapítására. Soha senki nem mérheti meg az „idő”-nek nevezett abszolút jelenséget, mert amit mérünk, az mindig a Világegyetemben végbemenő valamilyen fizikai változás üteme. A megfigyelt jelenség sokféle lehet, például a homokszemek pergése a homokórában, az óra mutatóinak elmozdulása vagy a csap csepegése. Számptalan olyan változás létezik, amelynek megfigyelését felhasználhatjuk az idő múlásának meghatározására. Kozmikus léptékben gondolkodva például a szerte a Világegyetemben elhelyezkedő megfigyelők a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékletének csökkenését használhatják az idő mérésére. Egyik mérési módszer sem látszik alapvetőbbnek a többinél.

Tanulságos, ha a tér és az idő egész Világegyetemét – az Einstein-féle „téridőt” a tér szeleteiből álló toronynak képzeljük el. (Az egyszerűség és a szemléletesség kedvéért tekintsük a teret három helyett csak két dimenziósnak.) Az egymásra rakott szeletek mindegyike egy adott időpontban a tér egészét képviseli. Az idő nem egyéb, mint a tér egymáson tornyosuló rétegeinek azonosítására szolgáló címke. Belátható, hogy a téridő-tornyot sokféleképpen, azaz különböző irányok mentén szeletelhetjük fel. A felszeletelés minden egyes lehetséges módja az idő meghatározásának egy-egy különböző módját jelenti. Maga az egységes téridő azonban független attól, hogy milyen idő szerinti szeletelési módot választunk, ami azt jelenti, hogy a téridő sokkal alapvetőbb fizikai létező, mint a tér és az idő külön-külön.

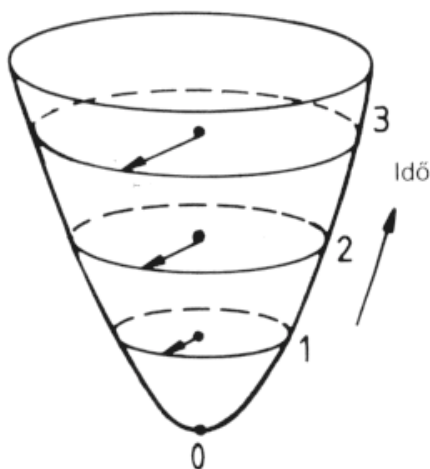


6.1. ábra: (a) a tér különböző, $t=1$ -től $t=8$ -ig jelölt időpontokban vett szeleteiből összerakott torony; (b) a téridő egy téglája, amelyet a tér szeleteiből állítottunk össze. Ezt a téglát sokféle, az (a) esettől különböző módon szeletelhetjük fel.

A tér és az idő Einstein-féle leírása szerint a téridő alakját a benne lévő anyag és energia határozza meg. Ez azt jelenti, hogy az idő bizonyos geometriai tulajdonságok révén határozható meg, ilyen tulajdonság például az egyes szeletek görbülete, vagy ami egyenértékű ezzel, az anyag sűrűsége és eloszlása az egyes szeleteken belül, minthogy ez határozza meg a görbületét. (A jelenség egyszerű szemléltetése a 6.2. ábrán látható.) Felsejlik tehát előttünk egy olyan módszer, amelynek segítségével az időt – beleértve a kezdetét és a végét – összekapcsolhatjuk a Világegyetem által tartalmazott dolgok valamilyen tulajdonságával.

Annak ellenére, hogy az általános relativitáselmélet bevezeti ezeket a finomságokat az idő természetére vonatkozóan,

mégsem sikerül megállapítania, milyen volt kezdetben a Világegyetem. A mi téridőnk tornyának mindig van egy legalsó szelete, amelyik meghatározza, hogy az összes többi, felette lévő milyen lesz.



6.2. ábra: Ezt a kupola alakú téridőt egyre nagyobb sugarú korongokból raktuk össze. Minden koronghoz egy „időpont” tartozik, amit a korong sugara jelent, így ez a geometriai úton meghatározott „idő” a kupola teteje felé haladva 0-tól 3-ig nő.

A kvantummechanikában az idő természete még ennél is rejtélyesebb. Ha az idő fogalmát operacionálisan, a Világegyetem más tulajdonságai révén definiáljuk, akkor mindezen tulajdonságok kvantummechanikai eredetű bizonytalansága az idő fogalmában is tükröződik. A Világegyetem kvantummechanikai leírására tett mindennemű próbálkozásnak nagyon szokatlan következményei voltak az időről alkotott elképzeléseinkre. A legmeghökkenőbb az a kijelentés, mely szerint a kvantumkozmológia lehetővé teszi számunkra, hogy a Világegyetem lényegében a semmiből keletkezzék.

Az egyszerű kozmológiai modellek, azok, amelyek elhanyagolják a valóság kvantumos természetét, egy meghatározott múltbeli időpontban kezdődhetnek, amelynek időpontját bármilyen, az időmérésre alkalmas skálán definiálhatjuk. A kezdet pillanatára elő kell írni a Világegyetem későbbi viselkedé-

sét megszabó kezdeti feltételeket. Mind a mai napig ezeket a modelleket használjuk a Világegyetem jelen állapotának leírására, mert a Világegyetem jelen állapotában a kvantummechanikai hatások kicsinyek. Ha viszont modelljeinket a Planck-idő környékére is ki akarjuk terjeszteni, akkor meg kell értenünk, hogyan befolyásolja a kvantummechanikai hatások figyelembevétele az idő leírását.

A kvantumkozmológiában az idő nem jelenik meg explicit módon, csak a Világegyetem anyagtartalmának és ezen anyag elrendeződésének függvényeként. Minthogy vannak azt leíró egyenleteink, hogy hogyan változnak ezek az elrendeződések, attól függően, hogy a Világegyetem egyik vagy másik szeletére tekintünk, ésszerűnek látszik egy „idő”-nek nevezett fizikai mennyiséget behozni a történetbe. A helyzet nem sokban különbözik az ingaóra esetében megfigyelhetőtől. Az óra számlapján látható mutatók egyszerűen azt jelzik, hányat lengett már az inga. Ha nem akarjuk, akkor nem szükséges az „idő” fogalmának bevezetése. Hasonlóképpen a kozmológiában a téridőt alkotó rétegeket megkülönböztethetjük aszerint, hogy milyen az anyag eloszlása az egyes rétegekben. Az anyag eloszlására vonatkozó információt azonban a kvantumelmélet csak statisztikusan szolgáltatja. Amikor megmérjük egy fizikai objektum valamelyik tulajdonságát, akkor meg tudjuk állapítani, hogy az a lehetséges állapotok végtelen sokasága közül melyikben található. A kvantummechanika ezzel szemben csak azt árulja el, hogy az objektum az egyes lehetséges állapotok közül melyikben milyen valószínűséggel található. Az ezen valószínűségeket meghatározó információt az a matematikai objektum tartalmazza, amelyet „a Világegyetem hullámfüggvénye”-ként ismerünk. A továbbiakban ezt a függvényt egyszerűen csak W -vel jelöljük.

Jelenleg a kozmológusok azt remélik, hogy képesek lesznek felírni W alakját. Lehet, hogy erre irányuló próbálkozásaik zsákutcának vagy túlzott egyszerűsítésnek bizonyulnak. Ha optimistábbak vagyunk, akkor abban reménykedhetünk, hogy ez a próbálkozás legalább útbaigazítást adhat az igazság újabb és jobb megközelítése felé. A javasolt eljárás azt az egyenletet használja, amelyet először két amerikai fizikus, John A.

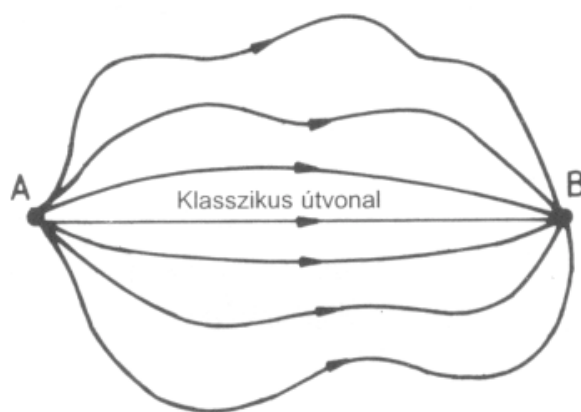
Wheeler és Bryce DeWitt írt fel. A Wheeler-DeWitt-egyenlet Erwin Schrödinger híres, a hagyományos kvantummechanika hullámfüggvényét leíró egyenletének alkalmazása a téridőre, figyelembe véve annak az általános relativitáselmélet szerinti görbültségét is. Ha ismerjük W jelenlegi formáját, akkor az egyenlet elárulja, hogy a látható Világegyetemben milyen valószínűséggel találhatunk meg bizonyos nagyléptékű szerkezeteket. Abban reménykedünk, hogy az anyag és a sugárzás bizonyos nagy és táguló struktúráira ez a valószínűség más alakzatoknál lényegesen nagyobbak adódik, hasonlóan ahhoz, amint a mindennapi életben előforduló, nagyméretű tárgyaknak is jól meghatározott tulajdonságaik vannak, függetlenül az azokban is meglévő, de nagyon kicsiny kvantummechanikai bizonytalanságoktól. Ha a legvalószínűbb értékek valóban megfelelnek a csillagászok által megfigyelhető képnek (például oly módon, hogy előre jelzik a galaxisok bizonyos típusú csoportosulását vagy a mikrohullámú háttérsugárzás hőmérsékletváltozásait), akkor a kozmológusok elégedettek lesznek, mert a mi Világegyetemünk az összes lehetséges világegyetem közül az egyik „legvalószínűbbnek” bizonyul. Ahhoz azonban, hogy a Wheeler-DeWitt-egyenletet felhasználva megtaláljuk W -t arra a hideg és alacsony sűrűségű Világegyetemre, amelyet jelenleg megfigyelünk, ismernünk kell, hogy milyen alakú volt a W függvény akkor, amikor a Világegyetem sűrűsége és hőmérséklete maximális volt, azaz történetének kezdetén.

A W függvény kezelése és tanulmányozása során leghasznosabb segédeszközünk az az úgynevezett átmeneti függvény lesz, amely elárulja a Világegyetem állapotában bekövetkező meghatározott változások valószínűségét. Ezt a függvényt T -vel jelöljük és a következőképpen értelmezzük:

$$T [x_1, t_1 \rightarrow x_2, t_2]$$

T értéke megadja, hogy mekkora valószínűséggel találjuk meg a t_2 időpontban a Világegyetemet az x_2 állapotban, feltéve, hogy a korábbi t_1 időpontban az x_1 állapotban volt, ahol az „időt” a Világegyetem állapotának valamilyen sajátossága, például az átlagsűrűsége alapján értelmezzük.

A klasszikus (nem kvantum-) fizikában a természet törvényei azt írják elő, hogy meghatározott múltbeli állapotból meghatározott jövőbeli állapot következik, szó sincs tehát valószínűségekről. A kvantummechanikában azonban, amint azt Richard Feynman amerikai fizikustól megtanulhattuk, a jövőbeli állapotot a rendszer története során a téridőben bejárható összes lehetséges útvonal járulékainak megfelelően képzett átlaga adja meg. Ezen útvonalak egyike lehet az a kitüntetett, amelyet a klasszikus fizika törvényei egyetlen lehetségesként előírnak. Ezt a „klasszikus útvonal”-nak nevezzük. Bizonyos esetekben a kvantummechanikai leírás átmeneti függvényét döntően meghatározza a klasszikus út, a többi útvonalak valószínűségei ugyanis kölcsönösen „kiejtik” egymást, valahogy úgy, ahogy az ellentétes fázisban találkozó hullámok hullámhegyei kisimítják egymást.



6.3. ábra: Az A és B közötti lehetséges útvonalak. A Newton féle mozgástörvények a „klasszikus útvonalat” írják elő. A kvantummechanikából az A és B közötti átmenetre valószínűségére olyan érték adódik, amely az A és B közti összes lehetséges útvonal járulékának átlaga. A rajzon néhányat bejelöltünk az összes lehetséges út közül.

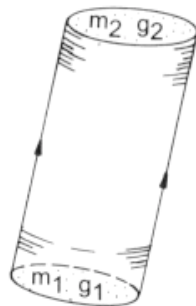
Fontos és mély kérdés, hogy vajon a kvantummechanikai Világegyetem minden lehetséges, nagyon nagy sűrűségű kezdőállapota a miénkhöz hasonló Világegyetemet eredményez-e. A mi Világegyetemünkben a kvantummechanikai bizonytalanságok

kicsik, és mindennapi tapasztalatunk az „idő” múlásának egyértelmű érzése. Lehetséges, hogy a miénkhez hasonló, az élőlények jelenlétét lehetővé tevő Világegyetemekkel szemben támasztott követelmények felettébb szigorúak, ami a mi Világegyetemünket kitüntetett szerephez juttatja az összes lehetséges világegyetek között.

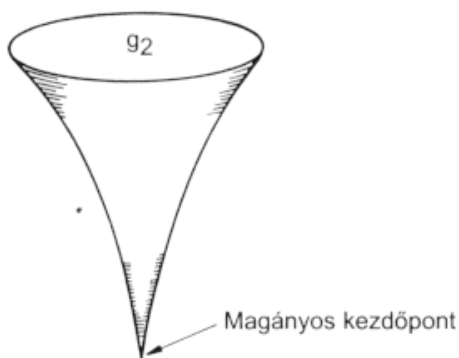
A gyakorlatban W két dologtól függ, a téridő egy meghatározott szeletében a Világegyetem összes anyagának és energiájának eloszlásától, valamint a szelet valamilyen belső tulajdonságától (például a görbületétől), amely egyértelműen megadja a szelethez tartozó időt, azáltal, hogy azonosítja a szeletet a téridő rétegeinek korábban elképzelt tornyán belül. Ezután a Wheeler-DeWitt-egyenlet megmondja, hogy milyen kapcsolatban áll az így meghatározott belső idő egy adott értékéhez tartozó hullámfüggvény a belső idő valamely másik értékéhez tartozó hullámfüggvénnyel. Ha a klasszikus út közelében járunk, akkor a hullámfüggvény fejlődése egyértelműen a közönséges klasszikus fizikától való kicsiny eltérésekként értelmezhető. Amikor azonban a legvalószínűbb út távol esik a klasszikustól, akkor rendkívül nehézé válik a kvantummechanikai állapot időbeli változásának bármilyen értelmezése, azaz a téridőnek a Wheeler-DeWitt-egyenlet által kijelölt szeletei nem állnak össze egységes téridővé. Mindamellet felírható az átmeneti függvény, amely megadja, hogy a Világegyetem mekkora valószínűséggel jut el az egyik állapotából egy másikba. A hullámfüggvény kezdeti állapotának keresése a Világegyetem eredete kutatásának kvantummechanikai megfelelője.

Az átmeneti függvény megadja, hogy mekkora valószínűséggel megy át a Világegyetem az anyag egy adott geometriai elrendeződésével jellemezhető állapotából egy másikba. Ezt az egyik elrendezésből a másikba való átalakulást a 6.4. ábra szemlélteti.

El tudunk képzelni olyan világegyetemeket, amelyek fejlődése egyetlen pontból indult el, nem pedig a tér kezdeti szeletéből. Ezek a világegyetek kúp alakúnak tűnnek, nem pedig henger alakúnak (mint a 6.4. ábra esetében). Ezt az esetet a 6.5. ábra illusztrálja.



6.4. ábra: Néhány téridőbeli útvonal, melyek határát két, három dimenziós tér alkotja, melyeket g_1 -gyel, illetve g_2 -vel jelöltünk. Ezek valamilyen elrendezésben m_1 , illetve m_2 anyagot tartalmaznak. Az árnyékolással jelzett határterületeket a rajzon három dimenziós hengerek két dimenziós végeiként ábrázoltuk.

