

PAUL DAVIES

AZ UTOLSÓ

HÁROM PERC



VILÁG-KÖZTÉR
KÖNYVTÁRSÁG

VILÁG-EGYETEM

Paul Davies

AZ UTOLSÓ HÁROM PERC

Feltevések a világegyetem végső sorsáról

([Tartalom](#))

„Persze tudás híján kétely kísérti az elmét:

Nemződött-e világunk és volt kezdete tényleg.

S vége, az is beköszönt egyszerre, ha majd a világgal

Ennyi heves mozgás tehát nem bírja ki – vagy tán

Isteni végzésből örök épség szállt-e reá és

Míg az öröklét állandó útján tovasiklik,

Fittyet hány az időtlen idők roppant erejének?”

LUCRETIUS: A TERMÉSZETRŐL

(Meller Péter fordítása)

Előszó

Az 1960-as évek elején, amikor egyetemista voltam, élen érdeklődtünk a Világegyetem keletkezésének kérdése iránt. Az 1920-as évekből származó, de csak az 1950-es évektől kezdve komolyan vett ősrobbanás elmélet közismert volt, de korántsem meggyőző. Bizonyos körökben még mindig sokkal népszerűbb volt az állandó állapotú Világegyetem elmélete, amely teljes mértékben kikerülte a keletkezés problémáját.^[1] Nemsokára azonban

gyökeresen megváltozott a helyzet, mert 1965-ben Arno Penzias és Robert Wilson felfedezte a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást. Ez egyértelmű bizonyítékot szolgáltatott a Világegyetem forró, heves és hirtelen születése mellett.

A kozmológusok lázasan igyekeztek kiszámítani a felfedezés következményeit. Milyen forró lehetett a Világegyetem az ősrobbanás után egymillió évvel? Egy évvel? Egy másodperccel? Milyen fizikai folyamatok játszódhattak le az ősi tűzgömbben? Létezhet-e az ott uralkodó szélsőséges fizikai körülményeknek valamilyen hatása, amelynek a maradványait még ma is megfigyelhetjük?

Jól emlékszem arra a kozmológiai előadássorozatra, amelynek 1968-ban hallgatója voltam. A professzor így fejezte be előadását, amelyben a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezésének fényében foglalta össze az ősrobbanás elméletet. „Egyes elméleti-szakemberek számot adnak a Világegyetem kémiai összetételéről, annak alapján, hogy milyen magreakciók mehettek végbe az ősrobbanást követő első három percben”, mondta mosolyogva. Az előadóteremben harsány nevetés tört ki. Képtelenségnek tűnt, hogy bárki is megpróbálkozzék a létezésének első perceiben lévő Világegyetem fizikai állapotának leírásával. A XVII. században James Ussher érsek a bibliai kronológia legapróbb részleteivel foglalkozó tanulmányában kijelentette, hogy a világ teremtése Kr.e. 4004. október 23-án történt. Arról azonban még ő sem mert nyilatkozni, hogy pontosan milyen események

játszódhattak le az első három percben.

A tudományos fejlődés sebességére jellemző, hogy alig egy évtizeddel a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezését követően az első három perc története az egyetemi hallgatók alapvető szellemi tápláléka lett. A témáról kézikönyveket írtak. Azután 1977-ben Steven Weinberg, amerikai fizikus és kozmológus kiadta tudományos ismeretterjesztő bestsellerét, amely *Az első három perc* címet viselte. A könyv mérföldkönek bizonyult az ismeretterjesztés történetében. A téma egyik világhírű szakértője részletes és meggyőző beszámolót adott a legszélesebb nagyközönség számára az ősrobbanást követő pillanatok eseményeiről.

Mialatt a nagyközönség megismerkedett ezekkel a szédítő fejleményekkel, a tudósok tovább dolgoztak. Figyelmük a Világegyetem korai története, azaz az első percek eseményei helyett a Világegyetem *nagyon* korai története, azaz az ősrobbanás utáni első másodperc szinte végtelenül kicsiny tört részében végbement események kiderítése felé fordult. Nagyjából ismét egy évtized elteltével Stephen Hawking, brit matematikus és fizikus magabiztosan megírhatta *Az idő rövid története* című könyvében a legújabb elképzeléseket az első billiomodbilliomod-másodperc eseményeiről. Az 1968-as előadás végén felharsant nevetés negyedszázad múltán már alig hallatszik.

Miután az ősrobbanás elméletet a tudományos és a széles közvélemény egyaránt kedvezően fogadta, egyre többen kezdtek a Világegyetem jövőjéről spekulálni. Meglehetősen

jól tudjuk már, hogyan keletkezett a világunk, de vajon mi lesz a vége? Mit tudunk elmondani a Világegyetem végső sorsáról? A történet vége is robbanásszerűen heves lesz vagy elhaló nyöszörgésbe fullad? Sőt, lesz-e egyáltalán vége a világnak? Mi lesz velünk? Az ember vagy leszármazottai, legyenek azok robotok vagy hús és vér lények, túlélnek-e mindent, egészen az örökkévalóságig?

Lehetetlen, hogy valakit ne érdekelnének ezek a kérdések, még akkor is, ha a végítéletre nem a közeljövőben kell számítani. A Földön a túlélésért folytatott harcunk, amelyet jelenleg leginkább az ember által létrehozott válságok ellenében kell megvívni, gyökeresen új megvilágításba kerül, ha létezésünk kozmológiai léptékű dimenzióira is figyelemmel kell lenni. *Az utolsó három perc a Világegyetem jövőjének története*, legalábbis ahogy néhány ismert fizikus és kozmológus legújabb gondolataira alapozva, legjobb tudásunk alapján azt előre tudjuk jelezni. A jövő nem teljesen titokzatos. Sőt, a fejlődés minden eddiginél tágabb lehetőségének és a tapasztalatok soha nem volt gazdagságának ígéretét rejt. Nem feledhetjük azonban, hogy ami egyszer létrejöhét, annak létezése meg is szűnhet. Lehet, hogy a Halál a Teremtés ára.

Könyvünket az általános érdeklődésű és átlagos képzettségű olvasóknak szánjuk. Megértéséhez nincs szükség különleges természettudományos vagy matematikai előismeretekre. Időnként azonban kénytelenek vagyunk nagyon nagy vagy nagyon kis számokkal dolgozni. Ilyenkor segítségünkre lehet, ha a

számokat a matematikában szokásos tömör formában, tíz hatványaival fejezzük ki. A százmilliárdot például így kell leírni: 100 000 000 000, ami ugyebár meglehetősen kényelmetlen. Ebben a számban az egyes után tizenegy nullát találunk, ezért a következőképpen is leírhatjuk: 10^{11} , vagy szavakkal: tíz a tizenegyediken. Hasonlóképpen az egymilliót 10^6 -nak, az egybilliót 10^{12} -nek írjuk, és így tovább. Ne feledkezzünk meg azonban arról, hogy a számok ilyen írásmódja elrejtí a szemünk előtt igazi arányaikat, mert például a 10^{12} százszor, vagyis nagyon sokszorta nagyobb a 10^{10} -nél, annak ellenére, hogy a két szám majdnem pontosan ugyanúgy néz ki. A tíz negatív kitevőjű hatványaival a nagyon kicsiny számokat jelölhetjük. Az egymilliárdod részt, vagyis az $1/1\,000\,000\,000$ számot tíz a mínusz kilencedikének mondhatjuk és 10^9 -nek írhatjuk, mert a tört nevezőjében az egyes után kilenc nullát kellett írni.

Végezetül fel kell hívnom az olvasó szíves figyelmét, hogy könyvünk jórészt spekulációkon, hipotéziseken alapul. Bár a legtöbb bemutatandó elképzelés a tudomány ma legelfogadottabb eredményein alapul, a jövő kutatásának mégsincs más tudományágakéval azonos tekintélye. Mindamellet, ellenállhatatlan a csábítás, hogy a mindenség végső sorsáról gondolkozzunk. Ezt a könyvet igyekeztem ebben a nyitott, kíváncsi szellemben megírni. Tudományosan meglehetősen jól megalapozott kiinduló helyzetünk szerint a Világegyetem az ősrobbanásban keletkezett, majd folyamatosan tágult és egyre hűlt. A

fejlődés vége valamilyen fizikailag degenerált állapot lehet, vagy talán egy katasztrofális összeomlás. Abban viszont sokkal kevésbé lehetünk bizonyosak, hogy melyek lehetnek az átfoghatatlanul hosszú időtartam során uralkodó fizikai folyamatok. A csillagászoknak meglehetősen pontos elméleteik vannak a közönséges csillagok sorsát illetően. Egyre inkább biztosak vagyunk abban is, hogy elég jól sikerült megértenünk a neutroncsillagok és a fekete lyukak alapvető tulajdonságait. Ha azonban a Világegyetem évbilióig fennmarad, akkor szerephez juthatnak olyan finom fizikai folyamatok, amelyekről ma a legjobb esetben is csak sejtjük, hogy egyszer majd fontosakká válhatnak. Szembe kell néznünk azzal a ténnyel, hogy még nem értjük teljes egészében a természetet, ismereteink hiányosak, ezért nem tehetünk egyebet, mint hogy a Világegyetem végső sorsára vonatkozóan a ma létező legjobb elméletek alapján próbálunk logikus következtetéseket levonni. A legnagyobb problémát az jelenti, hogy a Világegyetem sorsára vonatkozóan fontos megállapításokat tartalmazó elméletek legtöbbször nem áll módunkban kísérletileg ellenőrizni. Egyes általam is tárgyalt folyamatokban, mint például a gravitációs hullámok kibocsátásában, a protonok bomlásában vagy a fekete lyukak sugárzásában az elméleti fizikusok szentül hisznek, azonban ezek egyikét sem sikerült még soha senkinek megfigyelnie. Legalább ilyen komoly gond az is, hogy kétségtelenül létezhetnek olyan fizikai folyamatok, amelyekről egyelőre semmit sem tudunk, mégis alapvetően módosíthatják a könyvünkben bemutatandó képet.

Bizonytalanságunk tovább erősödik, amikor az értelmes életnek a Világegyetemre gyakorolt esetleges hatásáról elmélkedünk. Itt már a tudományos fantasztikum birodalmába jutunk. Mindamellet nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt, hogy az élőlények az évmilliárdok során még a legnagyobb léptékű fizikai rendszerek viselkedését is jelentős mértékben módosíthatják.^[2] Úgy döntöttem, hogy a Világegyetemben jelen lévő élet kérdésével is foglalkozom a könyvben, mert sok olvasó véleménye szerint a Világegyetem sorsa szoros kapcsolatban áll az emberi lények vagy azok távoli leszármazottainak sorsával. Tisztában kell azonban lennünk azzal, hogy a tudósok nem teljesen értik sem az emberi tudat természetét, sem pedig azt, hogy milyen fizikai feltételek teljesülése teszi lehetővé a Világegyetem távoli jövőjében a tudatos tevékenységet.

Szeretnék köszönetet mondani John Barrow-nak, Frank Tiplernek, Jason Twamley-nek, Roger Penrose-nak és Duncan Steelnek a könyv témájával kapcsolatos értékes eszmecserékért, a sorozat szerkesztőjének, Jerry Lyonsnak azért, hogy kritikus szemmel olvasta a kéziratot és Sara Lippincottnak a kézirat végső változatán végzett ragyogó munkájáért.

1. FEJEZET

Az utolsó ítélet napja

Időpont: 2126. augusztus 21. Az utolsó ítélet napja.

Helyszín: a Föld. Szerke a bolygón kétségbeesett emberek próbálnak elrejtőzni. Milliárdok számára azonban nincs hová menni. Néhányan a föld alá próbálnak menekülni, kétségbeesésükben elhagyott bányák vágatait keresik vagy tengeralattjárókkal az óceánok mélyére rejtőznek. Mások felelőtlen, gyilkos őrjöngésben törnek ki. A legtöbbben azonban csak ülnek, búskomoran és zavarodottan. Várják a Végzetet.

Fenn az égen hatalmas fénykéve vág bele az éjszaka sötétjébe. Kezdetben csak egy halvány, elmosódott fényfolt látszott, amely napról napra nőtt a világűrben kavargó, forró gázörvénnyé. A gázcsóva végén sötét, alakatlan, vészjósló csomó száguld. Az üstökös aprócska feje nem is sejteti iszonyú pusztító erejét. Az égitest elképesztő; hetvenezer kilométeres óránkénti sebességgel pontosan a Föld felé tart. A sok billió tonnányi jég és kőtömeg másodpercenként 20 kilométerrel közelebb kerül a Földhöz, hogy végül a hangsebesség hetvenszeresével csapódjon bolygónk testébe.

Az emberiség nem tehet mást, mint figyel és vár. A tudósok, akik távcsöveiket már rég elfordították az elkerülhetetlenről, most csendben kikapcsolják számítógépeiket is. A katasztrófa véget nem érő szimulációi túlságosan bizonytalanok, az eredmények pedig túl riasztóak ahhoz, hogy nyilvánosságra kerüljenek. Egyes tudósok túlélési stratégiákat dolgoztak ki, hogy műszaki ismereteiknek köszönhetően előnyre tegyenek szert embertársaikkal szemben. Mások igyekeznek a lehető leggondosabban megfigyelni a katasztrófa

körülményeit. Az utolsó pillanatig tudósokhoz méltó magatartást tanúsítva mindent gondosan feljegyeznek, és az adatokat különleges kapszulákban mélyen a Föld alá temetik. Az utókor számára...

A becsapódás pillanata egyre közeledik. Szerinte a világon emberek milliói aggódva pillantanak a karórájukra.

Elérkezett *az utolsó három perc.*

Közvetlenül a fejük fölött az égbolt széthasad. A becsapódó test félrelök néhány ezer köbkilométer levegőt. Városnyi vastagságú tűzcsóva irányul a Föld felé, hogy tizenöt másodperc múlva belédöfjön bolygónk testébe. A tízezernyi földrengés erejétől az egész bolygó megrázkódik. A félretaszított légtömegek lökéshulláma végigseper a Föld egész felszínén, minden emberi alkotást a föld színével tesz egyenlővé, minden útjába kerülő akadályt porrá zúz. A becsapódás helye körül a megolvadt kőzetből több kilométer magas hegyek emelkednek, miközben egy csaknem kétszáz kilométer átmérőjű kráter belsejében napvilágra kerülnek a Föld mélyen fekvő rétegei. Az olvadt sziklafal kifelé nyomul, felgyűrve a felszínt, mintha lassított felvételen figyelnék egy meglibbentett, óriás takaró mozgását.

Magában a kráterben sok billió tonna kőzet egyszerűen elgőzölög. Ennél is több anyag fröccsen szerteszét, egy része olyan óriási sebességgel, hogy a világűrbe kerül. A szétszóródó anyag legnagyobb része fél kontinensnyi területet beborít, a becsapódás sok száz, vagy akár néhány ezer kilométeres körzetében visszahull a felszínre, iszonyú pusztítást okozva odalent. Az olvadt törmelék egy része az

óceánba hull, ami óriási szökőárt kelt, tovább fokozva a világméretű zűrzavart. A poros törmelék vastag csóvában a felsőlégkörbe jut, ahol szétterjed és az egész bolygó elől eltakarja a napfényt. A világűrbe kirepített anyag egy része visszahull a légkörbe, ezért a napsütést most meteorok milliárdjainak fenyegető felvillanásai helyettesítik, perzselő hőt árasztva a földfelszínre.

A leírtak alapja az az előrejelzés, mely szerint a Swift-Tuttle-üstökös 2126. augusztus 21-én nekiütközik a Földnek. Ha ez valóban bekövetkezik, az egész emberiséget elpusztító, világméretű katasztrófa elkerülhetetlen. Amikor ez az üstökös 1993-ban a Föld közelébe látogatott, az első számítások arra utaltak, hogy 2126-ban minden valószínűség szerint bekövetkezik az összeütközés. Azóta a pontosabb elemzések azt mutatják, hogy az üstökös valójában két héttel lekési a randevút a Földdel. Az elmaradt találkozó után valamelyest talán fellelegezhetünk. A veszély azonban nem múlik el teljesen. Előbb vagy utóbb a Swift-Tuttle-üstökös, vagy egy másik, hozzá hasonló égitest egészen bizonyosan eltalálja a Földet. A becslések szerint 10 000, legalább fél kilométer átmérőjű égitest kering a Földét keresztező pályán. Ezek a kozmikus betolakodók a Naprendszer külsőbb, hideg részeiből származnak. Egyesek közülük olyan üstökösök maradványai, amelyeket a bolygók gravitációs tere csapdába ejtett, míg mások a Mars és a Jupiter pályája között húzódó kisbolygó-övezetből erednek. Pályáik instabilitása miatt ezek a kicsiny, de halált hozó égitestek közül egyesek kikerülnek a belső Naprendszerből,

miközben folyamatosan újabbak jutnak be oda, állandó veszélyt jelentve a Föld és testvérbolygói számára.^[3]

Ezen égitestek közül sok nagyobb pusztítást képes okozni, mint a Föld valamennyi nukleáris fegyvere együttesen. Csupán idő kérdése, hogy mikor találja el valamelyik a Földet. Ha ez bekövetkezik, semmi jót nem fog jelenteni az emberiség számára. Amire még nem volt példa: fajunk története hirtelen megszakad. A Föld számára azonban mindez többé-kevésbé megszokott eseménynek számít. Hasonló méretű üstökösök vagy kisbolygók becsapódása átlagosan néhány millió évenként előfordul. Ma már széles körben elfogadott az a nézet, mely szerint egy vagy több hasonló esemény okozta hatvanöt millió évvel ezelőtt a dinoszauruszok kipusztulását. Legközelebb ránk vár ugyanez a sors.

Az utolsó ítéletben való hit a legtöbb vallásban és kultúrában igen mélyen gyökerezik. A Szentírás érzékletesen írja le a ránk váró halált és pusztulást:

„És lőnek zendülések és mennydörgések és villámlások; és lőn nagy földindulás, a milyen nem volt, mióta az emberek a földön vannak, ilyen földindulás, ilyen nagy. ...És minden sziget elmúlék, és hegyek nem találtatának többé. És nagy jégeső, mint egy-egy tálentom, szálla az égből az emberekre; és káromlák az Istent az emberek a jégeső csapásáért; mert annak csapása felette nagy.” (János Jelenésekről 16, 18 és 20-21)

Természetesen számos veszély leselkedik a Földre, a vad erők uralta Világegyetem aprócska égitestjére. Mindennek ellenére bolygónk az elmúlt legalább három és fél milliárd

év alatt mindvégig lakható maradt.

A Földön elért sikereink titkát a világűrben kell keresnünk. Naprendszerünk parányi, nyüzsgő sziget a végtelen üresség tengerében. A hozzánk *legközelebbi* csillag (a Napot nem számítva) több, mint négy fényév távolságban van. Ha ezt a távolságot el akarjuk képzelni, gondoljunk arra, hogy a százötven millió kilométerre lévő Nap fénye mindössze nyolc és fél perc alatt éri el a Földet. Négy év alatt a fénysugár csaknem negyven billió kilométert tesz meg.

A Nap egy átlagos törpecsillag, amely galaxisunk, a Tejútrendszer egy semmitmondó részén helyezkedik el. A Tejútrendszer mintegy száz milliárd csillagot tartalmaz, melyek közül egyesek tömege alig néhány százaléka a Napénak, míg másoké több száz naptömeg. Ez a rengeteg csillag egy csomó gáz és por kíséretében, valamint ismeretlen számú üstökös, kisbolygó, bolygó és fekete lyuk társaságában lassan, méltóságteljesen kering a Tejútrendszer középpontja körül. A benne található égitestek elképesztően nagy száma miatt az az érzésünk támadhat, hogy a Tejútrendszer zsúfolásig tele van. Ne felejtjük azonban el, hogy a Tejútrendszer átmérője mintegy százezer fényév Lapos korong alakú, a közepén jellegzetes kidudorodással. Magja köré az abból kinyúló, csillagokból és gázból álló néhány spirálkar tekeredik fel. Napunk az egyik ilyen spirálkar belsejében, a Tejútrendszer középpontjától mintegy harmincezer fényév távolságban helyezkedik el.

Legjobb tudomásunk szerint a Tejútrendszernek nincs

semmilyen különleges tulajdonsága. Egy hozzá hasonló galaxis, az Andromeda-köd mintegy két millió fényévnire található, abban a csillagképben, amelyikről a nevét is kapta. Halvány, elmosódott fényfoltként szabad szemmel is éppenhogy észrevehető. A megfigyelhető Világegyetemet sok milliárd galaxis alkotja. Egy részük spirális, mások elliptikusak, de jócskán találunk szabálytalan alakúakat is. A távolságok óriásiak. A legerősebb távcsövekkel még néhány milliárd fényév távolságban is megfigyelhetünk galaxisokat. Akadnak olyanok, amelyek fénye régebben indult el felénk, mint amikor a Föld (négy és fél milliárd évvel ezelőtt) megszületett.

Ezek az óriási távolságok azt is jelentik, hogy a kozmikus összeütközések ritkák. A Földet mindenesetre a legnagyobb veszély a közvetlen környezetéből fenyegeti. A „tisztességes” kisbolygók jobbára a Mars és a Jupiter pályája között kisbolygó-övezetben tartózkodnak. A Jupiter óriási tömege azonban megzavarja a hozzá közel kerülő kisbolygók mozgását, ezért egyesek a belső Naprendszer felé veszik az útjukat, így veszélyeztetik a Földet.

Az üstökösök esetében nem a Jupiter, hanem a közeli csillagok a bajok okozói. A Tejútrendszer nem merev és mozdulatlan rendszer, hanem lassan forog, azáltal, hogy csillagai a magja körül keringenek. A Nap a bolygókból álló kis csapatával együtt körülbelül kétszáz millió évig tartó kalandos utazással tesz meg egy kört a Tejútrendszer középpontja körül. A közeli csillagok – gravitációjuk révén – belekaphatnak a Naprendszert körülölelő üstökösfelhőbe, ahonnan néhány üstökösmagot a Nap felé taszítanak. A

belső Naprendszerbe érkező üstökösök illékony anyagai a Nap hőjének hatására párologni kezdenek. A felszabaduló anyag a napszél hatására hosszan elnyúlik, kialakul az üstökös közismert csóvája. Nagyrítván előfordulhat, hogy a belső Naprendszerben tett látogatása közben az üstökös összeütközik a Földdel. Igaz ugyan, hogy a pusztítást ilyenkor közvetlenül az üstökös okozza, a katasztróféért a felelősség azonban mégis a Naprendszer közelében elhaladó csillagot terheli. Szerencsére a csillagok közötti irdatlan távolságok miatt az ilyen találkozók meglehetősen ritkák.

A Tejútrendszer középpontja körüli keringésük közben más égitestek is elhaladhatnak mellettünk. Óriás gázfelhők sodródhatnak a közelünkbe, amelyek anyaga ugyan ritkább, mint a laboratóriumokban előállítható vákuum, nagy tömegük folytán, mégis jelentősen meg tudják változtatni a napszél áramlását és a Napból érkező hősugárzás mennyiségét. A koromfekete világűrben más, aljas szándékú égitestek is ólálkodhatnak: magányosan kóborló bolygók, neutroncsillagok, barna törpék, fekete lyukak. Mindezek – sok más egyéb égitesttel egyetemben észrevétlenül maradhatnak, így minden előzetes figyelmeztetés nélkül zúdíthatnak hirtelen katasztrófát a Naprendszerre.

Lehet, hogy a fenyegetés még ennél is alattomosabb. Egyes csillagászok feltételezik, hogy a Nap – az égbolt csillagainak nagyobb részéhez hasonlóan – valójában egy kettőscsillag-rendszer tagja. Nemezisnek, vagy Halálcsillagnak elkeresztelt kísérőcsillagunk – ha egyáltalán

létezik – túlságosan halvány és távoli ahhoz, hogy felfedezhettük volna. A Nap körül csigalassúsággal araszoló égitest gravitációs hatása révén azonban mégis felhívja magára a figyelmet, mert szabályos időközönként (mintegy harminc millió évenként) megzavarja a távoli üstökösök mozgását, és csapatostól küldi őket a Naprendszer belseje felé, ami a Földön pusztító becsapódások sorozatát okozhatja. A geológusok megfigyelték, hogy az élőlények katasztrofális, világméretű kipusztulási hullámai a földtörténet során valóban mintegy harminc millió évenként következtek be.

Távolabbra tekintve a csillagászok megfigyelték, hogy egész galaxisok is összeütközhetnek egymással. Mekkora az esélye annak, hogy a Tejútrendszer elüti egy másik galaxis? Egyes csillagok szokatlanul gyors mozgása amellettszóló bizonyítékot jelent, hogy története során a Tejútrendszer már átélt néhány kozmikus karambolt, kisebb, közeli galaxisokkal. Két galaxis összeütközése azonban nem feltétlenül jelent katasztrófát a galaxisokat alkotó csillagokra nézve. A csillagok oly ritkán töltik ki a galaxist, hogy két galaxis akár teljesen egybe is olvadhat anélkül, hogy csillagaiknak össze kellene ütközniük.

Sok ember számára lebilincselő a Végítélet látomása, a világ hirtelen, látványos pusztulása. A hirtelen halál azonban sokkal kevésbé fenyeget bennünket, mint a lassú elmúlás. Számos módja van annak, hogy a Föld fokozatosan lakhatatlanná váljék. A lassú ökológiai pusztulás, az éghajlat változása, a Nap hősugárzásának apró változásai – mind rontják a kényelemérzetünket, vagy akár kockára

teszik túlélésünk lehetőségét törékeny bolygónkon. Az ilyen változások azonban csak néhány ezer vagy néhány millió év alatt következnek be, így az emberiség a modern technika vívmányai segítségével esetleg eredményesen veheti fel ellenük a harcot. Egy újabb jégkorszak fokozatos beköszöntése például nem feltétlenül jelentene teljes katasztrófát fajunk számára, feltéve, hogy elegendő idő áll rendelkezésünkre tevékenységünk újjászervezéséhez. Remélhetjük, hogy a következő évezredben a technikai fejlődés továbbra is szédítő tempójú marad. Ha ez így történik, akkor bízhatunk abban, hogy az ember vagy leszármazottai egyre nagyobb és nagyobb fizikai rendszereket lesznek képesek uralmuk alá vonni, míg végül abba a helyzetbe kerülhetnek, hogy még a kozmikus léptékben fenyegető katasztrófákat is képesek lesznek elhárítani. Vajon elméletileg mindent túlélhet az emberiség? Nincs kizárva. Látni fogjuk azonban, hogy a halhatatlanságot megszerezni nem könnyű, sőt, esetleg lehetetlen. Maga a Világegyetem fizikai törvényeknek engedelmeskedik, amelyek megszabják saját életciklusát is: születését, fejlődését és – talán – pusztulását. Saját sorsunk elválaszthatatlanul a csillagokéhoz kötődik.

2. FEJEZET

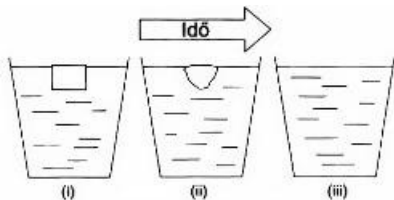
A haldokló Világegyetem

1856-ban Hermann von Helmholtz német fizikus elkészítette a tudomány történetének valószínűleg

legborúlátóbb jóslatát. Helmholtz szerint a Világegyetem haldoklik. A végzetet jósló kijelentés alapja a termodinamika második főtétele volt. A főtétele eredetileg a XIX. század első felében, elsősorban gyakorlatias, műszaki szempontok alapján fogalmazták meg a hőerőgépek hatásfokának leírására. Hamarosan felismerték azonban, hogy a második főtétele jelentősége egyetemes, amit szó szerint is lehet érteni, hiszen a tételnek kozmikus következményei is vannak.

Legegyszerűbb formájában a második főtétele azt állítja, hogy a hő mindig a melegebb hely felől a hidegebb felé áramlik. Ez a fizikai rendszerek jól ismert és nyilvánvaló tulajdonsága. Működését az élet számos területén tapasztaljuk, mondjuk amikor ebédet főzünk vagy amikor hagyunk kihűlni egy csésze kávé: a hő mindig a magasabb hőmérsékletű hely felől áramlik az alacsonyabb hőmérsékletű felé. Ebben az égvilágon semmi titokzatos nincs. A hő ugyanis az anyagot alkotó molekulák mozgásában nyilvánul meg. Gázokban, például a levegőben, a molekulák összevissza rohangálnak és gyakorta összeütköznek egymással. Még a szilárd testeket alkotó atomok is meglehetősen élénken ficáncolnak. Minél melegebb a test, annál nagyobb energiájú a részecskék mozgása. Ha két különböző hőmérsékletű testet összeérintünk, a melegebb test molekuláinak élénkebb mozgása hamarosan áttérjed a hidegebb testet alkotó részecskékre is.^[4] Minthogy a hőáramlás mindig egyirányú, ezért a folyamat időben aszimmetrikus. A hőnek a hidegebb testről a melegebb felé történő áramlását

bemutató film ugyanolyan mulatságos lenne, mint az a képsor, amelyiken a folyók hegynek fölfelé folynak vagy az esőcseppek a felhők felé esnek.^[5] Meg tudjuk tehát határozni a hőáramlás alapvető irányát, amit gyakran a múltból a jövőbe mutató nyíllal ábrázolunk. Ez az „időnyíl” a termodinamikai folyamatok megfordíthatatlan természetét jelzi és százötven éven keresztül ámulatba ejtette a fizikusokat.



2.1. ábra

Az idő iránya. A jégkocka olvadása meghatározza az idő irányát. Az eseményeket a (III), (II), (I) sorrendben bemutató filmről azonnal felismernénk, hogy trükkfilm. Ezt az aszimmetriát az entrópiának nevezett fizikai mennyiség jellemzi, amelynek értéke a jég megolvadása közben növekszik.

Helmholtz, Rudolf Clausius és Lord Kelvin munkássága nyomán a fizikusok felismerték az entrópiának nevezett fizikai mennyiség fontosságát és azt, hogy ez a fizikai mennyiség jelzi a termodinamikai folyamatok megfordíthatatlanságát. Abban a legegyszerűbb esetben, amikor egy meleg és egy hideg test érintkezik egymással, az entrópia az átáramló hőmennyiség és a hőmérséklet

hányadosaként értelmezhető. Vegyünk szemügyre egy kisebb adag hőt, amely a melegebb testről a hidegebb felé áramlik. A folyamat révén a meleg test entrópiát veszít, a hideg viszont entrópiát nyer. Mivel az átfolyó hőmennyiség állandó, a két test hőmérséklete viszont különböző, ezért a hideg test több entrópiára tesz szert, mint amennyit a meleg elveszít. Ezáltal a hidegebb és a melegebb testből álló rendszer összes entrópiája nő. A termodinamika második főtételenek egyik megfogalmazása éppen az, hogy az ilyen rendszerek entrópiája soha nem csökkenhet. Ha a rendszer entrópiája csökkenhetne, akkor ez azt jelentené, hogy spontán módon, azaz külső kényszer hatása nélkül energia áramolhatna a hidegebb testtől a melegebb felé.

A sokkal alaposabb elemzés lehetővé teszi, hogy a második főtétele minden zárt rendszer esetére a következőképp általánosítsuk: az entrópia soha nem csökkenhet. Ha a rendszer tartalmaz egy hűtőgépet, amelyik képes a hidegebb helyről a melegebbre hőt szállítani, akkor az entrópiamérleg elkészítéséhez az egész rendszert figyelembe kell venni, beleértve a hűtőgép működtetésére fordított energiát is. Ebben az esetben mindig azt az eredményt kapjuk, hogy a hűtőgép működtetése során létrehozott entrópia nagyobb, mint a hő hidegebből melegebb helyre történő szállítása során bekövetkező entrópiacsökkenés. A természetes rendszerekben, mint például az élőlényeket tartalmazó rendszerekben vagy a kristályok kialakulásakor, ugyancsak gyakran előfordulhat, hogy a rendszer egyik részén az

entrópia csökken, azonban ezt a csökkenést mindig kiegyenlíti az entrópia növekedése, valahol, a rendszer másik részében. Összességében az entrópia soha nem csökkenhet.

Ha a Világegyetem egészét zárt rendszernek tekintjük, azon az alapon, hogy rajta „kívül” semmi nem létezik, akkor a termodinamika második főtételéből fontos előrejelzés következik: a Világegyetem összes entrópiája soha nem csökken. Ez valójában azt jelenti, hogy az összes entrópia feltartóztathatatlanul nő. Jó példa erre közvetlen kozmikus szomszédságunkban a Nap, amely szakadatlanul ontja hősugarait a világűr hideg mélységébe. A hő szétterjed a Világegyetemben, és soha nem tér vissza a Napra: a folyamat tehát látványosan irreverzibilis.

Önkéntelenül adódik a kérdés, hogy vajon a Világegyetem entrópiája képes-e örökké növekedni. Képzeljünk el egy forró és egy hideg testet, melyeket egy hőszigetelő tartályban egymáshoz érintünk. A hőenergia a meleg testről a hideg felé áramlik, vagyis a rendszer entrópiája nő, végül azonban a meleg test annyira lehűl, a hideg pedig annyira fölmelegszik, hogy hőmérsékletük azonos lesz. Ekkor megszűnik közöttük a hőáramlás. A tartály belsejében lévő rendszernek mindenütt azonos a hőmérséklete. Ezt a maximális entrópiájú állapotot termodinamikai egyensúlynak nevezzük.

Semmiféle további változás nem várható mindaddig, amíg a rendszer a külvilágtól elszigetelt marad. Ha viszont a testeket valamilyen módon megzavarjuk, például úgy, hogy a tartályba kívülről további hőt juttatunk be, akkor további

termikus változás következik be, az entrópia pedig addig emelkedik, amíg újabb maximumot ér el.

Vajon mit mondanak nekünk ezek a termodinamikai alapgondolatok a csillagászati és kozmológiai változásokról? A Nap és a legtöbb más csillag esetében a hő kifelé áramlása évmilliárdokon keresztül tarthat, forrása azonban ennek ellenére nem kimeríthetetlen. A közönséges csillagok belsejében atommagfolyamatok termelik az energiát. Amint később látni fogjuk, egyszer majd a Nap energiatartalékai is kimerülnek és – hacsak ebben más események meg nem akadályozzák – csillagunk lassan addig hűl, amíg hőmérséklete a környező világűrrel lesz azonos.

Bár Hermann von Helmholtz semmit sem tudott az atommag-reakciókról (a Nap hatalmas mennyiségű energiájának forrása abban az időben még rejtély volt^[6]), mégis megértette azt az általános alapelvet, mely szerint a Világegyetemben minden fizikai tevékenység egy végső, termodinamikai egyensúlyi, azaz maximális entrópiájú állapot felé halad. Ennek elérése után valószínűleg egészen az örökkévalóságig semmi említésre érdemes esemény nem fog történni. A korabeli termodinamikusok körében ez a folyamatosan a termodinamikai egyensúly irányába történő csúszás a Világegyetem „hőhalála” néven vált ismertté. Azt elismerték, hogy egyes rendszerek külső zavaroknak köszönhetően újjászülethetnek, azonban definíció szerint magára a Világegyetem egészére vonatkoztatva nem létezik a „kívül” fogalma, ezért nem

létezhetsen olyan külső hatás, amely meg tudná akadályozni a mindenben eluralkodó hőhalált.

Az a felfedezés, mely szerint a Világegyetem haldoklik, a termodinamika törvényeinek kikerülhetetlen következménye. Ennek megfelelően természettudósok és filozófusok generációira roppant mély benyomást tett. Bertrand Russell például indítatva érezte magát, hogy a „Miért nem vagyok keresztény?” című könyvében a következő borúlátó képet fesse: „Évezredek munkája, az emberi szellem minden önfeláldozása, ihletettsége és ragyogó fényessége arra ítéltetett, hogy a Naprendszer halálakor elpusztuljon. Az emberiség eredményeinek egész templomát elkerülhetetlenül maguk alá temetik a rombadőlő Világegyetem törmelékei. Mindez, ha nem is kétségbevonhatatlan, de mégis csaknem bizonyos, oly magától értetődően, hogy ezt tagadó filozófia nem remélhet elfogadtatást. Csakis ezen igazságok felépítményén és csakis a makacs kétségbeesés szilárd alapján lehet a lélek lakhelyét biztonságosan felépíteni.”

Sok más szerző a termodinamika második főtételéből és annak a Világegyetem halálára vonatkozó következményeiből arra a következtetésre jutott, hogy a Világegyetem cél nélküli és az ember létezése hiábavaló. Erre a kilátástalan helyzetértékelésre a későbbi fejezetekben még visszatérünk és akkor azt is megtárgyaljuk, hogy vajon a tények helyes vagy helytelen értelmezésén alapul-e.

A kozmikus hőhalál képének előrevetítése nem csak a Világegyetem jövőjéről beszél azonban, hanem a múltjára

vonatkozóan is tartalmaz egy fontos következtetést. Nyilvánvaló, hogy ha a Világegyetem leépülése megállíthatatlanul és véges sebességgel folyik, akkor nem létezhet öröktől fogva. Ennek az oka egyszerű: ha a Világegyetem végtelenül öreg lenne, akkor már el kellett volna pusztulnia. Valami, ami véges sebességgel leépül, nyilvánvalóan nem létezhet öröktől fogva. Más szavakkal: a Világegyetem létezésének véges idővel ezelőtt kellett kezdődnie.^[7]

Említésre méltó tény, hogy a XIX. század tudósai nem tudták kellőképpen magukévá tenni ezt a mélyértelmű következtetést. Annak az elképzelésnek a felbukásához, mely szerint a Világegyetem hirtelen, az ősrobbanásban született, meg kellett várni az 1920-as évek csillagászati megfigyeléseit. Láthatjuk azonban, hogy tisztán termodinamikai alapon már ennél jóval korábban is következtetni lehetett volna a Világegyetem meghatározott pillanatban történő születésére.

Mint hogy azonban ezt a nyilvánvaló lépést elmulasztották megtenni, a XIX. század csillagászeit zavarba ejtette egy különleges kozmológiai paradoxon. Az azt megfogalmazó német csillagászból Olbers-paradoxonnak nevezett állítás tulajdonképpen egyszerű, mégis alapvető kérdést tesz fel: miért sötét az éjszakai égbolt?^[8]

Első pillanatban a válasz egyszerűnek tűnik. Az éjszakai égbolt azért sötét, mert a csillagok óriási távolságra vannak tőlünk, és ezért halványnak látszanak. Tételezzük azonban fel, hogy a tér végtelen. Ebben az esetben minden

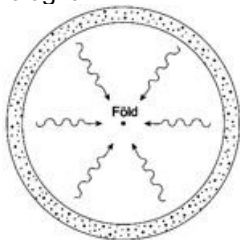
bizonytal a csillagok száma is végtelen. Ha a végtelen számú, bár halvány csillag fénye összegeződik, az összességében nem kevés fényt jelent.