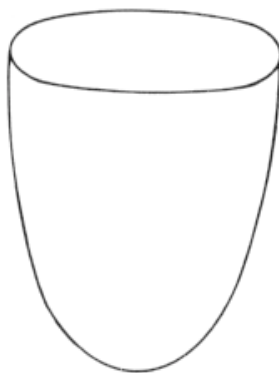


6.5. ábra: Téridőbeli útvonal, melynek határait a g_2 jelű, görbült, három dimenziós tér és egy magányos kezdőpont alkotja.

Ez mégsem tekinthető igazi előrehaladásnak, mert a nemkvantumozott kozmológiai modellek bármely szingularitása a klasszikus útvonal szinguláris tulajdonságaként mutatkozik meg. Ezáltal elfogadjuk egy meghatározott kezdeti feltételt – nevezetesen azt, amely történetesen egy előzetesen létező pontból kiindulva írja le a teremtetést –, holott erre semmiféle ésszerű okunk nincs.

Ezután meg kell tennünk egy elszánt lépést. Előtte azonban fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy esetleg kiderül, hogy ez a lépés semmiféle fizikai tartalmat nem hordoz. A lépés csak esztétikai okokkal motivált bizalom kérdése. Vegyük szemügyre

re a 6.4. és a 6.5. ábrát és figyeljük meg, hogy a g_1 -beli kezdeti állapot rögzítése milyen kapcsolatban áll a tér egy későbbi, a henger (vagy a kúp) mentén található g_2 -beli állapotával. Esetleg valamilyen módon egyesíteni lehet a g_1 és g_2 konfigurációk határait, úgy, hogy azok egyetlen, sima teret írjanak le, mint a 6.6. ábrán látható, amely nem tartalmazza azokat az utálatos szingularitásokat.



6.6. ábra: Lekerekített határu útvonal, amely ennél fogva egyetlen három dimenziós térből áll. Ezúttal a 6.5. ábrával ellentétben az útvonal alapján nincs kezdőpont. Ez lehetővé teszi, hogy az átmenetet egy Világegyetemnek a tökéletes semmiből való keletkezéseként értelmezzük.

Ismerünk olyan egyszerű, két dimenziós példákat, mint például a gömb felszíne, amelyek simák és nem tartalmaznak a kúp csúcsához hasonló szingularitásokat. Ezért a négy dimenziós téridő teljes határára se úgy gondoljunk, mint a g_1 és a g_2 együttesére, hanem egyetlen sima három dimenziós felületként. Olyan lenne ez, mint egy négy dimenziós gömb felszíne. A gömbfelszín azzal az érdekes tulajdonsággal rendelkezik, hogy bár kiterjedése véges, mégisincs határa. A felület nagysága véges (véges mennyiségű festék felhasználásával befesthetjük), ha azonban a felszínén mozgunk, soha nem esünk le a szélén és soha nem jutunk el egy olyan kitüntetett pontba, mint amilyen a kúp csúcsa. A gömbfelszínnek a lakói szemszögéből nézve *nincs* határa. Hasonló helyzet képzelhető el a Világegyetem

kezdeti állapotára is. Egyetlen különbséggel – és itt következik az az elszánt lépés, amelyet meg kell tennünk –, nevezetesen azzal, hogy a példánkban szereplő gömb a három dimenziós térben létezik, miközben felülete két dimenziós. A kvantumgeometria céljaira három dimenziós felületre van szükségünk, amely a négy dimenziós *térben* létezik (ami nem tévesztendő össze a négy dimenziós *tér-idővel*, amilyen feltételezésünk szerint a tényleges Világegyetem). Ezért 1983-ban Stephen Hawking, valamint James Hartle, amerikai fizikusok azt javasolták, hogy az időről vallott hagyományos felfogásunkon túlhaladva, el kell fogadni ezt a kvantum-kozmológiai képet, újabb dimenzióval bővítve ki ezáltal a teret.

Mindez korántsem olyan titokzatos, mint amilyennek első pillanatban hallatszik, mert a fizikusok az időnek térré való átalakításának ezt a trükkjét elég gyakran alkalmazzák a közönséges kvantummechanika bizonyos problémáinak megoldása során is, bár egy pillanatig sem gondolják azt, hogy eközben az idő valóban átalakul térré. A számítások végén mindig visszatérnek az események megszokott értelmezésére, az egy időbeli és a három (ettől minőségileg alapvetően különböző) térbeli dimenzió használatára. Olyasvalami ez, mint amikor átmenetileg más nyelven beszélünk.

Tegyünk ezután egy kis kitérőt. Az idő térré történő átalakításával kapcsolatos egyik legérdekesebb kérdés az, hogyan lehet mindezt szavakba öntve, érthetően elmesélni. Hawking 1988-ban megjelent könyve, *Az idő rövid története* volt erre nézve az első próbálkozás. A tudomány népszerűsítése azt jelenti, hogy a bonyolult matematikai absztrakciókat egyszerű képek és analógiák segítségével kell közérthetővé tenni. A népszerűsítő írók az elemi részecskék közötti kölcsönhatásokat gyakran biliárdgolyók ütközéséhez hasonlítják, vagy az atomokat parányi Naprendszerakként írják le, és így tovább. A tizenkilencedik század végén néhány francia matematikus határozott bírálattal illette azokat a fizikusokat, akik kitartottak a különböző fizikai jelenségek guruló golyókkal, kerekkel és húrokkal operáló, mechanikai képe mellett. Ilyenkor az ismeretterjesztők annak az előnyét igyekeznek kihasználni, hogy léteznek egyszerű analógiák, amelyek összekapcsolják a Világegyetem

meglehetősen bonyolult működését a hétköznapi tapasztalataink eseményeivel. Úgy tűnik azonban, hogy annak az ötletnek, mely szerint az idő tulajdonképpen a tér egy további dimenziójává válik, nincs igazán közismert analógiája. Amikor elolvassuk azt a mondatot, hogy „Az idő a tér egy további dimenziójává válik”, akkor minden egyes szó jelentését értjük, mégsem fogjuk fel, mit is akar ez az állítás közölni velünk. Ezeknek a kézenfekvő analógiáknak a hiánya okozza a legnagyobb nehézséget *Az idő rövid története* olvasóinak is. Arra számítottunk, hogy a Világegyetem felépítése legmélyebb titkainak – az elemi részecskék mikrovilágának vagy a galaxisok és a fekete lyukak makrovilágának – egyaránt megtalálhatók az egyszerű, közérthető hétköznapi analógiái. Ez azonban nem így van. Az analógiák hiányát tulajdonképpen jó jelnek tekinthetjük, arra nézve, hogy ezúttal a valóság kemény és nyers tényeivel találtuk szembe magunkat, nem pedig jól ismert, régi elképzeléseink új köntösbe öltöztetett változatával.

Az idő kvantummechanikai megközelítésének gyökeresen újszerű vonása, hogy az ősrobbanás kvantumgravitációs környezetében az időt igazi térként kezeli. Ahogy távolodunk a Világegyetem kezdetétől, úgy kell egyre inkább arra számítanunk, hogy a kvantummechanikai hatások zavarni kezdik egymást, a hullámhegyek és a hullámvölgyek találkozásakor interferencia lép fel, a Világegyetem fejlődése pedig egyre nagyobb és nagyobb pontossággal követni fogja a klasszikus útvonalat. Az idő hagyományosan megszokott, a tértől minőségileg különböző jellege a Planck-időt követő első pillanatokban kezd kikristályosodni. Megfordítva, ha az időben visszafelé haladva egyre közelebb jutunk a kezdethez, az idő meghatározó tulajdonságai szertefoszlának, miközben az idő egyre megkülönböztethetlenebb lesz a tértől.

A Világegyetem kezdeti kvantumállapotának ezt az idő nélküliségét Hartle és Hawking azért vetette fel, mert ez bizonyos szempontból „gazdaságosnak” tűnt, és mert elkerüli a szingularitást a kezdőállapotban. Emiatt ez a hipotézis a „határok nélküli feltétel” néven vált ismertté. Pontosabban, a „határok nélküli” javaslat kiköti, hogy a Világegyetem hullámfüggvényét azoknak az átmeneteknek az átlaga határozza meg, amelyek az

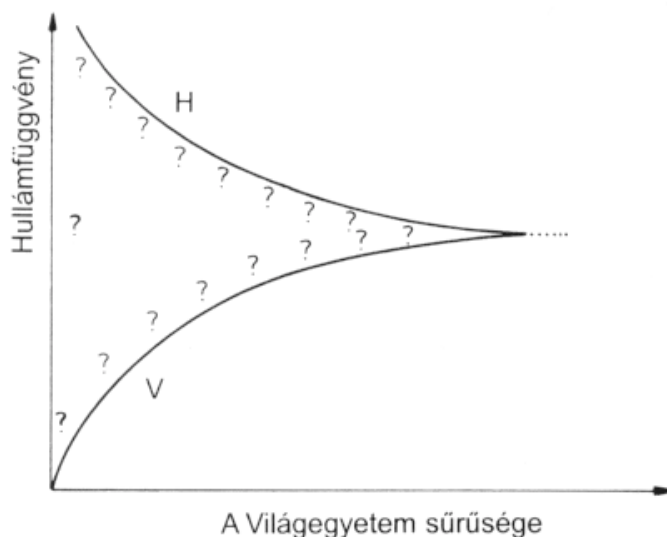
egyetlen, véges és sima – például a korábban tárgyalt gömb alakú – határral rendelkező négy dimenziós terekre korlátozódnak. Az így előállított átmeneti valószínűségnek van egy olyan alakja, amelyben nincs megelőző kezdeti állapot. Ennélfogva a „határok nélküli feltételt” gyakran a Világegyetem „semmitől történő keletkezéseként” írják le, minthogy ebben az esetben T véges valószínűséget ad a világegyetemek egy bizonyos típusára, amelyek a semmitől születtek. Az „idő térré válik” javaslat következményeképpen nem létezik a teremtés meghatározott pillanata vagy helye.

Összességében tehát a világ kvantált kezdetére vonatkozóan a következő kép rajzolódik ki a szemünk előtt. Ha visszatekintünk a „nullá”-val jelölt pillanat felé, akkor az idő ismert fogalma fokozatosan elhalványul, végül megszűnik létezni. A kvantált világegyetemeknek ez a típusa nem létezett öröktől fogva, hanem keletkezett, akárcsak a nem kvantált világegyetemek. A különbség annyi, hogy az utóbbiak kezdete szingularitásnak látszik, a kvantált világegyetemek ezzel szemben nem egy ősrobbanásszerű jelenséggel kezdődnek, amelyekben bizonyos fizikai mennyiségek végtelen nagy értéket vesznek fel, és emellett további kezdeti feltételeket is meg kell szabni. Közös vonásuk viszont, hogy sem az ősrobbanásból történő, szinguláris keletkezés, sem pedig a kvantum keletkezés esetében semmiféle információnk nincs arra vonatkozóan, hogy miből vagy miért keletkezhetett a Világegyetem.

Ismételten hangsúlyozni szeretnénk, hogy Hartle és Hawking elképzelése gyökeresen újszerű. Az ötletnek két alkotóeleme van. Az egyik szerint „az idő térré válik”, míg a másik a határok nélküli feltétel. Ez olyan előírást jelent a Világegyetem állapotára vonatkozóan, amely a hagyományos kép szerinti kezdeti feltételeket és a természeti törvényeket egyaránt magába foglalja. Ha valaki csak az első kikötést írja elő, akkor még sok választási lehetősége van, amelyeket a határ nélküli feltétel helyett használhatna a semmitől keletkező Világegyetem állapotának meghatározására.

A 6.7. ábrán bemutatjuk a Világegyetem W hullámfüggvényének változásait a Világegyetem átlagsűrűségétől függően (azaz a jelenségek leírásakor használt „óránkat”), abban az esetben,

amikor a határok nélküli kezdőfeltételt használjuk, illetve egy másik, gyökeresen eltérő jellegű, lehetséges határfeltétel esetére, amely utóbbit Alex Vilenkin amerikai fizikus dolgozta ki. A W függvény nagy értékei nagy valószínűségeknek felelnek meg. Ebből láthatjuk tehát, hogy a határok nélküli kezdőfeltétel esetén a lehető legvalószínűtlenebb az, hogy a Világegyetem nagyon nagy átlagsűrűséggel jött létre, miközben ugyanez a lehetőség Vilenkin feltételei esetén roppant valószínűvé válik. A határok nélküli feltételek egyes bírálói úgy érzik: nem valószínű, hogy az elmélet olyan korai Világegyetemet eredményezzen, amely elég sűrű és forró volt ahhoz, hogy a felfűvódás bekövetkezhesen.



6.7. ábra: A Világegyetem hullámfüggvényének lehetséges változásai a Világegyetem anyagsűrűségének függvényében. A hullámfüggvény nagy értéke az esemény nagy valószínűségű előfordulásának felel meg. Felrajzoltuk a hullámfüggvény Hartle-Hawking- (H), illetve Vilenkin féle (V) alakját. A „?”-lel jelölt tartományon belül számos más lehetséges viselkedés is megengedett. Nagyon nagy sűrűségek esetén (pontosított rész) az elmélet felettébb megbízhatatlanná válik.

A Világegyetem hullámfüggvényének tanulmányozása még csak gyerekcipőben jár. Az erre vonatkozó elképzelések kétségtelenül jócskán változni fognak még, mire az elmélet véglegesen elkészül. A határ nélküli kezdőfeltétel még kívánnivalókat

hagy maga után, például azért, mert nem jósolja meg azoknak a kis inhomogenitásoknak a létezését, amelyek a galaxisok születéséhez elengedhetetlenül szükségesek. Az elgondolást tehát további, a Világegyetemben található anyagmezőkre és azok eloszlására vonatkozó információkkal kell kiegészíteni. Mindamellett lehet, hogy az elmélet helyes, lehet, hogy részben helyes, de az is előfordulhat, hogy teljesen hibás. A pesszimisták szerint ezt soha nem fogjuk tudni eldönteni, mert a Világegyetem olyanra formálódott, hogy semmilyen nyomok nem maradtak fenn a kvantált eredetére vonatkozóan. Az sincs kizárva, hogy maradtak ugyan ilyen nyomok, de azok nem elég egyértelműek ahhoz, hogy napjainkban még meg lehessen figyelni, így soha nem lesz módunkban elméleteinket a megfigyelési tények ismeretében megítélni. Ez lehet a helyzet pl. abban az, esetben, ha bekövetkezett a felfúvódás.

Fontos levonnunk azt a tanulságot, hogy a Világegyetem fejlődéséről való gondolkodásunk hagyományos módja – vagyis, az, amikor kezdeti feltételekkel és a változások törvényszerűségeivel dolgozunk – nagymértékben hibás lehet. A hiba talán arra vezethető vissza, hogy hihetetlenül csekélyek az ismereteink a kvantumgravitációs hatások birodalmáról. Úgy tűnik, hogy a határok nélküli feltételt és a különféle rivális elméleteket részben egyszerűségük, illetve a számítások könnyű elvégezhetősége miatt választották a kozmológusok. Eddigi ismereteink szerint legalábbis egyik elmélet feltételezését sem a kvantum-világegyetem belső logikája követeli meg.

A Világegyetem kezdeti állapotát illetően felül kell vizsgálnunk azt az elképzelést, mely szerint a kezdeti feltételek függetlenek a fizikai törvényektől. Ha a Világegyetem az egyetlen létező – mert ez az egyetlen logikusan következő lehetőség –, akkor a kezdeti feltételek ugyancsak egyediek, és ezek maguk is a természet egyik törvényének tekintendők. Másrészt viszont, ha azt gondoljuk, hogy sok lehetséges világegyetem létezik, vagy legalábbis *létezh*et, akkor a kezdeti feltételeknek nem kell kitüntetett helyzetűeknek lenniük. Ebben az esetben a kezdeti feltételek mindegyike megvalósulhat valahol, valamelyik lehetséges világban.

A hagyományos felfogás, mely szerint a kezdeti feltételekkel

a teológusoknak kell foglalkozniuk, míg a fizikusok dolga a változások törvényeinek a megállapítása, átmenetileg legalábbis a múlté. Ma már a kozmológusok a kezdeti feltételeket tanulmányozzák – amelyek közül a határ nélküli feltétel csak az egyik lehetséges példa –, hogy felfedezzék, létezik-e ezeknek valamiféle törvényszerűsége. A határtalan feltétel természetesen gyökeresen újszerű, azonban nincs kizárva, hogy még ez sem elég radikális. Aggasztó, hogy a modern kvantum-kozmológiai kép sok fogalma, például a „semmiből történő teremtés” vagy „a Világegyetemmel együtt létezővé váló idő”, csupán azoknak a hagyományos intuícióknak és gondolkodási kategóriáknak a tökéletesített változatai, amelyek birodalmában a középkori teológusok igencsak otthonosan mozognának. Kétségtelen, hogy a modern kozmológia számos fogalmának alapötletét éppen ezek a hagyományos elképzelések vetették fel, bár a kozmológiában ezek a fogalmak matematikai formába öntve jelennek meg. A térré váló idő Hartle és Hawking féle ötlete minden bizonnyal a kozmológia egyik olyan, valóban radikálisan új eleme, amelyet nem tekinthetünk az elmúlt generációk filozófiai és teológiai spekulációi örökségének. Arra mindenesetre számítanunk kell, hogy még sok megszokott fogalmat kell sutba dobnunk, mire az igazi kép felsejlik.

Néhány mai kozmológus meglehetősen magabiztossággal teszi fel a kérdéseit a Világegyetem eredetére vonatkozóan, amint azt „A Világegyetem teremtése a Semmiből” és az ehhez hasonló címet viselő cikkek és kutatási beszámolók tanúsítják. A „semmi” fogalmával kapcsolatban azonban nem árt az óvatosság. Ha mindezen elméletek bármi érdekeset akarnak mondani, akkor kiindulásképpen jóval több mindennek a létezését kell feltételezniük, mint ami a mindennapi értelemben a „semmi” fogalmába belefér. Kezdetben létezniük kell a természet törvényeinek (az általunk tárgyalt esetben a Wheeler-DeWitt-egyenletnek), az energiának, a tömegnek, a geometriának és természetesen mindezt alá kell támasztania a matematika és a logika örökérvényű világának. A Világegyetem átfogó magyarázatának felállítása és igazolása előtt már léteznie kell a racionalitás jelentékeny alrendszerének. Ez az a dolgok mélyén fekvő ésszerűség, amelyet a legtöbb modern teológus hangsúlyoz, amikor egyesek megkér-

dőjelezik Isten szerepét a Világegyetemben. Ők ugyanis az Istenséget nem egyszerűen a Világegyetem tágulása „Nagy Kezdeményezőjé”-nek tekintik.

Tudományos vállalkozásunknak az a része, amelyik megpróbálja a Világegyetem létezését egy *abszolút semmit* nem tartalmazó, megelőző állapot következményének tekinteni, megsérti azt a mélyen gyökerező elképzelésünket, mely szerint „semmit sem lehet potyán kapni”. A nem-tudósok magától értetődőnek veszik, hogy a semmiből nem lehet valamit készíteni. Ha valaki azt a célt tűzi ki maga elé, hogy tudományos magyarázatot ad a Világegyetem létrejöttére, akkor rögtön szembe kell néznie azzal az akadállyal, hogy itt a semmiből kell valamit létrehozni. Olyan Világegyetemet kell ugyanis létrehoznunk, amelynek energiája, perdülete és elektromos töltése van. Ez viszont megsérti a természet törvényeit, amelyek előírják ezen fizikai mennyiségek megmaradását, így a Világegyetem semmiből történő születése nem következhet az általunk ismert természeti törvényekből.

Ez az érvelés valóban elég meggyőző, mindaddig, amíg valaki el nem kezdi firtatni, hogy mekkora lehet a Világegyetem energiája, perdülete és elektromos töltése. Ha a Világegyetemnek magának perdülete van, akkor nagy léptékben tekintve a tágulásnak forgást kell eredményeznie. Ebben az esetben viszont a legtávolabbi galaxisok, ahelyett, hogy távolodnának tőlünk, elmozdulni látszanának az égbolton. Igaz, hogy ez az oldalirányú elmozdulás túlságosan lassú lenne ahhoz, hogy észre lehessen venni, de léteznek a kozmikus forgásnak más, érzékeny jelei is. A Föld tengely körüli forgásának következményeit vizsgálva megállapíthatjuk, hogy bolygónk a pólusainál enyhén lapult. Hasonló jelenség tanúi lehetnénk abban az esetben, ha az egész Világegyetem forogna: a forgástengely irányában kisebb lenne a tágulás sebessége, mint más irányokban. Ennek következtében a tengely irányával párhuzamosan érkező mikrohullámú háttérsugárzás lenne a legforróbb, míg az erre merőlegesen érkező a legalacsonyabb hőmérsékletű. Az a tény, hogy a sugárzás hőmérséklete százvezred résznyi pontossággal ugyanakkora az égbolt minden irányában, arra utal, hogy ha a Világegyetem valóban forog, akkor forgási sebessége legalább egybilliószor lassúbb, mint a tágulása. Márpedig ez a forgási sebesség elegendően ki-

csiny ahhoz, hogy arra gyanakodjunk, hogy a Világegyetem egyáltalán nem forog, és így összes impulzusmomentuma *nulla*.

Hasonlóképpen, arra sincs bizonyítékunk, hogy a Világegyetemnek lenne eredő elektromos töltése. Ha bármely kozmikus szerkezetnek eredő elektromos töltése lenne, mondjuk azért, mert az anyagát alkotó protonok és elektronok száma nem lenne tökéletesen azonos, akkor ennek a parányi kiegyensúlyozatlanságnak látványos hatása lenne a Világegyetem tágulására, minthogy az elektromos kölcsönhatás sokkal erősebb a gravitációnál. Valójában Einstein gravitációelméletének egyik figyelemre méltó következménye szerint „zárt” Világegyetemben – azaz olyanban, amelyik a jövőben egyetlen szingularitássá húzódik össze – a teljes elektromos töltésnek nullának *kell* lennie. Ez annyit jelent, hogy a Világegyetemet felépítő anyag elemi töltéseinek összesen a nulla eredő töltést kell kiadniuk.

Végül, mi a helyzet a Világegyetem energiájával kapcsolatban? Mindennapi tapasztalataink szerint ez a legkézenfekvőbb olyasvalami, amit nem lehet a semmiből előállítani. Figyelemreméltó tény azonban, hogy ha a Világegyetem zárt, akkor összes energiájának *nullának* kell lennie. Ennek az okát az Einstein-féle $E = mc^2$ összefüggésben kell keresnünk. Az összefüggés azt fejezi ki, hogy a tömeg és az energia kölcsönösen átalakulhat egymásba, így csak a tömeg és az energia együttes megmaradásáról beszélhetünk, külön-külön, csak az energia vagy csak a tömeg megmaradásáról nem. Lényeges dolog, hogy az energia tömegtől különböző, egyéb változatainak egyaránt van pozitív és negatív változata. Ha egy zárt Világegyetemben összeadjuk az összes tömeget, akkor ez jelentős pozitív értékkel járul hozzá a tömeggel ekvivalens energiához. Ezek a tömegek azonban gravitációs vonzást is kifejtenek egymásra. Ez az erő fizikailag negatív energiával egyenértékű. Ezt nevezzük „helyzeti energiá”-nak, vagy idegen szóval potenciális energiának. Ha egy labdát tartunk a kezünkben, akkor annak helyzeti energiája van, ha ugyanis a labdát leejtjük, akkor a helyzeti energia terhére pozitív mozgási energia jelenik meg.² A tömegvonzás törvénye gondoskodik tehát arról, hogy a Világegyetemben található tömegek között fellépő gravitációs kölcsönhatás negatív helyzeti energiája ugyanakkora nagyságú, de ellenkező előjelű legyen,

mint az egyes tömegeknek megfelelő mc^2 energiák összege. A Világegyetem összes energiája tehát pontosan nulla.

Figyelemreméltó eredményre jutottunk tehát. Úgy tűnik, hogy mind a három egyetemesen megmaradó és a semmiből való keletkezést megakadályozó fizikai mennyiség értéke pontosan nulla. Ennek az állításnak még nem sikerült minden következményét tisztázni. Úgy tűnik azonban, hogy a természet megmaradási törvényei nem állják útját annak, hogy a Világegyetem a semmiből keletkezzék (és így természetesen annak sem, hogy semmivé váljék). A természet törvényei alkalmasak lehetnek a teremtés folyamatának leírására.

A semmiből való keletkezés tudományos kereteiről folytatott fejtegetéseink lezárásaként kanyarodjunk vissza ahhoz a régebbi elképzeléshez, mely szerint a Világegyetem a tér és az idő szingularitásából keletkezett. A kvantummechanika határok nélküli feltétele esetén nincs szükség ilyen viharos kezdetre, ezért ez utóbbi elképzelés kozmológus körökben jelenleg divatosabb. Óvatosan kell azonban kezelnünk azt az tényt, hogy a kvantumkozmológiai kutatások jó részét az a vágy ösztökéli, hogy elkerüljék a végtelen sűrűségű kezdeti szingularitást, aminek köszönhetően a kutatók előnyben részesítik a szingularitást nem tartalmazó kvantumkozmológiai elméleteket a szingularitást tartalmazóakkal szemben. Érdemes megjegyezni, hogy a hagyományos ősrobbanás kozmológia, mely szerint a Világegyetem egy szingularitásból fejlődött ki, szigorúbban tekintve ugyancsak az abszolút semmiből való teremtést írja le. Semmilyen okot vagy megszorítást nem ismerünk, amelyek arra kényszeríthették volna a születő Világegyetemet, hogy éppen olyan legyen, amilyennek ma megfigyeljük. Korábban nem létezett sem idő, sem tér, sem anyag. A kvantált teremtés kutatói remélik, hogy ha tovább dolgoznak egy valamilyen elkerülhetetlen kvantumállapotból kialakuló, nagyon valószínű Világegyetem leírásán, akkor előbb-utóbb fény derül arra, hogy miért van a Világegyetemünknek oly sok furcsa tulajdonsága. Sajnos e tulajdonságok közül nagyon sok a felfúvódó tágulás későbbi állapotában alakult ki, miközben nagyon tág azon megelőző kvantumállapotoknak a köre, amelyekből a felfúvódás létrejöhett.

A labirintusban

Egy távoli lövés, Watson, egy nagyon távoli lövés.
EZÜST CSILLAG

Körülöttünk minden dolognak – a káposztafejektől a királyokig – megvan a maga fajsúlya és keménysége, mégpedig a Világegyetem szerkezetének bizonyos változatlan tulajdonságai miatt. Ezeket a változatlan tulajdonságokat „természeti állandóknak” nevezzük. Meghatározott számértékek segítségével jellemzik például a tömegvonzás erősségét, az anyag elemi részecskéinek tömegét, az elektromos és a mágneses kölcsönhatás erősségét, vagy a fény sebességét a légüres térben. Közülük azokat nevezzük „alapvető” állandóknak, amelyek nem fejezhetők ki más természeti állandók segítségével. E mennyiségek legtöbbször igen pontosan meg tudjuk mérni. Ezeknek a számértéke az, ami a mi Világegyetemünket megkülönbözteti a többi elképzelhető, ugyanazoknak a fizikai törvényeknek engedelmeskedő világegyetemtől. Habár ezek az állandók a természet minden törvényében megjelennek, lényegében belőlük fakad a Világegyetem szerkezetének legmélyebb rejtélye is: Vajon miért pontosan akkora a számértékük, mint amekkora? Mindig is az volt a fizikusok álma, hogy egyszer majd megtalálják azt az átfogó fizikai elméletet, amelyik az összes alapvető természeti állandó számértékét előre jelzi vagy megmagyarázza. Sok neves tudós megpróbálkozott a kérdés megoldásával, azonban mindannyian a legcsekélyebb előrehaladás nélkül kudarcot vallottak.

A legújabb, a Világegyetem és kezdeti állapota kvantummechanikai leírására törekvő próbálkozások váratlan lehetőséget kínáltak a természeti állandók számértékének magyarázatára. A Világegyetem hullámfüggvényét James Hartle és Stephen Hawking kezdte először keresni. A kutatás alapötlete az volt, hogy amikor a Világegyetem sűrűsége olyan szélsősé-

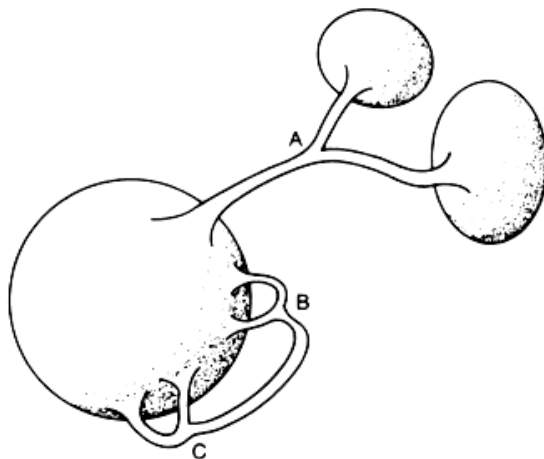
ges volt, hogy kvantummechanikai tulajdonságai váltak uralkodóvá, a Világegyetem négy dimenziós gömbként viselkedett. Ezután néhány kozmológus felvetette azt a kérdést, hogy mi történne, ha a gömb felszíne nem lenne tökéletesen sima. Tételezzük például fel, hogy a felszín különböző pontjait csövek kötik össze egymással. Ezeket a csőszerű összeköttetéseket nevezték el „féreglyukak”-nak. A féreglyukak a téridő olyan tartományait kötik össze, amelyek egyébként elérhetetlenek egymás számára.



7.1. ábra: Önmagával féreglyukakkal összekötött tér.

Az elképzelés részletes kidolgozása több okra vezethető vissza. Az egyik a fizikusoknak az a törekvése, hogy szeretnék a világról alkotott képüket mind tovább toldozni-foldozni, azért, hogy fölfedezzenek valami újdonságot, ami azután esetleg magyarázatot szolgáltat a természet egy vagy több megoldatlan rejtélyére. De volt egy másik, közvetlenebb ösztönzés is. A fizikusok fantáziájukban élő kép szerint a téridő állapota a Planckidőben, azaz 10^{-43} másodperccel a Nagy Bumm után, és azt megelőzően a kvantummechanikai bizonytalanságok által uralt turbulens habra hasonlított. A féreglyukak jelenléte valószínű következménye a tér egymással kaotikusan összekötött állapotának. A féreglyukak átmérője egyenlő azzal a távolsággal, amelyet a Planck-időig a fénysugár meg tudott tenni, azaz mintegy 10^{-33} centiméterrel.

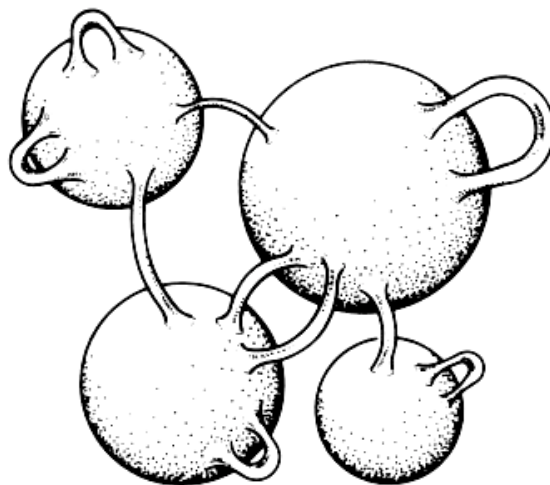
A tér globális természetéről alkotott képünk kitágulásának következtében meglehetősen megnőtt a Világegyetem lehetséges bonyolultsága. A Világegyetem a tér nagy számú (vagy esetleg végtelen sok) kiterjedt tartományából áll, amelyeket önmagukkal és egymással féreglyukak kötnek össze. A 7.2. ábrán olyan helyzetet ábrázoltunk, amelyben számos, egymással összeköttetésben álló „csecsemő világegyetem” látható.