A végtelen térben többé-kevésbé egyenletesen eloszló, változatlan csillagok együttes fényessége könnyen kiszámítható. A csillagok látszó fényessége a távolság négyzetével fordított arányban csökken. Ez azt jelenti, hogy ugyanaz a csillag kétszer akkora távolságból négyszer halványabbnak látszik, háromszoros távolságból kilenceszer halványabb, és így tovább. Másrészt viszont minél messzebbre nézünk, annál több csillagot látunk. Egyszerű geometriai okoskodással rájöhethetünk, hogy mondjuk tőlünk kétszáz fényév távolságra négyszer annyi csillag található, mint száz fényév távolságra, míg a háromszáz fényév távolságban levő csillagok száma kilenceszerese az utóbbinak. A csillagok száma tehát a távolság négyzetével egyenesen arányos, miközben fényességük ugyanezzel fordítva arányos. Ennek következtében a két hatás kiegyenlíti egymást, ami azt eredményezi, hogy az adott távolságban lévő összes csillag együttes fényessége független attól, hogy mekkora ez a távolság. A kétszáz fényév távolságban lévő csillagok együttesen ugyanannyi fényt sugároznak a Földre, mint az összes száz fényév távolságban lévő csillag együttesen.

Problémát csak az okoz, amikor az összes lehetséges távolságban lévő csillag fényét akarjuk összegezni. Ha a Világegyetemnek nincs határa, akkor úgy tűnik, hogy a Földre is végtelen erősségű fénysugárzásnak kellene érkeznie. Az éjszakai égbolt tehát nemhogy nem lenne

sötét, hanem épp ellenkezőleg, vakítóan fényesen kellene ragyognia!

A helyzet valamicskét javul, ha figyelembe vesszük a csillagok véges méretét. Minél távolabb van egy csillag a Földtől, annál kisebbnek látszik az átmérője. Ha tőlünk pontosan ugyanabban az irányban két csillag fekszik, akkor a közelebbi eltakarja a távolabbit. A végtelen Világegyetemben ez végtelenül sokszor előfordul, ezért némileg megváltoztatja az előző számításunk végkövetkeztetését. A Földet elérő sugárzásna így már nem kell végtelenül nagyoknak lennie, csupán nagyon erős, de véges nagyságúnak, körülbelül olyan erősnek, mintha az egész égbolt a napkorong fényességével ragyogna, és a Föld csak másfél millió kilométer távol lenne a Nap felszínétől. A helyzet roppant kellemetlen lenne, az erős hőhatás következtében a Föld rövid idő alatt maradéktalanul elpárologna.



2.2. ábra

Olbers paradoxona. Képzeljünk el egy időben változatlan Világegyetemet, amelyet mindenütt azonos átlagsűrűséggel véletlenszerűen szétszórt csillagok

népesítenek be. A rajzon feltüntettük azokat a csillagokat, amelyek egy, a Földet körülvevő, vékony gömbhéj belsejében találhatóak. (A héjon kívül fekvő csillagokat nem ábrázoltuk.) A héjban lévő csillagok fénye hozzáadódik a Földet elérő összes csillagfényhez. Egy adott csillag fényessége a héj sugarának négyzetével fordítva arányos. A héjban lévő összes csillag száma ugyanakkor egyenesen arányos a héj sugarának négyzetével. Ezért a két hatás kiegyenlíti egymást, azaz a héj összfényessége független a sugárától. A végtelen Világegyetemben végtelen sok héj képezhető, így ezek együttes hatása nyilvánvalóan végtelenül erős sugárzást eredményezne a Föld felszínén.

Az a következtetés, mely szerint a végtelen Világegyetemnek kozmikus kemencéhez kellene hasonlatosnak lennie, tulajdonképpen a korábban tárgyalt termodinamikai probléma más megfogalmazása. A csillagok szakadatlanul hőt és fényt ontanak a világűrbe. Ez a sugárzás lassanként felhalmozódik az űrben. Ha a csillagok végtelen ideje világítanak, akkor első pillanatban úgy tűnik, hogy a felhalmozódott sugárzás erősségének végtelennek kell lennie. A sugárzás egy része azonban a világűrben utazva véletlenül beleütközhet egy másik csillagba, amely elnyeli azt. (Ez egyenértékű azzal a korábbi feltételezésünkkel, hogy a közelebbi csillagok eltakarják a távoliak fényét.) Ennek következtében a sugárzás erőssége csak egy egyensúlyi állapotig nő, amely egyensúlyban a csillagok pontosan ugyanannyi sugárzást

bocsátanak ki, mint amennyit elnyelnek. Ez a termodinamikai egyensúlyi állapot akkor következik be, amikor a világűrt kitöltő sugárzás hőmérséklete körülbelül akkora lesz, mint a csillagok felszíni hőmérséklete, azaz néhány ezer fok. Eszerint tehát a Világegyetemet néhány ezer fok hőmérsékletű sugárzásnak kellene kitöltenie. Ebben az esetben az éjszakai égbolt sem lenne sötét, hanem ennek a hőmérsékletnek megfelelő fényességgel ragyogna.

Heinrich Olbers megoldást is javasolt a paradoxonára. Tisztában volt azzal, hogy a Világegyetemben sok por van jelen, ezért arra gondolt, hogy ez az anyag elnyeli a csillagok sugárzásának legnagyobb részét, elsötétítve ezáltal az égboltot. Sajnos elképzelése látványos ugyan, mégis alapvetően hibás, az Olbers által elképzelt helyzetben ugyanis végső soron a pornak is fel kellene forrósodnia, és így az is ugyanolyan fényesen ragyogna, mint az általa elnyelt sugárzás.

A paradoxon másik lehetséges feloldása annak feltételezése, hogy a Világegyetem nem végtelen kiterjedésű. Tételezzük fel, hogy a Világegyetemet rengeteg sok, de véges számú csillag alkotja, vagyis az egész Világegyetem nem más, mint a csillagok hatalmas gyülekezete, amelyet a sötét és végtelen üresség vesz körül. Ebben az esetben a sugárzás legnagyobb része kiáramlana a csillagmentes űrbe és elveszne. Ennek az egyszerű megoldásnak azonban van egy súlyos hibája, amelyet valójában már Isaac Newton jól ismert a XVII. században. A probléma a gravitáció természetével

kapcsolatos. Minden egyes csillag gravitációs vonzást fejt ki az összes többire, ezért a társaság minden csillaga arra törekszik, hogy egymás felé közeledjen és a tömegközéppontban találkozzanak. Ha a Világegyetemnek lenne egy meghatározott középpontja és széle, akkor úgy tűnik, hogy önmagába kellene omlania. A magára hagyott, véges és sztatikus Világegyetem instabil és gravitációs összeomlás áldozatává válik.

A gravitáció problémája történetünk egy későbbi pontján ismét fel fog bukkanni. Itt csak azt a zseniális módszert említjük meg, amellyel Newton megpróbálta kiküszöbölni a problémát. Newton úgy érvelt, hogy a Világegyetem csak akkor képes a saját tömegközéppontjába összeomlani, ha létezik tömegközéppontja. Ha azonban a Világegyetem végtelen kiterjedésű és (átlagosan legalábbis) egyenletesen népesítik be a csillagok, akkor nincs középpontja és nincs széle. Egy kiszemelt csillagot a szomszédai minden irányba ugyanakkora erővel húznak, mintha egy kozmikus kötélhúzó versenyben a kötelek minden irányt behálóznának. Átlagosan az ellentétes irányú vonzóerők kiegyenlítik egymást, így a csillag nem mozdul el a helyéről.

Ha tehát elfogadjuk Newton megoldását a magába roskadó Világegyetem paradoxonára, akkor ismét visszajutottunk a végtelen Világegyetemhez és ebből következően az Olbers-paradoxonhoz. Úgy tűnik tehát, hogy a két paradoxon közül az egyikkel elkerülhetetlenül szembe kell néznünk.^[9] Utólag persze már könnyű okosnak lenni, így találhatunk egy kiskaput a dilemma megoldása

felé vezető úton. Fel kell ugyan tételeznünk, hogy a Világegyetem *NEM* végtelen, de *nem térben*, hiszen ez ellentmondásra vezetett, hanem *időben*. A tüzesen izzó égbolt látomása azért bukkant fel, mert a csillagászok feltételezték, hogy a Világegyetem időben változatlan, a csillagok is örökkön örökké változatlanok és az idők végtelen kezdete óta nem csökkenő intenzitással sugároznak. Ma már azonban tudjuk, hogy mindkét feltevés hibás. Először is – mint hamarosan röviden elmagyarázom – a Világegyetem nem sztatikus, hanem tágul. Másodsor, a csillagok nem tudnak örökké sugározni, mert előbb-utóbb kifogy az üzemanyaguk. Abból a tényből, hogy most csillagok ragyognak a fejünk fölött, az következik, hogy a Világegyetemnek véges idővel ezelőtt kellett keletkeznie. Ha a Világegyetemnek véges kora van, akkor Olbers paradoxona egy csapásra megoldódik. Ha erről meg akarunk győződni, vegyük szemügyre egy nagyon távoli csillag esetét. Minthogy a fény véges sebességgel terjed (másodpercenként 300 000 kilométert tesz meg), ezért a csillagot nem olyannak látjuk, amilyen ebben a pillanatban, hanem olyannak, amilyen akkor volt, amikor most megérkező fénye elindult felénk. A Betelgeuse nevű fényes csillag például hatszázötven fényév távolságban van tőlünk, ezért most az égboltra pillantva hatszázötven évvel ezelőtti állapotát figyelhetjük meg. Ha a Világegyetem mondjuk tízmilliárd évvel ezelőtt keletkezett, akkor a Földtől tízmilliárd fényévnél nagyobb távolságban egyetlen csillagot sem láthatunk. *Lehetséges*, hogy a Világegyetem térbeli

kiterjedése végtelen, ha azonban a kora véges, akkor semmiképpen nem láthatunk egy véges távolságnál messzebbre. Így tehát a *véges korú*, bár végtelen sok csillagot tartalmazó rendszer csillagainak együttes fényessége véges, sőt valószínűleg elhanyagolhatóan csekély lesz.

Ugyanerre a végkövetkeztetésre juthatunk termodinamikai megfontolások alapján is. Roppant hosszú időbe telik, mire a csillagok megtöltik az egész teret sugárzással, és a sugárzás hőmérséklete eléri a csillagokét, mert rengeteg üres tér van a Világegyetemben. Egyszerűen mindeddig nem állt rendelkezésre elegendő idő ahhoz, hogy a Világegyetem mostanra elérje a termodinamikai egyensúly állapotát.

Minden bizonyíték arra utal tehát, hogy a Világegyetem élettartama véges. A múlt egy meghatározott pillanatában megszületett, jelenleg vibrálóan aktív, de valamikor a jövőben elkerülhetetlenül bekövetkezik a hőhalál. Mindebből természetesen azonnal egy sor kérdés adódik. Mikor jön el a vég? Milyen lesz? Lassú lesz vagy hirtelen tör ránk? Elképzelhető-e, hogy a hőhalál elmélet – ahogy ma a tudósok vélekednek róla esetleg téves?

3. FEJEZET

Az első három perc

A kozmológusok, a történészekhez hasonlóan, tudják, hogy a jövő kulcsát a múltban kell keresni. Az előző fejezetben elmagyaráztuk, hogyan sugallnak a

termodinamika törvényei egy korlátozottan hosszú élettartamú Világegyetemet. A tudósok közt ma már csaknem egyöntetű az az álláspont, mely szerint a Világegyetem legalább 10, legfeljebb pedig 20 milliárd évvel ezelőtt az ősrobbanással kezdődött, amely esemény egyúttal a Világegyetem további sorsát is megszabta. Ismerve a Világegyetem kezdeti körülményeit és megvizsgálva a legősibb korszakában végbemenő folyamatokat, kritikus nyomokat szedegethetünk össze a távoli jövőre vonatkozóan.

A nyugati kultúrába mélyen beleivódott az az elképzelés, hogy a Világegyetem nem létezett öröktől fogva. Bár az ókori görög gondolkodók felvetették a Világegyetem örökkévalóságának lehetőségét, mégis az összes jelentős nyugati vallás tanítása értelmében a világot a múlt egy meghatározott pillanatában Isten teremtette.

Kényszerítő erejű bizonyítékok szólnak az ősrobbanás elmélete, azaz a Világegyetem hirtelen keletkezése mellett. A legközvetlenebb bizonyítékot a távoli galaxisok fényének minőségi elemzése szolgáltatja. Az 1920-as években Edwin Hubble amerikai csillagász kollégája, az arizonai Flagstaff Obszervatóriumban dolgozó és elsősorban a csillagközi gázfelhőkkel foglalkozó Vesto Slipher végtelen türelemmel végzett észlelései alapján megállapította, hogy a távoli galaxisok valamivel vörösebbnek látszanak, mint a közeliak.^[10] Hubble a Wilson-hegyi 2,5 méteres távcsővel nagyon alaposan megfigyelte ezt a vörösödést, majd eredményeit egy grafikonon ábrázolta. Észrevette, hogy a

vörösödés szisztematikus: minél távolabb van tőlünk a galaxis, annál vörösebbnek látszik.

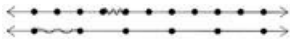
A fény színe a hullámhosszával áll kapcsolatban. A fehér fény színeképében a rövid hullámhosszú végén a kék színt, a hosszú hullámhosszú szélén a vöröset látjuk. A távoli galaxisok vörösödése azt jelenti, hogy a róluk érkező fény hullámhossza valamiképpen megnő. Nagyon sok galaxis esetében pontosan meghatározva a legjellegzetesebb színeképvonalak helyét, Hubble bizonyítani tudta a jelenség létezését.^[11] Felvetette, hogy a fényhullámok megnyúlása esetleg az egész Világegyetem tágulásának lehet a következménye. Ezzel a történelmi jelentőségű megállapításával Edwin Hubble lefektette a modern kozmológia alapjait.

A táguló Világegyetem természete sokakat zavarba ejt. A Földről nézve úgy tűnik, mintha a távoli galaxisok mind tőlünk távolodnának. Ez azonban *nem* jelenti azt, hogy a Föld a Világegyetem középpontja, a tágulás átlagos képe ugyanis szerte a Világegyetemben mindenütt ugyanolyan. Minden egyes galaxis, vagy pontosabban minden galaxishalmaz minden másiktól távolodik. Az egész folyamatot leginkább úgy lehet elképzelni, mintha maga a galaxishalmazok közötti tér tágulna vagy nyúlna meg, nem pedig úgy, mintha a galaxishalmazok valamilyen abszolút térben távolodnának egymástól.

Első pillanatban meglepőnek tűnhet az a tény, hogy a tér megnyúlik, a tudósok azonban már 1916 óta barátkozhatnak ezzel a fogalommal, akkor tette ugyanis közzé Einstein az általános relativitáselméletet. Az elmélet

értelmében a gravitáció nem egyéb, mint a tér (illetve egészen pontosan fogalmazva a téridő) görbültségének megnyilvánulása. Bizonyos értelemben a tér rugalmas szerkezetű, amely a benne található anyag gravitációs tulajdonságaitól függő módon meghajolhat vagy megnyúlhat. Ezt az elképzelést a megfigyelések sora támasztja alá.

A táguló tér fogalmának alapgondolatát egy egyszerű hasonlat segítségével érthetjük meg a legkönnyebben. Képzeljünk el egy csomó, a galaxishalmazokat jelképező gombot, amelyeket egy rugalmas szárra fűztünk fel. Ezután képzeljük el, hogy a végeit meghúzával megnyújtjuk a szálát. A gombok mindegyike távolabbra kerül az összes többitől. Bármelyik gombot is szemeljük ki, a szomszédos gombok távolodni fognak tőle. Mindamellet, a tágulás mindenütt ugyanolyan: nincs kitüntetett középpont. Természetesen találhatunk egy olyan gombot, amelyik pontosan a gumiszál közepén helyezkedik el, ennek azonban a tágulás egésze szempontjából nincs jelentősége. Ezt a jelentéktelen problémát úgy küszöbölhetjük ki legegyszerűbben, hogy a gombokat tartó rugalmas szálát végtelen hosszúra vagy kör alakúra választjuk.



3.1. ábra

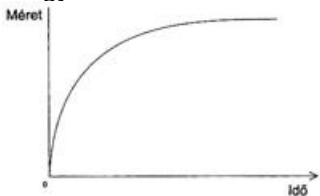
A táguló Világegyetem egydimenziós modellje. A gombok a galaxishalmazoknak, a rugalmas szál pedig magának a térnek felel meg. Amikor a gumiszálát megnyújtjuk, a gombok eltávolodnak egymástól. A

megnyúlás következtében nagyobb lesz a húr mentén terjedő hullámok hullámhossza. Ez megfelel a Hubble által felfedezett kozmikus vöröseltolódás jelenségének.

Bármely kiválasztott gombról nézve a legközelebbi szomszédok fele olyan gyorsan látszanak távolodni, mint a következő szomszédok, és így tovább. Minél messzebb található valamely gomb a kiválasztotttól, annál gyorsabban távolodik. Az ilyen fajta tágulás roppant fontos jellemzője, hogy a távolodási sebesség arányos a távolsággal. E szemléletes kép birtokában már könnyen el tudjuk képzelni a táguló Világegyetemben a gombok azaz a galaxishalmazok között haladó fénysugarakat. A hullámok a térrel együtt megnyúlnak. Ez magyarázatot ad a kozmológiai vöröseltolódásra.^[12] Hubble megállapította, hogy a vöröseltolódás mértéke arányos a távolsággal, pontosan ugyanúgy, ahogy azt az előző, egyszerű, szemléletes modellünkön bemutattuk.

Ha a Világegyetem tágul, akkor a múltban kisebbnek kellett lennie. Hubble megfigyelései és az azóta elvégzett még pontosabb mérések lehetővé tették a tágulás sebességének pontos megmérését. Ha le tudnánk játszani visszafelé a kozmikus történetet, akkor azt látnánk, hogy valamikor a nagyon távoli múltban az összes galaxis egyesül egymással. A tágulás jelenlegi ütemének ismeretében ki tudjuk számítani, hogy ez az egyesülés sok milliárd évvel ezelőtt állhatott fenn. Nehéz azonban a pontos időpontot meghatározni, két okból is. Egyrészt maguk a mérések számos hibával terhelték, így nehéz pontos

eredményeket kapni. Bár a legkorszerűbb távcsövekkel jelentős számú galaxist vizsgáltak meg nagyon alaposan, a tágulás sebességét még mindig csak egy kétszeres szorzó bizonytalanságával ismerjük, ezért tényleges értéke élénk tudományos viták tárgya.



3.2. ábra

A Világegyetem tágulásának üteme megközelítőleg a bemutatott módon folyamatosan csökken. Ebben az egyszerű modellben a nullával jelölt pontban a tágulás sebessége végtelenül nagy. Ez a pont felel meg az ősrobbanásnak.

Másrészt, a Világegyetem tágulásának sebessége nem állandó az időben. Ez a galaxisok és a Világegyetemet alkotó minden anyag- és energiafajta között ható gravitációnak köszönhető. A gravitáció fékezi a galaxisok kifelé tartó száguldását. Következésképpen a tágulás üteme az idő múlásával egyre lassul. Ebből tehát az következik, hogy valaha a Világegyetemnek a ma megfigyelhetőnél nagyobb sebességgel kellett tágulnia. Ha a Világegyetem egy kiválasztott tartományának a méretét az idő függvényében ábrázoljuk, akkor a 3.2. ábrán látható vagy ahhoz hasonló görbét kapunk eredményül. A görbéről

leolvasható, hogy a Világegyetem tágulása egy roppant mértékben összepréselt állapotból, nagy sebességgel indult. Ezután az idő múlásával arányosan a Világegyetem térfogata egyre nőtt, miközben benne az anyag sűrűsége egyre csökkent. Ha a görbét egészen a rajzon 0-val jelölt kiinduló pontig követjük visszafelé, akkor az az érzésünk támad, mintha a Világegyetem tágulása egy zérus kiterjedésű állapotból, végtelen nagy sebességgel kezdődött volna. Más szavakkal, a ma megfigyelhető galaxisokat alkotó anyag tágulása egyetlen pontból, robbanásszerű hevességgel indult. Ez az úgynevezett őszobbanás erőteljesen leegyszerűsített leírása.

De vajon jogunk van-e az eseményeket a görbe mentén egészen a kezdet kezdetéig extrapolálni? Sok kozmológus azon az állásponton van, hogy igen. Ha az előző fejezetben részletesen tárgyalt okokból kifolyólag feltételezzük, hogy a Világegyetem történetének kellett hogy legyen valamilyen kezdőpontja, akkor természetesen ez a kezdet megfelel az őszobbanásról alkotott képünknek. Ha viszont ez így van, akkor a görbe sokkal többről árulkodik, mint egy pusztán robbanásról. Emlékezzünk vissza, hogy a diagramon *magának a térnek* a tágulását ábrázoltuk, ezért a nulla térfogat nem egyszerűen csak azt jelenti, hogy az anyag végtelenül sűrű állapotba volt összepréselve, hanem azt is, hogy maga a *tér* volt semmivé összenyomva. Más szavakkal kifejezve, az őszobbanás egyaránt jelentette magának a térnek, valamint az anyagnak és az energiának a kezdetét is. A legfontosabb arra rámutatnunk, hogy e kép értelmében nem beszélhetünk valamilyen, az őszobbanás

előtt is létező úrról, amelyben az ősrobbanás bekövetkezett.

Ugyanez az alapötlet vonatkozik az időre is. Az anyag végtelen sűrűségű és a tér végtelenül összepréselt állapota határt jelent az időben is. Ennek az az oka, hogy a gravitáció az időt és a teret egyaránt megnyújtja. Ez ugyancsak Einstein általános relativitáselméletének következménye, amelyet kísérletileg közvetlenül is ellenőriztek. Az ősrobbanás idején uralkodó fizikai állapotokból az idő *végtelen mérvű* torzulása következik, vagyis az idő (és a tér) szűkebb értelemben vett fogalma nem extrapolálható az ősrobbanás előtti időre. Minden bizonnyal arra a végkövetkeztetésre kényszerülünk, hogy az ősrobbanás minden fizikai létező, a tér, az idő, az anyag és az energia számára a kezdet kezdetét jelentette. Nyilvánvalóan értelmetlen dolog tehát feltenni azt a kérdést (amelyet ennek ellenére jónéhányan fel szoktak tenni), hogy mi történt az ősrobbanás előtt^[13], vagy hogy minek a hatására következett be az ősrobbanás. Az ősrobbanás előtt egyszerűen *semmi sem létezett*. Márpedig ahol nem létezik az idő, ott nem létezhet a szó megszokott értelmében vett okság sem.

Ha az ősrobbanás-elmélet a Világegyetem eredetére vonatkozó furcsa következményeivel kizárólag a Világegyetem tágulásának megfigyelésén alapulna, akkor valószínűleg a legtöbb kozmológus elvetné az elméletet. Az elmélet azonban jelentős megfigyelési támogatást kapott 1965-ben, amikor felfedezték, hogy az egész

Világegyetem a hőmérsékleti sugárzás tengerében úszik. Ez a sugárzás az égbolt minden irányából azonos erősséggel érkezik felénk. Különlegessége, hogy ez a sugárzás a Világegyetem történetének legkorábbi, igen rövid szakaszától eltekintve, háborítatlanul halad a térben. Így megfigyelése révén valamiféle pillanatfelvételt kaphatunk az ősrobbanást követően uralkodó fizikai viszonyokról. A hősugárzás színeképe pontosan megfelel azon sugárzás intenzitás-eloszlásának, amelyet egy hőmérsékleti egyensúlyban lévő kemence belsejében figyelhetünk meg. Az ilyen tulajdonságokkal rendelkező sugárzást a fizikusok feketetest-sugárzásnak nevezik. Ebből tehát arra kell következtetnünk, hogy az ősi Világegyetem a hőmérsékleti egyensúly állapotában volt, méghozzá oly módon, hogy a hőmérséklet minden részében azonos volt.^[14]

A háttérsugárzásra vonatkozó mérésekből kiderült, hogy a sugárzás hőmérséklete mintegy három fokkal magasabb az abszolút nulla foknál (azaz -273 C-nál), de a hőmérséklet időben lassan változik. Tágulásával együtt a Világegyetem lassan hűl, méghozzá roppant egyszerű szabályszerűséget követve: ha megkétszereződik a sugara^[15], akkor hőmérséklete felére csökken. A háttérsugárzás hűlése fizikailag ugyanaz a folyamat, mint a galaxisok színeképeben megfigyelhető vöröseltolódás, ugyanis a hősugárzás és a fény egyaránt az elektromágneses sugárzások egy-egy fajtája, ami azt jelenti, hogy a Világegyetem tágulásának megfelelően a hősugárzás hullámhossza is megnyúlik. A

alacsony hőmérsékletű testek sugárzása átlagosan hosszabb hullámokból áll, mint a forróbb testek sugárzása. A filmet gondolatban ismét visszafelé pergetve azt tapasztaljuk, hogy a múltban a Világegyetemnek sokkal sűrűbbnek kellett lennie. Maga a sugárzás az ősrobbanás után mintegy 300 000 évvel keletkezett, amikor a Világegyetem hőmérséklete körülbelül 4000 C-ra hűlt. Ennél korábban a főként hidrogénből álló ősi gáz ionizált plazma volt, és ezért átlátszatlan volt az elektromágneses sugárzás számára. A hőmérséklet csökkenésével a plazma átalakult közönséges (nem ionizált) hidrogéngázzá, amely viszont átlátszó, így abban a sugárzás minden irányban szabadon terjedhet.

A háttérsugárzást nem csak az jellemzi, hogy színeképe megegyezik a feketetest-sugárzáséval, hanem az is, hogy hőmérséklete az égbolt minden irányában nagy pontossággal azonos. A sugárzás hőmérséklete az égbolt különböző irányai felé mérve kevesebb, mint egy század résznyi eltérést mutat. Ez a simaság azt jelzi, hogy a Világegyetemnek nagy léptékben figyelemre méltóan homogénnek kell lennie, minthogy az anyag bármely szisztematikus csomósodása a tér egy tartományában vagy egy meghatározott irányban hőmérsékletváltozásként mutatkozna meg. Másrészt viszont tisztában vagyunk azzal, hogy a Világegyetem nem teljesen homogén. Az anyag galaxisokba tömörül, a galaxisok rendszerint galaxishalmazokat alkotnak. Ezek a halmazok viszont szuperhalmazokba rendeződnek. Sok millió fényéves léptékkel vizsgálva a Világegyetemet azt látjuk, hogy

jellegzetes, habos szerkezetet mutat: a galaxisokból álló leplek és szálak óriási üregeket fognak közre.

A Világegyetem nagy léptékű csomósságának egy sokkal egyenletesebb anyageloszlású kiinduló állapotból kellett kialakulnia. Bár a csomósodásért különböző fizikai folyamatok lehetnek felelősek, legnyilvánvalóbb magyarázatnak a lassú gravitációs vonzás tűnik. Ha az ősrobbanás-elmélet helyes, akkor a kozmikus háttérsugárzásban megőrződve meg kell találnunk ennek a kezdeti csomósodási folyamatnak a nyomait. 1992-ben a NASA COBE nevű műholdja (Cosmic Background Explorer, kozmikus háttérsugárzást kutató) felfedezte, hogy a sugárzás nem tökéletesen egyenletes, hanem félreismerhetetlen hullámzásokat, azaz intenzitásváltozásokat tartalmaz. Úgy tűnik, hogy ezek a parányi szabálytalanságok a szuperhalmazok kialakulási folyamatának a szelíd kezdetei. A sugárzás évmilliárdokon keresztül hűen megőrizte az ősi csomósodás nyomait és szemmel láthatóan igazolja, hogy a Világegyetem nem mindig szerveződött a maihoz hasonló jellegzetes módon. Az anyag galaxisokba és csillagokba történő tömörülésének mélyreható folyamata a Világegyetem csaknem tökéletesen egyenletes állapotában kezdődött meg.

Végül, de nem utolsósorban létezik még egy fontos, a Világegyetem forró eredete mellett szóló bizonyíték. Ismerve a háttérsugárzás jelenlegi hőmérsékletét, könnyen kiszámíthatjuk, hogy a Világegyetem hőmérséklete egy másodperccel a tágulás kezdete után mintegy tíz milliárd

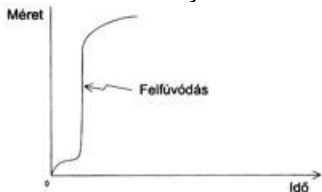
fok lehetett. Ez azonban még ahhoz is túlságosan forró, hogy összetett atommagok létezni tudjanak. Abban az időben tehát az anyag csak legalapvetőbb elemi összetevőire lebomolva létezhetett, azaz protonok, neutronok és elektronok keverékeként. Ahogy ez az elemi részecskékből álló sűrű leves hűlt, lehetővé váltak bizonyos atommagreakciók. A neutronok és a protonok különös előszeretettel tapadtak egymáshoz, hogy ezen párok egymáshoz kapcsolódása később létrehozza a hélium nevű elem atommagjait. A számítások szerint ezek az atommagreakciók mintegy három percen keresztül folyhattak – innen ered Steven Weinberg híres könyvének a címe is. Ez alatt a három perc alatt a jelen lévő anyag mintegy negyed része alakult át héliummá. A folyamat gyakorlatilag az összes rendelkezésre álló neutront elfogyasztotta, és beépítette a hélium magokba. A magányosan maradt protonok, amelyek nem találtak rá három perc alatt neutron-társukra, a hidrogén atommagokat alkották. Eszerint az elméletből levonható az a következtetés, hogy a Világegyetemnek mintegy 75 százalék hidrogént és 25 százalék héliumot kell tartalmaznia. Ezek a számok nagyon pontosan egyeznek a kozmikus elemgyakoriságra vonatkozó legkorszerűbb megfigyelések, mérések eredményeivel.^[16] Az ősi magreakciók valószínűleg nagyon kis mennyiségben bár, de deutériumot, hélium-3-at és lítiumot is előállítottak. A nehezebb elemek azonban, amelyek együttesen is csupán a Világegyetem anyagának kevesebb, mint egy százalékát teszik ki, nem jöhettek létre az ősrobbanás során. Ezek az

elemek sokkal később, a csillagok belsejében, a 4. fejezetben részletesen tárgyalandó módon keletkeztek. Mindent összevetve megállapítható, hogy a Világegyetem tágulása, a kozmikus háttérsugárzás és a kémiai elemek megfigyelt gyakorisága hathatós bizonyítékokat jelentenek az ősrobbanás-elmélet mellett. Mindamellett számos megválaszolatlan kérdés is maradt. Miért éppen a megfigyelt sebességgel tágul például a Világegyetem, azaz más szavakkal, miért olyan erejű volt az ősrobbanás, amekkora volt. Miért volt a korai Világegyetem hihetetlenül homogén és egyforma a tér minden irányába nézve? Honnan erednek a COBE műhold által felfedezett parányi sűrűség-ingadozások, amelyek oly nagy szerephez jutottak a galaxisok és a galaxishalmazok keletkezésének folyamatában?

Az elmúlt években a kutatók óriási erőfeszítéseket tettek, hogy az ősrobbanás-elméletet a nagy energiájú részecskefizika legújabb eredményeivel kombinálva megoldják ezeket az újabb rejtélyeket. Hangsúlyozni szeretném, hogy ez az „új kozmológia” sokkal kevésbé szilárd tudományos alapokon nyugszik, mint az eddig tárgyalt témák. Arról van ugyanis szó, hogy az itt szereplő részecskefizikai folyamatok energiája sokkal nagyobb annál, amit közvetlenül meg lehet figyelni, ráadásul mindezek a folyamatok a Világegyetem születését követő első másodperc parányi törtrésze alatt játszódtak le. Abban az időben a fizikai viszonyok minden bizonnyal olyan szélsőségesek voltak, hogy leírásukra az egyetlen jelenleg rendelkezésre álló segédeszközünk a tisztán elméleti

alapokon nyugvó matematikai modellezés.

Az új kozmológia főszereplője a felfúvódásnak nevezett folyamat.^[17] Az elmélet alapötlete értelmében valamikor az első másodperc parányi törtrészekor a korai Világegyetem mérete hirtelen, ugrásszerűen megnőtt, vagyis a Világegyetem korábbi méretének sokszorosára fúvódott fel. Ha meg akarjuk érteni, mit is jelent ez, vegyük szemügyre ismét a 3.2. ábrát. Az ábrán látható görbe emelkedik ugyan, de közben mindig lefelé hajlik, ami azt jelenti, hogy a tér adott tartományának mérete folyamatosan nő, azonban egyre csökkenő sebességgel. Ezzel szemben a felfúvódás időszakában a tágulás üteme ténylegesen felgyorsul. A helyzetet – nem méretarányosan – a 3.3. ábrán vázoltuk fel. Kezdetben a tágulás lassul, azonban a felfúvódás kezdetén hirtelen felgyorsul és a görbe rövid időre szinte az égbe tör. Ezt követően azonban hamarosan visszaáll a korábbi lassuló tendencia, közben azonban a kiszemelt térbeli tartomány mérete (a rajzon ábrázoltnál sokkal nagyobb mértékben) sok nagyságrenddel megnő a 3.2. ábra görbéjének azonos pontjához tartozó mérethez viszonyítva.



3.3. ábra

A felfúvódó modell. Ezen elképzelés szerint a Világegyetem méretében jelentős és hirtelen, ugrásszerű változás következik be, nagyon rövid idővel az ősrobbanással történő keletkezés után. A függőleges tengely beosztását rendkívül nagymértékben összezsugorítottuk. A felfúvódó szakaszt követően a tágulás a normális, csökkenő sebességű módon folytatódik, hasonlóan a 3.2. ábrán megfigyelhető képhez.

Miért viselkedik vajon ilyen furcsán a Világegyetem? Emlékezzünk vissza arra, hogy a görbe lefelé hajlását (azaz a tágulás lassulását) a tágulást fékező gravitációs vonzás okozza. A görbe felfelé ívelését ezért valamiféle antigravitáció vagy taszító hatás fellépésének eredményeként foghatjuk fel, ami a Világegyetem méretének egyre gyorsabb és gyorsabb ütemű növekedését eredményezi. Bár az antigravitáció meglehetősen szokatlan lehetőségnek tűnik, egyes újabb elméletek felvetik, hogy egy ilyen hatás felléphetett, amikor a nagyon korai Világegyetemben roppant szélsőséges hőmérsékleti és sűrűségviszonyok uralkodtak.

Mielőtt részletesen elmondanám, hogyan történt mindez, megmagyarázom, miért segít a felfúvódási szakasz az imént felsorolt kozmikus rejtélyek megoldásában. Mindenekelőtt, a rohamléptékű tágulás meggyőzően számot ad arról, hogy miért volt a Nagy Bumm olyan nagy. Az antigravitációs hatás instabil, azaz megszaladó folyamat, amelynek eredményeképpen a Világegyetem mérete exponenciális ütemben nő. Matematikailag ez azt

Jelenti, hogy adott idő alatt a tér meghatározott tartományának a mérete mindig kétszeresére nő. Nevezzük ezt az időtartamot egy szempillantásnak. Két szempillantás alatt a méret négyszeresére nő, három szempillantás alatt megnyolcszorozódik, tíz szempillantás elteltével pedig az eredeti méretéhez képest már több, mint ezerszeresére tágult. A számítások szerint a felfúvódási szakasz végén a tágulás sebessége összhangban van a ma megfigyelttel. (A 6. fejezetben sokkal részletesebben is meg fogom magyarázni, mit értek ezen.)

A méret ugrásszerű növekedése a felfúvódás következtében azonnal egyszerű magyarázatot kínál a nagyfokú kozmikus uniformításra. A tér megnyúlása kisimítja a kezdeti egyenetlenségeket, ugyanúgy, ahogy a léggömb ráncai is eltűnnek, mihelyt felfújjuk. Hasonlóképpen, előfordulhatott, hogy kezdetben a tágulás a különböző irányokban nem azonos sebességgel ment végbe, azonban a minden irányban egyenletes hevességgel végbemenő felfúvódás hamarosan kiegyenlíti ezeket a különbségeket. Végül, a COBE által felfedezett kicsiny irregularitások annak tudhatók be, hogy a felfúvódás nem fejeződhet be mindenütt pontosan ugyanabban a pillanatban (ennek okait rövidesen megismerjük), ezért egyes tartományok valamivel nagyobb mértékben fúvódnak fel, mint mások, ami enyhe sűrűségingadozásokat okoz.

Nézzünk meg néhány számértéket is! A felfúvódó elmélet legegyszerűbb változatában a felfúvó (antigravitációs) hatás elképesztően erősnek bizonyul, ugyanis nagyjából

száz billiomod-billiomod-billiomod (10^{-34} másodpercenként megkétszereződik a Világegyetem mérete. Ez a csaknem végtelenül kicsiny időtartam az, amelyet az imént szempillantásnyinak nevezünk. Nem kell hozzá több, mint csupán száz szempillantásnyi idő, és egy atommag nagyságú térfogat csaknem egy fényév átmérőjére fúvódik fel. Ez bőségesen elegendő ahhoz, hogy a felsorolt kozmológiai rejtélyeket meg tudjuk oldani.

A részecskefizikai elméletek segítségével igénybe véve számos olyan lehetséges mechanizmust sikerült felfedezni, amelyek a felfúvódó viselkedést eredményezhetik. Mindezek a mechanizmusok felhasználják a kvantumfizikai vákuum fogalmát. Ha részleteiben is meg akarjuk érteni, miről is van itt szó, előbb meg kell ismerkednünk a kvantummechanika néhány alapfogalmával. A kvantummechanika az elektromágneses sugárzások, például a hő és a fény tulajdonságainak felfedezésével vette kezdetét. Bár ezek a sugárzások hullámok formájában terjednek a térben, mindamellert néha úgy viselkednek, mintha részecskéből állnának. Nevezetesen, a fény kibocsátása és elnyelése kicsiny energiacsomagok (az úgynevezett kvantumok) formájában megy végbe. Az elektromágneses sugárzások esetében ezeket az energiacsomagokat fotonoknak nevezzük. A részecske- és hullámtulajdonságok eme különös ötvözetéről, amelyet részecske-hullám kettősségnek (dualizmusnak) is szoktak nevezni, kiderült, hogy az atomi és a szubatomi szinten minden fizikai létezőre érvényes. Így például a közönséges körülmények között részecskéknek tekintett dolgokról,

például az elektronokról, a protonokról és a neutronokról, sőt, magukról az atomokról is kiderült, hogy bizonyos fizikai körülmények közepette hullámokra jellemző tulajdonságaik vannak.

Az egész kvantumelmélet kulcsfontosságú tétele Werner Heisenberg határozatlansági relációja, amely szerint a kvantumfizika törvényszerűségeinek engedelmeskedő objektumok fizikai tulajdonságai nem rendelkezhetnek jól meghatározott értékekkel. Egy elektron esetében például nem határozhatjuk meg egyidejűleg tetszés szerinti pontossággal a helyét és az impulzusát. Ugyanígy nem határozható meg egy pontosan megadott időpontban az elemi részecskék energiája. Esetünkben minket mindenekelőtt az energia meghatározhatóságának a bizonytalansága érdekel. Míg a mérnökök makroszkopikus világában az energia mindig megmarad (vagyis nem keletkezhet és nem szűnhet meg), az elemi részecskék kvantumfizikai törvényeknek engedelmeskedő világában ez a tétel csak bizonyos feltételekkel érvényes. Az energia nagysága egyik pillanatról a másikra, spontán és előrejelezhetetlen módon megváltozhat. Minél rövidebb a vizsgált időtartam, annál nagyobbak lehetnek ezek a véletlenszerű, kvantumfizikai eredetű ingadozások (fluktuációk). A részecske tulajdonképpen energiát tud kölcsönkérni a semmiből, feltéve, hogy azonnal visszafizeti. Heisenberg határozatlansági relációjának pontos matematikai megfogalmazásából kiderül, hogy a nagy energiakölcsönöket nagyon gyorsan vissza kell adni, míg a kisebb adagok visszafizetése kevésbé sürgős.

Az energia kvantumfizikai bizonytalanságának számos szokatlan következménye van. Az egyik ezek közül az, hogy valamely részecske – mondjuk egy foton – hirtelen, egyik pillanatról a másikra a semmiből is létrejöhet. Ennek egyetlen feltétele, hogy a fotonnak, amilyen gyorsan keletkezett, ugyanolyan hirtelen semmivé kell válnia. Ezek a részecskék kölcsönvett energiából születnek, ezért létezésük időtartamát is csak kölcsönkapják. Nem látjuk őket, mert feltűnésük csak egy röpké pillanatig tart, azt azonban tudnunk kell, hogy abban a térben, amit közönségesen üresnek nevezünk, tömegével nyüzsögnek az ilyen átmenetileg létező részecskék, méghozzá nem csak fotonok, hanem elektronok, protonok és más egyebek is. Annak érdekében, hogy megkülönböztethessük ezeket az átmeneti részecskéket a közismert, tartósan létezőektől, az előbbieket virtuális részecskéknek, míg az utóbbiakat reálisaknak szoktuk nevezni.

Átmeneti természetüktől eltekintve a virtuális részecskék minden tulajdonsága megegyezik a megfelelő reális részecskékével. Valójában, ha egy rendszerbe valahonnan kívülről elegendő energiát viszünk be ahhoz, hogy az kiegyenlítse a Heisenberg-féle energiakölcsönt, akkor a virtuális részecske reálissá válhat. Ettől kezdve megkülönböztethetetlen lesz a vele azonos fajtájú, többi reális részecskétől. A virtuális elektron például átlagosan mindössze 10^{-21} másodpercig képes létezni. Rövid élete alatt azonban nem marad nyugalomban, hanem 10^{-11} centiméter utat tehet meg, mielőtt eltűnik.

(összehasonlításképp: egy atom átmérője körülbelül 10^{-8} centiméter^[18]). Ha ezen rövid idő alatt a virtuális elektron energiát vesz fel (mondjuk az elektromágneses térből), akkor nem kell eltűnnie, hanem közönséges elektronként folytathatja létezését.

Bár nem látjuk őket, mégis tudunk róluk, tudjuk, hogy valójában ott vannak az üres térben, mert ezek a részecskék otthagyják létezésük kimutatható nyomát. A virtuális fotonok egyik hatása például az, hogy kicsiny eltolódást okoznak az atomok energiaszintjeiben. Hasonlóan parányi változást okoznak az elektronok mágneses momentumában. Ezek a kicsiny, de figyelemreméltó változások a modern, laboratóriumi szinképelemzés eszközeivel és módszereivel nagyon pontosan kimérhetők.

A kvantumfizikai vákuum fentebb vázolt egyszerű képe némileg módosul, ha figyelembe vesszük azt a tényt, hogy az elemi részecskék általában nem képesek szabadon mozogni, hanem attól függően, hogy milyen részecskéről van szó, különböző erők hatásának kitéve végzik mozgásukat. Ezek az erők a megfelelő virtuális részecskék közt is hatnak. Ezért előfordulhat, hogy a vákuumnak egynél többféle állapota létezik. Számos különböző kvantumállapot létezésének lehetősége megszokott dolog a kvantumfizikában – a legismertebb példát erre az atomok különböző energiaszintjei szolgáltatják. Az atommag körül tartózkodó elektron bizonyos, jól meghatározott állapotok valamelyikében lehet, mely állapotok mindegyikéhez

meghatározott energia tartozik. A legalsó energiaszintet alapállapotnak nevezzük. Az alapállapot stabil, míg az összes ennél magasabb energiájú, úgynevezett gerjesztett állapot instabil. Ha egy elektront magasabb energiaállapotba lökünk, akkor az egy vagy több ugrással visszajut az alapállapotba. A gerjesztett állapot jól meghatározott felezési idővel „elbomlik”.

Hasonló alapelvek alkalmazhatók a vákuumra is, amelynek szintén lehet egy vagy több gerjesztett állapota. Ezeknek az állapotoknak nagyon különböző energiáik lehetnek, bár ennek ellenére ténylegesen azonosaknak, azaz üresnek látszanak. A legkisebb energiájú, azaz alapállapotot néha valódi vákuumnak nevezik, ez ugyanis a stabil állapot, és feltételezhetően az egyetlen olyan, amelyik megfelel a ma megfigyelhető Világegyetem üres tartományainak.^[19] A gerjesztett vákuumot hamis vákuumnak is szokás nevezni.

Hangsúlyoznunk kell, hogy a hamis vákuumok tisztán elméleti konstrukciók, melyek sajátosságai nagymértékben függenek attól, hogy milyen elméletet használunk. Ezek a hamis vákuumok azonban természetes módon bukkannak fel minden olyan modern elméletben, amelyek egyesíteni akarják a természet négy alapvető kölcsönhatását: a mindennapi életből is jól ismert gravitációt és elektromágnességet, valamint két rövid hatótávolságú magerőt, az úgynevezett erős és gyenge kölcsönhatást. Valaha ez a felsorolás még hosszabb is lehetett volna, hiszen egykor még az elektromosságot és a mágnességet is egymástól független jelenségekként kezelték.

Az egyesítés folyamata a XIX. század elején kezdődött, és

az utóbbi évtizedekben új lendületet vett. Ma már tudjuk, hogy az elektromágnesség és a gyenge magerők között nagyon szoros a kapcsolat, így ezek egyetlen, úgynevezett „elektrogyenge” kölcsönhatássá kapcsolhatók össze. Sok fizikus véleménye szerint az erős kölcsönhatásról is előbb-utóbb ki fog derülni, hogy szerves kapcsolatban áll az elektrogyenge kölcsönhatással, így a nagy egyesítést célul kitűző elméletek ilyen vagy olyan formában ezeket is egyesíteni lesznek majd képesek. Az sincs kizárva, hogy az elméleti fizika fejlődésének egy későbbi szintjén majd mind a négy természeti kölcsönhatást egyetlen, egységes képbe foglalva sikerül majd leírni.

A felfúvódás mechanizmusának magyarázatára a legígéretesebb előrejelzést a különböző nagy egyesítési elméletek adják. Ezen elméletek kulcsfontosságú tétele értelmében a hamis vákuumállapotok energiája elképesztően nagy: egy köbcentiméternyi tér átlagosan 10^{87} joule energiát tartalmaz. Egy ilyen állapot még egy csupán atomnyi térfogatban is 10^{62} joule energiát tartalmazna. Hasonlítsuk össze ezt azzal a soványka 10^{-18} joulel, amellyel egy gerjesztett atom rendelkezik. A valódi vákuum gerjesztéséhez tehát roppant mennyiségű energiára lenne szükség, ezért jelenleg sehol a Világegyetemben nem számíthatunk arra, hogy hamis vákuummal találkozunk. Ugyanakkor viszont az ősrobbanás környékén uralkodó szélsőséges fizikai viszonyok közepette ezek a számok nem is tűnnek olyan ijesztőnek.

A hamis vákuumállapotokhoz tartozó óriási mennyiségű energia rendkívül erős gravitációs hatást fejt ki. Ennek az az oka, hogy Einstein általános relativitáselmélete értelmében az energia egyenértékű a tömeggel, ezért az energia éppúgy gravitációs hatást fejt ki, mint a közönséges tömeg. A kvantumfizikai vákuum roppant energiája – szó szerint! – felettébb vonzó lehet a számunkra, egyetlen köbcentiméternyi hamis vákuum energiája ugyanis 10^{64} tonna tömeggel egyenértékű, amely sokkal több, mint a ma megfigyelhető egész Világegyetem 10^{50} tonnányi tömege. Ez az irdatlan gravitáció nem segíti elő a felfúvódást, hiszen ahhoz éppenséggel valamiféle *antigravitációra* van szükség. A hamis vákuum energiája azonban együtt jár a hamis vákuum hasonlóan óriási nyomásával, márpedig pontosan ez a nyomás jelenti a megoldás kulcsát. Közönséges körülmények közt eszünkbe sem jut, hogy a nyomás is gravitációs hatást fejt ki, azonban ez így van.^[20] Bár a nyomás kifelé ható mechanikai erőt jelent, ugyanakkor együtt jár egy befelé irányuló gravitációs vonzással. A jól ismert testek esetében nyomásuk gravitációs hatása elhanyagolhatóan csekély a testek tömege által kifejtett tömegvonzáshoz képest. Testünknek a Föld felszínén mért súlyának például csupán egy milliárdod része az, ami a Föld belső nyomásából származik. Mindamellett, a nyomás gravitációs hatása valós, létező jelenség. Olyan rendszerekben, ahol a nyomás értéke szélsőségesen nagy lehet, a nyomás gravitációs hatása megközelítheti vagy felül is múlhatja a

tömeg hatásából származó gravitációt.

A hamis vákuum esetében az óriási mennyiségű energia és a hatalmas nyomás egyaránt jelen van, így ezek a fizikai mennyiségek versengnek azért, hogy melyikük gravitációs hatása lesz döntő. A kritikus tulajdonság azonban az, hogy a nyomás értéke *negatív*. A hamis vákuum nyomása nem kifelé tolja a dolgokat, hanem befelé szippantja. A negatív nyomás természetesen negatív gravitációs hatást hoz létre, amit *antigravitációnak* nevezhetünk. A hamis vákuum gravitációs hatása tehát két részből tevődik össze, az energiájából eredő óriási vonzó hatásból és a negatív nyomásából származó, ugyancsak hihetetlenül nagy taszításból. A számításokból kiderül, hogy a nyomás hatása felülmúlja az energiáét, így eredőként olyan nagy taszító hatás lép fel, amely a másodperc törtrésze alatt szerterepíti a Világegyetem egész anyagát. Ez az iszonyatosan nagy felfúvó lökés a felelős azért, hogy a Világegyetem mérete 10^{-34} másodpercenként a kétszeresére nő.

A hamis vákuum eredendően instabil képződmény. Minden más gerjesztett kvantumállapothoz hasonlóan ez is el akar bomlani, hogy visszatérhessen alapállapotába, azaz a valódi vákuum állapotba. Ezt valószínűleg néhány tucat szempillantásnyi időn belül meg is tudja tenni. Tekintettel arra, hogy ez a visszatérés is egy kvantummechanikai folyamat, ez is elkerülhetetlenül meghatározatlan és véletlenszerű ingadozásokkal terhelt, amint azt korábban a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggéssel kapcsolatban már tárgyaltuk. Ez azt jelenti, hogy az

elbomlás, azaz az alapállapotba való visszatérés nem fog szerte a Világegyetemben mindenütt ugyanúgy végbemenni: fluktuációk lépnek fel. Egyes elméleti fizikusok véleménye szerint ezek a fluktuációk lehetnek a forrásai a COBE által a kozmikus háttérsugárzásban talált fodrozódásoknak.

Mihelyt a hamis vákuum elbomlott, a Világegyetem visszatér a tágulás megszokott, lassuló módjához. A hamis vákuumba bezárt energia felszabadul, és hő formájában jelenik meg. A felfúvódás által keltett óriási mértékű kitágulás lehűtötte a Világegyetemet, melynek hőmérséklete ennek következtében megközelítette az abszolút nulla fokot. A felfúvódás leállásakor felszabaduló óriási hőmennyiség viszont pillanatok alatt ismét 10^{28} fokra növeli a hőmérsékletet. Ez az a hőmennyiség, amelynek a maradványát az azóta természetesen már jócskán lehűlt kozmikus háttérsugárzás formájában felfedezhetjük. A hamis vákuum energiája felszabadulásának melléktermékeként – ezen óriási energiamennyiség egy részén megosztozva – számtalan virtuális részecske képes megszerezni azt az energiamennyiséget, amely a valós részecskévé válásához szükséges. Ezeknek az ősi részecskéknek mintegy 10^{50} tonnányi maradéka az, amely – további változások és átalakulások után – napjainkban az Ön testét és az én testemet, a Tejútrendszert és a látható Világegyetem többi részét alkotja.^[21]

Ha a felfúvódó modell helyesen írja le a Világegyetem történetét – amint azt a legtöbb vezető kozmológus

feltételezi –, akkor ebből az következik, hogy a Világegyetem alapvető szerkezetét és fizikai tartalmát olyan folyamatok határozzák meg, amelyek mindössze 10^{-32} másodperc elteltével már be is fejeződtek. A felfúvódás utáni Világegyetemben az elemi részecskék szintjén számos további változás következett még be, melynek során az ősi anyag a napjaink Világegyetemének anyagát alkotó elemi részecskékké és atomokká fejlődött. Az anyagot alapvetően átalakító folyamatok legtöbbször azonban a Világegyetem története harmadik percének végére befejeződött.

Mi köze van vajon az első három percnek az utolsó háromhoz? Ahogy a célpont felé kilőtt lövedék mozgását is alapvetően meghatározza az ágyúcső helyzete, éppúgy a Világegyetem sorsa is rendkívül érzékenyen függ a kezdeti fizikai állapottól. A továbbiakban látni fogjuk, hogyan határozza meg a Világegyetem végső sorsát ősi eredetének tágulási módja és az ősrobbanásból származó anyag. A Világegyetem kezdete és végső sorsa mélyen gyökerezően szoros kapcsolatban áll egymással.

4. FEJEZET

A csillagok végzete

Az 1987. február 23-áról 24-ére virradó éjszakán egy kanadai csillagász, Ian Shelton a chilei Andokban lévő Las Campanas Obszervatóriumban dolgozott. Chilei asszisztense kilépett a szabadba, és felpillantott a sötét,

ragyogóan csillagos égboltra. Jól ismerte az eget, így azonnal észrevette, hogy valami szokatlant lát. A Nagy Magellán-felhő néven ismert, nagy, ködös folt peremén egy csillagot vett észre. A csillag nem volt különösebben fényes, olyasféle lehetett, mint az Orion övének csillagai. Csupán az volt a különleges, hogy három nappal azelőtt még nem volt ott.

Az asszisztens felhívta Shelton figyelmét a csillagra. A hír néhány órán belül a világ valamennyi jelentős csillagvizsgálójába eljutott. Shelton és chilei asszisztense egy szupernóvát fedeztek fel. Ez volt az első szabad szemmel látható ilyen égitest azóta, hogy 1604-ben Johannes Kepler észrevett egyet. A déli félgömb különböző országainak csillagászai távcsöveiket azonnal a Nagy Magellán-felhő felé fordították. Az elkövetkező hónapokban az 1987A szupernóva viselkedését a lehető legalaposabban vizsgálták.

Néhány órával azelőtt, hogy Shelton a szenzációs felfedezést tette, a világ egy nagyon távoli pontján, Japánban, mélyen a Föld felszíne alatt, a kamiokai cinkbányában ugyancsak szokatlan eseményt jegyeztek fel. Itt ugyanis a fizikusok egy hosszútávú kísérletet folytattak, nagyratörő célokkal. A kísérlet célja az anyag egyik legalapvetőbb alkotórésze, a proton stabilitásának vizsgálata volt. Az 1970-es években kidolgozott nagy egyesített elméletek előrejelzései szerint a proton nagyon csekély mértékben bár, de instabil, ami azt jelenti, hogy nagyritkán a radioaktivitás egy különleges útján elbomlik. Amennyiben ez tényleg így van, akkor ennek alapvető

következményei vannak a Világegyetem sorsára nézve, amint azt könyvünk egy későbbi fejezetében látni fogjuk.

A protonbomlás ellenőrzésére a japán tudósok 2000 tonna rendkívüli tisztaságú vizet töltöttek egy tartályba, a tartály köré pedig fotondetektorokat helyeztek el. A detektorok feladata azoknak az állítólagos felvillanásoknak az észlelése volt, amelyeket az egyes bomlási események nagy energiájú termékrészecskéi váltanak ki. A kísérletet azért helyezték el a föld alatt, hogy a kozmikus sugárzás hatását a lehető legcsekélyebbre csökkentsék, máskülönben ugyanis ez hamis eseményekkel terhelte volna a detektorokat.

Február 22-én a Kamioka detektorok váratlanul, gyors egymásutánban tizenegyszer jeleztek felvillanást. Ekközben a Föld túlsó oldalán egy hasonló detektor az Egyesült Államok Ohio államának egyik sóbányájában nyolc felvillanást észlelt. Mivel elképzelhetetlen az, hogy tizenkilenc proton csaknem egyszerre gondolja meg magát és kövessen el öngyilkosságot, valamilyen más magyarázatra volt szükség, melyet a fizikusok hamarosan meg is találtak. Rájöttek, hogy műszereik azt észlelték, amikor a protonok egy sokkal hétköznapibb hatásra szakadtak darabjaikra: egyszerűen azért, mert összeütköztek egy neutrínóval.

A neutrínónak nevezett elemi részecskék kulcsfontosságú szerepet játszanak történetünkben, ezért érdemes egy kis kitérőt tenni és alaposabban megismernedni velük. A neutrínók létezését először Wolfgang Pauli, osztrák származású elméleti fizikus tette fel, amikor meg

akarta magyarázni a béta-bomlásnak nevezett radioaktív folyamat egy zavarbaejtő tulajdonságát. A normális béta-bomlás során a neutron egy protonra és egy elektronra bomlik. A viszonylag kis tömegű elektron jelentős sebességgel repül el a tett színhelyéről. A problémát az okozta, hogy minden egyes bomlási eseményben más és más volt a távozó elektron energiája, még hozzá valamivel kisebb, mint a neutron bomlásából rendelkezésre álló teljes energiamennyiség. Minthogy az összes energia minden esetben ugyanakkora, úgy tűnik, mintha a folyamat végén kapott energia nem egyezne a folyamat kezdetén jelen lévővel. Ez azonban nagy baj lenne, mert így a jelenség ellentmondásban állna a fizika egyik legalapvetőbb törvényével, az energia-megmaradással. A helyzet megoldása érdekében Pauli feltételezte, hogy a hiányzó energiát egy láthatatlan elemi részecske vitte magával. A részecske elcsípésére tett első próbálkozások sikertelenek voltak, ezért nyilvánvalóvá vált, hogy ha egyáltalán létezik ez a részecske, akkor hihetetlenül nagy az áthatolóképessége. Mivel bármely elektromos töltésű részecskét az anyag könnyűszerrel csapdába ejtett volna, ezért Pauli részecskéjének elektromosan semlegesnek kellett lennie: ezért kapta a „neutrínó” elnevezést.^[22]

Bár akkoriban még senki sem látott egyetlen neutrínót sem, az elméleti fizikusok ki tudták számítani a részecske jónéhány tulajdonságát. Ezek egyike a neutrínó tömege.

Nagyon nagy sebességgel mozgó részecskék esetében a tömeg fogalma felettébb bonyolult. Ennek az az oka, hogy a testek tömege nem állandó, hanem függ az illető test

sebességétől. Egy 1 kilogramm tömegű ólomgolyó tömege például 3 kilogramm lesz, ha a golyó 260 000 kilométeres másodpercenkénti sebességgel száguld. A legfontosabb szereplő ebben az esetben a fény sebessége. Minél jobban megközelíti valamely test sebessége a fényét, annál nagyobb lesz a test tömege. A tömeg növekedésének nincs felső határa. Minthogy a tömeg ily módon változik, amikor a fizikusok egy test tömegéről beszélnek, akkor a félreértések elkerülése érdekében általában a nyugalmi tömegére gondolnak. Ha a részecske a fényét megközelítő sebességgel mozog, akkor tényleges tömege sokszorosa lehet a nyugalmi tömegének. A nagy részecskegyorsítóknál körpályán keringő elektronok és protonok tömege például sok ezerszerese a nyugalmi tömegüknek.

A neutrínó nyugalmi tömegének kinyomozásához némi támpontot adhat az a megfigyelés, mely szerint a béta bomlás során néha előfordul, hogy a kidobott elektron csaknem az egész rendelkezésre álló energiát magával viszi, szinte semmit sem hagyva a neutrínóra. Ez azt jelenti, hogy lényegében nulla energiájú neutrínók is létezhetnek. Einstein nevezetes $E = mc^2$ összefüggése értelmében az E energia egyenértékű az m tömeggel, vagyis a nulla energiából az következik, hogy a tömeg is nulla. Ez azt jelenti, hogy a neutrínó nyugalmi tömege nagyon kicsi, sőt, valószínűleg nulla. Ebből az is következik, hogy a neutrínók fénysebességgel száguldanak. Bármekkora is a neutrínó tömege, annyira bizonyos, hogy sebességük nagyon közel

van a fényéhez.

A neutrínó másik érdekes tulajdonsága az elemi részecskék forgásával, illetve az azt jellemző fizikai mennyiséggel, az úgynevezett spinnel kapcsolatos. A neutronok, a protonok és az elektronok mindig „forognak”, azaz spinjük soha nem nulla. A spin nagysága mindig egy bizonyos állandó érték, méghozzá az említett három elemi részecske mindegyikére ugyanakkora. A spin az impulzusmomentum egyik formája, márpedig az impulzusmomentum megmaradását egy éppoly alapvető fizikai törvény írja elő, mint az energia megmaradását. Amikor a neutron elbomlik, spinjének meg kell maradnia a bomlástermékeiben. Ha az elektron és a proton ugyanabban az irányban pörög, akkor spinjeik összeadódnak, így az eredő spin a neutronénak kétszerese lesz. Másrészt viszont, ha a két részecske spinje ellentétes irányú, akkor a spinek kiejtik egymást, az eredő spin nulla lesz. Bármelyik eset is következzen be, az elektron és a proton spinjének összege egymagában nem lehet egyenlő a neutron spinjével. Ha viszont feltételezzük a neutrínó létezését, akkor a könyvelésünk egyensúlyba kerülhet, feltételezve természetesen, hogy a neutrínó spinje ugyanakkora, mint a többi elemi részecskéé. Ebben az esetben a három bomlástermék közül kettőnek azonos, míg a harmadiknak velük ellentétes irányban kell forognia. A fizikusok tehát anélkül, hogy valaha is egyetlen neutrínót megfigyeltek volna, meg tudták határozni, hogy a titokzatos részecske elektromos töltése nulla, spinje azonos az elektronéval, nyugalmi tömege nagyon kicsi vagy nulla, a

közönséges anyaggal mutatott kölcsönhatása pedig oly gyenge, hogy csaknem nyom nélkül halad át bármin. Röviden sebesen pörgő kísértetnek nevezhetnénk. Ezek után nem meglepő, hogy körülbelül húsz évnek kellett eltelnie attól, hogy Pauli feltételezte a neutrínó létezését, addig, amíg sikerült laboratóriumi kísérlettel egyértelműen igazolni a létezését. Az atomreaktorokban olyan irdatlan mennyiségben keletkeznek ezek a részecskék, hogy roppant tűnékenységük ellenére is detektálni lehet egyes képviselőiket.

Kétségtelenül nem lehetett egyszerűen a véletlen műve, hogy ugyanakkor érkezett egy neutrínózápor a Kamioka detektorba, amikor az 1987A szupernóva felvillanását megfigyelték. A két esemény egybeesését a tudósok fontos bizonyítékként értékelték a szupernóvák elméletének igazolása mellett, a csillagászok ugyanis már régóta feltételezték, hogy éppen a neutrínók rohama az, aminek a szupernóvák felvillanását kísérnie kell.

Bár a latin eredetű „nóva” szó újat jelent, az 1987A felvillanásakor nem új csillag születésének lehettünk szemtanúi. Éppen ellenkezőleg, a látványos robbanás egy öreg csillag halálát jelezte. A robbanás színhelye a Nagy Magellán-felhő volt, egy tőlünk százhetvenezer fényév távolságban elhelyezkedő törpegalaxis. Elég közel van tehát ahhoz, hogy a Tejútrendszer kísérőgalaxisának tekinthessük. A galaxis a déli félgömről szabad szemmel is látható, igaz, hogy csak elmosódott, ködös fényfoltként. Ha egyes csillagait is látni akarjuk, nagy távcsőre van szükségünk. Mindössze néhány órával Shelton felfedezését

követően ausztrál csillagászok azonosítani tudták a Nagy Magellán-felhő néhány milliárd csillaga közül azt az egyet, amelyik felrobbant. A feladat végrehajtásához gondosan átvizsgálták az égboltnak arról a részéről korábban készített fényképfelvételeket. A pusztulásra ítélt csillag egy B3 színeképtípusú szuperóriás volt, melynek átmérője mintegy negyvenszerese a Napénak. A csillagnak még neve is volt: Sanduleak – 69 202.

A csillagok felrobbanásának elméleti lehetőségét elsőként az 1950-es években vizsgálta meg négy asztrofizikus: Fred Hoyle, William Fowler, valamint Geoffrey és Margaret Burbidge. Ha meg akarjuk érteni, hogyan jut el egy csillag a katasztrofális pusztulás állapotába, akkor előbb meg kell ismernünk a csillagok belső működését. A legismertebb csillag a Nap. Az éjszakai égbolton pislákoló többi csillaghoz hasonlóan a Nap is változatlanul tűnik, látszólag ellentmondásban azzal a ténnyel, hogy a csillag szakadatlan harcban áll az elpusztítására törekvő erőkkel. Minden csillag egy a tömegvonzás által egybetartott gázgömb. Ha a gravitáción kívül semmilyen más erő nem hatna, akkor a csillagok saját súlyuk hatására rövid idő alatt összeomlanának és néhány órán belül megszűnnének létezni. Az, hogy mégis fennmaradnak, annak köszönhető, hogy a befelé ható gravitációs erővel egyensúlyt tart a csillag belsejét alkotó, összepréselt gáz nyomásából származó, kifelé irányuló erő.

A gáz nyomása és hőmérséklete között egyszerű összefüggés áll fenn. Amikor egy állandó térfogatú gázt melegítünk, közönséges körülmények közt nyomása a

hőmérséklet emelkedésével arányosan nő. Ezzel szemben, amikor a hőmérséklet csökken, ugyanakkor csökken a nyomás is. A csillag belseje rendkívül forró, sok millió fokos, ezért ott a nyomás is óriási. Az ehhez szükséges hő atommagreakciók termelik. A csillagot életének legnagyobb részében a hidrogén atommagok hélium magokká történő egyesülése látja el energiával. Ehhez a reakcióhoz nagyon magas hőmérsékletre van szükség, valahogyan le kell ugyanis győzni az atommagok között ható elektrosztatikus taszítást. A fúziós energia évmilliárdokon keresztül fenn tudja tartani a csillag működését, előbb vagy utóbb azonban az üzemanyag kifogy és a nukleáris reaktor energiatermelése akadozni kezd. Ilyenkor veszélybe kerül a nyomás fenntartása és a csillag kezd vesztésre állni a gravitáció ellenében folytatott hosszú küzdelmében. A csillag ideje ezzel lejárt, a gravitációs összeomlást már csak úgy tudja elkerülni, hogy összekaparja végső üzemanyagtartalékait. A csillag felszínéről a világűr mélységeibe kisugárzott minden kilowattal rohamosan közeledik a fenyegető végzet.

Kiszámították, hogy a Nap kezdő hidrogénkészlete mintegy tízmilliárd évre elegendő. Mostanra, ötmilliárd éves korára csillagunk nukleáris üzemanyagkészletének csaknem a felét használta fel. Aggodalomra tehát egyelőre még semmi okunk. Az a sebesség, amellyel a csillag feléli hidrogénkészletét, mindenekelőtt a csillag tömegétől függ. A nagyobb tömegű csillagok sokkal gyorsabban égetik az üzemanyagot. Így kell tenniük, mert nagyobbak és fényesebbek, ezért több energiát sugároznak ki. A

nagyobb súly jobban összepréseli a csillag magjának anyagát, ezért a csillag belsejében nagyobb a sűrűség és a hőmérséklet, ezért gyorsabbak a magreakciók is. Egy tíz naptömegű csillag például hidrogénkészletének legnagyobb részét nem több, mint tíz millió év alatt elfogyasztja. Kövessük végig egy ilyen nagy tömegű csillag sorsát. Kezdetben a legtöbb csillag legnagyobb részét hidrogénből áll.^[23] A hidrogén „égése” során az egyetlen protonból álló hidrogén atommagok egyesülnek és létrehozzák a hélium atommagokat, amelyeket két proton és két neutron alkot. A részletek bonyolultak és mondanivalónk lényege szempontjából nem is túlságosan fontosak. A hidrogén „égése” az atomenergia termelésének leghatékonyabb, de korántsem egyetlen formája. Ha a csillag magjában elegendően magas a hőmérséklet, akkor a hélium atommagok szénné egyesülnek, majd a további fúziós reakciók során létrejön az oxigén, a neon és az egyéb elemek. A nagy tömegű csillag belsejében előállhat az a roppant magas – akár az egymilliárd fokot is meghaladó – hőmérséklet, amely ezeknek az egymásra épülő reakcióknak a végbemenéséhez szükséges. A reakciók előrehaladtával azonban, a felszabaduló energia mennyisége minden újabb elem előállítására után egyre csökken. A csillag egyre rohamosabban használja fel a tüzelőanyagot, mígcsak a csillag kémiai összetétele már hónapról hónapra, később napról napra, majd végül óráról órára változik. Belső szerkezete leginkább a hagymáéra emlékeztet, ahol az egymásra rakódó rétegekben egyre rohamosabban újabb

elemek felépülése folyik. A csillag külseje óriási méretűre fúvódik fel, nagyobb lesz, mint az egész Naprendszer. Az így kialakuló égitestet a csillagászok vörös szuperóriásnak nevezik.

A nukleáris égés láncolatának a végállomását a vas jelzi, ennek az elemnek ugyanis viszonylag stabil a magszerkezete. A vasnál nehezebb elemek magfúzió útján való felépítéséhez már energiát kellene befektetnünk, ahelyett, hogy energia szabadulna fel, ezért amikor a csillag belsejében a magreakciók eredményeképpen már kialakult a vasmag, akkor a csillag sorsa megpecsételődő, a csillag számára elérkezett a vég. Ha a csillag középponti régiói már nem képesek tovább energiát termelni, az esélyek végérvényesen és katasztrofális mértékben a gravitáció javára dőlnek el. A csillag meginog a katasztrofális gravitációs instabilitás peremén, majd saját gravitációs csapdájába zuhan.

Ezt követően az események felgyorsulnak. A csillag vasmagja már nem képes a magfúzió révén hőt termelni, ezért nem tudja megtartani saját külsőbb rétegeinek súlyát. Saját tömegvonzása hatására olyan pusztító erejű összeroppanás indul meg, amely még magukat az atomokat is szétroncsolja. Végül a csillag magjának sűrűsége eléri az atommag sűrűségét, ami azt jelenti hogy anyaga egy gyűszűnyi mennyiségének a tömege megközelíti az egybillió tonnát. Ebben az állapotban az összeomlott csillag magjának átmérője jellemzően mintegy kétszáz kilométer. A maganyag merevsége következtében a befelé hulló anyag többi része a gyémánt keménységű

magról visszapattan. A tömegvonzás oly iszonyúan erős, hogy a leírt események alig néhány ezredmásodperc alatt végbemennek. Amint a drámai események a csillag magjában beteljesednek, a csillag anyagának kijebb fekvő rétegei hirtelen, végzetes megrázkódtatással ráhullanak a magra. A sok billió és billió tonnányi, másodpercenként több tízezer kilométeres sebességgel befelé száguldó anyag beleütközik a gyémánt keménységűre összetömörült magba. Elképesztő hevességű ütközés következik be, ami óriási erejű lökéshullámokat küld a csillag külsőbb rétegein keresztül kifelé.

A lökéshullámot neutrínók heves zápora kíséri. A részecskék a csillag legbelső rétegeiben szabadulnak fel, a legvégső nukleáris átalakulások során, amikor a csillagot alkotó protonok és elektronok egymásba préselődve neutronokká alakulnak. A csillag magja tulajdonképpen egy hatalmas, teljes egészében neutronokból álló gömbbé válik. Ezzel egyidőben a lökéshullám és a neutrínók hatalmas mennyiségű energiát szállítanak kifelé a csillag külső rétegein keresztül. Ezek a rétegek az energia jelentős részét elnyelik, aminek következtében a csillag egy elképzelhetetlen hevességű nukleáris robbanás áldozatává válik. Néhány napon keresztül a csillag tízmilliárd Nap együttes fényével ragyog. Fényessége csak hetek múltán kezd fokozatosan csökkenni.

Egy, a Tejútrendszerhez hasonló átlagos galaxisban évszázadonként két-három szupernóvarobbanás történik. Ezeket a nevezetes eseményeket a csillagászok gondosan feljegyzik. Az egyik leghíresebb szupernóvarobbanást kínai

és arab csillagászok 1054-ben jegyezték fel a Bika csillagképben. Ma a csillag maradványait a Rák-ködként^[24] ismert, rongyos, táguló, csillagközi gázfelhő formájában láthatjuk viszont az égbolton.

Az 1987A szupernóva felvillanása is láthatatlan, megrázó erejű neutrínóvillanással sugározta be a Világegyetemet. A Föld nem kevesebb, mint százhetvenezer fényév távolságban van a robbanás helyszínétől, ennek ellenére keresztmetszete minden egyes négyzetcentiméterén száz milliárd neutrínó száguldott keresztül, miközben lakói észre sem vették, hogy testükön egy másik galaxisból származó elemi részecskék billiói hatolnak át. Kamiokában és Ohióban azonban a protonbomlást kutató detektorok a neutrínók billióinak záporából tizenkilenc darabot feltartóztattak. E berendezések nélkül a neutrínók éppoly észrevétlenül suhantak volna keresztül rajtunk, amint azt 1054- ben tették.

Kétségtelen, hogy a szupernóvarobbanás az illető csillag pusztulását jelenti, ugyanakkor azonban a robbanásnak van bizonyos teremtő jellege is. A felszabaduló óriási mennyiségű energia olyan hatékonyan forrósítja fel a csillag külső rétegeit, hogy egy rövid időre azok az atommagreakciók is lehetővé válnak, amelyek nem termelik, hanem fogyasztják az energiát. Ebben az utolsó és minden korábbinál forróbb tűző csillagkohóban megszületnek a vasnál nehezebb elemek, mint például az arany, az ólom vagy az urán. Ezek az elemek az atommagok felépülésének korábbi szakaszában létrejött

könnyebb magokkal például a szénnel és az oxigénnel – együtt kidobódnak a világűrbe, ahol azután összekeverednek számtalan más szupernóva hamvával. Évmilliárdok során azután ezek a nehezebb elemek csillagok és bolygók újabb generációjává gyűlnek össze. Ha ezek az elemek nem épülnének föl és nem szóródnának szét a térben, akkor nem jöhetnének létre a Földhöz hasonló bolygók. Az életet adó szén és oxigén, a bankok aranytartálékai, atomreaktoraink urán fűtőanyagrudjai, a háztetőket borító rézlemezek földi jelenlétüket mind-mind annak köszönhetik, hogy még jóval a Nap keletkezése előtt csillagok garmada pusztult el. Beleborzongunk a gondolatba, hogy testünk anyagának jelentős része réges rég elpusztult csillagok nukleáris hamvából áll.

A szupernóvarobbanás nem pusztítja el teljes egészében a csillagot. Bár a kataklizmikus események az anyag legnagyobb részét szerteszét szórják, az eseményeket kiváltó, összepréselt mag a helyén marad. Sorsának alakulása azonban bizonytalan. Ha a mag tömege meglehetősen csekély – mondjuk úgy egy naptömeg körüli –, akkor egy kisebb városnyi méretű, neutronokból álló gömbbé válik. Ez az úgynevezett „neutroncsillag” minden valószínűség szerint szédítő sebességgel fog pörögni a tengelye körül. Másodpercenként akár ezerszer is körbefordulhat, ami azt jelenti, hogy felszínén a kerületi sebesség eléri a fény sebességének tíz százalékát. Erre az örült tempóra azért gyorsul fel a forgása, mert az összeomlás hihetetlen mértékben felerősíti az eredeti

csillag viszonylag lassú forgását, fizikailag ugyanazon ok miatt, amiért a pirouettező műkorcsolyázó forgása is felgyorsul, amikor kinyújtott karjait maga felé húzza. A csillagászok sok ilyen gyorsan forgó neutroncsillagot fedeztek már fel.^[25] Forgási sebességük azonban fokozatosan lassul, ahogy energiát veszítenek. A Rák-köd mélyén rejtőző neutroncsillag például már annyira lelassult, hogy másodpercenként „csupán” 33-szor fordul meg a tengelye körül.

Ha a mag tömege valamivel nagyobb, mondjuk néhány naptömeggel egyenlő, akkor a maradvány nem tud neutroncsillagként megállapodni. A gravitáció ebben az esetben olyan erős, hogy még az eddig ismert legkeményebb anyag, a neutroncsillagot alkotó tiszta neutronanyag sem képes ellenállni a további összeomlásnak. Ilyenkor lép színre egy még a szupernóva-robbanásnál is félelmetesebb és katasztrofálisabb esemény. A csillag magja folytatja az összeomlást, egészen addig, amíg egy ezredmásodpercnél rövidebb idő alatt létrehoz egy fekete lyukat,^[26] amelyben azután mindenestül eltűnik.