7.2. ábra: Féreglyukak hálózata, amely nem ragaszkodik a híg féreglyuk közelítéshez: a „szülő világegyetem”-ből kihasadó féreglyukak két „csecsemő világegyetem”-et hoznak létre (A-ban) és féreglyukakkal kapcsolódnak a szülő világegyetem más féreglyukaihoz (B-ben és C-ben).

Hogy jobban megértsük, mi is történik az ilyen helyzetekben, képzeljük el a legegyszerűbb fajta féreglyuk összeköttetést, amelyekben a féreglyukak csak a csecsemő világegyetemeket köthetik össze. Ezt a leegyszerűsített esetet „híg féreglyuk közelítés”-nek nevezzük, mert a leírás módszere hasonló a gázok viselkedésének tanulmányozása során használatos egyszerűsítésekhez. A híg gáz közelítés azért jogos, mert a gázmolekulák sokkal hosszabb időt töltenek a két ütközés közötti mozgással, mint ameddig maga az ütközés tart. Amikor ez nem igaz, például amikor a gáz lecsapódva folyékony halmazállapotúvá válik, akkor viselkedésében sokkal erősebben jutnak szerephez a kölcsönhatások. A híg féreglyuk közelítés a csecsemő világ

egyetemek között megengedett kölcsönhatások leegyszerűsítése. Ennek során feltételezzük, hogy a féreglyukak csak nagy és sima tartományokat kötnek össze, soha nem szakadnak szét két csőre, és nem kapcsolódnak össze más féreglyukakkal.



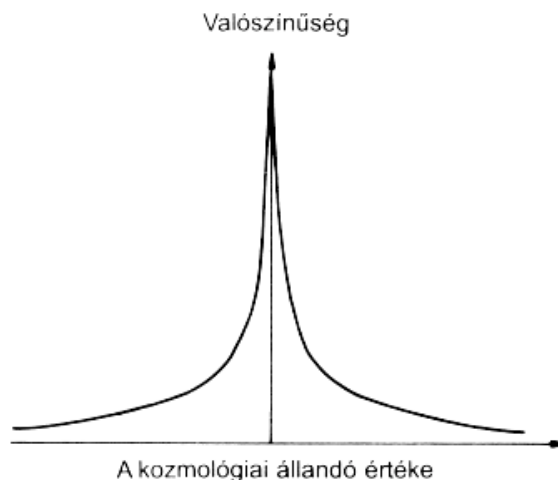
7.3. ábra: Számos „csecsemő világegyetem”, melyeket egymással és önmagukkal féreglyukak kötnek össze. Ezek a féreglyukak nem kapcsolódnak újabb féreglyukakkal más féreglyukakhoz és nem hasadnak két vagy több féreglyukra. Ezt a helyzetet nevezzük „híg féreglyuk közelítés”-nek.

Mindez nagyon szép lenne, azonban semmi hasznát nem vennénk, ha csupán az lenne, aminek látszik: öncélú általánosítás, kizárólag az általánosítás kedvéért. Kiderült azonban, hogy a féreglyukak ötlete ennél sokkal többet tartogat a számunkra. Lehetséges, hogy a természeti állandóknak a Világegyetem kiterjedt tartományaiban fennálló értékét az adott tartományhoz kapcsolódó féreglyukak fluktuáló hálózata határozza meg. Minthogy azonban a féreglyuk kapcsolatok a kvantummechanikai bizonytalanság minden jellemzőjével rendelkeznek, az állandókat nem lehet pontosan meghatározni, kizárólag statisztikusan.

A megvizsgálandó legegyszerűbb természeti állandó a híres „kozmológiai állandó”, amelyet Einstein vezetett be az általános relativitáselmélet egyenleteibe, hogy sztatikus Világegyete-

met kapjon eredményül. Később azonban a kozmológiai állandó fogalmát maga Einstein is elvetette. A kozmológiai állandó szerepe az, hogy létrehozza azt nagy hatótávolságú taszítóerőt, amely képes ellensúlyozni a tömegek közötti gravitációs kölcsönhatásból eredő vonzóerőt. Megtehetjük ugyan, hogy számos kozmológus példáját követve egyszerűen elvetjük a gravitációs törvény ilyen kiegészítésének a lehetőségét is, valójában azonban nincs semmilyen józan érvünk amellett, hogy miért ne szerepelhetne ez a tag Einstein egyenleteiben.² A helyzet tehát kellemetlenül zavaros. Még ha a kozmológiai állandó nem is tudja megállítani a Világegyetem tágulását, megváltoztathatja a tágulás ütemét. A Világegyetem tágulási sebességére vonatkozó csillagászati megfigyelések arra engednek következtetni, hogy ha létezik is a kozmológiai állandó, értéke mindenképpen roppant kicsiny. Számértékének kisebbnek kell lennie 10^{-120} -nál! Ez a szám olyan kicsi, hogy fel kell tételeznünk valamilyen, ma még ismeretlen fizikai törvényszerűség létezését, amely megköveteli, hogy a kozmológiai állandó értéke pontosan nulla legyen. Ezzel szemben a korai Világegyetemben létező elemi részecskék és mezők vizsgálata során ezzel homlokegyenest ellentétes körülmények adódtak. Ezek a kutatások ugyanis nem csak azt jósolják meg, hogy a kozmológiai állandónak léteznie kell³, hanem azt is, hogy értékének roppant nagyinak kell lennie, méghozzá sokkal, esetleg akár 10^{120} -szor nagyobbak annál, amit a jelenlegi tágulás megfigyelése alapján megengedhetőnek tartunk.

1988-ban Sidney Coleman amerikai fizikus figyelemreméltó felfedezést tett. Ha valamely világegyetem úgy keletkezik, hogy benne a kozmológiai állandó járulékot ad a gravitációhoz, akkor ennek a féreglyukakra gyakorolt hatása ellentétes irányú erőt ébresztene, amely a belső kvantummechanikai bizonytalanságok szintjéig ellensúlyozza saját antigravitációs hatását. A féreglyuk fluktuációk beépítése eszerint tehát ahhoz a végkövetkeztetéshez vezet, hogy ha valamely csecsemő világegyetem nagyra nő (mint például a mi látható Világegyetemünk), akkor ebben a világegyetemben a kozmológiai állandó legnagyobb valószínűségű értéke nulla.

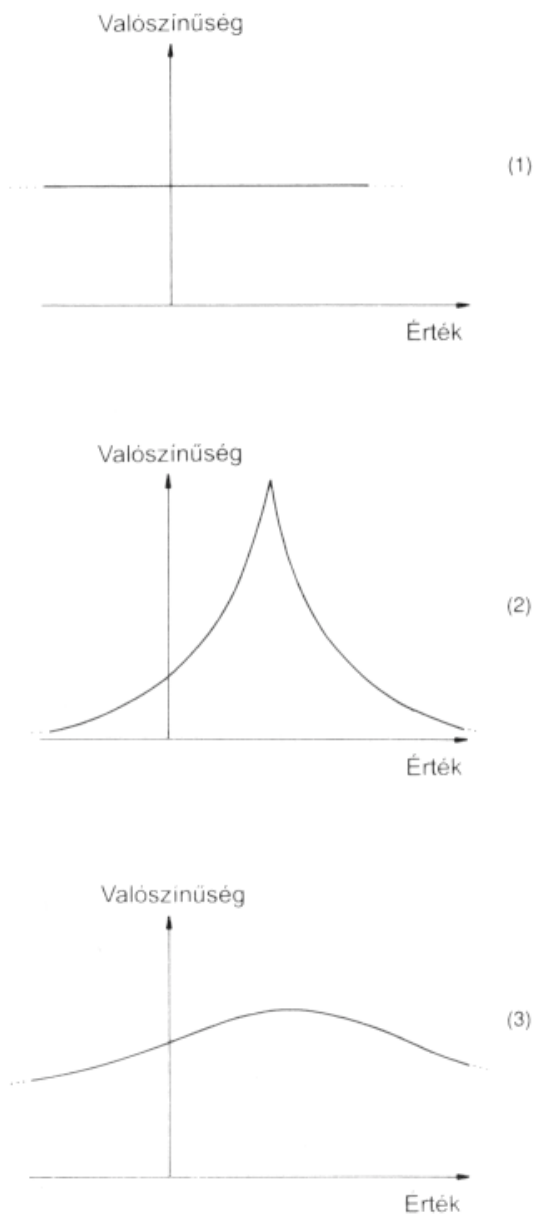


7.4. ábra: A féreglyuk fluktuációk eredményeképpen a kozmológiai állandó valószínűségének meghatározott értéke van. A legvalószínűbb értéknek megfelelő csúcs nagyon közel van a nullához.

A fenti, sikeres okfejtést mindeddig nem terjesztették ki a természet nem nulla értékű állandóira, mint például az elektron tömegére⁴ vagy töltésére. Ennek ellenére tanulságos megvizsgálni egy ilyen előrejelzés lehetséges természetét és értelmezését. Tételezzük fel, hogy ki tudjuk számítani a jelenlegi Világegyetemben valamely alapvető állandónak – mondjuk az elektromágneses erő nagyságának – a valószínűség-eloszlását. Az eredmény a 7.5. ábrán látható görbék valamelyikére hasonlíthat.

Az első esetben az állandó minden értéke ugyanolyan valószínű, és a féreglyuk elmélet nem tesz egyetlen olyan kijelentést sem, amelynek helyességét megfigyelésekkel ellenőrizni tudnánk. A második esetben minden más lehetőségénél sokkal nagyobb a valószínűsége annak, hogy az állandó a görbe csúcspontjának megfelelő értéket veszi fel. A legtöbb kozmológus úgy értelmezi ezt a csúcsot, hogy az kitüntetett szerepű a megfigyelt helyzetben, mert a legnagyobb valószínűségű állapotnak felel meg. Ha például a Newton-féle gravitációs állandó várható értékének valószínűség-eloszlása határozott csúcsot mutat az állandó megfigyelt értéke környezetében, akkor ezt a féreglyuk elmélet átütő sikereként értékelhetjük. Mindez lehetővé teszi számunkra azt is, hogy a természeti állandók

megfigyelését felhasználjuk a Planck-idő előttre érvényes kvantumgravitációs elméletek ellenőrzésére. Sajnos bebizonyosodott azonban, hogy túlságosan nehéz feladat az elméletből ilyen előrejelzéseket előcsiholni.



7.5. ábra: Három lehetséges előrejelzés a féreglyuk elmélet alapján a természeti állandók megfigyelhető értékeire: (1) minden érték azonos valószínűségű; (2) egy érték kiemelkedően nagy valószínűségű; (3) a valószínűség sok lehetséges érték közt oszlik el, a görbén nem találunk kiugró csúcsot.

Mint korábban láttuk, sok fizikus úgy vélekedik, hogy léteznie kell a természet törvényeire vonatkozó valamilyen egységes leírásnak, amely mindazon ismereteket egyesíti, amit jelenleg a különböző kölcsönhatásokról, a gravitációról, az elektromosságról, a mágnességről, a radioaktivitásról és a magfizikáról tudunk. A természet törvényeinek ezt az egységes alakját a Mindenség Elméletének szokták nevezni. A fizikusok azt remélik, hogy ez az elmélet meg fogja követelni, hogy a természeti állandók meghatározott értéket vegyenek fel, méghozzá úgy, hogy csak az értékek egyetlen, logikusan konzisztens halmaza tesz eleget a feltételeknek. Ha sikerülne megtalálnunk a Mindenség Elméletét, akkor az megadná az alapvető állandók értékét – ami egyben az elmélet végső próbáját jelentené. Mindamellet, még ha a Mindenség Elmélete rögzíti is a természeti állandók értékeit az egyes „csecsemő” és „szülő” világegyetemekben, a közöttük fennálló féreglyuk kapcsolatok előre megjósolhatatlan fluktuációkat okoznak, amelyek megváltoztatják az állandók értékeit. Mért értékeik tehát eltérhetnek az elméletileg meghatározott, kezdetben kapott értékektől. Következésképpen a természeti állandók ma megfigyelt értékének nem, kell szükségképpen pontosan megegyezni a Mindenség Elmélete által megjósolt értékkel.

Vegyük ezután szemügyre a 7.5. ábra három hipotetikus esete közül az utolsót. A (3)-as görbe esetén a lehetséges értékek széles tartományán meglehetősen egyenletes a valószínűség eloszlása. Van ugyan egy legvalószínűbb érték, de csak éppenhogy. Ebben a helyzetben mindenféle kínos kérdés merül fel: A saját Világegyetemünkre vonatkozó megfigyeléseket, miért éppen a legvalószínűbb világegyetemre kapott előrejelzésekkel kellene összehasonlítanunk? Számíthatunk-e arra, hogy valamilyen kvantummechanikai értelemben a mi Világegyetemünk a „legvalószínűbbek” közé tartozik? A következőkben amellet fogunk érvelni, hogy minden okunk megvan annak feltételezésére, hogy a mi Világegyetemünk *nem* tartozik a legvalószínűbbek közé.

Történetünk nyitó fejezetében bevezettük a táguló Világegyetem fogalmát és kimutattuk, hogy milyen szoros összefüggés van egy ilyen Világegyetem kora és a benne található meg-

figyelők kifejlődése között. Az öreg Világegyetemekben szükségképpen megszületnek a csillagok, amelyek előállítják a héliumnál nehezebb elemeket, ami a bonyolult szervezetek kifejlődéséhez szükséges. Hasonlóképpen azt is fontolóra vehetjük, hogy a hozzánk hasonló (vagy tőlünk teljesen különböző) megfigyelők létezése miért jelenti azt, hogy a természeti állandók számértékei nem eshetnek messze az általunk megfigyelhető értékektől.⁵ Ha a gravitáció vagy az elektromágneses kölcsönhatás erőssége kissé eltérő lenne, akkor nem létezhetnének stabil csillagok, és összeomlana az atommagok, az atomok és a molekulák – az élet kialakulásához nélkülözhetetlen – finom egyensúlya. A biológusok véleménye szerint az élet spontán kifejlődéséhez feltétlenül szükség van a szén jelenlétére, mert csak a szénatom képes azokat a bonyolult kötések létrehozni, amelyek az élet csavarvonalú molekuláinak, a DNS-nek és az RNS-nek a kémiai alapját jelentik.⁶ A szén jelenléte a Világegyetemben nem csupán a Világegyetem korától és méretétől függ, hanem az atommagok energiaszintjeit meghatározó természeti állandók közötti két, meglehetősen nyilvánvaló I^o egyezéstől is. Amikor a csillagok belsejében végbemenő magreakciók két hélium mag egyesülése útján előállítanak egy berillium magot, akkor már csak egyetlen lépés hiányzik ahhoz, hogy egy újabb hélium mag hozzákapcsolódásával megszülessék a szénatom magja. Ezt az utolsó lépést jelentő reakció azonban túl lassúnak tűnik ahhoz, hogy a Világegyetemben a szükséges mennyiségű szén létrejöjjön. Azon a tényen felbuzdulva, hogy mi ennek ellenére létezőnk, Fred Hoyle 1952-ben megdöbbentő jóslatot tett közzé. Megjósolta, hogy a szén atommagja képes egy olyan energiaszinten tartózkodni, amelynek energiája éppen csak hogy nagyobb, mint a hélium és a berillium magok energiáinak összege. Ennek a helyzetnek köszönhetően a hélium-berillium reakció különösen gyorsan végbe megy, mivel a két mag együttese egy úgynevezett „rezonáns” állapotot tölt be, vagyis egy olyan energiaszintre kerülnek, amely szinte vár rájuk. Kiderült, hogy Hoyle-nak igaza van. A magfizikusok nagyon meglepődtek, amikor megtalálták a szénatommag korábban ismeretlen energiaszintjét, még hozzá pontosan ott, ahol annak Hoyle jóslata értelmében lennie kellett.