A nagy tömegű csillagok sorsa tehát az, hogy egy rövid ideig tartó felfújódás után összeomlanak és csak egy a kidobott gázokból álló, összevissza kavargó felhővel körülvett neutroncsillag vagy fekete lyuk marad belőlük. Senki nem tudja pontosan, hány csillag járta már meg a szupernóvarobbanás poklát, az azonban bizonyos, hogy egyedül a Tejútrendszerben az ilyen csillagok

milliárdjait találjuk.

Gyerekkoromban betegesen félttem attól, hogy a Nap felrobbanhat. Ma már tudom, nem fenyeget az a veszély, hogy csillagunk szupernóvává válik. Ehhez ugyanis túlságosan kicsi a tömege. A kis csillagok sorsa sokkal kevésbé heves, mint nagyobb tömegű testvéreiké. Mindenekelőtt azért, mert a nukleáris tüzelőanyagot feléző folyamatok nyugodtabb tempóban mennek végbe; egy, a csillaglét alsó határára eső tömegű csillag akár egybillió évig is tengetheti életét. Másrészt, a kis tömegű csillagok belső hőmérséklete nem lehet elég magas ahhoz hogy a vasig felépüljenek az elemek, így ezek elkerülik a katasztrofális összeomlást.

A Nap átlagos, meglehetősen alacsony tömegű csillag, amely folyamatosan égeti belső hidrogénkészletét, átalakítva ezzel héliummá a belsejét alkotó anyagot. A hélium legnagyobbrészt a csillag középponti magjában helyezkedik el, amely a magreakciók szempontjából semleges hely: a magreakciók ugyanis a mag felszínén folynak. Ennélfogva maga a mag képtelen hozzájárulni a hőtermeléshez, ami ahhoz szükséges, hogy a Nap ellenszegülhessen a mindent megsemmisítő gravitációnak. Az összeomlás megelőzése érdekében a Napnak az új hidrogénkészletek irányába, fokozatosan kifelé kell terjesztenie nukleáris aktivitását. Időközben a héliumból álló mag fokozatosan összezsugorodik. Ahogy múlnak az évmilliárdok, a Nap külső képe a belsejében végbemenő változások hatására érzékelhetően megváltozik. Teste felpuffad, felszíne azonban valamivel hidegebb lesz, ezért

színe vöröses árnyalatúvá válik. Ez a tendencia egészen addig tart, amíg a Nap vörös óriássá nem válik. Ekkor átmérője a mainak mintegy ötszázszorosa lesz. A csillagászok jól ismerik a vörös óriásokat, az éjszakai égbolt jónéhány csillaga is ebbe a csoportba tartozik, például az Aldebaran, a Betelgeuse és az Arcturus. A vörös óriás állapot a kis tömegű csillagok végének kezdetét jelzi.

Bár a vörös óriás csillagok viszonylag hidegek, nagy átmérőjüknek köszönhetően nagy a sugárzó felületük, ezért roppant fényesek. A Nap bolygói nehéz idők elé fognak nézni mintegy négymilliárd év múlva, amikor a megnövekedett hősugárzás eléri őket. A Föld már jóval korábban lakhatatlanná válik, az óceánok vize felforr, a légkör pedig megszökik. Ahogy a Nap egyre nagyobbra dagad, tüzes burka elnyeli előbb a Merkúrt, majd a Vénuszt, végül a Földet is. Bolygónk salaktömeggé válik, amely elhamvadása után is makacsul ragaszkodik Nap körüli pályájához. A Nap külső légkörét alkotó, vörösén izzó gázok sűrűsége oly csekély, hogy a Föld környezete gyakorlatilag vákuumnak tekinthető, ezért alig gyakorol fékező közegellenállást bolygónk mozgására.

Létezésünk a Világegyetemben a Naphoz hasonló csillagok rendkívüli stabilitásának köszönhető. Ezek a csillagok évmilliárdokon keresztül alig változó tempóban szolgáltatják a hőt és a fényt. Ez az időtartam már elegendően hosszú ahhoz, hogy kifejlődjék és virágozzék az élet. A vörös óriás állapotban azonban véget ér ez a stabilitás. A Naphoz hasonló csillagok pályafutásának ezt

követő szakaszai bonyolultak, akadozóak és hevesek, a csillag viselkedése és külső képe viszonylag gyors változásokat mutat. Az öregedő csillagok életük több millió éves szakaszát pulzációval tölthetik vagy ledobhatják külső gázhéjukat.^[27] A csillag magjában lévő hélium begyulladhat és széné, nitrogénné és oxigénné épülhet fel. Ezek a folyamatok megtermelik azt a létfontosságú energiamennyiséget, amely némileg képes meghosszabbítani a csillag életét. Ha a csillag külső burkát ledobja a világűrbe, akkor élete végére csak a lecsupaszított, szénből és oxigénből álló magja marad.

Az összetett aktivitás ezen szakaszát követően a kis és a közepes tömegű csillagok elkerülhetetlenül áldozatul esnek a gravitációnak és összehúzódnak. Az összehúzódás könnyörtelen és egészen addig tart, amíg a csillag egy kisebb bolygó méretére húzódik össze – a csillagászok által fehér törpének nevezett objektum lesz belőle. Minthogy a fehér törpék roppant kicsik,^[28] rendkívül csekély mennyiségű sugárzást bocsátanak, ki, annak ellenére, hogy felszíni hőmérsékletük sokkal nagyobb lehet, mint a Napé. Távcső segítségével nélkül egyetlen fehér törpét sem láthatunk a Földről.

Napunk elkerülhetetlen sorsa, hogy valamikor a távoli jövőben fehér törpévé váljék. Amikor a Nap ebbe az állapotba jut, még sok milliárd éven keresztül forró marad, hiszen óriási tömege olymértékben összepréselődik, hogy a kompakt égitest az ismert legjobb szigetelőanyagoknál is hatékonyabban őrzi meg a csillagmaradvány belső hőjét.

Minthogy azonban a belsejében lévő atomerőmű működése addigra már jó ideje leállt, nem lesz olyan üzemanyag-tartalék, amely biztosítani tudná a világűr távoli mélységeibe elszivárgó hő utánpótlását. A csillagmaradvány, amely valaha a mi Napunk volt, nagyon-nagyon lassan kihűl és elhalványodik. Majd bekövetkezik utolsó átalakulása, amikor anyaga fokozatosan megszilárdul, és rendkívüli szilárdságú kristállyá válik.^[29] Végül – teljesen kihunyva – beleolvad a világűr végtelen sötétségébe.

5. FEJEZET

Leszáll az éj

A Tejút százmilliárd csillag fényével ragyog, azonban ezek mindegyike pusztulásra ítéltetett. Tízmilliárd éven belül a legtöbb égitest, amelyet most látunk, már láthatatlanná halványodik, üzemanyag hiányában kimúlik, a termodinamika második főtételének áldozatává válik. A Tejútrendszer azonban továbbra is csillagok fényében ragyog, mert miközben a ma létező csillagok elpusztulnak, újabbak születnek és lépnek a helyükbe. A Tejútrendszer spirálkarjaiban, például abban, ahol a Nap is található, a gázfelhők összenyomódnak, a tömegvonzás hatására összeomlanak, darabokra szakadnak és belsejükben megindul a csillagok keletkezésének hulláma. Az Orion csillagképre pillantva szemünk elé tárul az ilyen csillagbölcsők működése. Az Orion kardja közepetáján

látható, elmosódott fényfolt nem csillag, hanem gázköd, hatalmas csillagközi gázfelhő, amelybe fiatal csillagok ágyazódnak. A közelmúltban a csillagászok a látható fény helyett az Orion irányából érkező infravörös sugárzást figyelték meg. Így sikerült néhány, fejlődésük nagyon korai állapotában lévő, szinte újszülött csillagot találniuk, amelyeket még körül fog a csillagokat eltakaró gáz és por.

A csillagok keletkezése a Tejútrendszer spirálkarjaiban egészen addig folytatódik, ameddig elegendő gáz áll rendelkezésre. A galaxisok gáztartalma részben ősi eredetű, vagyis abból az anyagból áll, amely még soha nem tömörült össze csillagokká, másrészt a csillagok által szupernóvarobbanás során, csillagszél formájában, kisebb, robbanásszerű jelenségekben vagy más folyamatok során kidobott gázból áll. Nyilvánvaló, hogy a csillagok által kidobott anyag újrahasznosítása nem mehet végtelenségig. Amikor az elpusztuló csillag fehér törpévé, neutroncsillaggá vagy fekete lyukká válik, akkor anyaguknak ez a része már nem tudja ismét a csillagközi gázanyagot gyarapítani. Lassanként az ősi anyag mind nagyobb része esik csillagok gravitációjának rabságába, míg végül teljesen elfogy. Amikor a csillagok utolsó generációi is leélik életüket, a Tejútrendszer feltartóztathatatlanul elhalványodik.^[30] A folyamat némileg késleltethető. Sok milliárd évnek kell eltelnie addig, mire a legkisebb és legfiatalabb csillagok is elfogyasztják nukleáris üzemanyagukat és fehér törpévé zsugorodnak. Az utolsó felvonás lassú haláltusáját követően azonban menthetetlenül leszáll az örök éjszaka.

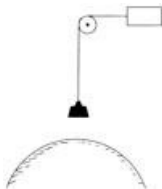
Hasonló sors vár a tér egyre táguló mélységében szétszórta összes többi galaxisra is. A Világegyetem, amely jelenleg az atommagok átalakításából származó energiának köszönhetően világít, végső soron kimeríti ezt az értékes energiaforrást. A fény korszaka örökre véget ér.

A kozmosz fényei kialszanak ugyan, ezzel azonban még nem fejeződik be a Világegyetem története, mert létezik egy másik, még az atommag-reakciónál is nagyobb teljesítményű energiaforrás. A gravitáció, a természet atomi szinten leggyengébb kölcsönhatása, csillagászati méreteken uralkodóvá válik. Hatása viszonylag szelíd, de rendkívül tartós. A csillagok évmilliárdokon keresztül azért termelik az energiát, hogy ellenálljanak a gravitáció mindent összeroppantó hatásának. A gravitáció azonban türelmes és kivárja, amíg eljön az ő ideje.

Az atommag két protonja között ható gravitációs vonzás csupán tízbilliomod-billiomod-billiomod (10^{-37}) része a köztük fellépő erős nukleáris kölcsönhatásnak. A gravitációs hatás azonban összegeződik. A csillagot alkotó minden további proton csekély járulékot ad a csillag össztömegéhez. Végül a tömeg akkora lesz, hogy a gravitáció diadalmaskodik. Ez a mindent legyőző erő a kulcs a természet további, óriási energiatartalékainak felszabadításához.

Nincs még egy objektum, amelyik oly szemléletesen igazolná a gravitáció erejét, mint a fekete lyuk. Itt a gravitáció kiütéses győzelmet arat, az elpusztuló csillagnak írmagja sem marad, csak a környező téridőben marad meg

az idő végtelen torzulás formájában az események lenyomata. A fekete lyukakkal kapcsolatban érdemes elvégeznünk egy izgalmas gondolkísérletet. Képzeljük el, hogy egy kicsiny testet, mondjuk egy biliárdgolyót végtelen távról beleejtünk egy fekete lyukba. A lyukban a szemünk előtt eltűnő golyó visszahozhatatlanul elvész a számunkra. Egykori létezésének nyomát azonban otthagyja a lyukon, amely egy hajszálnyival nagyobb lesz azáltal, hogy elnyelte a golyót. A számítások szerint, ha a golyót nagyon nagy távolságból ejtettük a fekete lyukba, akkor a lyuk tömege pontosan annyival nő meg, mint amekkora a golyó tömege volt. Sem energia, sem tömeg nem szabadul ki a rendszerből.



5.1. ábra

Ebben az idealizált gondolkísérletben a egy kötél végére erősített testet egy rögzített csigán átvett kötél (a rögzítés itt nem látható) lassan eresztünk egy fekete lyuk felszíne felé. Ennek eredményeképpen a leereszkedő súly munkát végez és energiát ad át a doboznak. Ha a test megközelíti a fekete lyuk felszínét, akkor az átadott energia teljes mennyisége megközelíti a leereszkedő test nyugalmi tömegével egyenértékű

energiát.

Végezzünk most el egy másik kísérletet is, amelyben a golyót csak lassan engedjük a fekete lyuk felé közeledni. Ezt úgy valósíthatjuk meg, hogy a golyóra egy kötelet kötünk, amelynek másik végét egy csigán keresztülvetve egy dobra tekerjük, amely lassan engedi a kötelet letekeredni (lásd az 5.1. ábrát. Feltételezem, hogy a kötél súlytalan és egyáltalán nem nyúli meg, ami ugyan csupán a fantáziám szülte ideális helyzet, de legalább a gondolatmenetet nem bonyolítja el fölöslegesen.) Miközben a golyót a fekete lyuk felé engedjük, az energiát termelhet, például oly módon, hogy a dobhoz egy elektromos generátort kapcsolunk. Minél közelebb kerül a biliárdgolyó a fekete lyukhoz, annál erősebb gravitációs erőt fejt ki rá a lyuk. Ennek megfelelően súlya egyre nagyobb lesz, így egyre több munkát képes végezni a generátoron. Egyszerűen kiszámítható, hogy mennyi energiát termel összesen a biliárdgolyó, mire eléri a fekete lyuk felszínét. Kiderül, hogy ideális esetben pontosan annyit, mint amennyi a golyó teljes nyugalmi tömegével egyenértékű energia. (A nyugalmi tömeg fogalmát a 47. oldalon magyaráztuk meg.)

Emlékezzünk vissza Einstein nevezetes $E = mc^2$ összefüggésére, amely azt állítja, hogy bármely m tömeg egyenértékű mc^2 energiával. Egy fekete lyuk segítségével igénybe véve tehát elvben tekintélyes mennyiségű energiához juthatunk. A 100 gramm tömegű biliárdgolyó esetében ez az energiamennyiség körülbelül egymilliárd

kilowattórát jelent. Összehasonlításképpen érdemes megjegyezni, hogy amikor a Nap 100 gramm hidrogént héliummá alakít, akkor ennek az energiamentiségnek nem egészen egy százalékát állítja elő. Ez tehát azt jelenti, hogy – elvben legalábbis – a gravitációs energia-felszabadítás több, mint százszor olyan hatékony lehet, mint a csillagok energiatermelését biztosító termonukleáris reakciók.

Természetesen a fentebb leírt két kitalált helyzet a valóságtól teljesen elrugaskodottnak tekinthető. A különféle testek kétségtelenül folyamatosan esnek a fekete lyukakba, de az is egészen bizonyos, hogy soha nincsenek a maximális energiahasznosítás érdekében csigákra függesztve. A gyakorlatban a felszabadítható energia valamilyen nulla és száz százalék közötti része az, ami felszabadul. A tényleges részarány a konkrét fizikai körülményektől függ. Az elmúlt néhány évtizedben az asztrofizikusok a legkülönbözőbb számítógépes szimulációkat és matematikai modelleket vizsgálták meg annak érdekében, hogy megpróbálják megérteni a fekete lyuk felé örvénylő gáz viselkedését és megbecsülik az eközben felszabaduló energia mennyiségét és formáját. A szóban forgó fizikai folyamatok rendkívül összetettek, mindamellett az legalább nyilvánvaló, hogy az efféle rendszerekből óriási mennyiségű gravitációs energia szabadul ki.

Egyetlen megfigyelés többet ér, mint számítások ezrei, ezért a csillagászok lázasan kerestek olyan objektumokat, amelyek az „anyaggyűjtés” szakaszában lévő fekete lyukak

lehetnek. Bár tökéletesen meggyőző feketelyuk-jelöltet eddig még nem sikerült felfedezni, egy nagyon sokat ígérő rendszert már találtak a Hattyú csillagképben, amely a Cygnus X-1 nevet viseli. Optikai távcsővel a színe alapján a kék óriások közé sorolt nagy és forró csillagot látunk. A csillag színeképének tüzetes vizsgálata elárulja, hogy a kék óriás nem magányos égitest, periodikusan ide-oda táncoló mozgása ugyanis azt jelzi, hogy egy közeli égitest erős gravitációs vonzása rángatja. Nyilvánvalóan a csillag és az ismeretlen égitest egymáshoz közel, egymás körül keringenek. Optikai távcsövekkel vizsgálva a rendszert azonban nyomát sem találjuk a kísérőcsillagnak, az tehát vagy fekete lyuk, vagy pedig nagyon halvány és kompakt csillag. A megfigyelések tehát arra utalnak, hogy feltételezhetően fekete lyukkal van dolgunk, azonban a bizonyítékok még nem sziklaszilárdak.

További támpontot adhat a sötét test tömegének megbecslése. A tömeget Newton törvényeiből lehet levezetni, feltéve, hogy ismerjük a kék csillag tömegét. Arra viszont a csillagok tömege és színe között fennálló összefüggés alapján tudunk következtetni: a kék csillagok forróak, ezért nagy a tömegük. A számítások eredménye szerint a kísérő csillag tömege jónéhány naptömeg. Nyilvánvaló, hogy ebben az esetben nem lehet szó egy közönséges, de kicsi és halvány csillagról, hanem csakis egy nagy tömegű, összeomlott csillagról, azaz fehér törpéről, neutroncsillagról vagy fekete lyukról. Alapvető fizikai okok miatt azonban az ilyen nagy tömegű kompakt égitest nem lehet sem fehér törpe, sem pedig

neutroncsillag. A problémát az a roppant erős gravitációs tér okozza, amely megpróbálja összeroppantani az égitestet. A fekete lyukká való teljes mértékű összeomlás csak abban az esetben kerülhető el, ha létezik valamiféle belső nyomás, amely képes ellenállni a mindent összeroppantani akaró gravitációnak. Ha azonban az összeomlott égitest tömege a Nap tömegének sokszorososa, akkor nem létezik olyan erő, amely az anyag mindenre ránehezedő súlyának ellent tudna állni. Ha az égitest magja elég merev lenne ahhoz, hogy ne roppanjon össze, akkor anyagában a hang sebességének meg kellene haladni a fénysebességet. Minthogy azonban ez ellentmondana az általános relativitáselméletnek, ezért a legtöbb fizikus úgy véli, hogy ilyen körülmények közt elkerülhetetlen a fekete lyuk kialakulása.

A perdöntő bizonyíték arra nézve, hogy a Cygnus X-1 minden bizonnyal fekete lyukat tartalmaz, egy egészen más megfigyelésből származik. A rendszer azért kapta az X-1 jelölést, mert erős röntgenforrás,^[31] amint azt a műholdak fedélzetéről végzett röntgencsillagászati megfigyelések kimutatták. Az elméleti modellek meggyőző magyarázatot szolgáltatnak a röntgensugárzás eredetére nézve, azon feltételezés alapján, hogy a Cygnus X-1 sötét kísérője fekete lyuk. A számítások szerint a fekete lyuk gravitációs tere elegendően erős ahhoz, hogy anyagot szívjon el a kék óriáscsillagból. A fekete lyuk irányába utolsó útjukra induló elrabort gáztömegek a rendszer keringése következtében örvényleni kezdenek, és gázkorongot alkotnak a fekete lyuk körül. Egy ilyen gázkorong nem lehet teljesen stabil

képződmény, mert a belső pereménél, a fekete lyukhoz közelebb lévő gáz gyorsabban mozog, mint a korong szélén lévő anyag. Eközben viszont a gáz belső sűrűsége igyekszik kiegyenlíteni a differenciális rotációból (azaz az eltérő szögsebességű keringésből) adódó sebességkülönbségeket. Ennek eredményeképpen a gáz eléggé felforrósodik ahhoz, hogy ne fényt, hanem röntgensugárzást bocsásson ki. Az energia kisugárzása következtében csökken a rendszer pályamenti mozgásának energiája, ezért a gáz spirális pályán haladva fokozatosan a fekete lyukba hull.

A Cygnus X-1-ben a fekete lyuk létezése mellett szóló bizonyíték tehát az érvek hosszú láncolatán alapul, mely érvek közt megfigyelési eredmények éppúgy találhatók, mint elméleti modellek. Mindez általában is jellemzőnek mondható napjaink csillagászati kutatására. Nem lehet egyetlen ténnyel bizonyítani feltevésünket, hanem csak a Cygnus X-1 és a más, hasonló rendszerek vizsgálata alapján felsorakoztatott tények összessége sugallja azt, hogy a rendszerben minden bizonnyal jelen van egy fekete lyuk. Természetesen a megfigyelési eredményeket fekete lyuk jelenlétének feltételezésével lehet a legegyszerűbben és a legellentmondásmentesebben megmagyarázni.

A nagyobb fekete lyukak esetében még látványosabb jelenségekre is számíthatunk. Valószínűnek látszik, hogy számos galaxis magjában szupernagy tömegű fekete lyuk rejtőzik. Erre az illető galaxisok magja közelében elhelyezkedő csillagok vártnál gyorsabb mozgása utal. A csillagok szokatlanul gyors mozgásából arra lehet

következtetni, hogy valamilyen nagyon kompakt objektum roppant erejű gravitációs tere készíti őket erre a mozgásra. A becslések szerint az ilyen objektumok tömege a Napénak tízmilliószorosa és egymillárdszorosa közé eshet, így nem csoda, hogy kielégíthetetlen étvággal pusztítják a környezetükben található anyagot. Csillagok, bolygók, gáz és por egyaránt áldozatául esik ezeknek a szörnyeknek. Egyes esetekben az anyag oly hevesen hull a fekete lyukba, hogy ez a folyamat az egész galaxis szerkezetét megbolygatja. A csillagászok jól ismerik az aktív galaxismagok számos típusát. Egyes galaxisok szó szerint úgy néznek ki, mintha felrobbannának, sok közülük erős rádió- vagy röntgensugárzást bocsát ki. Legjellegzetesebbek azok a galaxisok, amelyek óriási gáznyúlványokat lövellnek ki magukból, melyek hossza akár a sok ezer vagy néhány millió fényévet is elérheti. Egyes ilyen objektumok energiasugárzása elképesztő mértékű. Ilyenek például a nagyon távoli kvazárok, melyek neve a csillagszerű rádióforrás angol elnevezésének – quasisstellar radio source – rövidítéséből ered. A kvazárok annyi energiát sugároznak ki, mint a közönséges galaxisok ezrei, ráadásul mindezt egy legfeljebb egy fényév átmérőjű térfogatból, aminek köszönhetően messziről valóban csillagszerű látványt nyújtanak.

Sok csillagász úgy véli, hogy ezeknek az alaposan szétzilált objektumoknak a központi energiaforrása egy-egy óriási, forgó fekete lyuk, amely folyamatosan elnyeli a környezetében található anyagot. A fekete lyukat megközelítő csillagokat az iszonyú erejű gravitációs tér

minden bizonnyal egyszerűen szétépi, de az sincs kizárva, hogy a csillag sorsát a közelébe sodródó más csillagokkal való összeütközés pecsételi meg. Akárcsak a Cygnus X-1 esetében, csak sokkal nagyobb léptékben, a szétoszlott anyagtörmelék forró korongot alkotva kering a feket lyuk körül, miközben folyamatosan elmerül annak mélyén. Az ezzel egyidőben felszabaduló irdatlan mennyiségű gravitációs energia a lyuk forgástengelye mentén összpontosul, aminek eredményeképpen két, ellentétes irányú gázkilövellés jön létre. Az energia-felszabadulás mechanizmusa és a gáznúlványok kialakulása valószínűleg rendkívül összetett folyamat eredménye, amelyben a gravitáción kívül az elektromágneses erők és a belső sűrűdés is szerephez jut. A folyamatok pontos tisztázása a jövőben is sok munkát fog adni az elméleti asztrofizikusoknak és a megfigyelő csillagászoknak egyaránt.

Mi a helyzet a Tejútrendszer esetében? Elképzelhető, hogy egyszer majd a mi galaxisunk is ugyanilyen sorsra jut? A Tejútrendszer középpontja tőlünk harmincezer fényév távolságban, a Nyilas csillagkép irányában látható. Legbelső vidékeit hatalmas gáz- és porfelhők takarják el a szemünk előtt, rádiótávcsövekkel, valamint röntgen-, gamma- és infravörös detektorokkal azonban a csillagászok kimutatták a Sagittarius A^{*}-nak nevezett, nagyon kompakt, nagy energiájú objektum létezését. A Sagittarius A^{*} átmérője legfeljebb néhány milliárd kilométer, azaz csillagászati értelemben meglehetősen kis

objektumról van szó, mégis ez a Tejútrendszer legerősebb rádióforrása. Helye pontosan egybeesik egy nagyon fényes infravörös forrással, ezen kívül a közelében egy szokatlan röntgensugárzó objektum is található. Bár a helyzet elég bonyolult, egyre valószínűbbnek tűnik, hogy a Tejútrendszer közepén legalább egy fekete lyuk található, és ez felelős a megfigyelt jelenségekért. A lyuk tömege azonban legfeljebb tíz millió naptömeg lehet, ami azt jelenti, hogy a szupernagy tömegű fekete lyukak mezőnyében meglehetősen hátul kullog. Nincs bizonyítékunk arra, hogy itt is végbemenne az a heves anyagkidobás és energia-kisugárzás, amely néhány más galaxis magja környékén megfigyelhető. Ennek azonban esetleg az lehet az oka, hogy a Tejútrendszer fekete lyuka most éppen nyugalmi állapotában pihen.^[32] Ez esetben nincs kizárva, hogy majd valamikor a jövőben fellángol, talán akkor, amikor nagyobb mennyiségű gázutánpótláshoz jut, bár működése valószínűleg akkor sem lesz olyan pusztító hatású, mint ahogy az jónéhány más galaxisban megfigyelhető. Ma még tisztázatlan, hogy milyen hatást gyakorolna a fekete lyuk működésének ilyesfajta felelevenedése a Tejútrendszer spirálkarjaiban lévő csillagokra és bolygókra.

A fekete lyuk mindaddig folytatja az áldozatául eső anyag nyugalmi tömegének energiává történő alakítását, amíg a táplálásához elegendő anyag található a környezetében. Az idő múlásával a fekete lyuk egyre több anyagot nyel el, aminek következtében egyre nagyobbra hízik, de ugyanakkor egyre éhesebb is lesz. Lassanként már a fekete lyuktól távol keringő csillagok életét is veszélyezteti

iszonyú ereje. Ennek egy rendkívül gyenge, de végső soron mégis döntő jelentőségűvé váló jelenség az oka, az úgynevezett gravitációs sugárzás.

Nem sokkal azután, hogy 1916-ban megfogalmazta az általános relativitáselméletet, Einstein felfedezte a gravitációs tér egy figyelemreméltó tulajdonságát. Az elmélet téregyenleteinek tanulmányozása alapján Einstein megállapította, hogy azok megjósolják valamiféle, hullámszerűen terjedő, gravitációs oszcillációk létezését, melyek a világűrben a fény sebességével terjednek. Ez a gravitációs sugárzás bizonyos tulajdonságait tekintve az elektromágneses sugárzásra, például a fényre vagy a rádióhullámokra emlékeztet. A gravitációs hullámok azonban leginkább abban különböznek az elektromágneses sugárzástól, hogy bár sok energiát szállítanak, az anyaggal való kölcsönhatásuk nagyon gyenge. Míg a rádióhullámokat viszonylag egyszerű szerkezetekkel, például egy dróthálóval felfoghatjuk, addig a gravitációs hullámok kölcsönhatása oly gyenge, hogy gyakorlatilag gyengülés nélkül képesek keresztülhaladni az egész földgolyón. Ha építenénk egy gravitációs lézert, akkor egybillió kilowattos nyalábra lenne szükségünk ahhoz, hogy ugyanolyan eredményesen forraljunk fel egy kanna vizet, mint egy egy kilowattos elektromos fűtőszállal. A gravitációs hullámok viszonylagos gyengesége azzal áll kapcsolatban, hogy a gravitáció messze a leggyengébb természeti kölcsönhatás. Az atomok belsejében például a gravitációs és az elektromos erők aránya 10^{-40} . Az

egyetlen ok, aminek köszönhetően a gravitációt mégis érzékelni tudjuk, az, hogy hatása összegeződik, így a nagy égitestek, mondjuk a bolygók, esetében jelentős lehet.

A gravitációs hullámoknak nem csak a hatása roppant gyenge, de keletkezésük is meglehetősen bágyadt folyamat. Elméletileg gravitációs sugárzás keletkezik minden olyan esetben, amikor valami megzavarja a tömegeket. A Föld Nap körüli keringése például folyamatosan gravitációs hullámok kisugárzásával jár, a teljes energia-kibocsátás azonban csupán milliwattnyi. Az energia ilyen formában történő elszivárgása következtében a Föld pályája zsugorodik, azonban nevetségesen csekély mértékben: évtizedenként egy trilliomod centiméterrel.

Merőben más azonban a helyzet, amikor nagyméretű égitestek a fényét megközelítő sebességgel mozognak. Két olyan jelenséget ismerünk, amelyek minden bizonnyal számottevő energiájú gravitációs hullámok kibocsátásával járnak. Az egyik egy hirtelen bekövetkező, heves esemény, a szupernóvarobbanás, vagyis az a folyamat, amikor egy csillag fekete lyukká omlik össze. A szupernóvarobbanást a gravitációs hullámok rövid ideig tartó, lökésszerű kibocsátása kíséri. A kisugárzás néhány milliomed másodperce alatt a gravitációs hullámok 10^{44} joule energiát szállítanak el a rendszerből. (Hasonlítsuk össze ezt a számot a Nap sugárzó teljesítményével, ami körülbelül 3×10^{26} joule másodpercenként.) A másik folyamat a nagy tömegű égitestek egymás körüli nagy sebességű keringése. Egy szoros kettőscsillag rendszer például

állandóan erős gravitációs hullámokat bocsát ki. Ez a folyamat különösen abban az esetben hatékony, ha az egymás körül keringő égitestek egyike valamilyen kompakt objektum, például neutroncsillag vagy fekete lyuk. A Sas csillagképben például két neutroncsillag kering egymás körül, mindössze néhány millió kilométerre egymástól. Gravitációs terük olyan erős, hogy nyolc óránként körberohanják egymást, ami azt jelenti, hogy pályamenti sebességük a fénysebesség számottevő hányada. Ez a szokatlanul gyors mozgás gravitációs hullámok erős kibocsátásával jár, aminek következtében a pálya zsugorodása is jelentékenyebb (a keringési idő évente ^[33] mintegy 75 milliomod másodperccel változik). A gravitációs hullámok formájában történő energiavesztés következtében a két égitest spirális pályán mozogva egyre közelebb kerül egymáshoz. Háromszáz millió év múlva elkerülhetetlenül összeütköznek.

A csillagászok becslése szerint az ehhez hasonló rendszerek tagjainak összeolvadása százezer évenként és galaxisonként egyszer fordul csak elő. Az égitestek oly parányira összezsugorodtak és gravitációs terük oly erős, hogy az összeütközésük előtti utolsó pillanatokban másodpercenként néhány ezerszer körbeszágulják egymást, aminek következtében a kibocsátott gravitációs hullámok frekvenciája jellegzetes ciripelés formájában hirtelen megnő. Einstein képletei alapján megállapítható, hogy ebben az utolsó szakaszban a gravitációs hullámok teljesítménye elképesztően nagy lesz, a pálya pedig hirtelen összeomlik. A kölcsönös gravitációs vonzás a

felismerhetetlenségig torzítja a csillagok alakját, ezért az összeütközés pillanatában inkább hatalmas, egymás körül örvénylő szivarokra hasonlítanak, mintsem a megszokott értelemben vett csillagokra. Végso egybeolvadásuk elég zürös ügy, a két csillag bonyolult, örülten háborgó tömeggé egyesül, amely bőségesen bocsát ki gravitációs hullámokat, egészen addig, amíg nagyjából gömbszimmetrikus alakot vesz fel, miközben gigantikus harangként különböző rezgési képek szerint rezeg és imbolyog. Ezek az oszcillációk ugyancsak bizonyos mértékű gravitációs sugárázással járnak, ami további energiát von el az égitesttől, mindaddig, amíg az lecsillapodik és végül teljesen megnyugszik.

Bár az energiavesztés sebessége viszonylag alacsony, a gravitációs hullámok kibocsátása mélyreható, hosszútávú hatással van az egész Világegyetem szerkezetére. Ezért fontos az, hogy a tudósok megpróbálják megfigyelésekkel ellenőrizni a gravitációs hullámokat leíró elméleteik helyességét. A Sas csillagképben található kettős neutroncsillag rendszer tanulmányozásából arra következtethetünk, hogy a pálya zsugorodása pontosan Einstein elmélete által megjósolt ütemben megy végbe.^[34] Így tehát ez a rendszer közvetlen bizonyítékot szolgáltat a gravitációs sugárázás kibocsátása mellett. Még ennél is döntőbb megfigyelés lenne, ha sikerülne földi laboratóriumban gravitációs hullámokat észlelni. Sok kutatócsoport tagjai építettek már az áthaladó gravitációs hullámok kimutatására különféle berendezéseket, azonban

mindezidáig egyik kísérleti eszköz érzékenysége sem volt elég a hullámok felfogásához. Valószínű, hogy csak a detektorok új nemzedékének kifejlesztése után lehet reményünk a gravitációs hullámok létezésének közvetlen kísérleti igazolására.^[35]

Két neutroncsillag egybeolvadásának eredményeképpen vagy egy nagyobb neutroncsillag, vagy egy fekete lyuk keletkezhet. Egy neutroncsillag és egy fekete lyuk, illetve két fekete lyuk összeolvadásából szükségszerűen egyetlen fekete lyuk lesz. Ezt a folyamatot a kettős neutroncsillag eseténél bemutatotthoz hasonlóan gravitációs hullámok formájában történő energiavesztés kíséri, majd bonyolult rezgések és imbolgó mozgások kísérik, amelyeket a gravitációs energiavesztés lassacskán lecsillapít.

Érdekes megvizsgálni, hogy elméletileg mi lehet a felső határa annak az energiamennyiségnek, amely két fekete lyuk egybeolvadásának folyamatából kinyerhető. E folyamatok elméletét Roger Penrose, Stephen Hawking, Brandon Carter, Remo Ruffini, Larry Smarr és mások az 1970-es évek elején dolgozták ki. Ha a fekete lyukak egyike sem forog és tömegük ugyanakkora, akkor a teljes nyugalmi tömegüknek megfelelő energia 29 százaléka felszabadítható. Ez az energiamennyiség nem feltétlenül gravitációs hullámok energiájává alakul, ha ugyanis a fekete lyukakat valamilyen ma még nem létező, fejlett műszaki eljárással befolyásoljuk, más energiafajtát is kaphatunk. A természetben azonban az egyesüléskor felszabaduló energia legnagyobb része a gyakorlatilag hasznavehetetlen gravitációs hullámok formájában hagyja

el a rendszert. Ha a fekete lyukak a fizika törvényei által megengedett legnagyobb sebességgel forognak (vagyis kerületi sebességük nagyjából a fénysebesség) és forgási tengelyeik mentén, ellentétes forgásiránnyal egyesülnek, akkor a tömeg energia-egyenértékének 50 százaléka sugárzódhat ki.

Ez a tekintélyes hányad sem jelenti azonban még az elméleti maximumot. Elképzelhető ugyanis, hogy valamely fekete lyuk elektromos töltést hordoz. Az elektromos töltésű fekete lyuknak gravitációs terén kívül elektromos tere is van, melyek mindegyike tárolhat energiát. Ha egy pozitív töltésű fekete lyuk negatív töltésű társával olvad össze, akkor a folyamat során hatalmas elektromos kisülés is bekövetkezik, így nem csak gravitációs, hanem elektromágneses energia is felszabadul.

Az ilyenkor bekövetkező elektromos kisülés nagyságának az szab határt, hogy adott tömegű fekete lyuk nem képes korlátlan nagyságú elektromos töltést hordozni. Nem forgó fekete lyuk esetében a töltés nagyságának felső határát a következő megfontolással állapíthatjuk meg. Képzeljük el, hogy két azonos fekete lyuknak ugyanakkora (nagyságú és előjelű) az elektromos töltése. Gravitációs tereik vonzóerőt keltenek közöttük, az elektromos terek viszont taszítóerőt ébresztenek (mert az azonos töltések taszítják egymást). Amikor a töltés/tömeg arány eléri egy kritikus értéket, akkor ez a két ellentétes irányú erő pontosan egyensúlyt tart egymással, ezért a két fekete lyuk között egyáltalán nem hat erő. Ez a feltétel jelenti a fekete lyuk által hordozott elektromos töltés felső határát. Kíváncsiak lehetünk arra, mi

történhet, ha megpróbáljuk a fekete lyuk töltését ezen maximális érték fölé növelni. Erre az egyik lehetőség az, hogy további töltéseket kényszerítünk a fekete lyukba. Ez a folyamat valóban megnöveli ugyan a lyuk elektromos töltését, azonban a lyuk által a töltésre kifejtett taszítóerő ellenében munkát kell végeznünk, amely energia átadódik a fekete lyuknak. Minthogy az energia egyenértékű a tömeggel (emlékezzünk csak az $E = mc^2$ összefüggésre), a fekete lyuk tömege nagyobb lesz, ezért mérete is nő. Egyszerű számítással meggyőződhetünk róla, hogy a folyamat során a tömeg nagyobb mértékben nőtt, mint a töltés, ezért a töltés/tömeg arány (amelyet eredetileg növelni szerettünk volna) ténylegesen csökkenni fog. Nem sikerült tehát átlépnünk a bűvös korlátot.

A töltött fekete lyuk elektromos tere hozzájárul a lyuk össztömegéhez. Abban az esetben, ha valamely fekete lyuk a megengedett maximális elektromos töltést hordozza, akkor az elektromos tér a tömeg felét teszi ki. Ha két nem forgó fekete lyuk mindegyike a lehetséges maximális elektromos töltést hordozza, de a töltések ellentétes előjelűek, akkor a lyukak közt a gravitációs erőn kívül az elektromágneses kölcsönhatás is vonzó jellegű. Ha ez a két fekete lyuk eggyé válik, akkor töltéseik semlegesítik egymást, az elektromos energia pedig kivonható a rendszerből. Elméletileg a rendszerből kivonható energia mennyisége elérheti a rendszer teljes tömegével egyenértékű energia 50 százalékát.

Az energiakinyerés abszolút felső határát abban az

esetben kapjuk, ha mindkét fekete lyuk forog és mindkettő a lehetséges maximális nagyságú, de ellentétes előjelű töltést hordozza. Ebben az esetben a teljes nyugalmi tömeggel egyenértékű energia kétharmada felszabadítható. Természetesen ezek a számok inkább csak elméleti szempontból érdekesek, mivel gyakorlatilag valószínűtlen, hogy a fekete lyukak nagy elektromos töltést hordozzanak. Ugyancsak valószínűtlen, hogy két fekete lyuk éppen az optimális módon találkozzék egymással, kivéve azt az esetet, ha valamilyen igen fejlett műszaki kultúrájú társadalom kifejezetten nem kényszeríti őket erre. Két fekete lyuk találkozásakor azonban még a kevésbé hatékony egyesülés is a találkozásban részt vevő objektumok nyugalmi tömegével egyenértékű energia számottevő részének majdnem pillanatszerű felszabadulását eredményezi. Ezt az energiamennyiséget összehasonlíthatjuk a nyugalmi tömeg energia-egyenértékének csekély, mindössze egyetlen százalékát kitevő energiával, amelyet a csillagok évmilliárdokig tartó életük során a fúziós reakciónak köszönhetően kisugároznak.

Ezen gravitációs folyamatok jelentősége abban áll, hogy az életük végén járó, kiégett csillagok összeomlott salaktömbként sokkal több energiát tudnak még kibocsátani, mint korábban, izzó gázgömbként a termonukleáris reakciók révén. Ezt a tényt mintegy húsz évvel ezelőtt John Wheeler, amerikai fizikus ismerte fel. (Eredetileg egyébként tőle származik a „fekete lyuk” elnevezés is.) Ennek alapján Wheeler elképzelt egy olyan

civilizációt, amelyik energiaszükségleteit úgy elégíti ki, hogy elhagyja saját csillagát és egy forgó fekete lyuk környezetében települ le. A társadalom hulladékait nap mint nap kozmikus teherautókba csomagolják, és gondosan megtervezett pályán a lyuk felé küldik. A lyuk közelében a teherautók tartalmát kiürítik, a hulladékot a lyuk belseje felé irányítják, és ezáltal hasznosítják. A befelé hulló anyag a lyuk forgásával ellentétes irányban keringve némileg fékezi a lyuk forgását. Ezáltal a lyuk forgási energiájának egy része felszabadul, amit a civilizáció ipari szükségletei kielégítésére tud fordítani. A folyamatnak így kétszeres haszna van, mert egyrészt a civilizáció megszabadul a fölösleges melléktermékektől, másrészt a folyamat révén tiszta energiát tud nyerni. Ily módon a halott csillagból sokkal több energiát tudnak kinyerni, mint amennyit bármely csillag fénylő korszakában kibocsát.

Bár a fekete lyuk energiájának hasznosítása egyelőre a tudományos fantasztikus irodalom lapjaira kívánkozik, tény, hogy Világegyetem anyagának jó része természetes folyamatok eredményeképpen is fekete lyukak mélyén végzi. A kozmikus süllyesztőben nem csak a szupernóvarobbanásban fekete lyukká váló csillag anyagának jelentős része tűnik el, hanem a későbbi véletlen találkozások során, menetközben összegyűjtött anyag egy része is. Amikor a fekete lyukokról tartok előadásokat, a hallgatók gyakran megkérdezik, hogy mi történik, ha valami belekerül a fekete lyukba. A kérdésre a rövid és őszinte válasz az, hogy nem tudjuk. A fekete lyukakra vonatkozó ismereteink csaknem teljes egészében

elméleti számításokon és matematikai modelleken alapulnak. Magától értetődő, és a fekete lyuk meghatározásából következik, hogy kívülről semmilyen módon nem tudjuk a lyuk belsejét szemügyre venni. Így a belsejében lezajló folyamatokról még akkor sem tudhatnánk meg semmit, ha legalább arra lenne lehetőségünk, hogy kívülről megfigyeljünk egy fekete lyukat (a valóságban persze erre sincs módunk). Mindamellett a fekete lyukak létezését elsőként megjósoló relativitáselméletet annak kiszámítására is felhasználhatjuk, hogy mi történne egy fekete lyukba belezuhanó űrhajóssal. A most következő leírás tehát ezeken az elméleti megfontolásokon alapul.

A fekete lyuk felszíne csupán matematikai konstrukció, semmiképpen nem találunk ott valamiféle hártványt, csak az üres teret. Így tehát a lyuk felé közeledő űrhajós még akkor sem vesz észre semmi különöset, amikor átlépi annak határát.^[36] A lyuk matematikailag definiált felszínének mégis rendkívüli fizikai jelentősége van. A lyuk belsejében a tömegvonzás olyan erős, hogy még a fényt is csapdába ejti, mivel a kifelé haladó fotonokat szemléletesen szólva visszarántja. Ez azt jelenti, hogy a fény nem tudja elhagyni a fekete lyukat, az éppen emiatt látszik feketének a kívülálló számára. Minthogy semmiféle fizikailag létező tárgy vagy információ nem haladhat a féynél sebesebben, a fekete lyukat nem hagyhatja el semmi, ami egyszer már átlépte a határát. A lyuk határain belül lejátszódó események örökre rejtve maradnak a külső megfigyelők szeme elől. Emiatt a fekete lyuk határfelületét „eseményhorizont”-nak is szokás

nevezni, minthogy éles határvonalat jelent a rajta kívül történő és a távoli megfigyelők által is észlelhető események, illetve a lyuk belsejének kívülálló számára láthatatlan történései között. Az eseményhorizont működése azonban egyirányú. Az eseményhorizonton belül tartózkodó űrhajós továbbra is jól látja a fekete lyukon kívüli világot, annak ellenére, hogy őt kívülről senki sem láthatja. Ahogy az űrhajós egyre mélyebbre merül a lyuk belsejébe, úgy erősödik a gravitációs tér. Ennek egyik következménye testének eltorzulása lesz. Ha az űrhajós lábával előre közeledik a lyuk belseje felé, akkor lábai közelebb lesznek a lyuk középpontjához, mint a feje, így a lábaira nagyobb gravitációs erő hat. Ennek következtében a lábait nagyobb erő húzza a lyuk belseje felé, mint a fejét, így teste hosszanti irányban megnyúlik. Vállai ugyanakkor egymáshoz közeledő útvonalon akarják megközelíteni a lyuk közepét, ezért az űrhajós teste oldalirányban összenyomódik. A test hosszanti megnyúlását és oldalirányú összepréselődését tréfásan „spagettizálódás”-nak is szokták nevezni.

Az elmélet szerint a fekete lyuk középpontjában a gravitáció minden határon túl nő. Minthogy a gravitációs tér a téridő görbületeként jelenik meg, ezért a gravitációs tér erősségének határtalan növekedése együtt jár a téridő görbületének minden határon túl való növekedésével. A matematikusok ezt a jelenséget a téridő szingularitásának nevezik. Ez tulajdonképpen a tér és az idő olyan határát, „szélét” jelenti, amelyen túl a téridő közönséges fogalma nem folytatható, nem tartható fenn. Sok fizikus úgy

gondolja, hogy a fekete lyuk belsejében található szingularitás egyértelműen a tér és az idő végét jelzi, továbbá, hogy az ezzel találkozó anyag tökéletesen megsemmisül. Ha valóban ez a helyzet, akkor egy mindössze egyetlen nanoszekundum alatt lejátszódó szuper-spagettizálódás során még az űrhajós testének atomjai is eltűnnek a szingularításban.

Ha a fekete lyuk tömege tízmillió naptömeg, vagyis körülbelül akkora, mint amekkora fekete lyukat a Tejútrendszer középpontjában sejtünk, és ez a fekete lyuk nem forog, akkor az űrhajós zuhanása az eseményhorizonttól a szingularitásig mintegy három percig tart. Ebben az utolsó három percben bizonyára elég kényelmetlenül érezné magát, legalábbis abban az esetben, ha a spagettizálódás nem pusztítaná el a szerencsétlent még jóval a szingularitás elérése előtt. Bármilyen is történjék, az űrhajós zuhanása utolsó szakaszában sem láthatná meg a szingularitást, hiszen azt a fény sugárzás sem képes elhagyni. Ha a szóban forgó fekete lyuk csupán egy naptömegű, akkor sugara körülbelül három kilométer lenne. Ebben az esetben az eseményhorizonttól a szingularitásig tartó zuhanás mindössze néhány milliomod másodpercig tartana.

Bár a teljes megsemmisülésig eltelt idő az űrhajós vonatkoztatási rendszeréből nézve nagyon rövid, a fekete lyuk úgy torzítja a téridő szerkezetét, hogy nagyon távolról az űrhajós utolsó útja olyan, mintha lassított felvételen néznék végig. Ahogy az űrhajós egyre jobban megközelíti az eseményhorizontot, úgy lassul le egyre jobban a távoli

megfigyelő számára az öt körülvevő események sora. Valójában úgy tűnik, mintha végtelen hosszú időre lenne szükség ahhoz, hogy az űrhajós elérje az eseményhorizontot. Ami tehát a Világegyetem távoli részén elhelyezkedő megfigyelő számára az örökkévalóságnak tűnik, az az űrhajós számára egy szempillantásnyi idő alatt lejátszódik.^[37] Ilyen értelemben a fekete lyuk úgy tekinthető, mint a Világegyetem valamiféle kapuja,^[38] vagy a semmibe nyíló kijáratot jelentő kozmikus zsákutca. A fekete lyuk a tér kicsiny tartománya, amely az idő végét foglalja magában. Akik kíváncsiak a Világegyetem végső sorsára, azok egy fekete lyukba beleugorva saját bőrükön közvetlenül is megtapasztalhatják azt. Bár a gravitáció a természet erői közül messze a leggyengébb, lopva settenkedő és összegeződő hatása határozza meg a dolgok végső sorsát, nem csak az egyes égitestek, hanem a kozmosz egésze esetében is. A végállapotukba jutó csillagokat összeroppantó könyörtelen vonzás sokkal nagyobb léptékben, a Világegyetem egészére is hatással van. Ennek az egyetemes vonzásnak a végkimenetele nagyon érzékenyen függ attól, hogy mekkora a gravitációs vonzást kifejtő anyag pontos mennyisége. mérnünk a Világegyetem tömegét.

6. FEJEZET

Megmérjük a Világegyetemet

Gyakran emlegetik, hogy ami egyszer fent van, annak le

is kell esnie. A tömegvonzás lefékezi a fölfelé eldobott testek mozgását és visszahúzza azokat a Földre. Ez azonban nem mindig van így. Ha a test elég gyorsan mozog, akkor örökre kiszabadulhat a Föld gravitációs rabságából. Kirepül a világűrbe és soha nem tér vissza. A bolygóközi űrszondákat pályára állító hordozórakétákat ilyen nagy sebességre kell felgyorsítani.

A kritikus „szökési sebesség” körülbelül 11 kilométer másodpercenként, azaz csaknem negyvenezer kilométer óránként, ami több, mint hússzorosa a leggyorsabb utasszállító repülőgép, a Concorde sebességének. A szökési sebesség nagyságát a Föld tömege, azaz a benne található anyag mennyisége, és sugara határozza meg. Minél kisebb az adott tömegű test, annál erősebb a felszínén a gravitációs tér. Ha ki akarunk szabadulni a Naprendszerből, akkor a Nap gravitációs vonzását kell legyőzni. Ehhez másodpercenként 618 kilométeres sebességre van szükség. A Tejútrendszerből való kiszökéshez ugyancsak néhány száz kilométeres másodpercenkénti sebességre kell felgyorsítanunk a testeket. Szélsőséges példaként érdemes megemlíteni, hogy egy kompakt égitest, mondjuk egy neutroncsillag esetében a szökési sebesség több tízezer kilométer másodpercenként, míg a fekete lyukra vonatkozó szökési sebesség megegyezik a fény sebességével (300 000 kilométer másodpercenként).

De vajon mekkora a Világegyetem egészére vonatkozó szökési sebesség? Amint azt a 2. fejezetben már hangsúlyoztam, úgy tűnik, hogy a Világegyetemnek nincs

széle, amelyen át ki lehetne lépni belőle. Ha gondolatmenetünkben azt tekintjük a Világegyetem határának, ameddig megfigyeléseink elérnek (e mintegy tizenöt milliárd fényév), akkor szökési sebességként megközelítőleg a fénysebességet kapjuk. Ez az eredmény azért roppant fontos, mert a legtávolabbi galaxisok a fényéhez közeli sebességgel távolodnak tőlünk. Mindez azt jelenti, hogy ezek a galaxisok oly sebesen távolodnak egymástól, hogy kishíján „megszöknek” a Világegyetemből, vagy legalábbis örökre eltávolodnak egymástól.

Kiderül tehát, hogy a táguló Világegyetem nagyon hasonlóan viselkedik a Földről földobott kőhöz,^[39] annak ellenére, hogy a Világegyetemnek nincs jól meghatározott széle. Ha a tágulás sebessége elég nagy, akkor a távolodó galaxisok kiszabadulnak a Világegyetem összes többi anyagának együttes gravitációs hatása alól, így a Világegyetem tágulása mindörökké folytatódik. Másrészt, ha viszont ha a tágulás sebessége túlságosan lassú, akkor bizonyos idő elteltével a folyamat megáll és a Világegyetem elkezd összehúzódni. A galaxisok ezután „visszahullanak”, a végső kozmikus katasztrófa elkerülhetetlenül bekövetkezik, az egész Világegyetem összeomlik.

Kérdés, hogy a két lehetőség közül melyik valósul meg. A választ két szám összehasonlítása adja. Egyrészt a tágulás sebessége, másrészt a Világegyetem teljes gravitációs vonzása, vagyis tulajdonképpen a Világegyetem össztömege.^[40] Minél erősebb a tömegvonzás, annál

nagyobb sebességgel kell a Világegyetemnek tágulnia, hogy legyőzze a visszahúzó erőt. Elvben a csillagászok a galaxisok színe alapján meg tudják mérni a tágulás sebességét, azonban egyelőre a mérési eredmények meglehetősen ellentmondásosak. Még ennél is sokkal nagyobb gondot jelent azonban a második mennyiség meghatározása, azaz a Világegyetem össztömegének megállapítása.

Hogyan mérhetjük meg a Világegyetem tömegét? A feladat reménytelenül megoldhatatlannak látszik, közvetlen mérésre ugyanis egész biztosan nincs lehetőségünk. Mindamellett a gravitáció elméletének ismeretében megpróbálhatjuk kiszámítani a tömeget. A tömeg alsó határát viszonylag egyszerűen megkaphatjuk. A bolygókra gyakorolt tömegvonzásának ismeretében a Nap tömege könnyen kiszámítható. Tudjuk, hogy a Tejútrendszer mintegy száz milliárd csillagból áll, amelyek átlagos tömege akkora, mint a Napé, ami alsó határt ad a Tejútrendszer tömegére. Ezek után meg kell becsülnünk, hány galaxis lehet az egész Világegyetemben. Ahhoz túlságosan sok van, hogy egyenként számláljuk össze őket, de jó becslésként elfogadhatjuk a tíz milliárdot. A Tejútrendszer tömegének és a galaxisok számának szorzataként a Világegyetem tömegére 10^{21} naptömeg, azaz körülbelül 10^{48} tonna adódik.^[41] A megfigyelhető galaxisok gyülekezetének sugarát tizenöt milliárd fényévnek tekintve kiszámíthatjuk a Világegyetem egészére vonatkozó szökési sebességet: eredményül a

fénysebesség körülbelül 10 százalékát kapjuk. Arra a következtetésre jutottunk tehát, hogy amennyiben a Világegyetem össztömegét kizárólag a csillagok tennék ki, akkor a Világegyetem legyőzné saját gravitációs vonzását és tágulása a végtelenségig folytatódna.

Sok tudós úgy gondolja, hogy valóban ez fog történni. Nem minden csillagász és kozmológus van azonban meggyőződve arról, hogy a tömegek összegzését helyesen végeztük el. A látható anyag kevesebb a ténylegesen létezőnél, hiszen nem minden égitest világít. A sötét égitestek, például a bolygók, a halvány csillagok vagy a fekete lyukak bizonyára elkerülik a figyelmünket. Található ezen kívül a Világegyetemben egy csomó por és gáz is, amelynek jó része ugyancsak alig észrevehető. Ezen kívül minden bizonnyal a galaxisok közötti tér sem teljesen üres, hanem valószínűleg nagy mennyiségű, híg gázt tartalmaz.

A csillagászokat azonban évek óta egy sokkal érdekesebb lehetőség izgatja. A Világegyetemben látható összes anyag az ősrobbanásból ered, de ugyaninnen származik a láthatatlan anyag is. Ha a Világegyetem az elemi részecskék hihetetlenül forró levešeként kezdte az életét, akkor a közönséges anyagot felépítő, jól ismert elektronokon, protonokon és neutronokon kívül az közelmúltban a részecskefizikai laboratóriumokban azonosított egyéb részecskéknek is bőségesen kellett volna keletkezniük. Ezen egyéb részecskék legtöbbször felettébb instabil, ezért gyorsan elbomlik, bár akadnak közöttük tartósabbak is, amelyek a mai Világegyetemben az ősi eredetről tudnak tanúskodni.

A legfontosabb ilyen maradvány a neutrínó, ez a kísérteties részecske, amelyek szerepéről a szupernóvarobbanásokkal kapcsolatban a 4. fejezetben már esett szó. Mai tudásunk szerint a neutrínók semmire nem képesek elbomlani. (Valójában a neutrínók három típusa létezik, amelyek valószínűleg kölcsönösen átalakulhatnak egymásba, ettől azonban most eltekintünk.) Fel kell tehát tételeznünk, hogy a Világegyetem az ősrobbanásból megmaradt neutrínók tengerében úszik. Feltételezve, hogy az ősrobbanás után rendelkezésre álló energia egyenletesen oszlott el az összes elemi részecske között, ki lehet számítani, hogy hány kozmikus neutrínónak kell léteznie. A válasz körülbelül egymillió neutrínó köbcentiméterenként, vagyis a közönséges anyag minden egyes részecskéjére körülbelül egymilliárd neutrínó jut.^[42] Ez a figyelemreméltó végkövetkeztetés mindannyiszor lenyűgözött, ahányszor csak találkoztam vele. Minden pillanatban mintegy százmilliárd neutrínó tartózkodik a testünkben, amelyek csaknem mind az ősrobbanás maradványai és a létezés első ezredmásodperce óta többé-kevésbé zavartalanul éltek túl az évmilliárdokat. Minthogy a neutrínók fénysebességgel vagy közel fénysebességgel mozognak, ezért másodpercenként száztrilliónyi ilyen részecske halad át a testünkön. Ebből a szüntelen zaklatásból az égvilágon semmit nem veszünk észre, mert a neutrínók olyan gyengén lépnek kölcsönhatásba a közönséges anyaggal, hogy elhanyagolhatóan kicsiny a valószínűsége annak, hogy életünk folyamán akár csak egyetlen egy is megáll

bennünk. Mindamellett a Világegyetem látszólag üres térségeit kitöltő rengeteg neutrínó létezésének mélyreható következményei lehetnek az egész Világegyetem végső sorsának alakulására.

Bár csak rendkívül gyengén képesek kölcsönhatni, ennek ellenére a neutrínók is kifejtenek gravitációs vonzást minden más részecskére. Nem képesek ugyan számottevő mértékben ide-oda lökdösni a környezetükben lévő anyagot, közvetett gravitációs hatásuk azonban kritikus mértékben hozzájárulhat a Világegyetem össztömegéhez. Ha azonban pontosan meg akarjuk állapítani, hogy a neutrínók milyen mértékben járulnak hozzá ehhez, akkor pontosan meg kell határoznunk a neutrínók tömegét.

Amikor a testek gravitációs hatásáról beszélünk, akkor mindig a test tényleges, nem pedig a nyugalmi tömegét kell figyelembe vennünk. Minthogy a neutrínók közel fénysebességgel mozognak, tömegük számottevő lehet, annak ellenére hogy nyugalmi tömegük parányi, mint arról a 4. fejezetben szó volt. Az sincs kizárva, hogy nyugalmi tömegük nulla és pontosan fénysebességgel mozognak. Ha ez a helyzet, akkor tényleges tömegük az energiájuk alapján határozható meg. Az ősrobbanás maradványaként fennmaradt neutrínók esetében ezt az energiát a részecskék által az ősrobbanás energiájából megszerzett rész alapján becsülhetjük meg. Ezt a kezdeti energiát később egy olyan tényezővel kell módosítani, amely figyelembe veszi a Világegyetem tágulásából következő gyengülést. Ha mindezt elvégeztük, akkor kiderül, hogy a nulla nyugalmi tömegű neutrínók nem adnak számottevő

járulékot a Világegyetem össztömegéhez.

Másrészt viszont nem lehetünk bizonyosak sem abban, hogy a neutrínó nyugalmi tömege *valóban* nulla, sem pedig abban, hogy a neutrínók mindhárom fajtájának ugyanakkora a nyugalmi tömege. A neutrínókról eddig megszerzett elméleti ismereteink alapján nem zárhatjuk ki a véges nyugalmi tömegük lehetőségét, ezért a kérdést kísérletekkel kell eldönteni. Amint a 4. fejezetben már említettük, tudjuk, hogy ha a neutrínónak van nyugalmi tömege, akkor az nagyon kicsi, sokkal kisebb, mint bármely más elemi részecske nyugalmi tömege. Minthogy azonban a Világegyetemben temérdek neutrínó található, még a parányi nyugalmi tömeg is jelentékeny hozzájárulást adhat a Világegyetem teljes tömegéhez. A helyzet borotvaélen táncol. Ha a neutrínó tömege csupán tízezred része az elektronénak (az egyébként legkönnyebb részecskéének), akkor ez elegendő ahhoz, hogy a korábban leírt kép drámaian megváltozzék: a neutrínók együttes tömege nagyobb lesz, mint a csillagoké.^[43]

Az ilyen parányi tömeg kimutatása borzasztóan körülményes, ráadásul a kísérletek eredményei nem egyértelműek és egymásnak ellentmondóak. Különös, hogy éppen az 1987A szupernóvából származó neutrínók megfigyelése fontos mozzanatot jelentett a kérdés eldöntésében. Amint már említettük, ha a neutrínó nyugalmi tömege pontosan nulla, akkor ezek a részecskék pontosan egyforma gyorsan, még hozzá fénysebességgel száguldanak. Másrészt viszont, ha a neutrínó nyugalmi

tömege bármilyen kicsiny, de nullától különböző, véges érték, akkor sebességük különböző lehet. A szupernóvarobbanásból származó neutrínók minden bizonnyal nagyon nagy energiájúak, ezért abban az esetben is a fényét megközelítő sebességgel mozognak, ha nyugalmi tömegük nullánál nagyobb. Minthogy azonban nagyon sokáig haladtak a világűrben, mialatt a robbanás helyétől a Földig elérték, a kicsiny sebességkülönbségek következtében különböző lenne az egyes neutrínók megérkezésének időpontja. Megvizsgálva annak az időintervallumnak a hosszát, amelyen belül az 1987A szupernóvából származó neutrínók a Földre érkeztek, felső határt adhatunk a nyugalmi tömegükre. Eszerint a neutrínó nyugalmi tömege biztosan kisebb, mint az elektron tömegének egy harmincezred része.

Sajnos a helyzetet tovább bonyolítja, hogy nem csak egyfajta neutrínót ismerünk. A nyugalmi tömeg meghatározására irányuló próbálkozások legtöbbször a neutrínók Pauli által eredetileg megnevezett típusára vonatkozik. Ennek felfedezése óta azonban a neutrínók még egy típusát sikerült megtalálni, egy harmadik típus létezésére pedig következtetni tudtak a fizikusok.^[44] Az ősröbbanáskor mindhárom neutrínótípus képviselőinek bőségesen kellett volna keletkeznie. Nagyon nehéz közvetlen módon valamilyen határokat felállítani a másik két neutrínófajta tömegére vonatkozóan. A kísérleti eredmények meglehetősen széles tartományban szóródnak, ennek ellenére napjainkban a kozmológusok általában úgy vélik, hogy a neutrínók tömege valószínűleg

nem játszik jelentős szerepet a Világegyetem
össztömegében. A neutrínó tömegének meghatározására
irányuló legkorszerűbb kísérletek eredményeitől függően
azonban ez az állítás könnyen az ellenkezőjére fordulhat.

Nem a neutrínó az egyetlen olyan ősmaradvány a
mindenségben, amelyet figyelembe kell vennünk, ha meg
akarjuk becsülni a Világegyetem össztömegét. Az
ősrobbanás során más, gyengén kölcsönható, stabil
részecskék is keletkeztek, esetleg nagyobb nyugalmi
tömegűek is. (Ha a nyugalmi tömeg túlságosan nagy, akkor
az illető részecskéből kevesebb keletkezik, mint a
könnyebbekből, mert a nehezebb részecskék
előállításához több energiára van szükség.) Mindezeket a
részecskéket összefoglalóan WIMP-eknek nevezik, a
gyengén kölcsönható, nagy tömegű részecskék angol
elnevezésének (Weakly Interacting Massive Particles)
rövidítéseként. Magyarul gyentnek lehetne nevezni őket. Az
elméleti fizikusok már csinos kis listát állítottak össze a
feltételezhető gyentekről, amelyeknek már különféle
hangzatos neveket is adtak, mint például gravitínók,
higgsínók és fotínók. Senki sem tudja azonban, hogy ezek
a részecskék valóban léteznek-e, ha azonban léteznek,
akkor semmiféleképpen sem szabad figyelmen kívül hagyni
őket a Világegyetem tömegének megmérésekor.

Figyelemreméltó, hogy a gyentek létezését esetleg
közvetlenül is ki lehet mutatni, mégpedig a közönséges
anyaggal feltételezett kölcsönhatásuk alapján. Bár az
előrejelzések szerint ez a kölcsönhatás harmatgyenge, a
gyentek nagy tömegüknek köszönhetően erős csapásokat

képesek mérni más részecskékre. Anglia északkeleti részén egy sóbányában, illetve San Franciscóban egy gát alatt terveznek kísérleteket az áthaladó gyentek kimutatására. Feltételezve, hogy a Világegyetemben bőven vannak gyentek, folytonosan óriási nagy számban kell testünkön (és a Földön) áthaladniuk. A kísérlet alapgondolata meghökkentően hangzik: a fizikusok azt a *hangot* szeretnék műszereikkel meghallani, amely egy atommag és egy gyent összeütközésekor keletkezik!

A kísérleti berendezés lelke egy germánium vagy szilícium kristály, amelyet hűtőrendszer vesz körül. Ha a gyent nekicsapódik a kristály valamelyik atommagjának, az átadott impulzus hatására az atommag kissé visszalökődik. Ez a hirtelen lökés parányi hanghullámot kelt, azaz megrezgeti a kristályrácsot. Miközben a rezgés szétterjed, lecsillapodik és hővé alakul. A kísérletet annak a parányi hőlökésnek a kimutatására tervezték, amelyet az elhaló hanghullám kelt a kristályban. Minthogy a kristályt az abszolút nulla fok közelébe hűtve használják, az a legcsekélyebb hőmennyiség megjelenésére is roppant érzékeny.

Az elméleti fizikusok azon az állásponton vannak, hogy a galaxisok a lassan mozgó gyentek nagy, lebeny alakú rajaiba merülnek. A gyentek tömege egy és ezer protontömeg között lehet, átlagsebességük pedig néhány ezer kilométer másodpercenként. Miközben Naprendszerünk kering a Tejútrendszer középpontja körül, keresztülhalad ezen a láthatatlan részecskeóceánon, aminek következtében a Föld anyagának minden egyes

kilogrammján naponta legalább ezer gyent szóródik. Elfogadva ezt a gyakoriságot, a gyentek közvetlen kísérleti kimutatása nem tűnik megvalósíthatatlannak.

Miközben folytatódik a gyentek utáni hajtóvadászat, a Világegyetem tömegének megmérése továbbra is izgalomban tartja a csillagászokat. Még ha egy test nem is látható (vagy hallható), tömegvonzása alapján akkor is lelepleződhet a jelenléte. A Neptunusz bolygót például úgy tudták felfedezni, hogy a csillagászok észrevették, hogy a Szaturnusz mozgását egy addig ismeretlen égitest gravitációs hatása megzavarja. A Szíriusz körül keringő, Szíriusz B jelű, halvány, fehér törpe csillagot hasonlóképpen fedezték fel. A látható égitestek mozgását nyomon követve a csillagászok képet tudnak alkotni a sötét anyagról. (Korábban már volt szó róla, hogyan vezetett ez a módszer annak megsejtéséhez, hogy a Cygnus X-1 belsejében egy fekete lyuk rejtőzik.)

Az elmúlt egy-két évtizedben nagyon gondosan megfigyelték a csillagászok a Tejútrendszerhez tartozó csillagok mozgását. A csillagok a Tejútrendszer középpontja körül keringenek, átlagosan több, mint kétszáz millió éves keringési idővel. A Tejútrendszer korong alakú, a közepetáján erős, csillagokból álló kidudorodással. Bizonyos értelemben tehát hasonlít a Naprendszerre, amelyben a bolygók a Nap körül keringenek. A Naprendszer esetében azonban a belső bolygók, például a Merkúr és a Vénusz, gyorsabban mozognak pályájuk mentén, mint a külsőbbek, mondjuk az Uránusz vagy a Neptunusz. Ennek az az oka, hogy a belsőbb bolygókra

erősebben hat a Nap tömegvonzása. Várható, hogy ez a szabályszerűség a Tejútrendszerre is érvényes, vagyis eszerint a Tejútrendszer peremvidékén lévő csillagoknak sokkal lassabban kellene mozogniuk, mint azoknak, amelyek „közelebb vannak a tűzhöz”.

A megfigyelések azonban ellentmondanak ennek a várakozásunknak. A csillagok nagyjából egyforma sebességgel köröznek a korongban. A jelenség magyarázata az lehet, hogy a Tejútrendszer tömege nem koncentrálódik galaxisunk legbelsejére, hanem nagyjából egyenletes eloszlást mutat. Az a tény, hogy a Tejútrendszer olyan *látszik*, mintha anyaga a közepetájára koncentrálódna, arra enged következtetni, hogy a látható anyag csak egy része az összesnek. Nyilvánvalóan sok láthatatlan anyag van jelen, ennek jó része a korong külső nyúlványaiban, gyorsítva ezáltal az ott elhelyezkedő csillagok mozgását. Jelentős mennyiségű sötét anyagnak kell lennie a Galaxis látható peremén túl és a fénylő anyag által kirajzolt fősíkján kívül is, beburkolva ezáltal az egész Tejútrendszert egy nagy tömegű, láthatatlan halóba, amely messze benyúlik a galaxisok közötti térbe. Hasonló sebességeloszlást figyeltek meg több más galaxisban is. A mérések eredményei szerint a galaxisok látható része átlagosan több, mint tízszer akkora tömegsűrűségű, mint amekkora értékre a fényességük és a Nap tömegével való összehasonlítás alapján számítottunk. A galaxisok legkülső tartományaiban ez az arány akár az ötezerszeres értéket is elérheti.

Hasonló következtetést vonhatunk le a galaxisok

galaxishalmazokon belüli mozgásának tanulmányozása alapján. Nyilvánvaló, hogy amennyiben egy galaxis elég gyorsan mozog, akkor kitépheti magát a halmaz gravitációs rabságából. Ha a halmaz minden galaxisa ilyen gyorsan mozog, akkor a halmaz hamarosan szétesik. Egy jellegzetes, néhány száz tagot számláló galaxishalmazt találunk például a Bereniké haja (Coma) csillagképben. Ezt a halmazt alaposan megvizsgálták a csillagászok. A Coma halmaz galaxisainak átlagsebessége messze sokkal nagyobb annál, hogy a halmaz együtt maradjon, kivéve, ha legalább háromszázszor akkora a tömege, mint amekkorának azt a fénylő anyag mennyisége alapján becsültük. Mivel csak nagyjából egymilliárd évig tart, amíg egy átlagos galaxis keresztülhalad a halmazon, bőségesen elég idő állt már a halmaz rendelkezésére ahhoz, hogy felbomoljék. Ez azonban nem történt meg, sőt, a halmaz megfigyelhető szerkezete kifejezetten azt a benyomást kelti, hogy gravitációsan kötött rendszerrel van dolgunk. A sötét anyag valamilyen, a galaxisok mozgását befolyásoló formájának tehát feltétlenül jelen kell lennie a halmazban, mégpedig számottevő mennyiségben.

A láthatatlan anyag létezése mellett szóló további érvet szolgáltat a Világegyetem nagy léptékű szerkezetének, vagyis a galaxisok halmazokba és szuperhalmazokba való tömörülésének megfigyelése is. Amint azt a 3. fejezetben már elmagyaráztuk, a galaxisok eloszlása hatalmas, kozmikus méretű habra emlékeztet, a galaxisok szálakba tömörülnek vagy a hatalmas üregeket körülölelő, kiterjedt lepleket alkotnak. Ez a csomós, habszerű szerkezet az

ösrobbanás óta rendelkezésre álló idő alatt csakis a sötét anyag többlet tömegvonzásának segítségével alakulhatott ki. A számítógépes szimulációk azonban mind a mai napig a sötét anyag semmilyen egyszerű formája esetén sem voltak képesek ezt a habszerű szerkezetet reprodukálni, így valószínűleg a láthatatlan anyagfajták valamilyen bonyolult keverékének feltételezésére lesz szükség.

Legújabbban a sötét tömeg jelöltjeit kereső kutatók érdeklődése az egzotikus elemi részecskék felé fordult, ugyanakkor kétségtelen, hogy a sötét anyag sokkal hagyományosabb formában is létezhet, például bolygó nagyságú tömegeket vagy halvány csillagokat alkothat. Az efféle sötét égitestek akár csapatostul is vándorolhatnak szerte a világban, mégis képtelenek lennénk tudomást szerezni róluk. A csillagászok azonban újabban kidolgoztak egy olyan módszert, amelynek segítségével azoknak a sötét égitesteknek a jelenlétét is ki lehet mutatni, amelyek nem kötődnek gravitációsan egyetlen látható égitesthez sem. Ez a módszer Einstein általános relativitáselméletének egyik eredményét kihasználva a gravitációs lencsék alkalmazásán alapul.

Az alapötlet azon a tényen alapul, hogy a gravitációs tér elgörbíti a fénysugarakat. Einstein megjósolta, hogy ha egy fénysugár nagyon közel halad el a napkorong pereméhez, akkor kissé elgörbül, látszólag megváltoztatva ezáltal az illető csillag helyét az égbolton. Összehasonlítva a csillag helyzetét akkor, amikor ott van a Nap a közelében, azzal, amikor a Nap az égbolt távoli részén tartózkodik, az előrejelzés ellenőrizhető. Ezt a mérést első ízben Sir Arthur

Eddington brit csillagász végezte el 1919- ben, és ezzel ragyogóan igazolta Einstein elméletét.

Az optikai lencsék ugyancsak megtörik a fénysugarakat, aminek eredményeképp azok fókuszálódnak és képet alkotnak. Ha egy nagy tömegű test eléggé szimmetrikus, akkor az optikai gyűjtőlencséhez hasonlóan viselkedhet, azaz összegyűjtheti a távoli fényforrások fényét. A képalkotás módját a 6.1. ábra mutatja. Az S fényforrásból jövő fény egy gömb alakú test mellett halad el. A test tömegvonzása elhajlítja és a test túlsó oldalán lévő fókuszpont felé irányítja a fénysugarakat. A fényelhajlás mértéke a legtöbb égitest esetében parányi, de az irdatlan csillagászati távolságoknak köszönhetően még a nagyon csekély mértékben elhajlított sugarak is eljutnak a fókuszig, ahol egyesülnek.^[45] Ha a fény útját eltérítő test a Föld és a nagyon távoli S fényforrás között helyezkedik el, akkor úgy látjuk, mintha S a valóságosnál sokkal fényesebb lenne, vagy ha a két égitest iránya nagyon pontosan megegyezik, akkor a távoli égitest képe fényes gyűrűvé torzul. Ezt nevezzük Einstein-gyűrűnek. A nem gömbszimmetrikus, hanem szabálytalan alakú eltérítő testek esetében a gravitációs-lencse-hatás eredményeképpen nem egyetlen, fókuszált kép keletkezik, hanem nagy valószínűséggel több részből álló, szabálytalan alakú kép. Kozmológiai méretekben a csillagászok már jónéhány gravitációs lencsét felfedeztek. A legtöbb esetben egy nem túl távoli galaxis egy sokkal messzebbi kvazár képén hozza létre a gravitációs-lencse-hatást, így általában a kvazár

megtöbbszöröződött képét látjuk. Néhány esetben a kvazár fényéből kialakuló teljes Einstein-gyűrű megfigyelhető.



6.1. ábra

Gravitációs lencse. A nagy tömegű test gravitációs tere elhajlítja a távoli S fényforrásból jövő fénysugarakat. Kedvező esetben ez a hatás fókuszálja a fénysugarakat. A fókuszpont környékén tartózkodó megfigyelő a test körül fénylő gyűrűt látna.