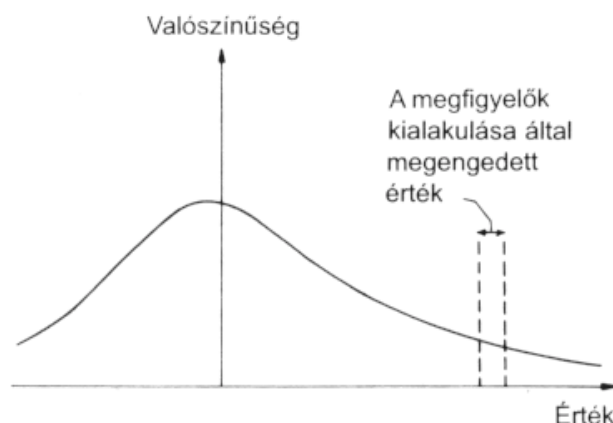
A Kaliforniai Műszaki Egyetem (Caltech) fizikusa, William Fowler, aki a nukleáris asztrofizika területén végzett kiemelkedő munkássága elismeréseképpen Nobel-díjat kapott, egy alkalommal elmesélte, hogy Hoyle előrejelzésének sikere győzte meg őt arról, hogy érdemes ezen a tudományterületen tevékenykedni. Ha valaki képes arra, hogy pusztán a csillagokról való elmélkedés alapján előre megmondja, hol található a mag egy újabb energiaszintje, akkor végül is ebben az asztrofizikában azért lehet valami!

Ha a természeti állandók értéke kissé eltérő lenne, akkor a hélium, a berillium és a szén rezonanciája nem létezne, és így mi magunk sem létehetnénk, mert alig lenne szén a Világegyetemben. Ez azonban még nem minden, íme a második véletlen egybeesés: Ha a szén atommagja egyszer már kialakult, akkor a további héliummagokkal való egyesülések következtében az összes szénnek át kellene alakulnia oxigénné. Ez a reakció azonban nem rezonáns, bár ennek csak kis híja van, így a szén egy része megmarad.⁷

Ezekből a példákból azt a következtetést kell levonnunk, hogy a bonyolult szerkezetek létezése a Világegyetemben csakis akkor lehetséges, ha megfelelő, nyilvánvaló egybeesések fordulnak elő a természeti állandók értékei között. Ha ezek az értékek csekély mértékben megváltoznak, akkor megszűnik annak a lehetősége, hogy tudatos megfigyelők létezzenek a Világegyetemben. Az ügyek ilyen szerencsés alakulásából azonban nem szabad messzemenő filozófiai vagy teológiai következtetéseket levonnunk. Nem állíthatjuk sem azt, hogy a Világegyetemet a benne található élőlényekkel együtt „megtervezték”, vagy hogy az életnek szükségképpen léteznie kell, sem azt, hogy az élet a Világegyetemben mindenütt létezik, vagy hogy továbbra is létezni fog. Ezen sejtések bármelyike éppúgy lehet igaz, mint hamis. Jelenleg nincs módunk ennek eldöntésére. Mindössze annyit kell világosan látnunk, hogy egy élőlényeket (vagy akár csak atomokat vagy atommagokat) tartalmazó Világegyetem létezéséhez arra van szükség, hogy a természet állandói – vagy legalábbis legtöbbjük – értéke nagyon közel legyen a megfigyelthez.

Mindezt szem előtt tartva vegyük ismét szemügyre a 7.5. , ábra (3) jelű görbét. Jelöljük meg az állandók értékének azt a

keskeny tartományát, amely lehetővé teszi a biológiai bonyolultságú fejlődést, majd gondoljuk át ismételten a kérdést. A megfigyelők létezését megengedő sáv nagyon keskeny és nagyon távol fekszik az elmélet által előre jelzett legvalószínűbb értéktől. Ez esetben azonban az elmélet összehasonlítása a megfigyelésekkel nagyon bonyolulttá válik. Valójában minket, nem az állandók legvalószínűbb értéke érdekel. Számunkra csak a megfigyelők kialakulását lehetővé tevő értékek legvalószínűbbike az érdekes. Ha például a tömegvonzás állandójának legvalószínűbb értékéhez olyan Világegyetem tartozik, amely csupán egy milliárdod másodpercig létezik, akkor bizonyosak lehetünk abban, hogy nem élhetünk a legvalószínűbb Világegyetemben.



7.6. ábra: Egy lehetséges előrejelzés annak a valószínűségére, hogy a jelenlegi Világegyetemben egy természeti állandó meghatározott értéket vesz fel. Megjelöltük az értékeknek azt a tartományát is, amely megengedi a „megfigyelők” kifejlődését. Ez a sáv a természet legtöbb alapvető állandója esetében nagyon keskenynek tűnik. Amint az ugyancsak látható a rajzon, a kritikus sáv nagyon távol is fekszik a legvalószínűbb értékektől.

Nagyon fontos dolgokat tudtunk tehát meg. Ha van egy olyan kozmológiai elméletünk, amelyik statisztikai előrejelzéseket ad a kvantummechanikai eredetű Világegyetem szerkezetére vonatkozóan, akkor ahhoz, hogy ezeket az előrejelzéseket a megfigyelések eredményeivel összehasonlíthassuk, ismernünk kell

az összes olyan kritikus helyzetet, amelyben a vizsgált mennyiség szükséges az észlelők kifejlődéséhez. Az illető fizikai mennyiségnek az élet lehetőségét megengedő értékeinek tartománya nagyon szűk és abszolút szemszögből nézve szélsőségesen valószínűtlen lehet. Mindamellett kénytelenek vagyunk egy ilyen valószínűtlen Világegyetemben lakni, mert semmilyen más Világegyetemben sem létezhetnénk. A féreglyukak labirintusán keresztül az idő kezdetéig tett, megpróbáltatásokkal terhes utazásunk során egyértelműen arra a végkövetkeztetésre jutottunk, hogy saját létezésünk fontos adalék a Világegyetem kezdetének és figyelemreméltó tulajdonságainak kutatásában.

A fenti következtetések súlya alól csak annak feltételezésével menekülhetünk, hogy az „élet” általános jelenség, amely ha törik, ha szakad, kialakul, függetlenül a természeti állandók értékétől. Ezt nehéz összeegyeztetni az életről szerzett ismereteinkkel és tapasztalatainkkal. A tudatos élet (tehát nem csupán a bonyolult molekulák) kialakulása meglehetősen bizonytalan ügynek tűnik, még az állandóknak a mi Világegyetemünkben megfigyelhető értékei esetén is. A biológusok nem győzik hangsúlyozni a zsákutcákba vezető lehetséges evolúciós útvonalak mérhetetlen sokaságát. Nem tagadjuk annak a lehetőségét, hogy a jelenlegi Világegyetemben az élet számos más formája is létezhet, azonban úgy gondoljuk, hogy azoknak az életformáknak is atomokra – valószínűleg szénatomokra – kell épülniük, feltéve, hogy spontán módon alakultak ki.

Természetesen létezhetnek az élet más formái is, jó úton haladunk például arrafelé, hogy mi magunk is létrehozzunk egyszerű, szilícium alapú élőlényeket. Jelenleg a tudomány lebilincselő sebességgel fejlődő területe az úgynevezett „mesterséges élet” kutatása (a „mesterséges intelligencia” kutatásával szemben). Együtt dolgoznak itt a fizikusok, vegyészek, matematikusok, biológusok és számítógépes szakemberek. Közös tanulmányozzák azoknak a bonyolult rendszereknek a tulajdonságait, amelyek a szerintünk az „élő” dolgokra jellemző tulajdonságok némelyikével vagy mindegyikével rendelkeznek. A vizsgálatok legtöbbje a gyors számítógépes grafika adta lehetőségeket kihasználva szimulálja a környezetükkel kölcsönható, növekedő, szaporodó és más élettévékenységeket mutató, bo-

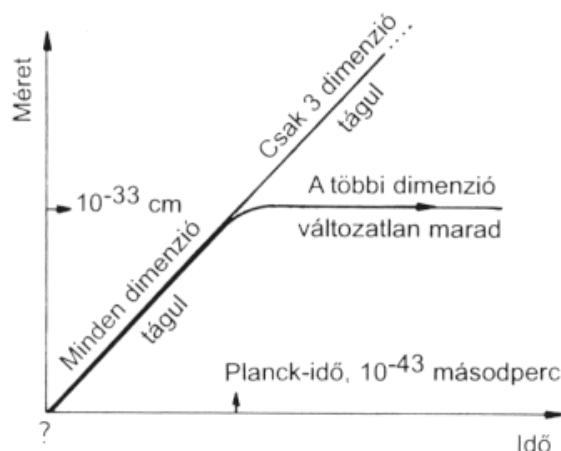
nyolult rendszerek viselkedését. Ma még nem tudjuk, hogy jogos-e ezeket a rendszereket „élő”-nek nevezni, de vizsgálatuk végső soron fényt deríthet azokra a feltételekre, amelyek lényegesek azoknak a szerkezeteknek a megjelenéséhez, amelyek már elég bonyolultak ahhoz, hogy „tudatos megfigyelő”-nek nevezhessük őket.

Új dimenziók

*Hányszor megmondtam, hogy ha kizárta az összes lehetetlent,
akkor ami megmarad, az az igazság, ha mégoly valószínűtlen is.*
A NÉGYEK JELE

Az 1980-as évek közepe óta a Mindenség Elméletének kutatásában a szuperhúrok elképzelése vált uralkodóvá. Míg korábban a részecskefizika legalapvetőbb törvényeinek keresése során a kutatók a kiterjedés nélküli pontokkal dolgozó matematikai leírásokra összpontosították figyelmüket, addig a szuperhúr elmélet főszereplői az energia vonalai vagy hurkai. A „szuper” előtag a húroknak azokra a különleges szimmetriatulajdonságaira utal, amelyek lehetővé teszik, hogy a húrok segítségével egységes leírást adjunk az anyag elemi részecskéiről és a természetben megtalálható sugárzások különböző fajtáiról. Első pillanatban különösnek tűnhet az az elképzelés, amelyik az elemi részecskéket parányi hurkoknak tekinti, azonban ezek a hurkok sokkal inkább rugalmas szalagokhoz hasonlíthatók: a környezet hőmérsékletétől függő nagyságú feszültséggel rendelkeznek. Alacsony hőmérsékleten a feszültség nagyon nagy, ezért a hurkok összehúzódnak és pontszerűen viselkednek. Ennek következtében a Világegyetemben jelenleg uralkodó viszonylag mérsékelt környezetben a húrok nagyon jó közelítéssel pontként viselkednek és a pontszerű elemi részecskékhez hasonlóan engedelmeskednek az alacsony hőmérsékletű fizika törvényeinek. Azt viszont már régóta tudjuk, hogy a részecskék pontszerű képe értelmetlen eredményekre vezet, ha a leírást nagyon nagy energiájú vagy nagyon magas hőmérsékletű környezetre próbáljuk alkalmazni. Sőt mi több, a pontszerű kép kerek pereg megtagadja az engedelmességet, amikor a gravitációt összhangba akarjuk hozni a másik három kölcsönhatással, az elektromágnességgel, valamint az erős és a gyenge magerőkkel. Ezzel szemben a szuperhúr elmélet a magas hőmérsékleten is

kezes bárányként viselkedik, ráadásul a gravitáció szinte kezét nyújt a másik három kölcsönhatásnak. Az értelmetlen válaszok eltűnnek, miközben az elemi részecskék fizikájának minden megfigyelhető sajátossága levezethető az elméletből, legalábbis elvben, ugyanis eddig még senki sem volt elég ügyes ahhoz, hogy el is végezze a számításokat.



8.1. ábra: A rajzról leolvasható, hogy egy elképzelhető szuperhúr Világegyetemben az egyes térbeli dimenziók mérete hányszorosára nő meg. Kezdetben az összes dimenzió ugyanolyan ütemben tágul, azonban a Planck-idő, azaz 10^{-43} másodperc elteltével csak a ma is érzékelhető három térbeli dimenzió tágulása folytatódik. Utóbbiak alkotják a látható Világegyetemet, jelenlegi kiterjedésük legalább 10^{27} centiméter. A többi dimenzió csapdába esik és fejlődésük megreked. Ezek ma számunkra észlelhetetlenek, minthogy egy csupán 10^{-33} centiméter kiterjedésű világegyetemet alkotnak. Mindmáig nincs megfigyelésekkel szerzett bizonyítékunk arra, hogy a térnek ezen további dimenziói valóban léteznek-e.

Mindez csodálatosan hangzik, azonban akad egy kis bökkenő. A szuperhúr elmélet csak akkor szolgáltatja ezeket az áhított tulajdonságokat, ha olyan Világegyetemben élünk, amely az általunk megszokott háromnál jóval több térbeli dimenzióval rendelkezik. A megalkotott első modellek kilenc vagy huszonöt dimenziós teret követeltek meg! Amikor ez kiderült, azonnal megkezdődött a nyomozás egy olyan, a Planck-idő közelében

végbemenő természeti folyamat után, amelyik biztosítani képes, hogy a mondjuk kilenc, azonos ütemben táguló térbeli dimenzióval megszülető Világegyetem hat dimenziója valamiképpen megrekedjen a 10^{-33} centiméteres átmérőjű állapotában, miközben a további három dimenzió átmérője az idők során ezekének 10^{60} -szorosára nő (lásd a 8.1. ábrán). Az elmélet szerint a többlet dimenziók tágulása a Planck-méret környékén megállt, ezért hatásuk ma már érzékelhetetlen, méghozzá nem csak a mindennapi életben, hanem a nagyenergiájú fizika eddig elvégzett kísérleteiben is.

Mindeddig megoldatlan probléma, miképpen mehetett végbe a fölös dimenziók csapdába esése. Amennyiben ez a jelenség valóban bekövetkezett, akkor ez még az eddig feltételezettnél is nehezebbé teszi a korai Világegyetem magyarázatát. Lehetséges, hogy létezik valamilyen alapelv a természetben, amely előírja, hogy csakis pontosan három térbeli dimenzió folytathatja a tágulást és nőhet akkora méretűre, amekkorának ma a Világegyetemet megfigyeljük. Az is elképzelhető persze, hogy a nagy méretűre növvő dimenziók száma véletlenszerűen alakul, így az is előfordulhat, hogy a Világegyetemben tartományról tartományra változik a térbeli dimenziók száma.

A nagyméretű térbeli dimenziók száma kulcsfontosságú szerepet játszik a Világegyetemben végbemenő események alakításában. Figyelemreméltó, hogy a három nagyméretű térbeli dimenzióval rendelkező Világegyetek kitüntetett helyzetűek. Ha háromnál több nagy dimenzió van, akkor sem stabil atomok, sem pedig a csillagok körüli stabil bolygópályák nem létezhetnek. A hullámok viselkedése ugyancsak különleges a három dimenziós térben. Ha a tér dimenzióinak száma páros, például kettő, négy vagy hat, akkor a hullámok formájában terjedő jelek „visszhangzanak”, ami azt jelenti, hogy a különböző időpontokban, hullámok formájában kibocsátott jelek ugyanakkor érkeznek a megfigyelőhöz. Páratlan számú dimenzió esetén mindez nem fordulhat elő, a hullámok formájában terjedő jelek visszhangmentesek. Ugyanakkor viszont a háromtól eltérő, de páratlan dimenziószám esetén a hullámokkal továbbított jelek torzulnak. A hullámok terjedése kizárólag három térbeli dimenzió esetén egyértelmű és torzításmentes.

Mindezek alapján az az érzésünk, hogy az élő megfigyelők kizárólag a három nagyméretű térbeli dimenzióval rendelkező világegyetemekben létezhetnek (bár érdekes lenne azon is elgondolkodni, mi történhet két dimenzióban), minthogy több nagy térbeli dimenzió esetén hiányoznak az elektromágneses erők és az erős kölcsönhatás által összetartott szerkezetek, például az atomok.