Miközben a csillagászok sötét bolygókat vagy halvány törpecsillagokat keresnek az égen, arra is figyelnek, hogy nem találják-e meg a gravitációs lencse-hatás jeleit. Ez abban az esetben fordulhatna elő, ha a halvány vagy sötét égitest pontosan a Föld és egy távolabbi csillag között helyezkedne el. A csillag képe ilyenkor meghatározott fényváltozást mutatna, hirtelen kifényesedne, majd elhalványodna, ahogy a sötét égitest elhaladna a látóirányán keresztül és átmenetileg a Földre fókuszálná a csillag fényét. Bár maga a sötét égitest láthatatlan maradna, létezését mégis elárulná az általa keltett fókuszáló hatás. Egyes csillagászok ezzel a módszerrel próbálnak a Tejútrendszer halójában sötét égitesteket felfedezni. Bár a két égitest iránya pontos egyezésének hihetetlenül kicsiny a valószínűsége, ha elegendően sok sötét égitest található a Tejútrendszer peremvidékén, akkor elvileg nincs akadálya, hogy néhány esetben meg lehessen figyelni a gravitációs lencse-hatást. 1993 végén egy közös ausztrál-amerikai kutatócsoport a Nagy Magellán-felhőt

vizsgálta az Új Dél-Wales tartományban lévő Mount Stromlo Obszervatóriumból. A csillagászok beszámoltak egy megfigyelésükről, amelynek eredménye egyértelműen arra utal, hogy a Tejútrendszer halójának egy törpecsillaga gravitációs lencseként fókuszálta egy távoli objektum fényét.^[46]

A fekete lyukak ugyancsak gravitációs lencseként képesek működni, ezért széles körben folynak kutatások extragalaktikus rádióforrások fókuszált képe után. (A gravitációs lencse természetesen nem csak a fényhullámokat gyűjti össze, hanem minden fajta elektromágneses sugárzást, így a rádióhullámokat is.) Nagyon kevés gyanús objektumot találtak, ami azt a benyomást keltette a csillagászokban, hogy a csillagméretű és a galaktikus fekete lyukak valószínűleg a hiányzó sötét anyagnak csupán jelentéktelen hányadára képesek magyarázatot adni. Nem minden fekete lyuk ad azonban hírt magáról a fénysugarak gravitációs fókuszálása révén. Lehetséges, hogy az ősrobbanást követően uralkodó roppant szélsőséges fizikai viszonyok a mikroszkopikus méretű fekete lyukak keletkezésének kedveztek, amelyek nem nagyobbak egy atommagnál. Az ilyen objektumok tömege nagyjából akkora, mint egy kisbolygóé. Ilyen módon nagyon hatékonyan rengeteg tömeg bújtható el a Világegyetemben szétszórva. Meglepő módon még ezekre a bizarr képződményekre is tudunk megfigyelési korlátokat adni. Ennek az úgynevezett Hawking-hatás az oka, amelyet a 7. fejezetben magyarázunk meg részletesen. Röviden

arról van szó, hogy a mikroszkopikus fekete lyukak elektromosan töltött részecskék záporát keltve felrobbanhatnak. A robbanás meghatározott, a fekete lyuk tömegétől függő idő elteltével következik be: a kisebb lyukak hamarabb robbannak fel. A kisbolygónyi tömegű fekete lyukak mintegy tízmilliárd év elteltével robbannak fel, vagyis körülbelül mostanában. Az ilyen robbanás egyik mellékhatásaként hirtelen, lökészerű rohamban rádióhullámok keletkeznek, így itt a rádiócsillagászok juthatnak fontos szerephez. Eddig nem sikerült gyanús rádióimpulzusokat kimutatniuk, amiből meg lehetett becsülni, hogy köbfényévenként és hárommillió évenként legfeljebb egy ilyen robbanás következik be. Ez viszont azt jelenti, hogy a Világegyetem össztömegének legfeljebb nagyon kicsiny hányada rejtőzhet mikroszkopikus fekete lyukak mélyén.

Összefoglalva, az egyes csillagászok különböző nagyságúnak becsülik a Világegyetemben található sötét anyag mennyiségét. Valószínű, hogy a sötét anyag össztömege legalább tízszerese a fénylő anyag mennyiségének, de vannak, akik százszoros arányt is emlegetnek. Megdöbbenő, hogy még maguk a csillagászok sem tudják, miből áll legnagyobbbrészt a Világegyetem. Korábban azt gondolták, hogy a Világegyetem döntő többségében csillagokból áll. Legújában azonban kiderült, hogy a csillagok a Világegyetem egész anyagának csupán jelentéktelen hányadát képviselik.

A kozmológia számára az a legfontosabb kérdés, hogy

elegendő sötét anyagot tartalmaz-e a Világegyetem ahhoz, hogy az lefékezze a tágulását. Azt a minimális átlagsűrűséget, amely ahhoz szükséges, hogy a tágulás éppen megálljon, „kritikus sűrűség”-nek nevezik. Kiszámítható, hogy a kritikus sűrűség mintegy százszorosa a látható anyag mennyisége alapján számított átlagsűrűségnek. A becslések alapján tehát elképzelhető, hogy a Világegyetem átlagsűrűsége eléri a kritikus értéket, de legfeljebb csak éppenhogy. A kutatók remélik, hogy a sötét anyag kutatása hamarosan egyértelmű választ fog adni, mert ezen nem kevesebb múlik, mint a Világegyetem végső sorsa.

Mai ismereteink alapján nem tudjuk megmondani, hogy a Világegyetem mindörökké tágulni fog-e, vagy egyszer majd megáll ez a folyamat. Ha azt az eredményt kapjuk, hogy valamikor meg kell kezdődnie az összehúzódásnak, akkor felmerül a kérdés, hogy mikor fog ez bekövetkezni. A válasz attól függ, hogy pontosan mennyivel haladja meg a Világegyetem átlagsűrűsége a kritikus értéket. Ha a tényleges sűrűség csak egy százalékkal múlja felül a kritikust, akkor az összehúzódás csak egybillió év múlva veszi kezdetét. Ha a sűrűség 10 százalékkal nagyobb a kritikushoz, akkor százmilliárd év múlva kezdődik az összehúzódás.

Időközben egyes elméleti fizikusok arra gondoltak, hogy csupán számítások segítségével is meg lehet határozni a Világegyetem össztömegét, vagyis anélkül, hogy közvetlen megfigyeléseket kellene végeznünk. Az ókori görög filozófusoktól származik az az elképzelés, mely szerint az

emberek csupán a szellem erejével, következtetések és érvelések útján mély kozmológiai ismertekre képesek szert tenni. A természettudományos gondolkodás korában számos kozmológus próbált meg olyan matematikai összefüggéseket felállítani, amelyek valamilyen, mélyen gyökerező alapelvekre támaszkodva megadják a Világegyetem tömegét. Különösen csábítóak azok a gondolati rendszerek, amelyekben a Világegyetemben található elemi részecskék teljes számát adja meg valamilyen formula.^[47] Ezek az íróasztal melletti töprengések ugyan izgalmasak lehetnek, a tudósok többségének érdeklődését mégsem keltették fel. Az utóbbi években azonban nagyon népszerűvé vált egy sokkal meggyőzőbb elmélet, amely határozott előrejelzéseket tesz a Világegyetem tömegére vonatkozóan. Ez a felfúvódó Világegyetem 3. fejezetben bemutatott elmélete.

A felfúvódó Világegyetem elméletének egyik jóslata éppen a Világegyetemben található anyag mennyiségére vonatkozik, abból a feltevésből kiindulva, hogy kezdetben a Világegyetem átlagsűrűsége jóval nagyobb volt a kritikus értéknél, vagyis annál a sűrűségnél, amely esetén még éppen elkerülhető az összeomlás. Amikor a Világegyetem térfogata a felfúvódás következtében hirtelen megnőtt, akkor a sűrűség lecsökkent, méghozzá az elmélet szerint pontosan oly mértékben, hogy gyorsan megközelítette a kritikus sűrűséget. Minél hosszabb ideig tartott a felfúvódás, annál jobban megközelítette a sűrűség a kritikus nagyságot. Az elmélet alapváltozata szerint a felfúvódás csak hihetetlenül rövid ideig tartott, ezért – hacsak

valamilyen csoda következtében a Világegyetem átlagsűrűsége hajszálpontosan meg nem egyezett a kritikus sűrűséggel – a felfúvódó szakasz végén az átlagsűrűség kissé nagyobb vagy kisebb a kritikus értéknél.

A felfúvódó szakaszban a sűrűség exponenciális ütemben közelíti meg a kritikus értéket, ezért nagyon valószínű, hogy felfúvódás befejeztével a sűrűség rendkívül közel lesz a kritikushoz, még abban az esetben is, ha a felfúvódás csak a másodperc parányi törtrészéig tartott. Az „exponenciális” kifejezés ez esetben azt jelenti, hogy a felfúvódás minden további szempillantása nagyjából *megkétszerezi* az ősrobbanástól az összehúzódás kezdetéig eltelő időtartamot. Ha például száz szempillantásnyi infláció olyan Világegyetemet eredményez, amelyik száz milliárd év tágulás után kezd el összehúzódni, akkor a százegy szempillantásig tartó felfúvódást követően kétszázmilliárd év múlva kezdődik el az összehúzódás, és a száztíz szempillantásnyi felfúvódással olyan Világegyetem jön létre, amelyik valamivel több, mint száz billió évi tágulás után kezd összehúzódni, és így tovább.

Milyen hosszú ideig tartott a felfúvódás? Senki sem tudja, de ha azt akarjuk, hogy a felfúvódó Világegyetem elmélete sikeresen magyarázzon meg egy sor kozmológiai rejtélyt, akkor léteznie kell a felfúvódás időtartama alsó határának. Ez körülbelül száz szempillantásnyi idő, bár az érték a körülményektől függően változhat. Felső határ viszont nincs. Ha a véletlenek valamiféle rendkívüli egybeesése esetén a Világegyetem felfúvódása éppen csak a jelenlegi

kozmológiai megfigyelések értelmezéséhez szükséges legrövidebb ideig tartott, akkor viszont a felfúvódó szakasz végén az átlagsűrűség jelentős mértékben felülmúlhatja a kritikus értéket (vagy jelentősen elmaradhat attól). Ebben az esetben további, pontosabb megfigyelések alapján meg lehetne határozni, hogy mikor kezdődik az összehúzódás, illetve hogy egyáltalán sor kerül-e erre. Ennél sokkal valószínűbb, hogy a felfúvódás hossza jónéhány szempillantásnyi idővel felülmúlta az előírt legkisebb időtartamot. Ez olyan Világegyetemet eredményezett, amelynek átlagsűrűsége valóban nagyon közel esik a kritikushoz, ami azt jelenti, hogy ha a Világegyetem tágulása valaha egyáltalán átcsap összehúzódásba, akkor ez csak rendkívül sokára következik be. Az addig hátralévő idő még nagyon sokszorosa a Világegyetem mostani életkorának. Ha valóban ez a helyzet, akkor az emberiség soha nem fogja megismerni annak a Világegyetemnek a végső sorsát, amelynek lakói vagyunk.^[48]

7. FEJEZET

Az örökkévalóság soká tart

A végtelennel kapcsolatban a legfontosabb, aminek tudatosulnia kell bennünk, hogy az nem egyszerűen csak egy nagyon nagy szám. A végtelen minőségileg különbözik bármely végestől, függetlenül attól, hogy milyen óriási, esetleg elképzelhetetlenül nagy számmal kell kifejeznünk a véges mennyiséget. Tételezzük fel, hogy a

Világegyetemnek nincs vége. A Világegyetem szempontjából az örökké létezés azt jelenti, hogy élettartama végtelenül hosszú. Ha ez így lenne, akkor minden fizikai folyamatnak be *kellene* következnie egyszer, legyen az a folyamat bármily lassú vagy valószínűtlen. Ha például egy majom az örökkévalóságig, azaz végtelenül hosszú ideig ülne egy írógép előtt és véletlenszerűen nyomkodná a billentyűket, akkor a végtelen hosszú idő alatt még annak is elő kellene fordulnia, hogy egyszer éppen William Shakespeare valamelyik drámája kerül a papírra. Példaként felhozhatjuk a gravitációs hullámok kibocsátását is, amelyről az 5. fejezetben már volt szó. A gravitációs sugárzás formájában történő energiaveszteség csak a leghevesebb asztrofizikai folyamatok esetében okoz az illető fizikai rendszerben szembeűnő változásokat. Az a mindössze egy milliwatt teljesítmény, amelyet a Föld Nap körüli keringése során gravitációs hullámok formájában kisugároz, végtelenül kicsiny befolyással van a Föld pályamenti mozgására. Bármilyen parányi is azonban ez a milliwattnyi elszivárgó teljesítmény, az évbilliók alatt végső soron az lenne a hatása, hogy a Föld spirális pályán mozogva belezuhan a Napba. Természetesen ennél sokkal hamarabb eljön az az idő, amikor a felfűvődő Nap elnyeli az egész Földet. Ennek ellenére nem szabad azt hinnünk, hogy az emberi időskálán elhanyagolható léptékű folyamatok nem léteznek, mert ha elegendő idő állna rendelkezésre, akkor előbb-utóbb ezek a folyamatok is meghatározókká válhatnának és befolyásolhatnák bizonyos fizikai rendszerek végső sorsát.

Vizsgáljuk meg a Világegyetem állapotát valamikor a nagyon távoli jövő egy pillanatában, mondjuk billiószor billió év múlva. A csillagok már régesrég kiégtek, a Világegyetem tehát sötét, azonban korántsem üres. A tér végtelen feketeségében forgó fekete lyukak bújnak meg, neutroncsillagok és fekete törpék kóborolnak, sőt, esetleg néhány bolygó is akad közöttük. Az ilyen égitestek térbeli sűrűsége azonban elképzelhetetlenül alacsony, hiszen időközben a Világegyetem mai méretének tízezer billiószorosára tágult.

A gravitáció megvívja a maga különös harcát. A táguló Világegyetemben minden égitest egyre távolabb igyekszik kerülni a szomszédaitól, ugyanakkor a kölcsönös tömegvonzás ezzel ellentétes hatást fejt ki és közelebb akarja vonni egymáshoz az égitesteket. Ennek eredményeképpen az égitestek bizonyos csoportjai, például a galaxishalmazok, vagy a galaxisoknak az évmilliárdok alatt végbement szerkezeti degeneráció utáni maradványai, továbbra is gravitációsan kötődnek egymáshoz, az egyes ilyen csoportok azonban egyre messzebb kerülnek szomszédos társaiktól. Ennek a gravitációs huzavonának a végkimenetele attól függ, hogy milyen gyorsan csökken a Világegyetem tágulási sebessége. Minél kisebb az anyag átlagsűrűsége a Világegyetemben, annál erősebb kényszerítést éreznek az ilyen csoportosulások, hogy elszakadjanak a környezetüktől és továvándoroljanak, szabadon és függetlenül.

A gravitációsan kötött rendszerekben a gravitáció lassú, de kíméletlen folyamatai uralkodóvá válnak. Bármily gyenge is

a gravitációs hullámok kibocsátása, apránként elfogyasztja a rendszer energiáját, ezáltal lassú spirális pusztulást okozva. Lassacskán a halott csillagok egyre közelebb araszolnak egymáshoz vagy a fekete lyukakhoz, hogy a csillaghalál vad, kannibalisztikus orgiájában egyesüljenek. Billiószor billió évig tart, mire a gravitációs hullámok elfogyasztják a Nap pályamenti mozgásának energiáját, de fekete törpévé vált csillagunk sem kerülheti el a rá váró gravitációs pusztulást. Spirális pályáján mind közelebb csúszik a Tejútrendszer középpontjába leselkedő óriási fekete lyukhoz, hogy az végül mindenestül elnyelhesse.

Egyáltalán nem bizonyos azonban, hogy a halott Napot ily módon éri utol a végzete, mert miközben lassan a Tejútrendszer középpontja felé sodródik, elkerülhetetlenül összetalálkozik más csillagokkal. Előfordulhat, hogy egyszer egy kettőscsillag rendszer közelében halad el, vagyis két olyan csillag mellett, amelyek egymás gravitációs ölelésében egymás körül keringenek. Ilyenkor bekövetkezhet egy nagyon különös jelenség, az úgynevezett gravitációs csúzi. A két egymás körül keringő test mozgása klasszikusan egyszerű. Ez volt az a probléma, amely az egyes bolygók Nap körüli keringése formájában Kepler és Newton figyelmét lekötötte és végeredményben elvezetett a modern tudomány születéséhez. Az ideális esetben, amikor természetesen a gravitációs sugárzás hatását is figyelmen kívül hagyjuk, a bolygó mozgása szabályos és periodikus. Függetlenül attól, hogy milyen hosszú ideig figyeljük, a bolygót mindig pontosan ugyanazon a pályán látjuk mozogni. Ez a helyzet

azonban gyökeresen megváltozik; amikor egy harmadik égitest is megjelenik a színen, amikor mondjuk egy csillag és két bolygó vagy három csillag együttes mozgását vizsgáljuk. Ettől kezdve a mozgás többé nem lesz sem szabályos, sem pedig periodikus. A három test között kölcsönösen ható gravitációs erők nagysága és iránya folytonosan, bonyolult módon változik. Ennek eredményeképpen a rendszer energiája nem fog egyenletesen megoszlni a résztvevők között, még abban az esetben sem, ha három azonos tömegű testről van szó. Ehelyett bonyolult csere-bere kezdődik, amelyben hol az egyik, hol a másik test birtokolja a rendszer összes energiájának oroszlánrészét. Hosszú időszakot vizsgálva a rendszer mozgása tökéletesen rendezetlennek tűnik, olyannyira, hogy a gravitációs dinamika háromtest-problémáját nyugodtan tekinthetjük az úgynevezett kaotikus viselkedésű rendszerek iskolapéldájának. Előfordulhat, hogy a három égitest közül kettő „összefog” és a rendelkezésre álló energiából olyan hatalmas részt ad át a harmadiknak, hogy az egyszer és mindenkorra kirepül a rendszerből, mint kő a parittyából. Innen ered a jelenség „gravitációs csúzi” elnevezése.

A parittyahatás kidobhat egyes csillagokat a csillaghalmazokból, de esetleg magukból a galaxisokból is. Valamikor a nagyon távoli jövőben a halott csillagok, a bolygók és a fekete lyukak legnagyobb része ilyen módon kikerül a galaxisokból az intergalaktikus térbe, ahol esetleg összetalálkozhat egy másik, ugyancsak szétszóródófélben lévő galaxissal, vagy ha nem, akkor mindörökké

magányosan kóborol az óriási és egyre táguló, sötét űrben. A folyamat azonban lassú, a felvázolt, szétszóródott állapot eléréséhez a Világegyetem mai koránál milliárdszor hosszabb időre lenne szükség. Az égitestek szét nem szóródó néhány százaléka a galaxisok középpontja felé vándorol, ahol óriás fekete lyukakká egyesülnek.

Amint arra az 5. fejezetben már kitértünk, a csillagászok meglehetősen szilárd bizonyítékokkal rendelkeznek arra vonatkozóan, hogy egyes galaxisok középpontjában már jelenleg is hatalmas fekete lyukak tanyáznak, amelyek mohón felhabzsolják a körülöttük örvénylő gázt, aminek eredményeképpen óriási mennyiségű energia szabadul fel. Idővel minden galaxisban beköszönt az őrjöngő zabálásnak ez a korszaka, amely mindaddig tart, amíg a fekete lyuk a körülötte található összes anyagot magába nem szívja vagy messzire nem taszítja. Az utóbbi végül ismét visszahullhat a galaxisba, vagy beleolvadhat az egyre apadó intergalaktikus gázfelhőkbe. A jóllakott fekete lyuk ezután nyugton marad, legfeljebb csak néha lesz alkalma bekapni egy-egy kósza neutroncsillagot vagy odavetődő kisebb fekete lyukat. Mindez azonban még mindig nem jelenti a fekete lyukak történetének a végét. 1974-ben Stephen Hawking ugyanis felfedezte, hogy a fekete lyukak nem tökéletesen feketék, hanem valami roppant gyenge hősugárzást azért képesek kibocsátani.

A Hawking-jelenséget csak a kvantumtérelmélet segítségével tudjuk kellő mélységben megérteni. A mezők kvantumelmélete a fizika egyik igen nehéz területe, amelyet korábban a felfűvődő Világegyetem elméletével

kapcsolatban már érintettünk. Emlékezzünk vissza arra, hogy a kvantumelmélet kulcsfontosságú tétele a Heisenberg-féle határozatlansági reláció, amelynek értelmében a kvantumfizika törvényszerűségeinek engedelmeskedő elemi részecskék tulajdonságai soha nem vesznek fel élesen meghatározott értéket. A fotonnak vagy az elektronnak például nem lehet egy pontosan meghatározott pillanatban pontosan megadni az energiáját. Tulajdonképpen az elemi részecskék energiát „kölcönözhetnek”, amit azután a lehető leghamarabb visszafizetnek.

Amint azt a 3. fejezetben említettük, az energia bizonytalanságának néhány furcsa következménye van, például az, hogy a látszólag üres térben roppant számban vannak jelen a nagyon rövid élettartamú, úgynevezett virtuális elemi részecskék. Ez elvezet a „kvantumfizikai vákuum” különös fogalmához. Ez a vákuum egyáltalán nem üres és közömbös, hanem állandóan a virtuális részecskék tömege kavargog benne. Bár a virtuális részecskék nyüzsgését nem vesszük észre, annak lehetnek bizonyos fizikai hatásai. Az egyik ilyen jelenség akkor következik be, ha a vákuum normális működését gravitációs tér jelenléte zavarja meg.

A virtuális részecskékkel kapcsolatos nagyon különleges események játszódhatnak le például a fekete lyukak eseményhorizontjának közelében. Emlékezzünk vissza arra, hogy a virtuális részecskék nagyon rövid ideig, kölcsönvett energiából biztosítják létezésüket, majd miután a kölcsönt törlesztik, kénytelenek eltűnni. Ha a létezése

számára rendelkezésre álló felettébb rövid idő alatt a virtuális részecske valamilyen külső forrásból elegendő energiára képes szert tenni, akkor a kölcsönt ennek a terhére tudja visszaadni. Ebben az esetben semmi sem kényszeríti a részecskét arra, hogy a kölcsön törlesztése pillanatában megszűnjék létezni. Ezen jótétemény eredményeképpen tehát a virtuális részecske reális, valódi részecskévé válik, szert téve ezzel a többé-kevésbé tartós létezés lehetőségére.

Hawking szerint a tartozások ilyen jóindulatú törlése következik be a fekete lyukak közelében. Ebben az esetben a virtuális részecskék számára a szükséges energiát biztosító jótévő nem más, mint a fekete lyuk gravitációs tere. A dolgok a következőképpen történnek: A virtuális részecskék általában ellentétes irányba mozgó párok formájában keletkeznek. Képzeld el az újonnan keletkezett részecskék ilyen párját közvetlenül az eseményhorizonton kívül. Tételezzük fel olyannak a részecskék mozgását, hogy az egyik közülük az eseményhorizonton keresztül beleesik a fekete lyukba. Mozgása közben óriás mennyiségű energiát vesz fel a fekete lyuk roppant gravitációs teréből. Hawking felismerte, hogy ez az energialökés elegendő ahhoz, hogy „az egész kölcsönt visszafizesse”, méghozzá nem csak a befelé eső részecske saját kölcsönét, hanem kifelé repülő, vele együtt keletkezett társáét is, amely továbbra is az eseményhorizonton kívül marad. Így mindketten valódi részecskékké válnak.^[49] A kívül maradott részecske sorsa bizonytalan. Lehetséges, hogy végső soron az is a fekete

lyukban végzi, de ugyanígy az is előfordulhat, hogy nagy sebességgel kirepülve örökre elmenekül a fekete lyuk fenyegető közelségéből. Hawking jóslata szerint tehát léteznie kell az így megszökő részecskék folyamatos, a fekete lyuktól kifelé irányuló áramlásának. Ezt nevezzük Hawking-sugárzásnak.

A Hawking-jelenségnek a mikroszkopikus fekete lyukak esetében kell a legerősebbnek lennie. Minthogy egy virtuális elektron például közönséges körülmények között legfeljebb 10^{-11} centimétert tud megtenni, mielőtt az energiakölcsönt vissza kellene szolgáltatnia, ezért csak az ennél kisebb méretű (azaz gyakorlatilag atommagnyi) fekete lyukak képesek hatékonyan létrehozni az elektronok kifelé irányuló áramlását. Ha a fekete lyuk ennél nagyobb, akkor a virtuális elektronok legtöbbször számára nem áll elegendő idő rendelkezésre ahhoz, hogy átjussanak az eseményhorizonton, még mielőtt törleszteniük kell az energiakölcsönt.

Az a távolság, amelyet egy virtuális részecske meg tud tenni, élettartamától függ. Ezt viszont a Heisenberg-féle határozatlansági reláció értelmében az energiakölcsön nagysága határozza meg. Minél nagyobb az energiakölcsön, annál rövidebb a részecske élettartama. Az energiakölcsön legnagyobb részét a részecske nyugalmi tömegének energia-egyenértéke teszi ki. Az elektron esetében a kölcsönnek legalább akkorának kell lennie, mint amekkora az elektron nyugalmi tömege. Nagyobb nyugalmi tömegű részecske, például proton,

esetén az energiakölcsön nagyobb, ezért a virtuális részecske élettartama rövidebb, tehát csak rövidebb utat tud megtenni. Eszerint a Hawking-jelenség révén protonok keletkezéséhez még az atommagoknál is kisebb fekete lyukakra van szükség. Ugyanakkor viszont az elektronnál kisebb nyugalmi tömegű részecskék, például a neutrínók a atommagoknál nagyobb fekete lyukak környezetében is létrejöhetnek. Még az egy naptömegű fekete lyuk is képes a Hawking-hatással fotonok és valószínűleg neutrínók áramát létrehozni, bár ezekben az esetekben az áramlás nagyon bányadt.

A „bányadt” kifejezés használata ebben az esetben egyáltalán nem túlzás. Hawking megállapította, hogy a fekete lyuk által keltett sugárzás energiaspektruma ugyanolyan, mint a feketetest-sugárzásé, ezért az egyik lehetőség a Hawking-sugárzás jellemzésére a hőmérsékletének megadása. Atommag méretű, vagyis mintegy 10^{-13} centiméter átmérőjű fekete lyuk hőmérséklete nagyon magas, mintegy tízmilliárd fok. Ezzel szemben az egy naptömegű fekete lyuk, melynek több, mint egy kilométer az átmérője, olyan sugárzást bocsát ki, amelynek hőmérséklete nem egészen egy tízmilliomod fokkal van csak az abszolút nulla fok fölött.^[50] Az egész objektum által kibocsátott Hawking-sugárzás teljesítménye nem éri el a 10^{-27} wattot.

A Hawking-jelenség egyik furcsasága az, hogy a sugárzás hőmérséklete annál nagyobb, minél kisebb a fekete lyuk tömege. Ez azt jelenti, hogy a kicsiny fekete lyukak

forróbbak a nagyoknál. Mivel a fekete lyukak a Hawking-sugárzás révén energiát veszítenek, eközben összezsugorodnak. Következésképpen ettől forróbbak lesznek és intenzívebben sugároznak. A folyamat tehát eredendően instabil és mindenképpen megszalad, azaz a fekete lyuk egyre fokozódó tempóban sugároz és zsugorodik.^[51]

A Hawking-jelenség előrejelzése szerint tehát a fekete lyuk egyszerre csak egy heves sugárzáslökés kíséretében egyszerűen szertefoszlik. Élete utolsó pillanatai roppant látványosak, hiszen egy óriási atombomba robbanásához hasonló módon erőteljes, villanásszerű hősugárzást észlelünk, majd ezt követően – az égvilágon semmit. Legalábbis az elmélet erre enged következtetni. Egyes fizikusok azonban nem túlságosan boldogok attól a lehetőségtől, hogy anyagi objektumok fekete lyukká válva összeomolhatnak, majd hősugárzáson kívül semmi egyebet nem hagyva hátra, eltűnhetnek. Aggodalmukra az ad okot, hogy eszerint két, eredetileg különböző objektum elmúlása ugyanolyan hősugárzást eredményez, anélkül, hogy az bármiféle információt tartalmazna az eredeti testekre vonatkozóan. A dolgok ilyen formában történő megszűnése megsérti az oly nagy tisztelettel övezett megmaradási törvények mindegyikét. A másik lehetőség szerint az eltűnő fekete lyuk után mégiscsak visszamarad valamilyen apró maradvány, amely valamilyen formában óriási mennyiségű információt tartalmaz. Bárhogy is történjék, annyi mindenestre bizonyos, hogy a fekete lyuk tömegének túlnyomó többsége hő és fény formájában szétsugárzódik.

A Hawking-folyamat csaknem felfoghatatlanul lassú. Az egy naptömegű fekete lyuk eltűnése 10^{66} évig tart, míg a szupernagy tömegű fekete lyukak esetében ugyanehhez nem kevesebb, mint 10^{93} évre van szükség.^[52] Ráadásul a folyamat csak akkor képes megindulni, ha a kozmikus háttérsugárzás hőmérséklete alacsonyabb a fekete lyuk hőmérsékleténél, ellenkező esetben ugyanis a környezetből több hő áramlik a fekete lyukba, mint amennyit a Hawking-jelenség révén a fekete lyuk kisugároz. Az ősrobbanás maradványaként a Világegyetemet kitöltő háttérsugárzás hőmérséklete jelenleg körülbelül három fokkal magasabb az abszolút nulla foknál, ami azt jelenti, hogy még 10^{22} évre van szükség ahhoz, hogy a sugárzás hőmérséklete olyannyira lehűljön, hogy az egy naptömegű fekete lyukak esetében is megindulhasson a Hawking-jelenség alapján az energia nettó kisugárzása. A Hawking-folyamat tehát nem tartozik azon fizikai jelenségek közé, amelyek esetében elegendő ha csak ülünk, és várjuk a bekövetkeztét.

Az örökkévalóság azonban hosszú idő, a végtelen hosszú idő alatt pedig az összes fekete lyuk – még a szupernagy tömegűek is – valószínűleg eltűnik. Az örök kozmikus éjszaka koromfekete sötétjében a haláltusájukat jelentő rövid fényfelvillanás múlandó emléket állít a milliárdnyi csillag hajdanvolt ragyogásának.

Mi történhet még ezután?

Nem minden anyag hull bele a fekete lyukakba. Gondoljunk csak azokra a neutroncsillagokra, fekete törpékre és kószá

bolygókra, amelyek magányosan vándorolnak a galaxisok közötti végtelen térben, nem is beszélve arról a híg gázzal és ritka porral, amely soha nem tömörült össze csillagokká, valamint a csillagok környezetét kísérő kisbolygókról, üstökösökről, meteorokról és más, alaktalan sziklatömegekről. Vajon ezek is örökké létezni fognak?

Itt már egy elméleti problémával találjuk szembe magunkat. Tudnunk kellene, hogy a közönséges anyag, vagyis az, amelyből Ön is, én is, meg az egész Föld is felépül, tökéletesen stabil képződmény-e. A jövőbe nyíló ajtó végső kulcsát ismét csak a kvantummechanikában kell keresnünk. Bár a kvantummechanikai folyamatok általában az atomokkal és az elemi részecskékkel állnak kapcsolatban, a kvantumfizika törvényszerűségeinek minden létezőre érvényesnek kell lenniük, közöttük természetesen a makroszkopikus testekre is. A nagy tömegű testek esetében a kvantummechanikai hatások rendkívül kicsik, de hosszú idő leforgása alatt mégis jelentős szerephez juthatnak.

A kvantumfizika birodalmának jelképe a bizonytalanság és a valószínűség. A kvantumvilágban semmi sem bizonyos, kivéve a fogadás esélyeit. Ez azt jelenti, hogy ha valamely folyamat megvalósulása elvileg egyáltalán lehetséges, és elegendő idő áll rendelkezésre, akkor az a folyamat végbemegy, bármilyen valószínűtlen is. Ennek a törvénynek a működését például a radioaktivitás esetében figyelhetjük meg. Az urán 238-as izotópjának atommagja csaknem tökéletesen stabil. Nagyon csekély valószínűséggel azonban képes kibocsátani egy alfa részecskét, és ezáltal

átalakul tórium maggá. Pontosabban fogalmazva, nagyon kicsiny annak a valószínűsége, hogy egységnyi idő alatt egy adott uránmag elbomlik. Átlagosan ez négy és fél milliárd évenként következik be, de mivel a fizika törvényei megkövetelik, hogy az egységnyi időre vonatkozó valószínűség állandó legyen, ezért egy *kiszemelt* uránmag végül valamikor egészen bizonyosan elbomlik.

A radioaktív alfa bomlás azért következik be, mert az urán atommagját felépítő protonok és neutronok magon belül elfoglalt helyzetében kis bizonytalanság tapasztalható. Hasonlóan ahhoz, ahogy egy szilárd anyagban lévő atom helyzetének is van némi, nagyon csekély, de mégis nullától különböző bizonytalansága. A gyémántot alkotó valamely szénatomnak például jól meghatározott helye van a gyémánt kristályrácsában. Valamikor a nagyon távoli jövőben, amikor a Világegyetem hőmérséklete közel lesz az abszolút nulla fokhoz, az atom rendkívül stabilan az előírt helyen fog tartózkodni. Mindig van azonban az atom helyzetének egy parányi bizonytalansága. Ebből következően annak is van némi – bár roppant csekély – valószínűsége, hogy az atom véletlenszerűen elhagyja a helyét és eltűnik a kristályrácsból. Az ilyesféle elvándorlás lehetősége miatt semmi sem igazán szilárd, még például a köznapi fogalmaink szerint olyannyira szilárdnak tartott gyémánt sem. Ehelyett a látszólag szilárd anyagok is rendkívül viszkózus folyadék módjára viselkednek a kvantummechanikai hatások következtében, és nagyon hosszú idő leforgása alatt elfolyhatnak. Freeman Dyson amerikai elméleti fizikus becslése szerint 10^{65} év leforgása

alatt nem csak a leggondosabban megcsiszolt gyémántok válnak gömbölyű gyöngyszemmé, hanem ehhez hasonlóan, minden szikladarab sima golyóvá formálódik.

A hely bizonytalansága akár atommagátalakulásokat is eredményezhet. Tekintsünk például két, egymással szomszédos szénatomot a gyémánt kristályrácsában. Az egyik atom véletlenszerű elmozdulásai azt eredményezik, hogy rendkívül ritkán bár, de néha a szomszédos atommag közvetlen közelében is megjelenhet. Az atommagok közötti vonzóerő hatására ilyenkor a két atommag egyetlen magnézium maggá olvadhat össze. A magfúzióhoz tehát nincs feltétlenül szükség magas hőmérsékletre, *lehetséges* a hidegfúzió is, ehhez azonban döbbenetesen hosszú időre van szükség. Dyson becslése szerint 10^{1500} év (vagyis egy 1-es, amelyet ezerötszáz darab nulla követ) kellene ahhoz, hogy a Világegyetem minden anyaga ilyen módon átalakuljon a nukleárisan legstabilabb elem, a vas atommagjává.

Előfordulhat azonban, hogy az atomos anyag más, az előzőeknél gyorsabb, bár még így is hihetetlenül lassú átalakulási folyamatok következtében nem éli túl ezt a hosszú tortúrát. Dyson becslésében feltételezi, hogy a protonok (és az atommagokban kötött neutronok) abszolút stabilak. Más szavakkal, ha egy proton nem hull bele egy fekete lyukba és más sem zavarja meg a létezését, akkor mindörökké proton marad. Bizonyosak lehetünk-e azonban abban, hogy ez valóban így van? Amikor egyetemre jártam, még senki sem vonta kétségbe a proton stabilitását. A

proton maga volt az örökkévalóság. Feltételeztük, hogy ez a tökéletesen stabil elemi részecske. A lelkünk mélyén azonban mindig ott motoszkált némi kétely eziránt. A problémát a pozitron nevű elemi részecske létezése okozza, amely részecske minden tulajdonsága tökéletesen azonos az elektronnal, azzal az egyetlen különbséggel, hogy elektromos töltése nem negatív, hanem a protonéhoz hasonlóan pozitív. A pozitronok tömege sokkal kisebb, mint a protonoké, ezért ha minden más körülmény azonos, a protonok szívesen alakulnak át pozitronokká: a fizika egyik alapelve értelmében ugyanis a fizikai rendszerek a lehető legalacsonyabb energiájú állapotba törekszenek, márpedig a kis tömeg alacsony energiát jelent. Ma még senki sem tudja megmondani, hogy a protonok miért nem fogják magukat és alakulnak át pozitronokká, ezért a fizikusok egyszerűen feltételezték, hogy létezik valamilyen, egyelőre ismeretlen természeti törvény, amely megtiltja ezt az átalakulást.^[53] Egészen a közelmúltig nem igazán értettük a jelenség lényegét, az 1970-es évek végén azonban lassan kezdett tisztázódni, hogy milyen módon készítetik a magerők az elemi részecskéket arra, hogy kvantummechanikai úton átalakuljanak egymásba. A legújabb elméletekben magától értetődő helye van a protonbomlást megtiltó törvénynek, a legtöbb elmélet előrejelzése szerint azonban ez a törvény nem száz százalékos hatásfokkal működik. Nagyon kis valószínűséggel bár, de az elméletek megengedik, hogy a proton átalakuljon pozitronná. A részecskék tömege közötti különbség részben egy elektromosan semleges részecske,

például egy úgynevezett pion formájában jelenik meg, részben pedig mozgási energiává alakul (vagyis a bomlástermékek nagy sebességgel mozognának).

Az egyik legegyszerűbb elméleti modell szerint a proton bomlásához átlagosan 10^{28} évre van szükség, ami milliárdszor milliárdszor hosszabb, mint a Világegyetem jelenlegi életkora. Azt gondolhatjuk tehát, hogy a protonbomlás kérdése tisztán elméleti jelentőségű. Ne feledkezzünk meg azonban arról, hogy a protonbomlás is kvantummechanikai folyamat, ezért eredendően statisztikus jelleggel következik be a természetben. A 10^{28} éves időtartamot tehát előrejelzett *átlagos* élettartamnak kell tekinteni, nem pedig minden egyes proton *tényleges* élettartamának. Feltéve, hogy elegendő számú proton áll rendelkezésünkre, jó esélyünk van arra, hogy valamelyik éppen a szemünk láttára bomlik el. Ha tehát összeszedünk 10^{28} darab protont, akkor arr számíthatunk, hogy évente egy protonbomlásnak lehetünk szemtanúi. Márpedig 10^{28} darab proton nem is olyan sok, alig tíz kilogramm anyagban megtalálható.

Ahogy az lenni szokott, a proton ilyen hosszú élettartamát kísérleti eredmények alapján már azt megelőzően kizárták, hogy az elmélet népszerű lett. Az elmélet különböző változatai azonban hosszabb élettartamokat adtak, 10^{30} vagy 10^{32} , sőt, esetleg még hosszabbat (egyes elméletek nem kevesebb, mint 10^{80} éves élettartamot jósolnak). Az alacsonyabb értékek a kísérleti kimutathatóság alsó határa közelében vannak. A 10^{32} éves bomlási idő például azt

jelentené, hogy egész életünk folyamán testünknek egy, vagy legfeljebb két protonja bomlik el. De vajon hogyan lehet detektálni az ilyen ritka eseményeket?

Az alkalmazott módszer az, hogy összegyűjtenek sok ezer tonna anyagot, majd hónapokon keresztül figyelik és érzékeny detektorokkal próbálják elcsípni a protonbomlás termékeit. Sajnos a protonbomlásban keletkező részecskék keresése kicsit arra emlékeztet, mintha tűt kellene a szénakazalban megkeresnünk, mivel a protonbomlás termékei elvegyülnek a kozmikus sugárzás által keltett hasonló bomlási események termékei között. A Földet folyamatosan bombázzák a világűrből érkező nagy energiájú elemi részecskék, amelyek létrehozzák a törmelék elemi részecskék örökösen jelenlévő háttérét. Ezek zavaró hatását úgy próbálják csökkenteni, hogy a kísérleteket mélyen a föld alatt végzik.