Láthatjuk tehát, hogy ha a természet valamilyen mélyebb alapelvének köszönhetően három nagy kiterjedésű térbeli dimenzió létezik, akkor nagyon szerencsésnek mondhatjuk magunkat. Ha Világegyetem térbeli dimenzióinak száma az idő kezdetén bekövetkező események véletlenszerű végkimenetelének eredménye, vagy a ma megfigyelhető Világegyetem határain túl helyről helyre változik, akkor a helyzet hasonló ahhoz, amilyenell akkor találkoztunk, amikor a féreglyukak fluktuációi alapján akartuk a természeti állandókat meghatározni. Meghatározhatjuk annak a valószínűségét, hogy éppen három térbeli dimenziót találunk, de függetlenül attól, hogy ez a valószínűség milyen kicsinek adódik, tudomásul kell vennünk, hogy mi ennek ellenére három térbeli dimenziójú Világegyetemben élünk, hiszen máskülönben nem fejlődhattünk volna ki.

Azok a spekulatív tendenciák, amelyek irányába a kozmológiai és nagy energiájú fizikai kutatások élvonala új matematikai elméletek elágazásának feltárásával halad, rávilágítottak a kozmológia egy általános vonására. Ez nem egészen illik bele a természettudományokról kialakított hagyományos képbe. A tudományfilozófusok, mint például Karl Popper, hangsúlyozzák, hogy valamely elmélet csak akkor tekinthető „tudományos”-nak, ha valamiképpen ellenőrizhető állításokat tartalmaz. A laboratóriumokban művelt tudományágak esetében e követelmény teljesítése nem okoz különösebb nehézséget. Elvben bárki, bármilyen, tetszése szerinti kísérletet megvalósíthat, még ha a gyakorlatban felléphetnek is pénzügyi, jogi vagy erkölcsi korlátok. A csillagászatban gyökeresen más a helyzet. Nincs lehetőségünk arra, hogy a Világegyetemmel kísérleteket végezzünk. Tetszés szerinti megfigyeléseket végrehajthatunk, de közvetlen kísérletekre nincs mód. Ezért a kísérletek helyett összefüggéseket próbálunk keresni a különféle jelenségek közt.

Ha például megfigyelünk nagyon sok galaxist, akkor megállapíthatjuk, hogy a nagy méretűek mindig nagyon fényesek is, vagy hogy a spirális szerkezetűek tartalmazzák a legtöbb port és gázt, és így tovább. A kozmológiában ugyancsak eltér a helyzet a „földi” tudományoktól, mert itt az adatok torzulhatnak, nincs ugyanis meg annak a lehetősége, hogy egyszerűen megismételve a kísérletet, ugyanazt a jelenséget más és más körülmények közt figyeljük meg, majd az eredményeket szükség esetén korrigáljuk. Korábban már megmagyaráztuk, hogy miért csak akkor élhetünk, amikor a Világegyetem életéből már sok milliárd tágulással töltött év eltelt, és hogy a teljes – valószínűleg végtelen – Világegyetemnek miért csak egy csekély töredékét figyelhetjük meg. Megállapítottuk azt is, hogy a Világegyetem tulajdonságai helyről helyre változnak, aminek következtében a megfigyelők csak meghatározott tartományokban fejlődhetnek ki. A kozmológia olyan tudományág, amelyben mindig sokkal kevesebb adat áll a rendelkezésünkre, mint amennyit szeretnénk. Sőt mi több, egyes adatok más okból kifolyólag is torzulhatnak. A fényes galaxisokat könnyebb észrevenni, mint a halványakat. A látható fényt könnyebb észlelni, mint a röntgensugárzást. Jó megfigyelő csillagász csak az lehet, aki művészi szinten megérti: hol torzulhatnak az eredmények az adatgyűjtés jellegéből adódó okok miatt.

A kozmológia mindezen sajátosságait szem előtt tartva, érdekes megfigyelni a Világegyetem eredetével foglalkozó tanulmányok egyre növekvő számát. Korábban már hangsúlyoztuk a különbséget azok között, akik abból próbálják meg levezetni a Világegyetem ma megfigyelhető tulajdonságait, hogy milyen fizikai viszonyok uralkodhattak a kezdet kezdetén, illetve azok között, akik szerint a Világegyetem jelenlegi szerkezete elkerülhetetlen következménye a múltban lejátszódott fizikai folyamatoknak, függetlenül attól, hogy milyenek voltak a kezdeti feltételek. A felfűvódó Világegyetem képe a második megközelítés legtokéletesebb megnyilvánulása. Teljesen mindegy, hogyan kezdődött a Világegyetem története, érvelnek az elmélet hívei, kellett lennie egy tartománynak, amelyik elegendően kicsiny volt ahhoz, hogy az anyag és a sugárzás kölcsönhatása minden egyenetlenséget elsimítson, és amelyben egy rövid, át-

meneti időszakban végbemehetett a gyorsuló tágulás. A folyamat eredménye egy olyan Világegyetem, amelyik megtévesztésig hasonlít a miénkre: öreg és nagy, nincsenek benne mágneses monopólusok, tágulásának üteme pedig zavarba ejtően közel esik a „nyílt” és a „zárt” szerkezetű világegyetemek közötti választóvonaltól. Az utóbbi években azonban számos kutató figyelme az első megközelítés felé fordult. Ezek a tudósok azt kezdték vizsgálni, hogy léteznek-e a Világegyetem kezdeti állapotát meghatározó alapelvek a természetben. Valójában tehát a természeti törvények merőben új fajtáját keressük, nem olyanokat, amelyek a Világegyetem állapotában a kezdetet követően, egyik pillanatról a másikra bekövetkező megengedett változásokat szabályozzák, hanem valamilyen, magukat a kezdeti feltételeket kialakító törvényszerűséget.

Erre számos érdekes példát sorolhatunk fel. Az egyikkel már találkoztunk is: ez a James Hartle és Stephen Hawking által felvetett határ nélküli feltétel. Mint már megjegyeztük, a kezdeti állapotot többféleképpen is meghatározhatjuk, így különböző végkövetkeztetésekre juthatunk. Ezek közé tartozik Alex Vilenkin javaslata is, amelyet a 6.7. ábrán mutattunk be. Elképzelhetünk egy egészen más értelemben természetesnek tűnő kezdeti állapotot: a tökéletes rendezetlenséget. Végül, Roger Penrose is javasolt egy előírást. Eszerint lehetőség van arra, hogy a Világegyetem gravitációs terében megmérjük a rendezetlenség szintjét. Ez az univerzális „gravitációs entrópia” a termodinamika második főtételeivel összhangban nő. Nagyon valószínűnek látszik, hogy egy ilyen entrópia valóban létezik. Hawking kimutatta, hogy a fekete lyukak gravitációs terének termodinamikai tulajdonságai vannak, a fekete lyukak azonban – ellentétben a Világegyetemmel – nem tágulnak az idő múlásával, így nem tudhatjuk, hogy mi határozza meg a táguló Világegyetem gravitációs entrópiáját. Fekete lyuk esetében egyszerű a válasz: a gravitációs entrópiát a fekete lyuk határfelülete felszínének nagysága határozza meg. Penrose és mások felvetették, hogy talán a Világegyetem felületével kapcsolatban álló valamiféle szabályszerűség árulhatja el a gravitációs entrópiáját. Ha a tágulás üteme mindenütt és minden irányban ugyanakkora lenne, akkor az entrópia kicsi lenne. Ha a tágulás

helyről helyre, illetve irányról irányra kaotikusan változna, akkor az entrópia nagy lenne.

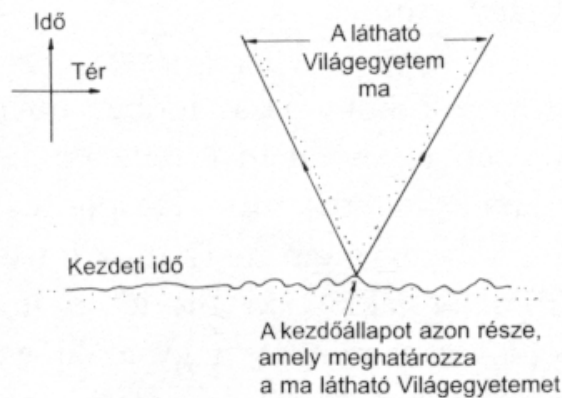
Függetlenül attól, hogy mi jelzi a gravitációs entrópia nagyságát, megállapíthatjuk, hogy ha az időben növekszik, akkor a Világegyetem kezdeti állapotában értékének nagyon kicsinek vagy esetleg nullának kellett lennie. Ha pontosan meg tudjuk határozni, hogy a Világegyetem mely tulajdonsága adja meg a gravitációs entrópiáját, akkor ki tudjuk számítani annak a ténynek néhány következményét, hogy a Világegyetem kezdetekor a gravitációs entrópia értéke nagyon kicsi volt. Mindaddig azonban ezt nem tudtuk elvégezni.

A Világegyetem eredetére vonatkozó ezen „alapelvek” egyike sem tűnik előnyösebbnek a többinél a kozmológia nagy problémájának megoldására. Mindegyik elmélet roppant spekulatív, nem tűnnek többnek öncélú ötleteknél. *Bármely* próbálkozással a kapcsolatban azonban, amely a Világegyetem ma megfigyelhető szerkezetét valamilyen kezdeti alapelvekből próbálja levezetni, fel kell hívnunk a figyelmet egy fontos kikötésre.

Emlékezzünk vissza arra, hogy megkülönböztettük a Világegyetem egészét attól a részétől, amelyből a keletkezése óta eltelt idő alatt a fény elérhetett hozzánk. Utóbbit neveztük a „látható Világegyetem”-nek. A látható Világegyetem szükségszerűen véges méretű. Ha arról beszélünk, hogy meg akarjuk magyarázni a Világegyetem szerkezetét, akkor eközben mindig a látható Világegyetem szerkezetére gondolunk. Az egész Világegyetem kiterjedése ezzel szemben akár véges, akár végtelen lehet. Sohasem fogjuk megtudni. Ha végtelen kiterjedésű, akkor a látható Világegyetem mindig is csupán végtelenül kicsiny része lesz az egésznek.

Ezek a korlátozások alaposan megkérdőjelezzik az egész Világegyetem kezdeti állapotára vonatkozó alapelvek hasznosságát. A Világegyetem tágulásáról alkotott képünk szerint a látható része a 8.2. ábrán bemutatott módon, a kezdeti állapot egyetlen pontjából vagy egy nagyon kicsiny tartományából fejlődött ki.

A látható Világegyetem ma megfigyelhető szerkezete nem egyéb, mint a kezdeti állapot egy kicsiny része fizikai állapotának óriásira felnagyított képe. A nagy „alapelv” viszont „átlagos” leírást ad az egész Világegyetem kezdeti állapotáról.



8.2. ábra: *A látható Világegyetem fénysebességgel távol az egész Világegyetem kezdeti állapotának egyetlen pontjából kiindulva. A Világegyetem megfigyelhető részének minden tulajdonságát annak a bizonyos kiinduló pontnak a fizikai állapota határozza meg, nem pedig a kezdeti feltételeket előíró valamilyen ismeretlen „alapelv” által az egész Világegyetem kezdeti állapotára megszabott átlagos feltételek.*

Lehet, hogy ez az előírás helyes, azonban nem ez az, amire a látható Világegyetem megértéséhez szükségünk van. Valójában a kiinduló helyzetből annak a kicsiny tartománynak a fizikai állapotára vagyunk igazán kíváncsiak, amelyből a látható Világegyetem kifejlődött. Lehet, hogy ennek a tartománynak a fejlődése egyáltalán nem jellemző a Világegyetem egészére, hiszen ez a rész azt a speciális fejlődési utat járta be, amelynek eredményeképpen létrejöhettek benne a megfigyelők. Mint láttuk, a megfigyelők kifejlődéséhez az illető tartománynak számos különleges tulajdonsággal kell rendelkeznie. Lehet, hogy a Világegyetem fejlődése valóban egy minimális gravitációs entrópiájú állapotból indult el, azonban ez a tény valószínűleg nem ad magyarázatot a látható Világegyetem szerkezetére, mert a látható Világegyetem éppen egy átlagtól eltérő tulajdonságokkal rendelkező fluktuációból fejlődött ki, nem pedig az átlagoként előírt, minimális entrópiájú állapotból. Sőt mi több, az a tény, hogy tapasztalati úton kizárólag a Világegyetem egy korlátozott részéről, nevezetesen a látható Világegyetembről vagyunk képesek információkat szerezni, egyúttal azt is jelenti, hogy az egész Világ-

egyetem kezdeti állapotára vonatkozó előírások következményeit soha nem fogjuk tudni ellenőrizni. Csak a látható Világegyetem kifejlődését eredményező kis tartomány kezdeti állapotának következményeit ellenőrizhetjük. Lehetséges persze, hogy egy napon majd a kozmikus szomszédságunk eredetéről is fogunk tudni valamit mondani. Az *egész* Világegyetem eredetének titkára azonban soha sem fogunk fényt deríteni. A Világegyetem legmélyebb rejtelsei örökre megőrzik titkaikat.

Jegyzetek

1. FEJEZET

1. Az izzó gázokban mozgó atomok olyan fényt bocsátanak ki, amely meghatározott hullámhosszú sugárzások keveréke. E hullámhosszak és kombinációik jellemzőek a kibocsátó atomra. Ha a fényt spektroszkópban (pl. prizmával) felbontják különböző hullámhosszú összetevőkre, akkor a gázok színekében meghatározott helyzetű fényes vonalak látszanak (szemben például az izzó szilárd testek által kibocsátott fény folytonos színekével). Ez a múlt században felfedezett jelenség tette lehetővé, hogy az észlelt sugárzás alapján meghatározzák a távoli égitestek, pl. a Nap és más csillagok anyagi összetételét. A távoli galaxisok által kibocsátott fény Doppler-jelenség miatt bekövetkező vöröseltolódásakor az egyes fényes vonalak hullámhossza megváltozik. Az hihetnénk, hogy ezzel lehetlenné válik a kibocsátó atomfajta azonosítása. A helyzet szerencsére más: az egyes atomfajták színekp vonalai mintegy együtt csúsznak el a színekp mentén, relatív helyzetük megmarad (lásd a 2. ábrán). Ezért a vonalkombinációk továbbra is lehetővé teszik az elem azonosítását, sőt az eltolódás mértékéből a Doppler-jelenséget okozó mozgás sebessége is kiszámítható. A módszer nagyon érzékeny, kis sebességkülönbségek kimutatására is alkalmas.
2. Ez a hasonlat meglepően sikeres. Mint tudjuk, a Világegyetem tágulását Einstein általános relativitáselmélete, azaz a gravitáció modern elmélete írja le. Ennek egyenletei még a szakemberek számára is ijesztően bonyolultak. Ám ha az elméletet az egyenletes tömegeloszlású táguló Világegyetemre alkalmazzuk, a tágulás ütemét leíró, hosszas számolás után megkapható egyenlet azonos lesz a Földről feldobott lcő mozgását leíró egyenlettel, ennél fogva megoldásai is azonosak. A fenti példa tehát több, mint jól sikerült hasonlat.

3. Ez a hasonlat viszont nem pontos. A táguló Világegyetem Einstein – Fridman-modellje szerint a kezdet pillanatában a tágulás sebessége mindenképpen végtelen. (Más kérdés persze, és erről a könyv későbbi fejezeteiben bőven lesz szó, hogy a tudósok jelenlegi álláspontja szerint az Einstein – Fridman-modell a kezdet pillanatának közvetlen közelében már nem alkalmazható.) Nincs értelme megkülönböztetni a kisebb és nagyobb végtelen sebességeket. Értelmes viszont az anyag egyes részecskéinek összes (mozgási + gravitációs) energiájáról beszélni. Ez a jellemző paraméter: ha az energia meghalad egy kritikus értéket, a tágulás örökké tart. Ez a paraméter viszont kifejezhető a Világegyetem jelenlegi átlagos sűrűségével: ha ez a sűrűség meghalad egy kritikus értéket, az anyag gravitációs hatása legyőzi a tágulás lendületét, a tágulás leáll, és megkezdődik a Nagy Reccshez vezető összehúzódás. A kritikus sűrűség 2×10^{-29} gramm anyag köbcéntiméterenként.
4. Érdekes módon kapcsolódik össze a lehetséges Fridman-univerzumok térbeli és időbeli szerkezete. Az önmagába visszazuhanó világegyetem tere véges és zárt, egy gömb felszínéhez hasonlítható (ezért nevezik ezt a modellt zárt univerzumnak). A másik két modell, a nyílt és a kritikus univerzum tere végtelen. A zárt modell elvileg körül-úrhajózható, hasonlóan a Föld körülhajózásához. Ezt azonban megakadályozza az univerzum tágulása, amely a világot körülhajózó úrhajó alatt mintegy felfújja a léggömböt, így a (fénysebességnél mindenképpen lassabban haladó) hajó sohasem ér vissza kiindulási pontjához. Modelluniverzumunk élete második felét összeomlással tölti, így látszólag segít a körülhajózóknak. Csakhogy a számítások szerint mire az úrhajó hazaérne, a világ már teljesen összeroppan alatta, és bekövetkezik a Nagy Reccs. A zárt és a nyílt terű világegyetemek megkülönböztetése a gyakorlati csillagászatot nem befolyásolja: akár véges a világ, akár végtelen, csak egy véges részt láthatunk belőle, amelynek sugara a Nagy Bumm óta eltelt idővel arányosan nő (lásd a látható Világegyetemről szóló részt a 4. fejezetben).
5. Ez az állítás az ún. antropikus elv, más néven a „lakható világ” elvének egyik alkalmazása. Az elvről és következményeiről az iro-

dalomjegyzékben szereplő könyvben és cikkben olvashatunk részletesebben.