Az egyik ilyen kísérleti berendezést csaknem egy kilométer mélyen a föld alatt; az Ohio állambeli Cleveland közelében, egy sóbányában állították fel. A berendezés 10 000 tonna különleges tisztaságú vizet tartalmaz egy kocka alakú tartályban, amelyet detektorok vesznek körül. Azért választották a vizet céltárgynak, mert átlátszósága lehetővé teszi, hogy a detektorok a lehető legtöbb protont tudják egyszerre „szemmel tartani”. A kísérlet alap gondolata a következő: ha egy proton az elfogadott elméletek által előrejelzett módon elbomlik, akkor az, amint már említettük, egy elektromosan semleges piont, valamint egy pozitront hoz létre. A pion gyorsan elbomlik, rendszerint két nagyon nagy energiájú fotonra, azaz gamma-sugárzássá alakul.

Végül a gamma-sugárzás fotonjai nekiütköznek vízben lévő atommagoknak, aminek során mindegyik egy szintén nagy energiájú elektron-pozitron párt hoz létre. Valójában ezek a másodlagos elektronok és pozitronok olyan nagy energiájúak, hogy még a vízben is közel fénysebességgel mozognak.

A fény a légüres térben 300 000 kilométert tesz meg másodpercenként. Ez egyúttal az a létező legnagyobb sebesség, amelylyel bármely részecske mozogni képes. A vízben a fény lassabban terjed, mint vákuumban, körülbelül 230 000 kilométeres másodpercenkénti sebességgel. Ez azt jelenti, hogy a gyors, közel 300 000 kilométeres másodpercenkénti sebességgel haladó elemi részecskék a vízben gyorsabban mozognak, mint a vízben mért fénysebesség. Ha egy repülőgép átlépi a hangsebességet, hangrobbanás alakul ki. Hasonlóképpen, ha egy elemi részecske gyorsabban mozog valamely közegben, mint az abban a közegben érvényes fénysebesség, akkor a közegben elektromágneses lökéshullám keletkezik, amelyet orosz felfedezőjéről Cserenkov-sugárzásnak nevezünk. Az ohioi kísérletezők tehát egy sor fényérzékeny detektort helyeztek el a tartály mellett, amelyek a Cserenkov-felvillanásokat keresik. Annak érdekében, hogy meg tudják különböztetni a protonbomlás hatását a kozmikus eredetű neutrínók és más eredetű részecskék okozta hamis felvillanásoktól, a kísérletezők egyértelmű bizonyítékokat keresnek, ezért egymásnak háttal fordítva a detektorokat, egyidejű Cserenkov-felvillanásokat keresnek, amelyeket az egymással ellentétes irányba mozgó elektron

illetve pozitron kelt.

Sajnos több évi működés ellenére az ohioi berendezésnek mindeddig nem sikerült meggyőző bizonyítékot szolgáltatnia a protonbomlás mellett, bár mint a 4. fejezetben már említettük, az 1987A szupernóvarobbanásból származó neutrínókat viszont sikerült felfognia. (A tudományos kutatásban gyakran megesik, hogy miközben egyvalamit hiába keresünk, helyette véletlenül valami egészen más, váratlan felfedezést sikerül tenni.) E sorok megírásáig másutt és más elvek alapján működő kísérleti berendezésekkel sem sikerült a protonbomlás mellett szóló bizonyítékot találni. Ez esetleg azt jelentheti, hogy a proton nem bomlik el. Másrészt viszont azt is jelentheti, hogy a proton élettartama meghaladja a 1032 évet. Az ennél lassúbb bomlást a jelenlegi kísérleti berendezésekkel nem lehet megfigyelni, ezért a protonbomlás kérdésében valószínűleg csak a közeljövő tudja kimondani a végső ítéletet.

A protonbomlás kutatását nagyban elősegítette a nagy egyesített elméletek kutatása. Az elméleti fizikusok azt tűzték ki célul, hogy egységes elméletben szeretnék leírni az erős magerőt (amely az atommagban összetartja a protonokat és a neutronokat), a gyenge magerőt (amely a radioaktív béta bomlásért felelős), valamint az elektromágnességet. Az egyesített elmélet szerint a protonbomlás a fenti erők pillanatnyi összekeveredése eredményeképpen következne be. Elképzelhető persze az is, hogy a természeti kölcsönhatások nagy egyesítésére irányuló próbálkozások hiábavalónak bizonyulnak, ez

azonban még önmagában nem zárja ki a protonbomlás megvalósulásának elméleti lehetőségét, valamilyen más úton, amely esetleg a negyedik alapvető kölcsönhatással, a gravitációval is kapcsolatban áll.

Ha meg akarjuk érteni, miképpen tudja a gravitáció előidézni a protonbomlást, figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a proton nem valódi elemi részecske, abban az értelemben, hogy nem pontszerű. A proton valójában három kisebb, kvarkoknak nevezett részecskéből épül fel. Az idő legnagyobb részében a proton átmérője körülbelül egy tízbilliomod centiméter, ami a kvarkok közötti átlagos távolságnak felel meg. A kvarkok azonban nincsenek nyugalomban, hanem a kvantummechanikai bizonytalanság következtében állandóan változtatják helyüket a protonon belül. Időről időre két kvark nagyon megközelíti egymást. Még ritkábban az is előfordulhat, hogy mind a három kvark rendkívül közel található egymáshoz. Nincs kizárva, hogy a kvarkok *olyannyira* megközelítik egymást, hogy a közöttük ható, egyébként elhanyagolhatóan csekély gravitációs erő minden egyéb kölcsönhatást felülmúl. Ha ez bekövetkezik, a kvarkok egymásba zuhannak és mikroszkopikus fekete lyukat hoznak létre. A proton tehát lényegében a saját súlya alatt omlott össze, kihasználva az alagúthatásnak nevezett kvantummechanikai jelenséget. A folyamat eredményeképpen keletkező parányi fekete lyuk rendkívül instabil – emlékezzünk csak vissza a Hawking-folyamatról mondottakra –, ezért többé-kevésbé pillanatszerűen eltűnik, csupán egy pozitront hagyva hátra maga után. Ezt a bomlási útvonalat feltételezve a proton élettartamára

vonatkozó becslések nagyon bizonytalanok, 10^{45} év és a már-már hihetetlenül hangzó 10^{220} év közötti eredményt adnak.

Ha a protonok ilyen hosszú idő elteltével valóban elbomlanak, akkor ennek roppant mélyreható következményei vannak a Világegyetem távoli jövőjére vonatkozóan. Eszerint ugyanis minden anyag instabil lenne, és így végső soron eltűnne. Azok a szilárd égitestek, mint például a bolygók, amelyek elkerülték hogy belezuhanjanak egy fekete lyukba, sem lehetnének örökéletűek. Ehelyett fokozatosan, lassan elpárolognának. Ha a proton élettartama mondjuk 10^{32} év, akkor ebből az következik, hogy a Föld másodpercenként egybillió protont veszít el. Ilyen ütemű anyagvesztést feltételezve, kiszámítható, hogy bolygónk anyaga 10^{33} év alatt gyakorlatilag elfogy, feltéve persze, hogy valamilyen egyéb behatás nem vet véget már sokkal hamarabb a létezésének.

Ezzel a folyamattal szemben a neutroncsillagokat sem védi meg semmi. A neutronok szintén három kvarkból állnak, és a protonok kimúlását okozókhöz hasonló folyamatok révén ugyancsak át tudnak alakulni könnyebb részecskékké. (A szabad neutronok minden esetben instabilak, és átlagosan tizenöt perc elteltével elbomlanak.) A fehér törpék, a kőzetek, a por, az üstökösök és a csillagászat minden egyéb szereplője megadja magát az idők végezetének. Az a 10^{48} tonna közönséges anyag, amelyet jelenleg a Világegyetemben szanaszét szórva meg tudunk figyelni, maradéktalanul eltűnik, mert vagy fekete lyukakba hull, vagy

a lassú nukleáris bomlás áldozatává válik.

A protonok és a neutronok elbomlásakor természetesen különféle bomlástermékek jönnek létre, tehát a Világegyetem az atomos anyagot felépítő részecskék eltűnése után sem marad teljesen üres. Amint azt például már említettük, a protonbomlás egyik valószínű útjának végtermékeként egy pozitron és egy semleges pion keletkezik. A pion rendkívül instabil részecske, ezért azonnal két fotonra vagy néha egy elektron-pozitron párra bomlik. Bármely eset következzen is be, a Világegyetemben a protonbomlás eredményeképpen fokozatosan felgyülemlelenek a pozitronok. A fizikusok véleménye szerint a pozitív töltésű részecskék (melyek legnagyobb része jelenleg proton) száma az egész Világegyetemben megegyezik a negatív töltésű elemi részecskék (főként elektronok) számával. Ebből az következik, hogy ha minden proton elbomlik, akkor egyenlő számban lesznek jelen a pozitronok és az elektronok. A pozitron viszont az elektron úgynevezett antirészecskéje, ezért ha egy elektron és egy pozitron találkozik, anyaguk szétsugárzódik, a részecskék annihilálódnak. A laboratóriumban is jól tanulmányozható folyamat eredményeképpen fotonok formájában energia szabadul fel.

Számításokat végeztek arra vonatkozóan is, hogy vajon a Világegyetemben a távoli jövőben megmaradó pozitronok és elektronok maradéktalanul annihilálják-e egymást, vagy egy részük megmarad. Az annihiláció folyamata nem hirtelen megy végbe. Az elektron és a pozitron először egy

pozitroniumnak nevezett „mini-atom”-ot hoz létre, amelyben a két részecske a kölcsönös elektrosztatikus vonzásuk hatására a közös tömegközéppontjuk körül kezd keringeni. Ezután a részecskék spirális pályán egyre jobban megközelítik egymást, míg végül megsemmisülnek. Az, hogy a folyamat mennyi idő alatt játszódik le, azaz mennyi idő alatt közelítik meg egymást a spiráló részecskék, attól függ, hogy milyen távolságban voltak egymástól, amikor a pozitronium „atommá” összekapcsolódtak. Laboratóriumban az annihilációs folyamat a másodperc törtrészeit tart csak, a világűrben azonban, egyéb zavaró hatásoktól szinte mentesen hatalmas sugarú pályán is körözni kezhetnek egymás körül a részecskék. Egyes becslések szerint 10^{71} évre lenne szükség ahhoz, hogy az elektronok és pozitronok túlnyomó része pozitroniummá kapcsolódjék össze, azonban egymás körüli pályáik átmérője sok billió fényév lenne. A részecskék csigalassúsággal, egymillió évenként egy centimétert megtéve vándorolnának egymás körül. Ilyen tempóban az elektronok és a pozitronok csak meghökkentően hosszú idő, 10^{116} év múlva érnek spirális pályájuk végére. Mindamellet a pozitronium-atomot alkotó két részecske sorsa már abban a pillanatban megpecsételődött, amikor a pozitronium létrejött.

Különös, de nem minden elektronnak és pozitronnak kell annihilálnia. Miközben az elektronok és a pozitronok egymást keresik, sűrűségük egyre kisebb lesz, egyrészt mert a folyamatos annihiláció következtében számuk

ténylegesen csökken másrészt mert a Világegyetem folyamatos tágulása miatt a megmaradók mind távolabb kerülnek egymástól. Az idő múlásával a pozitroniumok egyre nagyobb nehézségek árán tudnak csak létrejönni. Ez azt jelenti, hogy a megmaradó anyag ugyan egyre fogy, de mind lassabb ütemben, ezért soha nem tud elfogyjni teljesen. Valahol mindig találhatóak lesznek páratlan elektronok és páratlan pozitronok, még ha minden ilyen részecske az egyre nagyobbá és üresebbé váló világűrben bujkál is.

Ezek után felvázolhatjuk, milyen lesz a Világegyetem azt követően, hogy mindezek a hihetetlenül lassú folyamatok végbementek. Mindenek előtt jelen lesz az ősrobbanásból visszamaradt anyag, amely mindvégig jelen volt a Világegyetem története során. Ez fotonokból és neutrínókból áll, de ezen kívül jelen lehetnek benne valamilyen általunk ma még ismeretlen, rendkívül stabil részecskék. Mindezen részecskék energiája a Világegyetem tágulása következtében egyre csökken, egészen addig, amíg tökéletesen elhanyagolható háttérre nem válnak. A Világegyetem közösleges anyaga már mind eltűnt. A fekete lyukak elpárologtak. A fekete lyukakban koncentrálnódó tömeg legnagyobb része fotonokká alakult, bár az anyag egy része neutrínók formájában kerül ki a fekete lyukakból, végül egy elenyészően csekély hányad, amely a fekete lyukak megszűnésének utolsó, robbanásszerű hevességgel lezajló szakaszában szabadul ki a gravitációs rabságból, elektronok, protonok, neutronok és nehezebb részecskék

formájában lesz jelen. A nehezebb részecskék kivétel nélkül gyorsan elbomlanak. A neutronok és a protonok sokkal lassabban bomlanak el és csak elektronokat és pozitronokat tesznek hozzá a ma látható anyag egyéb maradékához.

A nagyon távoli jövő Világegyeteme tehát egy fotonokból, neutrínókból, valamint egyre fogyatkozó számú elektronból és pozitronból álló nagyon híg leves lesz, amelynek alkotóelemei mind távolabb kerülnek egymástól. Mai ismereteink szerint ezután már semmiféle alapvető fizikai folyamat nem fog végbemenni. Semmiféle figyelemreméltó esemény nem fogja már megzavarni a Világegyetem sivár tisztaságát, a Világegyetem akadálytalanul halad az örök élet felé vezető úton, bár ebben az esetben talán szerencsésebb lenne az örök halál kifejezés.^[54]

A hideg, sötét, jellegtelen és a szinte-tökéletes-semmi Világegyetem lehangoló képe, amelyet a modern kozmológia felvázol, talán a tizenkilencedik századi fizika hőhalál elméletével mutatja a legtöbb rokonságot. Az az időtartam, amely alatt a Világegyetem eléri ezt a degenerált állapotot, minden emberi képzeletet meghalad. Mégis, a rendelkezésre álló végtelenül hosszú időnek ez csak végtelenül kicsiny töredéke. Amint már említettük, az örökkévalóság soká tart.

Bár a Világegyetem szétzilálódása emberi léptékkal mérve olyan hosszú ideig tart, hogy annak már szinte nincs is jelentősége számunkra, sokan mégis kíváncsian szokták megkérdezni, hogy mi történik az utódainkkal. Elkerülhetetlenül elpusztulnak abban a Világegyetemben,

amely lassan, de kíméletlenül megszűnik körülöttük? Feltéve, hogy a tudomány által a Világegyetem nagyon távoli jövőjére megjósolt nem túl ígéretes kép megfelel a valóságnak, úgy tűnik, hogy az élet bármely formájának el kell múlnia. A halál azonban nem ilyen egyszerű.

8. FEJEZET

Élet a lassuló világban

1972-ben a Római Klub *A növekedés határai* címmel komor előrejelzést tett közzé az emberiség jövőjére vonatkozóan. Számos küszöbön álló katasztrófát soroltak föl, ezek egyike szerint a világ fosszilis tüzelőanyag-készletei röpké néhány évtizeden belül kimerülnek. Az emberek megriadtak, az olaj ára magasba szökött és divatos téma lett az alternatív energiaforrások kutatása. Most a 90-es évek közepén járunk és egyelőre nyoma sincs annak, hogy a fosszilis tüzelőanyag-készletek a kimerülés határán járnának. Így aztán a riadalom helyét a nyugalmas megelégedettség vette át. Sajnos az egyszerű matematikai számítások mindennek ellenére azt mutatják, hogy egy véges erőforrást nem lehet soha nem csökkenő, véges tempóban az örökkévalóságig kiaknázni. Előbb vagy utóbb egészen biztosan beköszönt az energiaválság. Hasonló végkövetkeztetésre kell jutnunk a Föld népességét illetően is: az nem növekedhet minden határon túl. Egyes jeremiások úgy gondolják, hogy a ránk váró energia- és túlnépesedési válság miatt egyszer és mindenkorra

búcsút mondhatunk az emberiség létezésének. Nincs szükség azonban arra, hogy párhuzamot vonjunk a fosszilis tüzelőanyag-készletek kimerülése és a *Homo sapiens* kipusztulása között. Elképesztő bőségű energiaforrások vesznek körül bennünket, feltéve, hogy megvan bennünk az akarat és a képesség a kiaknázásukra. Legfigyelemreméltóbb a napfény, amely több energiát kínál, mint amennyi az emberiség egész szükséglete. Nehezebb problémának látszik az emberiség szaporodásának visszafogása, még mielőtt világméretű éhínség tizedelné meg sorainkat. Ehhez sokkal inkább társadalmi, gazdasági és politikai eredményekre van szükség, semmint tudományosakra. Mindenesetre, *ha* le tudjuk győzni a fosszilis üzemanyagok kimerülése miatt fellépő hiányt, és *ha* katasztrofális konfliktusok nélkül stabilizálni tudjuk a népességet, és *ha* az ökológiai és a kisbolygók becsapódásából származó katasztrófákat korlátozni tudjuk, akkor azt hiszem, hogy az emberiség sorsa felvirágozhat. Nincs olyan természeti törvény, amely lehetetlenné tenné fajunk örök életét.

Az előző fejezetekben bemutattam, hogyan fog emberi ésszel felfoghatatlanul hosszú idő alatt a lassú fizikai folyamatok következtében megváltozni a Világegyetem szerkezete, méghozzá általában a degeneráció irányába. Az emberiség (az ember definíciójától függően) legfeljebb ötmillió éve jelent meg a Világegyetem történelmének a színpadán, míg a civilizáció (úgyahogy) alig néhány ezer éves. A Föld még két vagy három *milliárd* éven keresztül

marad lakható, természetesen korlátozott számú lakosság részére. Ez az időtartam olyan óriási, hogy felülmúlja a képzeletet. Oly hatalmasnak tűnhet, hogy gyakorlatilag végtelennek tekinthető. Ugyanakkor láttuk, hogy még az egymilliárd év sem több egy villanásnál a nagyléptékű csillagászati és kozmológiai változások időskálájához képest. A Földhöz hasonló, az életnek otthont adó helyek *milliárdszor milliárd* évekig létezhetnek, bárhol a Tejútrendszerben.

Természetesen elképzélhetjük az utódainkat, akiknek ilyen elképesztően hosszú idő áll rendelkezésükre ahhoz, hogy fejlesszék úrkutatásukat, és sok egyéb technikai csodát is megvalósítsanak. Elég idő áll a rendelkezésükre, hogy elhagyják a Földet, még mielőtt a Nap, pecsenyévé süti őket. Lehetőségük lesz arra, hogy keressenek egy másik lakható bolygót, majd ha kell, megint újabbat, és így tovább. A világűr felé történő terjeszkedés közben a népesség lélekszáma ugyancsak nő. Megnyugtató-e vajon az a tudat, hogy a huszadik század túléléiséért folytatott harcunk végső soron nem hiábavaló?

A 2. fejezetben megemlítettem, hogy Bertrand Russell a termodinamika második főtételeinek következményei fölött érzett búskomorságában, tisztában lévén azzal a ténnyel, hogy a Naprendszer mindenképpen elpusztul, gyötrelmes gondolatait vetette papírra az emberi létezés kilátástalanságáról. Russell világosan érezte, hogy kozmikus lakóhelyünk nyilvánvalóan elkerülhetetlen pusztulása valami módon céltalanná, sőt, abszurdá teszi az emberi életet. Ez a nézete természetesen hozzájárult

ateizmusához is. Vajon jobban érezte volna magát Russell, ha tudta volna, hogy a fekete lyukak gravitációs energiája sokszorosan túléli a Napot, és kitart még évbiliókkal a Naprendszer teljes szétesését követően is? Valószínűleg nem. Minden bizonnyal nem az időtartam tényleges hossza számít, hanem az a gondolat, hogy a Világegyetem előbb vagy utóbb lakhatatlanná válik. Ez a perspektíva sok emberben azt az érzést kelti, hogy létezésünk céltalan.

A 7. fejezet végén a Világegyetem távoli jövőjéről olvasható leírás alapján feltételezhető, hogy ennél ellenségesebb és kevésbé egyhangú környezet aligha képzelhető el. Nem szabad azonban sovínisztának vagy pesszimistának lennünk. Az emberi lényeknek kétségkívül roppant keményen kellene küzdeniük, ha életben akarnának maradni egy elektronok és pozitronok híg leveséből álló Világegyetemben, a lényeges kérdés azonban egészen bizonyosan nem az, hogy a mi fajunk maga halhatatlan-e, hanem az, hogy késői *leszármazottaink* képesek lesznek-e a túlélésre. Márpedig késői leszármazottaink valószínűleg nem a mai értelemben vett emberi lények lesznek.

A *Homo sapiens*nek, azaz értelmes embernek nevezett faj a biológiai törzsfajlás eredményeképpen jelent meg a Földön. Saját tevékenységünk azonban hamarosan módosította az evolúció folyamatát. A természetes kiválogatódás irányításával beavatkoztunk ebbe a folyamatba. Egyre valószínűbbnek látszik a különféle mutációk mesterséges előállításának a lehetősége. Nemsokára képesek leszünk arra, hogy meghatározott fizikai és szellemi tulajdonságokkal rendelkező emberi

lényeket tervezzünk és állítsunk elő közvetlen génmanipulációval. Ezek a biotechnológiai lehetőségek a technikai civilizáció néhány évtizede során születtek. Képzeljük el, mi mindent érhet el a tudomány és a műszaki gyakorlat évezredek vagy évmilliók alatt.

Csak néhány évtizede képes az emberiség elhagyni bolygónkat és bejárni a világűrt. Az elkövetkező évmilliárdok során leszármazottaink elterjedhetnek a Földön kívül, az egész Naprendszerben, majd később a Tejútrendszer más csillagai környezetében. Sokan gyakran – tévesen – azt hiszik, hogy egy ilyen vállalkozás az örökkévalóságig tart. Ez azonban nem így van. A gyarmatosítás valószínűleg bolygóról bolygóra ugorva fog végbemenni. A gyarmatosítók egy néhány fényév távolságban lévő, megfelelőnek látszó bolygó kedvéért elhagyják a Földet. Ha a fényét megközelítő sebességgel tudnak haladni, akkor az utazás csupán néhány évig tart. Még ha leszármazottaink soha nem érnek el nagyobb sebességet, mint a fénysebesség 1 százaléka ami meglehetősen mérsékelt célkitűzés –, az utazás akkor is csak néhány évszázadig tart. Ismét további néhány évszázadot vesz igénybe a végleges megtelepedés a kiválasztott bolygón, ami után az eredeti gyarmatosítók leszármazottai arra gondolhatnak, hogy ők is elindítsák gyarmatosító expedíciójukat egy még távolabbi, megfelelőnek tűnő bolygó irányába. További néhány száz év múltán ezt az újabb bolygót is gyarmatosítják, és így tovább. Ugyanezzel a stratégiával hódították meg a polinézek is a Csendes-óceán középső részének

szigetvilágát.

A fény körülbelül százezer év alatt szeli keresztül a Tejútrendszert. Ha a fénysebesség 1 százalékaival haladunk, akkor ugyanez az utazás tízmillió évig tart. Ha útközben százezer bolygót gyarmatosítunk és mindegyiken két évszázadot vesz igénybe a megtelepedés, akkor ez mindössze megháromszorozza a Tejútrendszer gyarmatosításához szükséges időt. Csillagászati vagy akár geológiai léptékkel mérve azonban a harminc millió év igazán nem hosszú idő. A Nap körülbelül kétszáz millió év alatt kerüli meg egyszer a Tejútrendszer középpontját, az élet a Földön legalább tizenhét-szer ennyi ideje létezik. A Nap öregedése csak három-négy milliárd év múlva kezdi a Földet veszélyeztetni. Harminc millió év alatt tehát szinte alig valami változik meg. Arra a következtetésre juthatunk tehát, hogy leszármazottaink annak az időnek a törtrésze alatt gyarmatosíthatják a Tejútrendszert, mint amennyi időre a technikai civilizáció kialakulásához a Földön szükség volt.^[55]

Milyenek lesznek ezek a gyarmatosító leszármazottaink? Ha szabadon engedjük a fantáziánkat, feltételezhetjük, hogy a gyarmatosítók génjeit mesterségesen át fogják alakítani, hogy könnyebben alkalmazkodjanak a célbolygó fizikai viszonyaihoz. Vegyünk egy egyszerű példát! Ha egy a Földhöz hasonló bolygót fedeznénk fel az Epsilon Eridani körül, és megállapítanánk hogy légköre mindössze 10 százalék oxigént tartalmaz, akkor a gyarmatosítók szervezetét úgy lehet átalakítani, hogy több vörös vértestjük

legyen. Ha a célbolygó felszíni gravitációs gyorsulása nagyobb a földinél, akkor robusztusabb testfelépítést és erősebb csontokat írhatunk elő a gyarmatosítók számára. És így tovább.

Az utazás igényeinek kielégítése nem jelenthet gondot, és még akkor is megvalósítható, ha évszázadokat vesz igénybe. Az űrhajó óriási, önfenntartó bárkaként építhető meg, a tökéletesen zárt környezeti rendszer űrutazók generációinak tud életteret biztosítani. Megoldható az utazás úgy is, hogy az utasokat mélyhűtik az út időtartamára. Még ennél is jobb gondolatnak látszik az, hogy csak egy kis űrhajót kellene odaküldeni, viszonylag kis létszámú személyzettel, de a rakományban magukkal kellene vinniük néhány millió megtermékenyített petesejtet. Ezeket a megérkezés után ki lehetne kelteni, miáltal megoldódnának azok a szervezési és szociológiai problémák, amelyek a nagy létszámú felnőtt legénység hosszú időtartamú űrrepülésén elkerülhetetlenül fellépnek. Ha tovább spekulálunk, mi mindenre elég a korlátlanul hosszú idő, az is eszünkbe juthat, hogy a gyarmatosítók testi felépítésének és gondolkodásmódjának nem kell feltétlenül emberszabásúnak lennie. Ha a lényeket biotechnológiai módszerekkel olyanra formálják, hogy a legváltozatosabb igényeknek eleget tudjanak tenni, akkor minden egyes expedícióhoz az adott feladat elvégzéséhez legmegfelelőbb tulajdonságokkal rendelkező egyedeket lehet felhasználni.

A gyarmatosítóknak nem feltétlenül kell élő szervezeteknek lenniük, legalábbis a meghatározás szokásos értelmezése

szerint. Már ma is lehetőség van arra, hogy szilícium alapú mikroáramköröket építsünk be emberi lényekbe. E technológia továbbfejlesztése következtében átfedések jöhetnek létre a szerves és a mesterséges alkotóelemek között, melyek mindegyike akár fiziológiai, akár szellemi funkciók ellátására képes lesz. Lehetséges lesz például az emberi lények számára olyan „becsatolható” memóriákat készíteni, amelyek a számítógépek esetében már ma is rendelkezésre álló külső memóriákhoz hasonló funkciójúak. Ugyanakkor viszont hamarosan kiderülhet, hogy némely számítási feladat elvégzésére előnyösebb szerves anyagot alkalmazni, mint szilárdtest-agyú gépeket. Tulajdonképpen még az is lehetővé fog válni, hogy a számítógépek egyes alkatrészeit biológiai úton „termesszük”. Még valószínűbb, hogy számos feladat elvégzésére a digitális számítógépek helyett neuronhálózatokat fognak alkalmazni. Ezeket a neuronhálózatokat az emberi intelligencia kutatására és gazdaságos működésének előrejelzésére már jelenleg is használják. Ésszerűnek látszik, hogy a szerves neuronhálózatokat agyszövet-darabokból tenyesszék ki, ahelyett, hogy teljes egészében mesterségesen állítanak elő azokat. Lehetségesnek látszik a szerves és a mesterséges hálózatok szimbiotikus együttélésének a megvalósítása. A nanotechnológia kifejlesztésével az élő és az élettelen, a természetes és a mesterséges, az agy és a számítógép közötti különbség egyre inkább elmosódik. Jelenleg az efféle fejtegetések még a tudományos fantasztikum birodalmába tartoznak. De vajon valamikor majd tudományos tényekké válhatnak-e? Végül is az, hogy

valamit el tudunk képzelni, még nem jelenti azt, hogy feltétlenül meg is tudjuk valósítani. Alkalmazhatjuk azonban a technológiai folyamatokra is ugyanazt az alapelvet, amelyet a természeti folyamatokra vonatkozóan korábban már kimondtunk: ha elég hosszú idő áll rendelkezésünkre, akkor minden, ami megvalósulhat, az meg is fog valósulni. Ha az emberek vagy kései leszármazottaik elegendő indítást fognak érezni (a feltételben benne van egy nagyon nyomatékos „ha”), akkor a műszaki alkotások lehetőségeinek csak a fizika törvényei szabnak határt. Az emberiség genetikai átalakítása olyan léptékű kihívás, amely a tudósok egyetlen generációját meghátrálásra készítheti, azonban elérhető célnak látszik, ha generációk százai, ezrei vagy milliói végzik el a munkát.

Legyünk optimisták és bízunk abban, hogy mindent túlélünk és korlátok nélkül folytatódhat a tudományos és műszaki fejlődés. Milyen következményei lehetnek ennek a ténynek a Világegyetem kutatására vonatkozóan? Az adott feladatok elvégzésére tervezett lények új lehetőségeket tárnak a tudományos kutatás elé, mert így például el tudjuk küldeni követeinket a legbarátságtalanabb helyszínekre is, ahol azok ma még elképzelhetetlen feladatokat is végre tudnak hajtani. Bár ezek a lények az emberiség által megindított műszaki fejlődés végtermékei lesznek, ők maguk mégsem tekinthetők embereknek.

Kell-e vajon valamilyen aggodalmat éreznünk ezen hátborzongató lények sorsa miatt? Sok ember visszataszítónak találja azt a kilátást, hogy az embereket ilyen szörnyekkel helyettesítsük. Ha a túlélés azt követeli

meg, hogy az emberi lények átadják a helyüket a biotechnológiai úton előállított szerves robotoknak, akkor talán inkább a kipusztulást választjuk. Ha mindennek ellenére nyomaszt bennünket az emberiség kipusztulásának a valószínűsége, akkor feltehetjük egész pontosan is a kérdést: mi az, amit az emberi lényekből feltétlenül megőrzendőnek tartunk? Egészen biztosan nem a fizikai megjelenésünket. Zavarna-e vajon valakit is, hogy ha mondjuk az egymillió év múlva élő leszármazottainknak nem lennének lábujjaik? Vagy esetleg ha rövidebbek lennének a lábaik, viszont nagyobb a fejük és az agyuk? Végül is külső megjelenésünk éppen eleget változott az elmúlt néhány évszázad alatt is, sőt, a ma élő különféle népcsoportok között is jelentős különbségek vannak.

Ha választanom kellene, valószínűleg inkább azokat a dolgokat őrizném meg, amelyeket az emberi szellem alkotásainak tartunk, kultúránkat, erkölcsi értékrendünket, jellegzetes lelki alkatunkat, amely művészi, tudományos és szellemi alkotásainkban testesül meg. Ezek minden bizonnyal érdemesek arra, hogy megőrizzük őket és fennmaradjanak. Ha át tudjuk adni leszármazottainknak azt, ami a fizikai megjelenéstől függetlenül emberré tesz bennünket, akkor ezzel legnagyobbbrészt elértük az általunk fontosnak tartott dolgok fennmaradását.

Természetesen mindaz csak pusztá feltételezés, hogy létre tudunk hozni olyan emberszerű lényeket, amelyek képesek a túlélésre és el tudnak terjedni a Világegyetemben. Minden más tényezőtől függetlenül, természetesen az is előfordulhat, hogy az emberiség egyszerűen elveszíti azt a

belső készletet, amely egy ilyen horderejű vállalkozás végrehajtásához elengedhetetlen. Nem zárható ki az a lehetőség sem, hogy valamilyen gazdasági, környezeti vagy egyéb katasztrófa következtében kipusztulunk, még mielőtt valóban elhagynánk a bolygónkat. Előfordulhat, hogy a Földön kívüli lények már egy lépéssel előttünk járnak és a lakható bolygók többségét már gyarmatosították (bár a Földe például nyilvánvalóan – ezidáig legalábbis – nem). Akár a mi utódainknak, akár valamilyen Földön kívüli faj képviselőinek jut osztályrészül az a feladat, hogy népesítsék be a Világegyetemet, és műszaki tudásukkal vonják befolyásuk alá, a lehetőség mindenképpen lenyűgöző. Csábító feltenni a kérdést, hogy vajon hogyan fog ez a szuperfaj megbirkózni a Világegyetem lassú degenerációjával.

A 7. fejezetben láttuk, hogy a Világegyetem fizikai leépüléséhez vezető folyamatok roppant lassúak. Ennek köszönhetően olyan elképesztően hosszú idő áll rendelkezésünkre, hogy értelmetlennek tűnik a Földön jelenleg tapasztalható fejlődési irányokat extrapolálva megjósolni, hogy milyenek lesznek a nagyon távoli jövő műszaki lehetőségei. Ki tudna elképzelni egy egybillió éves technikai civilizációt? Úgy tűnhet, hogy egy ilyen társadalom gyakorlatilag tetszése szerint mindent megvalósíthat. Mindamellett, bármilyen fejlett legyen is egy technológia, a fizika alapvető törvényei által felállított korlátokat nem hághatja át. Ha például helytállónak bizonyul a relativitáselméletnek az a következménye, mely szerint anyagi test nem lépheti át a fény sebességét, akkor ez

még az egybillió éves civilizációnak sem fog sikerülni. Komolyabb problémát jelent, hogy ha minden érdemleges tevékenység legalább némi energia felhasználásával jár, akkor a Világegyetemben rendelkezésre álló szabad energiaforrások folyamatos kiaknázása végső soron az egész technikai civilizációt fenyegető, súlyos helyzetet fog teremteni, bármily fejlett legyen is az illető civilizáció.

Az alapvető fizikai elveket az értelmes lények legáltalánosabb definíciójára alkalmazva, megvizsgálhatjuk, hogy jelent-e a távoli jövőben a túlélés szempontjából valamilyen alapvető akadályt a Világegyetem fokozatos leépülése. Ha valamely lény ki akarja vívni magának az „értelmes” minősítést, akkor legalapvetőbb követelményként képesnek kell lennie az információ valamiféle feldolgozására. A gondolkodás és a tapasztalatszerzés egyaránt olyan tevékenység, amely információ-feldolgozással jár. Milyen követelményeket támaszthat ez a Világegyetem fizikai állapotára vonatkozóan?

Az információ-feldolgozás jellegzetes tulajdonsága, hogy energia-felhasználással jár. Ez az oka annak, hogy a szövegszerkesztő számítógépet, amelyen ennek a könyvnek a kéziratát írom, be kell kapcsolni az elektromos hálózatba. Azt, hogy egy bit információ feldolgozásához mennyi energiára van szükség, termodinamikai megfontolások alapján becsülhetjük meg. Az energiafogyasztás akkor a legkisebb, ha az információ-feldolgozó berendezés a környezetével közel azonos hőmérsékleten dolgozik. Az emberi agy és a legtöbb

számítógép nagyon kis hatásfokkal dolgozik, és óriási mennyiségű fölös energiát pazarolnak el hő formájában. Az agy például a test teljes hőtermelésének jelentős hányadát adja, sok számítógépbe pedig speciális hűtőrendszert kell beépíteni, nehogy az alkatrészek megolvadjanak. A hulladékhő eredetét egészen azokig a logikai alapműveletekig követhetjük, amelyeken az információfeldolgozás alapul és amelyekkel szükségszerűen együtt jár az információ egy részének elvesztése. Ha például a számítógépünk elvégzi az $1+2=3$ összeadást, akkor a két byte bemenő információ (1 és 2) helyett egyetlen byte-nyi kijövő információt (3) kaptunk. A számítógép, mielőtt elvégzi a műveletet, elveszíti a bemenő információt és csak az eredményt tartja meg, vagyis a két byte helyett csak egyet. A gyakorlatban ugyanis, megakadályozandó azt, hogy adattárolói megteljenek, a gépnek folyamatosan ki kell dobnia az ilyen fölöslegessé vált információkat. A törlés folyamata definíció szerint irreverzibilis, ezért az entrópia növekedése kíséri. Úgy tűnik tehát, hogy nagyon alapvető okok miatt az információ összegyűjtése és feldolgozása elkerülhetetlenül és visszafordíthatatlanul megcsapolja a rendelkezésünkre álló energiaforrásokat és megnöveli a Világegyetem entrópiáját.

Freeman Dyson szemügyre vette azokat a korlátokat, amelyekkel az értelmes lények közössége óhatatlanul szembekerül, amiatt, hogy a Világegyetem folyamatosan hűl a hőhalál irányába. Az értelmes lényekről feltételezte, hogy folyamatosan energiát kénytelenek fogyasztani, ha másért nem, akkor azért, hogy gondolkodni tudjanak. Az

első kényszer az, hogy a lények hőmérsékletének magasabbnak kell lennie a környezetük hőmérsékleténél, mert ellenkező esetben a hulladékhő nem tudja elhagyni a testüket. Másrészt, a fizika törvényei korlátozzák, hogy valamely fizikai rendszer milyen sebességgel tud energiát kisugározni a környezetébe. Nyilvánvaló, hogy a lény nem tud tartósan működni, ha gyorsabb tempóban termeli a hulladékhőt, mint ahogy meg tud szabadulni tőle. Ezek a feltételek alacsonyabb határt szabnak arra, hogy milyen tempóban tudják a lények az energiát felhasználni. Alapvető követelmény tehát, hogy léteznie kell a szabad energia valamilyen forrásának, amely fedezni tudja ezt az élénk hőkiáramlást. Dyson arra következtetésre jut, hogy a Világegyetem távoli jövőjében minden ilyen forrás szükségképpen kimerül, ezért végső soron minden értelmes lénynek előbb vagy utóbb szembe kell néznie az energiaválsággal.