6. Penzias és Wilson felfedezését – a Nagy Bumm modelljének általános elfogadása után – 1979-ben fizikai Nobel-díjjal jutalmazták. A jelenséget megjósoló Gamow és társai nem kaptak díjat.
7. A nagy égi koszinusz felfedezése látszólag ellentmond a speciális relativitáselmélet kiindulópontjának, amely szerint az egymáshoz képest állandó sebességgel mozgó megfigyelők, vonatkoztatási rendszerek mind egyenértékűek, azonos fizikai törvények vonatkoznak rájuk, ezért semmilyen fizikai kísérlettel nem lehet kimutatni abszolút, a „térhez”, az „éterhez” viszonyított mozgásukat. Voltak, akik a nagy égi koszinusz felfedezését „az éter újjászületéseként” ünnepelték. Az ellentmondás csak látszólagos. A nagy égi koszinusz a Földnek nem az abszolút térhez, hanem egy konkrét anyagi rendszerhez, a háttérsugárzás egyenletesen táguló óceánjához viszonyított mozgását tükrözi. A kozmológiai modellekkel szemben viszont nagy kihívást jelent annak megmagyarázása, hogyan alakult ki ez – a misztikus éter szerepének bizonyos vonatkozásait kiválóan eljátszó – anyagi rendszer.

2. FEJEZET

1. Ezek a vad elképzelések éppen annyira jogosultak, mint az oszcilláló univerzum eredeti, konzervatív modellje – vagyis semennyire. Az általános relativitáselmélet egyenletei a szingularitás, azaz a Nagy Bumm és az esetleges Nagy Reccs pillanatában érvényüket veszítik, az egyenletek megoldásai pedig matematikailag nem folytathatók a szinguláris ponton túl. Arról beszélni, hogy mi volt a Nagy Bumm előtt, vagy mi lesz a Nagy Reccs után, éppenséggel lehet, de ez nem tartozik a jelenleg érvényesnek tartott tudományos elmélet kompetenciájába. Mint később szó lesz róla, maga az „előtt” és az „után” fogalma sem használható, hiszen az elmélet szerint maga az idő is a Világegyetemmel együtt született, és – az összeomló modellben – vele együtt ér véget.

2. Egy friss színes hír (1994 június): A *Sky and Telescope* amerikai csillagászati folyóirat pályázatot írt ki, hogy a *Nagy Bumm* (*Big Bang*) elnevezést valami méltóságteljesebbel helyettesítsék. (Hasonló okból használja a magyar szakirodalom a Nagy Bumm helyett a „komolyabb” ősrobbanás kifejezést.) Néhány példa az amerikai pályázatra beérkezett több mint 13 000 javaslat közül: Durranás a múltból (*Blast from the Past*), Nagy Böfögés elmélet, NICK (*Nature's Initial Cosmic Kickstart*, azaz a természet kozmikus kezdőrúgása). A Carl Sagan vezette bírálóbizottság szerint egyetlen olyan javaslat sem érkezett, amely szellemességben és vidámságban megközelítené Hoyle 1950-es ötletét. Marad tehát a Nagy Bumm.
3. Az egyik ilyen – igen ravasz, ezért nagyon nehezen cáfolható - próbálkozást, amellyel Hoyle és munkatársa, Narlikar megpróbálta megmenteni az állandó állapotú univerzum modelljét, összeegyeztetve a vöröseltolódás és a háttérsugárzás kísérleti tényét az állandó állapot filozófiájával, részletesen ismerteti Kaufmannak az irodalomjegyzékben idézett könyve.

3. FEJEZET

1. Az angol singularity szó egyszerre jelenti a köznapi értelemben vett furcsa, egyedi, különleges dolgot, valamint a matematikai szingularitást, azaz azt a pontot, ahol az értelmezési tartomány véget ér, ahol a megoldás érvényessége megszűnik, és ahol bármi egyéb galádságra el lehetünk készülvé.
2. Pontosabban mondva Penrose tétele szerint vagy a fénysugarak múltjában, vagy jövőjében, vagy mindkettőben kell lennie egy szinguláris eseménynek. Ez megfelel a végtelenségig táguló, a végtelenből összeomló, illetve a táguló, majd visszafordulva összeeső Fridman-féle univerzumnak.
3. Ez a kritikus pillanat az egyre nagyobb energiájú részecskegyorsítók építésével természetesen folyamatosan egyre korábbra tolódik.

4. A tau-neutrínót a könyv angol eredetijének megírása után, 1994 tavaszán mutatták ki a kísérleti fizikusok. Ezzel teljessé vált az elemi részecskék ún. standard modellje.
5. Ennek az első néhány száz másodpercnek a történetét ismerteti részletesen S. Weinberg világhírű könyve, Az első három perc.
6. Az egyedüli feltevés a termodinamikai egyensúly pusztá léte, ami viszont korántsem magától értetődő. (Lásd a 4. fejezetet.)

4. FEJEZET

1. A foton antirészecskéje önmaga. A részecske-antirészecske kettősséget valahogy úgy lehet elképzelni, mint egyfajta tükrözést: a tükör a balkezes kesztyűt jobbkezesbe transzformálja, és viszont. Semmi elvi, a priori különbség sincs a két kesztyű között: a kettősség csak egymáshoz való viszonyukban nyer értelmet. A foton – és még néhány másik részecske, pl. a semleges pion – olyan, mint egy szimmetrikus tárgy: tükröképe egybeesik az eredetivel. Az anyag-antianyag szóhasználat eléggé megtévesztő: az antianyag is az általában vett anyag egyik fajtája.
2. Ez azt jelenti, hogy az anyag-antianyag közti szimmetria megsértésének okát a Világegyetem történetéből az elemi részecskék fizikájának szabályai közé számúzzuk. Azaz maguk a fizikai alaptörvények aszimmetrikusak! Erre a meglepő állításra az első kísérleti bizonyíték 1962-ben született meg. Az elemi részecskék elektromágneses és gyenge kölcsönhatásait egyesítő, azóta már kísérletileg sokszor igazolt, és fizikai Nobel-díjjal is jutalmazott elmélet szerzői, Weinberg, Salam és Glashow ezt az aszimmetriát már alapfeltevésként használták elméletük kiépítése során.
3. Másik elnevezése részecskehorizont. A név arra utal, hogy a kauzális, oksági kapcsolatot továbbító jelet hordozó hullámok vagy részecskék, legfeljebb a c fénysebességgel mozogva t idő alatt legfeljebb ct távolságra jutnak el, ez tehát a kauzális kapcsolat maximá-

4. A távolsága t idővel a Nagy Bumm után. A kauzális horizont nem tévesztendő össze az általános relativitáselméletben a fekete lyukak fizikájával kapcsolatban felbukkanó ún. eseményhorizontokkal.
5. A monopólusok várható számát a mai látható Világegyetemben a sugarak fenti arányának köbe határozza meg, így ez a szám valahol 10^{70} és 10^{80} között van. Ez nagyságrendileg megegyezik a látható univerzumban található összes elemi részecskék becsült számával!
6. Kauzális horizontunk fénysebességgel tágul, míg a Világegyetem tágulásának üteme ma folyamatosan csökken (emlékezzünk a földobott kő példájára). Ez azt jelenti, hogy a kauzális horizont előbb-utóbb utoléri a nagy egyesítés korszakában érvényes horizont által meghatározott homogén tartomány határát, amely a felfúvódás során látóhatárunkon kívülre került. Ha tehát elég sokáig várunk, és eközben a Világegyetem egyre nagyobb tartományait vagyunk képesek megfigyelni, egyszer csak meglátjuk a homogén zóna határát, és azon túl az inhomogenitásokat. (Ez pl. abban a formában jelentkezik, hogy a COBE műhold majdani utódai által észlelt háttérsugárzás intenzitása egyszer csak erősen irányfüggővé változik, hírt hozván az ősi univerzum erősen eltérő hőmérsékletű tartományairól.) Jelenlegi számításaink szerint mindenesetre elég sokáig kell várnunk a felfúvódó Világegyetem elméletének eme végső bizonyítékára: az elmélet különböző változatai szerint kb. 10^{12} - 10^{20} évet. (A Világegyetem jelenlegi életkora csak 10^{10} év!)
7. 1975-ben Szalay Sándor és Marx György magyar fizikusok kozmológiai alapon megjósolták, hogy a neutrínó nyugalmi tömege nem zérus, hanem egy igen kicsiny, de határozottan pozitív érték (az elektron tömegének kevesebb, mint tízezred része). Ezt az elméleti jóslatot egy szovjet csoport 1980-as mérése igazolta, de a kísérlet megismétlésével ezt az eredményt azóta sem sikerült megerősíteni. Lásd Szalay Sándornak az Irodalomjegyzékben idézett cikkeit.
7. Az elektronvolt (jele eV) energiaegység: ekkora mozgási energiára tesz szert egy elektron vagy más egységnyi elemi töltésű részecske, ha 1 Volt potenciálkülönbségű elektródák között gyorsítjuk. $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$. Az energia és a tömeg közti Einstein-féle összefügg-

gés alapján ez $1,8 \times 10^{-38}$ kg tömegnek felel meg. Az elemi részecskék fizikájában a tömeg és az energia mérésére az elektronvoltot és többszöröseit használják.

5. FEJEZET

1. A szabadon mozgó elektromos töltésű részecskékből álló forró plazma igen rövid út megtétele után elnyeli (majd újra kisugározza) a fotonokat. Ezért nem átlátszó pl. a láng vagy a Nap. Az atomos anyag viszont Bohr törvénye szerint csak meghatározott frekvenciájú fotonokat hajlandó elnyelni, így a fotonok nagy része akadálytalanul halad át rajta. Ezért átlátszó a gázok nagy része. Az atomok létrejötte előtti pillanat nyomát őrző, az atomos anyagról lecsatolódó háttérsugárzás, „a plazma hattyúdala” kezdetben főleg a látható fény és az ultraibolya sugárzás formájában volt jelen (hullámhossza a néhány száz nm-es tartományba esett). A Világegyetem tágulása, vagy más fogalmazással a Doppler-jelenség azóta a milliméteres rádióhullámok tartományába tolta át a háttérsugárzást.
2. Az imént vázolt modell izgalmasan egyesíti magában a két, korábban kibékíthetetlen ellenfélnek tűnő elméletet: a Nagy Bumm és az állandó állapotú világegyetem modelljét. Lehetséges, hogy a hatalmas és komplex, de statisztikusan állandó állapotú világban kis cellák vagy al-cellák helyi felfűvódásaival játszódik le az ősrobbanás-modell hagyományos forgatókönyve – az egyes cellákban egymástól függetlenül. Az egyes cellák történetének van kezdőpillanata, míg maga a Világ stacionárius. Egyben megoldódik a Hoyleféle állandó állapotú modell régi problémája is: a folytonos anyagkeletkezés nem hidrogénatomok formájában megy végbe (ez nagyon valószínűtlen lenne, lévén a hidrogénatom többszörösen összetett, bonyolult rendszer), hanem kis vákuumbuborékok formájában komplett kis világegyetemecskék pattannak elő, és indulnak növekedésnek. Hoyle modelljével szemben sokan az anyag- és energiamegmaradás törvényére hivatkoztak (mitől voltak olyan biztosak e törvények érvényességében?); nos a kis vákuumbuborékok össztöltése, perdülete, energiája és egyéb kvantumszámai nul-

lával egyenlőek: maga a fizikai vákuum transzformálódik át kis világegyetem-csírákká!

3. Ez a régi oszcilláló Világegyetemre emlékeztet. Az azzal szemben felhozott érvek most nem helytállóak, hiszen a felfűvódó világban nem érvényesek a Penrose-tétel feltételei, ezért az anyag nem feltétlenül éri el a szingularitást. Speciálisan: akár oszcillálhat is.
4. Eredetiben: Theory of Everything, TOE.
5. Ez az ún. Compton-hullámhossz.
8. George Gamow *Tompkins úr szórakoztató kalandjai a fizikával* (magyarul: Gondolat kiadó, 1975) a laikus olvasó számára is érthetően magyarázza el a különböző fizikai fogalmakat. Kellemesen olvasmányos áttekintést ad arról, milyen lenne világunk, ha a tárgyak kvantummechanikai hullámhossza közel akkora lenne, mint a tényleges, fizikai méretük. A biliárdozás különösen emlékezetes, elbizonytalanító élménynek bizonyult Tompkins úr számára. (A szerző jegyzete.)

6. FEJEZET

1. Az olvasónak önkéntelenül is Asimov fantasztikus regénye, *A halhatatlanság halála* jut eszébe: „Megalkottuk a valóságok integrálját, és kiszámoltuk saját létezésünk valószínűségét...”
2. A kezünkben tartott labda potenciális energiája (iskolában tanult képlete: mgh) természetesen pozitív, különben nem is alakulhatna pozitív mozgási energiává. Az energia nulla szintje azonban a klasszikus fizikában – tetszés szerint eltolható, hiszen csak az energiakülönbség számít. Az égi mechanikában a nulla szintet úgy választják meg, hogy két, egymástól végtelen távolságban levő test kölcsönös gravitációs helyzeti energiája zérus legyen. Amikor a gravitációs vonzás hatására a két test közeledik egymáshoz, ennek a zérus helyzeti energiának egy része alakul át pozitív

mozgási energiává – véges távolságban tehát a gravitációs helyzeti energia negatívnak adódik. Ebben nincs semmi misztikus, kizárólag a nulla szint megválasztásának következménye. A relativitáselméletben már nincs meg ez a szabadság, itt az energia nulla, szintje egyértelműen rögzítve van. A vonzó kölcsönhatások – köztük a gravitáció – potenciális energiája itt is negatív. A teljes energiához hozzá kell számítani a részecskék mc^2 nyugalmi energiáját is. A szövegben említett tétel, mely szerint a zárt világegyetem teljes energiája zérus, az általános relativitáselmélet törvényeiből vezethető le.

7. FEJEZET

1. Ezen próbálkozások egyikéről olvashatunk Sir Arthur Eddington harmincas években írott könyvében (*A természettudomány új útjai*), amely tényanyagában ugyan elavult, de kérdésfeltevéseinek mérészsége, átfogó magyarázatra törekvése ma is aktuális. Paál György és Lukács Béla irodalomjegyzékünkben idézett cikke azt mutatja be, hogy néhány univerzális természeti állandó számértéke és az alapvető fizikai törvények ismeretében hogyan magyarázhatjuk meg – legalábbis nagy vonalakban – világegyetemünk és alkotórészeinek legfontosabb tulajdonságait (pl. az atomok és a csillagok tömegét és méretét).
2. Egy friss példa: a galaxishalmazok eloszlásában nemrég felfedezett megdöbbentő periodicitás magyar kutatók 1993-94-es vizsgálatai szerint egy olyan kozmológiai modellben magyarázható meg a legjobban, amelyben a kozmológiai állandó értéke nem nulla. Az adatok a kozmológiai modellek egyéb, eddig határozatlan paramétereinek illesztését is lehetővé teszik.
3. Ez a mezők kvantumos tulajdonságainak következménye. Az ún. fizikai vákuum ugyanis nem egyszerűen egy nagy darab semmi, hanem a létező összes mezőnek, részecske-antirészecske pároknak – a kvantummechanikai bizonytalanságból következően fluktuáló – zavaros elegye. Ez a nyüzsgő háttér erőt közvetít a benne mozgó

közönséges részecskék között. Az eredő hatás hasonlít ahhoz, amit az Einstein-féle kozmológiai állandó írt le: a részecskék tömegétől független, csak a távolságuktól függő, azzal arányosan növekvő nagyságú egyetemes taszítás.

4. A részecskék tömegét a legtöbb fizikus nem sorolja a kozmológiai alapon megmagyarázandó univerzális állandók közé. Az elektromágneses és gyenge kölcsönhatások igen sikeres Weinberg-Salam--elméletében már bevált ún. Higgs-mechanizmus szerint az elemi részecskék tömege az eredetileg zérus tömegű részecske és egy speciális mező (az ún. Higgs-mező) kölcsönhatásának következménye. Ennek az elméletnek alapján jósolták meg sikeresen a gyenge kölcsönhatást közvetítő, végül 1983-ban felfedezett W és Z részecskék tömegét. A fizikusok jelenlegi álláspontja szerint hasonló mechanizmus magyarázza (majd) meg az összes többi részecske tömegét is. Ez a Higgs-mező másról is nevezetes – ő alkotja azt a speciális antigravitációs tulajdonságú anyagfajtát, amelynek a Világegyetem 4. és 5. fejezetben tárgyalt felfűvódása köszönhető.
5. Erről a témáról szól az irodalomjegyzékben idézett *A lakható világegyetem* című cikk.
6. A szénatom nélkülözhetetlen szerepéről lásd Asimov cikkét *A Hold tragédiája* című könyvében.
7. De azért megfelelő mennyiségű oxigén is keletkezik, hogy a szénből felépülő majdani élőlények lélegezni is tudjanak!

ALAPVETŐ ÖSSZEFOGLALÓ MŰVEK

HAWKING, S. W.: *Az idő rövid története* (Maecenas, 1989)

WEINBERG, S.: *Az első három perc* (Gondolat, 1983)

KAUFMANN, w. J. IIL: *Relativitás és kozmológia* (Gondolat, 1985)

ATKINS, P: *Teremtés* (Gondolat, 1988)

A MODERN KOZMOLÓGIA TÖRTÉNETE

FERRIS, T: *A vörös határ* (Gondolat, 1985)

A KOZMOLÓGIA KORÁBBI KORSZAKAIBÓL

EDDINGTON, A.: *A természettudomány új útjai* (Franklin, 1939)

DUCROCQ, A.: *Az anyag regénye* (Kossuth, 1965)

OMNÉS, R.: *A világegyetem és átalakulásai* (Gondolat, 1981)

JEFREMOV, J. NY: *A világmindenség mélységeiben* (Gondolat, 1978)

LABÉRENNE, P: *A világok keletkezése* (Kossuth, 1960)

FILOZÓFIAI KÉRDÉSEK

SZÉKELY L.: *Einstein kozmoszától a felfűvódó világegyetemig*
(BTK, 1990)

AMBARCUMJAN, V A.: *Az univerzum kutatásának filozófiai kérdései*
(Gondolat, 1980)

Végtelenség és Világegyetem, cikkgyűjtemény (Gondolat, 1974)
LEM, S.: *A katasztrófa-elv* in: *Az emberiség egy perce* (Európa, 1988)

UNIVERZÁLIS TERMÉSZETI ÁLLANDÓK

LUKÁCS B. – PAÁL GY.: *A világ szerkezeti állandói* in: *Csillagászati évk.*(Gondolat, 1982)
EDDINGTON, A.: I. m.

AZ ANTROPIKUS ELVRŐL

SZÉKELY L.: I. m.
DÁVID GY.: *A lakható világegyetem* (Természet Világa, 1990/7)
ASIMOV, L.: *Az éjszaka sötétje* (Galaktika, 29/111)
GORELIK, G. J.: *Miért háromdimenziós a tér?* (Gondolat, 1987)

KVANTUMGRAVITÁCIÓ

PENROSE, R.: *A császár új elméje. Számítógépek, gondolkodás és a fizika törvényei* (Akadémiai, 1993)

SPECIÁLIS KÉRDÉSEK

SZALAY A. S.: *A neutrínótömeg a kozmológiában* in: *Fizika 1975* (Gondolat, 1976)
SZALAY A. s.: *Fekete lyukak* in: *Fizika 1978* (Gondolat, 1979)
ASIMOV, I.: *A robbanó napok* (Kossuth, 1987)
ASIMOV, L.: *A Hold tragédiája* (Móra, 1979)

ÉLET A VILÁGEGYETEMBEN

SKLOVSZKIJ, I. Sz.: *Világegyetem, élet, értelem* (Gondolat, 1976)

FODOR L.I.: *Földön kívüli élet* (Natura, 1984)
LOVELOCK, J. E.: *Gaia* (Göncöl, 1989)

KOZMOLÓGIA A SZÉPIRODALOMBAN

CALVINO, L.: *Kozmikomédia* (Móra, 1972)

FOLYÓIRATGIKKEK

TUDOMÁNY (A SCIENTIFIC AMERICAN MAGYAR KIADÁSA, 1985-1992)

A felfúvódó Világegyetem 1985/1
A Világegyetem nagy léptékű alakzatai 1986/9
Sötét anyag a világegyetemben 1987/2
A világegyetem legidősebb pulzárai 1987/4
A könnyű kémiai elemek kozmikus születése 1987/7
A galaxisok nagyléptékű áramlása 1987/11
A „világtükör” sérülése 1988/4
Tömegvonzás és antianyag 1988/5
A fekete lyukak membránelmélete 1988/6
A kozmológiai állandó rejtélye 1988/7
Részecskegyorsítók a kozmológia ellenőrzésére 1988/8
A Cosmic Background Explorer műhold 1990/5
Mi van a Galaxis középpontjában? 1990/6
Világegyetemes igazságok 1990/12
Fekete lyukak a galaxisok közepén 1991/1
A Nagy Annihilátor 1991/9
Lassan csomósodó Tejútrendszer 1991/9
Kvantumkozmológia és a világ keletkezése 1992/2
Miért lett volna csak egyetlen ősrobbanás? 1992/4
Vége a csomósságnak? 1992/4
Términtházak és Világegyetem szerkezete 1992/5
Hullámlesen (gravitációs hullámok) 1992/5
A kozmológia aranykora 1992/9
Hogyan lett tudomány a kozmológiából? 1992/10

FIZIKAI SZEMLE

MARX GY: *Az Univerzum korai története* 1979/3

MARX GY: *Hogyan születnek a galaxisok* 1983/6

MARX GY: *Bölcsőnk az univerzum* 1987/3

HAWKING, S.: *Az univerzum eredete* 1987/12

LUKÁCS S.: *A felfűvódó világegyetem* 1987/12

MARX GY: *Irreverzibilis univerzum* 1988/5

KARDASEV: *Szupercivilizációk* 1989/7

SHAIRO.: *A kételkedő nézőpont* 1989/10

SZALAY S. ET AL.: *Az Univerzum nagyléptékű struktúrájának
mélységi felmérése* 1993/7

Sötét anyag, barna törpék (3 cikk) 1994/1

Tartalom

Előszó 7

1. Dióhéjban a Világegyetemről 13
2. A Világegyetem nagy évkönyve 31
3. Szingularitás és egyéb nehézségek 47
4. Felfúvódás és részecskefizika 65
5. Felfúvódás és a COBE kutatásai 85
6. Az idő még rövidebb története 101
7. A labirintusban 121
8. Új dimenziók 135

Jegyzetek 145

Név- és tárgymutató 155

Kozmológia

Magyar nyelvű ajánlott irodalom 159



JOHN D. BARROW, korunk egyik legkiválóbb kozmológusa, a University of Sussex professzora elegáns könnyedséggel mutatja be, mi történhetett a Világegyetem születésekor, az ősrobbanás, a Nagy Bumm első három percében. A kezdet kezdetén a Világegyetem nem volt más, mint a sugárzások tüzes pokla, ahol oly nagy volt a forróság, hogy még atomok sem létezhettek. Hogyan, miért és mikor vette kezdetét a Világegyetem története? Hogyan jött létre az anyag, a tér és az idő? Melyek a legújabb elméletek a Világegyetem keletkezésének lehetséges módjáról? Milyen kapcsolatban van saját létezésünk a Világegyetem történetével?

A VILÁG – EGYETEM SOROZAT

„bepillantást nyújt a bennünket körülvevő világba, s mindenki egyetemének »tankönyveiként« adja közre a modern természettudományok legújabb eredményeit s az általuk sugallt korszerű világképet.” SZENTÁGOTHA JÁNOS

MEGJELENT

JOHN D. BARROW
A Világegyetem születése

PAUL DAVIES
Az utolsó három perc

RICHARD LEAKEY
Az emberiség eredete

RICHARD DAWKINS
Folyam az Édenkertből

IAN STEWART
A természet számai

P. W. ATKINS
A Periódusos Birodalom

DANIEL C. DENNETT
Micsoda elmék

WILLIAM H. CALVIN
A gondolkodó agy

ELŐKÉSZÜLETBEN

MARY CATHERINE BATESON
a társadalmi változásról

COLIN BLAKEMORE
az emberi agyról

JARED DIAMOND
az emberi szexualitás fejlődéséről

STEPHEN JAY GOULD
az élet történetéről

DANIEL HILLIS
a számítógépek jövőjéről

MARVIN MINSKY
a mesterséges intelligenciáról

STEPHEN H. SCHNEIDER
a Föld légkörének változásáról

GEORGE SMOOT
az idő kezdetéről

GEORGE C. WILLIAMS
a természet célszerűségéről



ISBN 963-9069-13-2



650 Ft

NeTtErRoRiStA kézikönyvtár
26. kötet



NeTtErRoRiStA pRoDuKció
2001. 08. 05.

Kötetnév és dátum	Kötetméret	Típus	Bibliográfiai adatok
NTERR026.PDF 2001. 08. 05.	Present	Pdf	JOHN D. BARROW: A VILÁGEGYETEM SZÜLETÉSE (Kulturtrade Kiadó, Budapest, 1997.)

Kötetnév és dátum	Kötetméret	Típus	Bibliográfiai adatok
NTERR025.PDF 2001. 07. 04.	3,343,470	Pdf	DR. KENDE PÉTER: MIK VAGYTOK TI, ISTENEK? (Orvosi műhibák)
NTERR024.PDF 2001. 07. 01.	1,953,823	Pdf	DR. KENDE PÉTER: BANK BIANCO (A Postabank és Princz Gábor)
NTERR023.ZIP 2001. 03. 15.	105,330	Html	PERJÉS LÁSZLÓ: e-mber (Vikk.net – Virtuális Könyvkiadó, Budapest, 2001.)
NTERR022.ZIP 2001. 01. 22.	690,865	Html	BORECZKY ÁGNES (szerk.): PEDAGÓGIAI MŰHELY Beszélgetések (PTE Tanárképző Intézet Pedagógia Tanszék, Pécs, 2001.)
NTERR021.ZIP 2000. 11. 12.	170,705	Html	GOLDZIER IGNÁC: A buddhizmus hatása az iszlámra (A Magyar Tudományos Akadémián 1903. március 30-án elhangzott Kőrösi Csoma Sándor emlékbeszéd szövege alapján.) (Shark Print, Kaposvár, 2000.)
NTERR020.ZIP 2000. 11. 01.	580,023	Html	BOHÁR ANDRÁS: Antropológiai és etikai vázlatok (Keraban Kiadó, Budapest, 1993.)
NTERR019.ZIP 2000. 11. 01.	287,831	Html	ISAAC ASIMOV: A halhatatlanság halála (Kozmosz Fantasztikus Könyvek) (Kozmosz Könyvek, Budapest, 1969.)
NTERR018.ZIP 2000. 11. 01.	980,503	Html	BOZÓKI A. – SÜKÖSD M. (szerk.): Anarchizmus (Modern ideológiák) (Századvég Kiadó, Budapest, 1991.)
NTERR017.ZIP 2000. 09. 30.	147,981	Html	Cion Bölcsseinek Jegyzőkönyve (Flex kiadó, h. n., 1999.)
NTERR016.ZIP 2000. 08. 08.	127,624	Html	ULFAT AZIZ AL-SAMAD: Az iszlám és a kereszténység (International Islamic Publishing House, Riyadh, é. n.)
NTERR015.ZIP 2000. 07. 26.	112,204	Html	ABDULMAJID AL-ZINDANI: A hit útja (International Islamic Publishing House, Riyadh, 1994.)
NTERR014.ZIP 2000. 07. 22.	875,208	Html	STING – JEAN-PIERRE DUTILLEUX: Sting Amazóniában (Könyv az Esőerdőért) (Gondolat, Budapest, 1990.)
NTERR013.ZIP 2000. 07. 16.	222,647	Html	FRANCIS CARSAC: A sehollakók (Kozmosz Fantasztikus Könyvek) (Kozmosz Könyvek, Budapest, 1980.)
NTERR012.ZIP 2000. 07. 10.	153,045	Html	ALEKSZANDR IVANOVICS KUPRIN: Szulamit (Európa Könyvkiadó, Budapest, 1986.)
NTERR011.ZIP 2000. 06. 28.	165,081	Html	STEPHEN HAWKING: Einstein álma (és egyéb írások) (Vince Kiadó, Budapest, 1999.)
NTERR010.PDF 2000. 06. 30.	1,312,732	Pdf	PAUL DAVIES: Az utolsó három perc (Feltevések a Világegyetem végső sorsáról)
NTERR010.ZIP 2000. 06. 25.	296,082	Html	(Kulturtrade Kiadó, Budapest, 1997.)
NTERR009.ZIP 2000. 04. 29.	142,940	Html	SIGMUND FREUD: Pszichoanalízis (Öt előadás 1909-ben, a Worcesteri Clark Universityn) (Kossuth Kiadó, Budapest, 1997.)
NTERR008.ZIP 2000. 04. 28.	120,867	Html	ENDREY ANTAL: A disznófejű nagyúr (A Wall Street világuralmi törekvései és hazánk) (Magánkiadás – Dr. Endrey Antal, 6800 Hódmezővásárhely, Lelei út, Tanya 3287.)
NTERR007.ZIP 2000. 04. 28.	455,701	Html	ROBERT JAMES WALLER: Madison megye hídjai (Új Esély Kiadó, Budapest, 1995.)
NTERR006.ZIP 2000. 04. 04.	439,642	Html	RICHARD DAWKINS: Folyam az édenkertből (Darwinista elmélkedések az életéről) (Kulturtrade Kiadó, Budapest, 1996.)
NTERR005.ZIP 2000. 04. 03.	330,059	Html	IAN STEWART: A természet számai (A matematikai képzelet irreális realitása) (Kulturtrade Kiadó, Budapest, 1997.)
NTERR004.ZIP 2000. 01. 25.	118,036	Html	A terrorizmus három megközelítésben (Magyar Tudomány, 1996. október, 10. szám, 1224-1253. o.)
NTERR003.ZIP 2000. 01. 25.	386,760	Html	BENKE JÓZSEF: Fényes Ösvény, Szürke Farkasok, Fekete Szeptember (Magvető Kiadó, Budapest, 1989.)
NTERR002.ZIP 2000. 01. 23.	452,615	Html	CONOR GEARTY: Terror (Holnap Kiadó, Budapest, 1994.)
NTERR001.ZIP 2000. 01. 23.	366,977	Html	JARED DIAMOND: Miért élvezet a szex? (Kulturtrade Kiadó, Budapest, 1997.)