Ezek után két lehetőség kínálkozik az értelem fennmaradásának meghosszabbítására. Az egyik az, hogy gondoskodni kell saját túlélésünkről, amilyen hosszú ideig csak lehet, a másik pedig az, hogy felgyorsítjuk a gondolkodás és a tapasztalatszerzés sebességét. Dyson ésszerű feltételezése szerint az élőlények szubjektív érzése az idő múlásáról attól függ, hogy az illető lény milyen sebességgel dolgozza fel az információt. Minél gyorsabb az általa használt információ-feldolgozó folyamat, annál több gondolatra és érzékelésre képes egységnyi idő alatt és ezért annál gyorsabbnak érzékeli az idő múlását. Ezt a feltételezést szórakoztató formában használja fel Robert

Foreword: A *sarkány tojása* című tudományos fantasztikus novellájában, amely egy neutroncsillag felszínén élő értelmes lények társadalmának történetét meséli el. Ezek a lények nem kémiai, hanem nukleáris folyamatokat használnak fel létezésük biztosításához. Minthogy a magreakciók sok ezerszer gyorsabbak, mint a kémiai folyamatok, a neutronlények sokkal gyorsabban képesek az információ feldolgozására. Az emberi időskála egyetlen másodperce számukra sok évvel egyenértékű. A neutroncsillag társadalma még meglehetősen primitív, amikor először találkoznak az emberiség képviselőivel, gyorsabb információfeldolgozó-képességüknek köszönhetően azonban lemaradásukat pillanatok alatt behozzák, sőt, hamarosan le is hagyják az emberiséget.

Sajnos a túlélés ezen stratégiájának van egy hátulütője is: minél gyorsabban dolgozzuk fel az információt, annál nagyobb ütemű az energia felhasználása és annál gyorsabban merülnek ki a rendelkezésre álló energiaforrások. Arra gondolhatunk, hogy ez elkerülhetetlenül a végső pusztulást jelenti leszármazottaink számára, függetlenül attól, hogy milyen fizikai formát ölthetnek. Ez azonban nincs szükségszerűen így. Dyson kimutatta, hogy létezhet egy bölcs kompromisszum, melynek követése esetén a közösség fokozatosan, szánt szándékkal lelassítja tevékenységének ütemét, úgy, hogy az megfeleljen a Világegyetem leépülési sebességének. Ezt esetleg úgy valósíthatják meg, hogy egyre hosszabb időszakokra hibernációba merülnek. Minden egyes nyugalmifázisban lenne idő arra, hogy megszabaduljanak

az előző aktív szakasz tevékenysége alatt felhalmozódott hőtől és összegyűjtsék a következő aktív szakaszban felhasználható energiát.

A fenti stratégiát alkalmazó lények által érzékelt szubjektív idő egyre kisebb és kisebb része lesz a ténylegesen eltelt időnek, mert a közösség pihenő időszaka egyre hosszabb lesz. De, amint nem győzöm hangsúlyozni, az örökkévalóság soká tart, és eközben két, egymással ellentétes korláttal kell megküzdenünk: a rendelkezésre álló források nagysága a nullához tart, az idő pedig a végtelen felé tart. Ezen korlátok egyszerű vizsgálata alapján Dyson kimutatta, hogy a teljes szubjektív idő akkor is végtelen lehet, ha a rendelkezésre álló források végesek. Egy elképesztő számítási eredményt is idéz: egy akkora létszámú közösség, mint ma az emberiség, szó szerint az örökkévalóságig képes létezni összesen $6 \cdot 10^{30}$ joule energia felhasználásával, márpedig ez nem több, mint a Nap mindössze nyolc óra alatt kisugárzott energiája!

Az igazi halhatatlanság azonban többet követel mint egyszerűen végtelen mennyiségű információ feldolgozását. Ha valamely lény agyának véges számú állapota van, akkor az csak véges számú, különböző dologra tud gondolni. Ha ez a lény végtelen ideig létezne, akkor ez azt jelentené, hogy ugyanazon gondolatai ismét és ismét előbukkannának.^[56] Az ilyen létezés éppoly céltalannak tűnik, mint egy kihalt fajé. Ebből a halálos végből való meneküléshez arra van szükség, hogy a közösség egésze – vagy az egyetlen szuperlény – minden határon túl növelje

méretét. Ez a nagyon távoli jövőben komoly kihívást jelent, mert az anyag gyorsabban fog elpárologni, mint ahogy az feldolgozható az agy anyagává. Talán egy reményét vesztett, de zseniális egyed képes lehet arra, hogy a tünékeny, de mindenütt jelen lévő kozmikus neutrínókat hasznosítsa szellemi tevékenységi köre tágításához.

Dyson gondolatmenetének legnagyobb része, sőt, a távoli jövő tudatos lényeivel kapcsolatos minden spekuláció, hallgatólagosan feltételezi, hogy a lények szellemi folyamatai mindig visszavezethetők valamilyen digitális számítási folyamatra. A digitális számítógép természetesen egy véges számú állapottal dolgozó gép, ezért teljesítőképességének szigorú határai vannak. Léteznek azonban másfajta rendszerek is, az úgynevezett analóg számítógépek. Egyszerű példa erre a logarléc. A számításokat a lécs helyzetének folytonos mozgatása útján végezzük el, így az idealizált esetben az eszköznek végtelenül sok állapota van. Ez azt jelenti, hogy az analóg számítógépek mentesek a digitális társaik bizonyos korlátaitól, amely utóbbiak csak véges mennyiségű információt képesek feldolgozni és tárolni. Ha az információt az analóg számítógép módjára akarjuk kódolni, mondjuk anyagi testek helyzetei közötti szögtávolságokkal, akkor számítógépünk kapacitása végtelennek tűnik. Ha tehát a szuperlény analóg számítógépként működik, akkor talán nem csak hogy végtelen számú gondolata lehet, hanem végtelen különböző gondolata is.

Sajnos nem tudjuk, hogy a Világegyetem analóg vagy digitális számítógépre hasonlít-e. A kvantummechanika

szerint maga a Világegyetem is „kvantált” lehet, azaz minden tulajdonsága diszkrét ugrásokban változik, nem pedig folytonosan. Ez azonban pusztán feltételezés. Nem értjük igazán az agy fizikai és szellemi tevékenysége közötti kapcsolatot sem. Lehetséges, hogy a gondolkodás és a tapasztalatszerzés nem egyszerűen az itt felvázolt kvantummechanikai gondolatokkal kapcsolatos.^[57]

Bármilyen is az elme természete, semmi kétségünk nem lehet afelől, hogy a távoli jövő élőlényeinek szembe kell nézniük a legeslegutolsó ökológiai válsággal: a kozmikus energiaforrások végérvényes kimerülésével. Mindamellet úgy tűnik, hogy ha ezt sikerül kiheverniük, akkor elérnek valamiféle halhatatlanságot. A Dyson által felvázolt képben tevékenységük egyre kisebb befolyással lesz az igényeik iránt hidegen közömbös Világegyetemre. Eonokat fognak tökéletesen inaktív állapotban tölteni, megőrizve memóriájukat, de semmivel sem gyarapítv ismereteiket, alig zavarva a haldokló kozmosz nyugodt feketeségét. Okos szervezéssel elérhetik, hogy még mindig végtelen számú gondolatuk és tapasztalatuk legyen. Lehetne-e ennél többet remélnünk?

A kozmikus hőhalál elmélete volt korunk egyik megingathatatlan mítosza. Láttuk, hogyan fogta fel Russell és mások a Világegyetem látszólag elkerülhetetlen leépülését, amelyet a termodinamika második főtétele jósolt meg, és amely tápot adott az ateista és nihilista filozófiának és a kétségbeesésnek. Ma, amikor már jobban értjük a kozmológiát, valamivel árnyaltabb képet tudunk felrajzolni. Lehetséges, hogy a Világegyetem gépezete

lejár, de a Világegyetem soha nem fogy el. A termodinamika második főtétele természetesen érvényes, de ez nem feltétlenül zárja ki a szellemi halhatatlanságot. Valójában a dolgok nem is állnak olyan rosszul, mint Dyson elképzelésében. Eddig feltételeztük, hogy a Világegyetem többé-kevésbé homogén marad, miközben tágul és hűl, ez azonban nem igaz. A gravitáció számos instabilitás forrása, így például a Világegyetem ma megfigyelhető számos, nagy léptékű egyenetlensége utat engedhet a távoli jövő sokkal bonyolultabb elrendeződéseinek. Felerősödhetnek például a tágulás sebességében a különböző irányokban esetleg meglévő kicsiny különbségek. Az óriás fekete lyukak kölcsönös tömegvonzása úrrá lehet a Világegyetem általános tágulásán, ezért ezek az objektumok nagy halmazokba verődhetnek. Ez a körülmény különös versenyfutást eredményezhet. Emlékezzünk vissza arra, hogy minél kisebb egy fekete lyuk, annál forróbb és annál gyorsabban párolog. Ha két fekete lyuk egyesül, a keletkező fekete lyuk nagyobb és ennél fogva hidegebb lesz, vagyis a párolgási folyamat tempója számottevően visszaesik. A Világegyetem távoli jövőjét illetően az a kulcskérdés, hogy lépést tud-e tartani a fekete lyukak egyesülése a párolgás ütemével. Ha igen, akkor mindig létezni fog a Világegyetemben néhány fekete lyuk, amelyek Hawking-sugárzásuk révén energiaforrássul szolgálhatnak a műszakilag erre alkalmas civilizációk számára, így ezáltal ezek el tudják kerülni a hibernációt. Don Page és Randall McKee, amerikai fizikusok számításai szerint e

versenyfutás borotvaélen táncoló eredményt ad. A lehetőségek közt végül is az dönt, hogy pontosan milyen ütemben csökken a Világegyetem tágulási sebessége. Egyes modellekben mindenesetre a fekete lyukak egyesülése a győztes folyamat.

Dyson a számításaiban annak a lehetőségét is elhanyagolja, hogy leszármazottaink saját örökkévalóságuk érdekében esetleg maguk is megpróbálják módosítani a Világegyetem nagy léptékű szervezettségét. John Barrow és Frank Tipler, amerikai asztrofizikusok végiggondolták, hogy miképpen tudja egy nagyon fejlett műszaki kultúrájú civilizáció kis mértékben módosítani a csillagok mozgását, annak érdekében, hogy egy számukra kedvezőbb gravitációs elrendeződést alakítson ki. Az atomfegyverek például felhasználhatók arra, hogy kismértékben megváltoztassák egy kisbolygó pályáját, amely mondjuk elegendő ahhoz, hogy egy nagybolygó közelében haladjon el, amely azután kilendíti a pályájáról, úgy, hogy pontosan a Napba csapódjon. Az ütközéskor a kisbolygó által a Napnak átadott impulzus csekély mértékben megváltoztatja a Nap keringési pályáját a Tejútrendszer középpontja körül. Bár a hatás nagyon csekély, ám felerősödik: minél távolabbra jut el a Nap, annál nagyobb lesz az eltérés. Sok fényév megtétele után a Nap megközelít egy csillagot, de a találkozás módja a pálya eltolódásának köszönhetően kritikus mértékben módosul. A távoli üdvözlés helyett a találkozás oly közeli lesz, hogy a másik csillag drámai módon megváltoztatja a Nap Tejútrendszer középpontja körüli mozgását. Ha ehhez hasonlóan sok csillag pályáját

sikerül befolyásolni, mesterséges csillaghalmazok terelhetők össze, a közösség javára. Minthogy a hatások felerősödnek és felgyülemlenek, nincs határa annak, hogy mekkora méretű rendszerek kezelhetőek úgy, hogy a megfelelő helyeken egy-egy aprócska beavatkozást végzünk el. Feltéve, hogy elég idő áll a rendelkezésükre – márpedig ha valamiben, akkor időben mindenféleképpen bővelkedni fognak leszármazottaink –, még egész galaxisok is átrendezhetőek.

Ez a nagyszabású, kozmikus mérnöki munka versenyre kel azokkal a véletlenszerű, természetes folyamatokkal, amelyekben a 7. fejezetben leírt módon csillagok vagy galaxisok repülnek ki a gravitációsan kötött rendszerekből. Barrow és Tipler megállapította, hogy kisbolygókkal végzett beavatkozások segítségével 10^{22} év alatt lehetne átrendezni egy galaxist. Sajnos a természet a munka eredményét 10^{19} év alatt tudná tönkretenni, így a versenyfutás utcahossznyi előnnyel a természet javára dőlné el. Másrészt viszont utódaink esetleg a kisbolygóknál sokkal nagyobb égitesteket is ellenőrzésük alá tudnak vonni. Ugyanakkor a természetes szétszóródás üteme a rendszerhez tartozó égitestek pályamenti sebességétől függ. Ha egész galaxisokról van szó, akkor ez a sebesség a Világegyetem tágulásával arányosan csökken. A lassúbb sebességek a mesterséges beavatkozás sebességét is lelassítják, azonban a két mennyiség csökkenése nem ugyanolyan ütemű. Úgy tűnik, hogy idővel a természetes szétszóródás üteme kisebbé válhat annál, amilyen gyorsan

lakói képesek átrendezni a Világegyetemet. Ez felveti azt a roppant érdekes lehetőséget, hogy az idő múlásával az értelmes lények egyre nagyobb mértékben ellenőrzésük alá tudják vonni az erőforrásokban egyre kevésbé dúskáló Világegyetemet. A folyamat mindaddig tart, amíg lényegében az egész természetet „technologizálják”, a természetes és a mesterséges közötti különbség pedig eltűnik.

Dyson elemzésének kulcsfontosságú feltételezése az, hogy a gondolkodás folyamata elkerülhetetlenül energiát fogyaszt. Az emberi gondolkodás esetében ez határozottan így van, sőt, egészen a közelmúltig azt is feltételezték, hogy az információ bármely formája feldolgozásáért meg kell fizetni a minimális termodinamikai árat. Meglepő módon ez nem egészen így van. Charles Bennett és Rolf Landauer, az IBM számítógépes szakemberei kimutatták, hogy elvben reverzibilis számítások is lehetségesek. Ez azt jelenti, hogy bizonyos (de ma még teljes egészében hipotetikus) fizikai rendszerek energiafogyasztás nélkül is képesek információ-feldolgozásra. Elképzelhetünk tehát egy végtelen sok gondolatot tartalmazó, gondolkodó rendszert, amelynek semmiféle energiaforrásra nincs szüksége. Nem világos, hogy az információ *összegyűjtésére*, valamint feldolgozására egyaránt képes-e, mert bármely nem triviális információnak a környezetből történő megszerzése ilyen vagy olyan formában energia-felhasználással jár, ha másért nem, hát azért, mert szét kell válogatni az értékes jeleket a zajtól. Ezért ennek az igénytelen jószágnak nem lehetnek a környező vilá felfogására alkalmas érzékszervei.

Emlékezhet viszont a Világegyetem egy korábbi állapotára, sőt, talán még álmodhat is.

A haldokló Világegyetem látomása több, mint egy évszázadon keresztül gyötörte a tudósokat. Az a feltevés, mely szerint az entrópiabőség következtében fokozatosan leépülő Világegyetemben élünk, a tudománykultúra folklórájának részévé vált. Mennyire megalapozott azonban mindez? Bizonyosak lehetünk-e abban, hogy *minden* fizikai folyamat elkerülhetetlenül a rendezetlenség és a romlás felé visz bennünket?

Mi a helyzet a biológiával kapcsolatban? Némi útbaigazítást adhat az a szélsőségesen védekező álláspont, amellyel néhány biológus a darwini evolúciót védelmezi. Hitem szerint reakcióik abból a kellemetlen ellentmondásból erednek, hogy egy egyértelműen alkotó jellegű folyamatot olyan fizikai erők vezérelnek, amelyek – feltételezéseink szerint – a dolgok legmélyén romboló jellegűek. A földi élet valószínűleg valamilyen ősi nyálkával vette kezdetét. Ma a bioszféra gazdag és bonyolult ökológiai rendszer, végtelenül bonyolult és rendkívül sokféle szervezetek finom kölcsönhatásainak hálózata. Bár a biológusok, talán attól való félelmükben, nehogy túlhangsúlyozzanak valamiféle isteni célokat, tagadják az evolúcióban mutatkozó szisztematikus fejlődés bármely bizonyítékát, az azonban tudósok és laikusok számára egyaránt nyilvánvaló: attól kezdve, hogy az élet megjelent a Földön, valami folyamatosan, többé-kevésbé azonos irányban haladt. A nehézséget ennek a fejlődésnek a pontos jellemzése jelenti. Pontosan mi is az, ami fejlődött?

A túlélésre vonatkozó korábbi fejtegetéseink középponti kérdése az információ (vagy rend) és az entrópia közötti harc volt, melyből mindig az entrópia került ki győztesen. De vajon valóban az információ az a mennyiség, amellyel foglalkoznunk kell? Végül is, ha átrágjuk magunkat minden lehetséges gondolatunkon, az legalább olyan idegőrlő munka, mintha a telefonkönyvet olvasnánk végig. Ami valóban számít, az az érzékelés *minősége*, vagy általánosabban, az összegyűjtött és felhasznált információ minősége.

Amennyire meg tudjuk mondani, a Világegyetem fejlődése egy többé-kevésbé részletek nélküli állapotból indult el. Az idő múlásával fokozatosan kialakult a fizikai rendszerek ma is me figyelhető gazdagsága és változatossága. A Világegyetem története eszerint nem más, mint a szerveződés egyre bonyolultabbá válásának története. Ez az állítás paradoxonnak tűnik. A történet elbeszélését annak leírásával kezdtem, hogy miképpen következik a termodinamika második főtételéből az, hogy a Világegyetem haldoklik és elkerülhetetlenül csúszik az alacsony entrópiájú kezdeti állapottól a maximális entrópiájú és nulla reményű végállapot felé. Akkor tehát jobbra vagy rosszabbra fordulnak a dolgok?

Valójában a helyzet egyáltalán nem ellentmondásos, mivel a szervezett bonyolultság és az entrópia két különböző fogalom. Az entrópia, vagyis a rendezetlenség éppen az ellentettje az információnak, vagyis a rendezettségnek: minél több információt dolgozunk fel, azaz minél nagyobb rendezettséget hozunk létre, annál nagyobb entrópia-árat

kell ezért fizetnünk – az egyik helyen létrehozott rend valahol másutt megnöveli a rendezetlenséget. Nincs mit tenni, ilyen a második főtétel, az entrópia mindig diadalt arat. A szervezettség és a bonyolultság azonban nem pusztán rendet és információt jelent. Az előbbi fogalmak a rend és az információ bizonyos *típusaira* vonatkoznak. Könnyen felismerjük az alapvető különbséget mondjuk egy baktérium és egy kristály között. Mindkettő rendezett struktúra, de más a rendezettség jellege. A kristályrács katonás fegyelmet tükröz, tökéletes szépségű, de alapvetően unalmas. Ezzel szemben a baktérium bonyolult rendszert alkotó szervezete bőséges izgalmakat kínál.

Mindezek szubjektív ítéleteknek tűnnek, de matematikailag is alátámaszthatók. Az elmúlt években a kutatás teljesen új területe tárult fel, amely céljául tűzte ki az olyan fogalmak mennyiségi leírását, mint például a szervezett bonyolultság. A fizika fennálló törvényeivel párhuzamosan létre akarják hozni a szervezettség leírásának általános alapelveit. A téma művelése még gyerekcipőben jár, de máris próbára teszi sok, a renddel és a káossal kapcsolatos hagyományos fogalmunkat.

„A Világegyetem modellje” című könyvemben felvetettem, hogy esetleg a termodinamika második főtételével párhuzamosan a „növekvő bonyolultság” valamiféle törvénye kormányozza a Világegyetem működését. A két törvény nem összeegyeztethetetlen egymással. A gyakorlatban a fizikai rendszerek szervezettségének növekedése együtt jár az entrópia növekedésével. A

biológiai evolúció esetében például valamely új és a korábbiaknál bonyolultabb szervezet csak egy sor fizikai és biológiai folyamat kudarca után jelenik meg (gondoljunk csak a sikertelen mutánsok születés előtti elpusztulására). Még egy hópihe is csak hulladékhő termelése árán keletkezhet, ami viszont növeli a Világegyetem entrópiáját. Amint azonban már elmagyaráztam, a mérleg nincs egyensúlyban, mert a szervezetség nem egyszerűen az entrópia ellentettje.

Örömmel tapasztalom, hogy sok más kutató is hozzám hasonló végkövetkeztetésekre jut és mások is megpróbálkoznak a komplexitás „második főtételének” megfogalmazásával. Bár összhangban lenne a termodinamika második főtételével, a komplexitás törvénye mégis a Világegyetemben végbemenő változások alapvetően más megközelítését adná, mert egy *fejlődő* Világegyetemet írna le (melynek fogalmát a fentebb hivatkozott vizsgálatok bizonyos értelemben pontosan megadják) a szinte szerkezet nélküli kezdettől a rendkívül magas szervezetségű, bonyolult végállapotig.

A Világegyetem végét illetően a növekvő komplexitás törvénye létezésének van egy kétségtelen előnye. Ha a szervezeti bonyolultság nem egyszerűen az entrópia ellentettje, akkor a Világegyetem korlátozott negatív entrópiatartalma nem szükségszerűen szab határt a komplexitás szintjének. A komplexitás növekedéséért fizetett entrópia-ár tisztán véletlenszerű lehet, nem pedig alapvető, mint az információ pusztá rendezésének folyamatában. Ha ez így igaz, akkor leszármazottaink

képesek lehetnek elérni a szervezeti bonyolultság egyre magasabb szintjeit, anélkül, hogy végérvényesen elpazarolnák egyre apadó erőforrásaikat. Bár előfordulhat, hogy valami korlátozza számukra a feldolgozható információ mennyiségét, ennek ellenére szellemi és fizikai tevékenységük sokrétűségének és minőségének nem lesznek korlátai.

Ebben és az előző fejezetben megpróbáltam felvázolni egy örökké lassuló, de tartalékait soha véglegesen ki nem merítő Világegyetem képét, tudományos-fantasztikus regényekbe illő, bizarr lényekkel, amelyek úgy próbálják összekaparni a betevő energiafalatot, hogy közben az esélyek egyre inkább az ő kárukra tolódnak el, és amelyek arra kényszerülnek, hogy a termodinamika kíméletlen második főtétele ellen folytatott küzdelmükben próbára tegyék minden zsenialitásukat. A túlélésért folytatott elkeseredett, de nem szükségszerűen reménytelen harcuk egyes olvasókat felvillanyozhat, míg másokat elkéséríthet. Az én érzéseim meglehetősen vegyesek.

Mindezek a spekulációk azon a feltételezésen alapulnak, hogy a Világegyetem tágulása örökké fog tartani. Láttuk azonban, hogy ez csak a kozmosz egyik lehetséges sorsa. Ha a tágulás üteme elegendően gyorsan csökken, akkor egy szép napon megáll a Világegyetem tágulása és megkezdődik a Nagy Reccs felé tartó összehúzódás. Milyenek lehetnek ebben az esetben a túlélés esélyei?

9. FEJEZET

Élet a gyorsuló világban

Semmiféle emberi zsenialitás nem hosszabbíthatja meg az életet az örökkévalóságig, ha nem is létezik az örökkévalóság. Ha a Világegyetem csak véges ideig létezik, akkor az utolsó ítélet elkerülhetetlen. A 6. fejezetben elmondtam, miképpen függ a Világegyetem sorsa a benne található anyag mennyiségétől. A megfigyelések szerint a Világegyetem tömege közel van az örökkétartó tágulást és a majdani összeomlást elválasztó, kritikus határhoz. Ha egyszer valóban megindul a Világegyetem összehúzódása, akkor az értelmes lényeknek merőben másféle tapasztalataik lesznek, mint amilyeneket az előző fejezetben leírtunk.

A kozmológiai összehúzódás korai szakasza nem különösebben fenyegető. Mint a pályája tetőpontját elérő földobott kő, a Világegyetem befelé esése is eleinte csak nagyon lassú. Tételezzük most fel, hogy a Világegyetem százmilliárd év múlva éri el legnagyobb kiterjedését. Akkor még rengeteg csillag fog világítani és utódaink képesek lesznek arra, hogy optikai távcsöveikkel kövessék a galaxisok mozgását és megfigyeljék, amint a galaxishalmazok távolodása egyre lassul, megáll, majd elkezdenek egymás felé zuhanni. A ma megfigyelhető galaxisok négyszer olyan messze lesznek tőlünk, mint ma. A Világegyetem idősebb kora miatt a csillagászok mintegy tízszer messzebbre láthatnak el, mint ma, ezért az általuk felfogható Világegyetem sokkal több galaxist fog tartalmazni, mint ahányat ma megfigyelhetünk.

Az a tény, hogy a fénysugár sok milliárd év alatt tudja csak

befutni az óriásira nőtt Világegyetemet, azt jelenti, hogy a százmilliárd év múlva élő csillagászok hosszú ideig észre sem veszik, hogy a Világegyetem elkezdett összehúzódni. Először arra figyelnek fel, hogy a viszonylag közeli galaxisok átlagosan gyakrabban közelednek, mint távolodnak, a nagyon távoli galaxisok fénye azonban továbbra is vöröseltolódást mutat. Több tízmilliárd évnél kell eltelnie ahhoz, hogy a mindenre kiterjedő befelé hullás nyilvánvalóvá váljék. Sokkal könnyebben lesz észrevehető a kozmikus háttérsugárzás hőmérsékletének hajszálnyi változása. Emlékezzünk vissza arra, hogy ennek az ősrobbanás által hátrahagyott maradványsugárzásnak jelenleg 3 K a hőmérséklete. A sugárzás a Világegyetem tágulásával arányosan hűl. Százmilliárd év múlva a sugárzás hőmérséklete már csak 1 K lesz. A hőmérséklet akkor éri el a mélypontját, amikor a Világegyetem kiterjedése maximális. Mihelyt megindul az összehúzódás, a sugárzás hőmérséklete emelkedni kezd. Amikor az immár összehúzódó Világegyetem eléri mai méretét, akkor a sugárzás is ismét 3 K hőmérsékletű lesz. Ehhez azonban újabb százmilliárd évre van szükség, a Világegyetem tágulása és összehúzódása ugyanis időben nagyjából szimmetrikusan megy végbe.

A Világegyetem tehát nem egyszerűen egyik napról a másikra omlik össze. Tulajdonképpen utódainknak még az összehúzódás kezdetét követően sok tízmilliárd évig semmi gondjuk nem lesz. A helyzet korántsem ilyen rózsás azonban abban az esetben, ha a fordulóponthoz jóval később, mondjuk billiószor billió év múlva érünk csak el.

Ebben az esetben a csillagok sokkal hamarabb kihunyhatnak, mint ahogy a Világegyetem eléri legnagyobb kiterjedését, ezért az esetleges túlélőknek hasonló problémákkal kell szembenézniük, mint az előző fejezetben leírt örökké táguló Világegyetem esetében.

Bármikor következzenek is be mostantól számítva a fordulópont, az biztos, hogy még egyszer annyi idő elteltével a Világegyetem ismét akkora lesz, mint most. Látványa azonban gyökeresen eltérő lesz a ma megfigyelhetőtől. Még ha a fordulópontig „csak” százmilliárd év telik is el, akkor az összehúzódó Világegyetemben sokkal több fekete lyuk és sokkal kevesebb csillag lesz, mint ma. A lakható bolygók különlegességszámba fognak menni.

Mire a Világegyetem ismét eléri mai méretét, már egész tisztességes tempójú lesz az összehúzódása: kiterjedése három és fél milliárd évenként felére zsugorodik, miközben az összehúzódás sebessége egyre gyorsul. Az igazi bajok mintegy tízmilliárd évvel ezután kezdődnek, amikor a kozmikus háttérsugárzás hőmérsékletének emelkedése már komoly fenyegetést fog jelenteni. Addigra a sugárzás hőmérséklete már eléri a 300 K, így a Földhöz hasonló bolygók csak komoly nehézségek árán tudnak megszabadulni fölös hőjüktől. Elkezdődik a könyörtelen felmelegedés. Először megolvadnak a sarki jégsapkák és egyéb jégtömegek, majd az óceánok kezdenek elpárologni.

Negyven millió évvel később a sugárzás hőmérséklete eléri a Föld mai átlaghőmérsékletét. Ettől kezdve a Földhöz

hasonló bolygók teljességgel lakhatatlanok lesznek. Természetesen a Földnek már korábban szembe kellett néznie ezzel a sorssal, amikor a Nap felfúvódva vörös óriássá vált, de ezúttal már nincs menekvés utódaink számára, sehol a láthatáron egy biztonságos kikötő. A hőszugárzás kitölti az egész Világegyetemet. A világűr kivételével mindennek 200 C a hőmérséklete és ez még tovább emelkedik. Ha vannak olyan csillagászok, akik alkalmazkodni tudtak a pokoli körülményekhez, vagy akik mélyhűtött ökológiai rendszereket hoztak létre, hogy annyival is később főjenek meg, megdöbbenve észlelnék, hogy a Világegyetem összeomlása immár szédítő sebességű, néhány millió évenként a felére csökken az átmérője. A még létező galaxisokat sem lehet felismerni, mert anyaguk már összefolyik a szomszédos galaxisok anyagával. Ennek ellenére még bőségesen lenne üres hely az égitestek között, a csillagok összeütközései még viszonylag ritkák lennének.

A végállapota felé közeledő Világegyetem fizikai viszonyai egyre inkább a közvetlenül az ősrobbanást követő állapotra fognak hasonlítani. Martin Rees, amerikai csillagász elvégezte a Világegyetem végnapjainak részletes elemzését. A fizika általános alapelveit alkalmazva felvázolta az összeomlás legvégső felvonásainak képét. Eszerint végső soron a kozmikus háttérsugárzás olyan erős lesz, hogy az éjszakai égbolt vörösén izzik. A Világegyetem lassan átalakul egy mindent magába záró kozmikus kemencévé, megsüti a törékeny élet minden formáját, bárhová sikerült is elrejtőznie, és leszakítja a bolygók

légkörét. A vörös izzás fokozatosan sárga, majd fehér színre vált, egészen addig, amíg a mindenséget kitöltő tüzes sugárzás már maguknak a csillagoknak a létét is veszélyezteti. A csillagok már nem lesznek képesek hőt kisugározni, ezért a hő felhalmozódik a belsejükben és emiatt felrobbannak. A teret forró gáz – plazma – tölti ki. A tüzesen izzó anyag egyre forróbb lesz.

Ahogy gyorsul az események ritmusa, úgy válnak a viszonyok mind szélsőségesebbé. A Világegyetem már százezer, később ezer, még később száz év leforgása alatt észrevehetően megváltozik, fokozódó tempóban szágulda a katasztrófa felé. A hőmérséklet eléri a sok millió, majd a több milliárd fokot. Az az anyag, amely ma a Világegyetem végeláthatatlan térségeit tölti ki, parányi térfogatba zsúfolódik össze. A galaxisok egész anyaga egy mindössze néhány fényév átmérőjű térfogatot tölt ki. Elérkezett az utolsó három perc.

Végül a hőmérséklet olyan magas lesz, hogy az atommagok is széthullanak. Az anyag az elemi részecskék homogén levesévé bomlik le. Az ősrobbanás és csillagok számtalan generációjának kezemunkája, amellyel felépítették a nehéz elemeket, rövidebb idő alatt foszlik semmivé, mint amennyi idő alatt Ön ezt az oldalt végigolvassa. Az atommagok, ezek a roppant stabil képződmények, amelyek akár évbilióig is létezhetnek, most visszafordíthatatlanul darabokra törnek. A fekete lyukak kivételével minden más képződmény már régesrég megszűnt létezni. A Világegyetem elegánsan, de baljóslatúan egyszerű lett. Már csak másodpercek vannak

hátra.

Ahogy az összeomlás egyre gyorsabbá válik, úgy emelkedik a hőmérséklet minden ismert határnál magasabbra, még hozzá egyre rohamosabb tempóban. Az anyag olyan erősen összepréselődik, hogy már különálló protonok és neutronok sem létezhetnek, mindent a kvarkokból álló leves tölt ki. Az összeomlás azonban még tovább gyorsul.

A végső kozmikus katasztrófától már csak néhány milliomod másodperc választ el. A fekete lyukak egyesülni kezdenek egymással, de belsejük már alig különbözik a rajtuk kívül található világ fizikai állapotától. Ebben a pillanatban a fekete lyukak már csak a téridő olyan tartományainak tekinthetők, amelyekre valamivel hamarabb köszöntött rá a végzet, és amelyek most csatlakoznak ismét a mindenség többi részéhez.

Az utolsó pillanatokban a gravitáció válik a mindent uraló erővé, könyörtelenül széttörve a teret és az időt. A téridő görbülete egyre gyorsabban nő. A tér mind nagyobb tartományai zsúfolódnak össze egyre kisebb térfogatokba. A hagyományos elmélet szerint az összeomlás végtelen erejű lesz, minden anyag megszűnik létezni, minden fizikai létező – beleértve magát a teret és az időt is – eltűnik a téridő szingularitásában.

Elérkezett tehát a vég.

A Nagy Reccs mai felfogásunk szerint nem csak az anyag létezésének a végét jelenti. Ez *mindennek* a vége. Minthogy a Nagy Reccsben maga az idő is megszűnik, értelmetlen megkérdezni, mi történik ezután, éppúgy, ahogy

értelmetlen az a kérdés is, hogy mi volt az ősrobbanás előtt. Nincs „azután”, hogy akkor történhessen valami, mint ahogy nincs idő a semmittevés számára és nincs tér az ürességnek. Az a Világegyetem, amely az ősrobbanáskor a semmiből jött létre, a Nagy Reccs pillanatában ismét semmivé fog válni. Létezésének dicsőséges évmilliárdjaira már senki sem emlékszik.

Lehangolóak-e vajon ezek a kilátások? Mi a rosszabb, a lassan leépülő és az örökkévalóságig a sötét ürességbe táguló Világegyetem, vagy az, amelyik a végső pusztulást okozó tűzijátékban omlik össze? Milyen reményünk lehet a halhatatlanságra egy olyan Világegyetemben, amely számára elrendeltetett, hogy kifusson az időből?

A Nagy Reccs felé közeledve az élet még sokkal reménytelenebbnek tűnik, mint az örökké táguló Világegyetem távoli jövőjében. Ebben az esetben nem az energia hiánya, hanem túlzott bősége okoz gondot. Addig azonban még évmilliárdok, sőt, esetleg évbiliók állnak utódaink rendelkezésére, hogy felkészüljenek a végső pusztulásra. Ezen idő alatt az élet elterjedhet az egész Világegyetemben. Az összeomló Világegyetem legegyszerűbb modellje szerint a tér teljes térfogata véges nagyságú. Ez azért lehetséges, mert a tér görbült és így össze tud kapcsolódni önmagával, a gömbfelület háromdimenziós analógiájaként. Elképzelhető tehát, hogy az értelmes lények elterjednek az egész Világegyetemben és befolyásuk alá vonják azt. Így minden lehetséges erőforrás a rendelkezésükre állna, hogy szembeszálljanak a Nagy Reccsel.

Első pillanatban nehéz elképzelni, hogy miért törekednének erre. Feltéve, hogy a Nagy Reccs utáni létezés eleve lehetetlen mi értelme lenne a haláltusát valamicskével meghosszabbítani? A billió éves Világegyetemben nem sok múlik azon, hogy tízmillió vagy egymillió évvel a vég előtt következik be az elmúlás. Nem szabad azonban elfelednünk, hogy az idő relatív. Leszármazottaink szubjektív ideje életfunkcióik és információfeldolgozó-képességük sebességétől függ. Ismét feltételezve, hogy bőségesen sok idő áll rendelkezésükre a fizikai felépítésük átalakításához, képesek lehetnek a Pokol közeledtét egyfajta örökkévalósággá átalakítani.

A hőmérséklet emelkedése egyúttal azt is jelenti, hogy a részecskék gyorsabban mozognak és az események gyorsabban peregnek. Emlékezzünk vissza, hogy az értelmes lényekkel szemben azt a követelményt támasztottuk, hogy legyenek képesek az információ feldolgozására. Az egyre rohamosabban növekvő hőmérsékletű Világegyetemben az információ feldolgozásának sebessége is nő. Egy a termodinamikai folyamatokat egymillió fokos hőmérsékleten felhasználó lény számára a Világegyetem pillanatok alatt lezajló megsemmisülése úgy tűnik, mintha csak évek alatt játszódna le. Nem kell félni az idők végeztétől, ha a hátralévő idő hosszát az észlelők tudatában végtelen hosszúságúra lehet nyújtani. Ahogy halad az összeomlás a Nagy Reccs felé, elvben úgy hosszabbodhat meg egyre gyorsabb tempóban az észlelők szubjektív időérzete, ami annak felel meg, hogy a végítélet mind vésztióslóbb

tempójú közeledését kiegyenlíti az észlelők gondolkodási sebességének még rohamosabb tempójú növekedése. Kíváncsiak lehetünk arra, hogy vajon lehet-e az összeomló Világegyetemben élő szuperlénynek végtelen számú különböző gondolata és érzékelése a rendelkezésére álló véges idő alatt. Ezt a kérdést John Barrow és Frank Tipler tanulmányozta. A válasz kritikus módon függ a végállapot fizikai részleteitől. Ha például a Világegyetem meglehetősen homogén marad, miközben megközelíti a végső szingularitást, akkor komoly problémával kell szembenéznünk. Bármekkora is a gondolkodás sebessége, a fénysebesség változatlan marad, a fénysugár másodpercenként továbbra is legfeljebb egy fénymásodperc utat képes megtenni. Minthogy a fénysebesség egyúttal felső korlátot szab bármely hatás terjedési sebességének, ezért ebből az következik, hogy a utolsó másodpercben legfeljebb a Világegyetem egy fénymásodperc átmérőjű tartományain belül jöhet létre bármiféle kommunikáció. (Ez ugyancsak egy példa az eseményhorizontra, hasonlóan ahhoz, ahogy a fekete lyukak belsejéből nem lehet információt szerezni.) Ahogy közeledik a vég, úgy tart nullához azoknak a tartományoknak a mérete és természetesen ezzel együtt a bennük található részecskék száma, amelyeken belül lehetőség van a kommunikációra. Márpedig ha egy rendszer információt akar feldolgozni, akkor a rendszer minden részének kommunikálni kell az összes többi résszel. Nyilvánvalóan a fény véges sebessége korlátozza azt, hogy a vég közeledtével mekkora lehet egy „agy”

mérete. A korlátozott méret viszont korlátozza az egymástól különböző állapotok számát, vagyis az ilyen agyban előforduló gondolatok számát.

Ha el akarjuk kerülni ezt a korlátot, akkor feltétlenül arra van szükség, hogy a kozmikus összeomlás végállapotai ne legyenek homogének, aminek meglehetősen nagy a valószínűsége. A gravitációs összeomlás alapos matematikai vizsgálata szerint az összeomló Világegyetemben az összeomlás sebessége a különböző irányokban eltérő lesz. Különösképpen ez nem egyszerűen abban nyilvánul meg, hogy a Világegyetem az egyik irányban gyorsabban húzódik össze, mint a másikban. Ehelyett oszcillációk lépnek fel, amelynek következtében folyamatosan változik az az irány, amelyben a legnagyobb az összeomlás sebessége. Ennek eredményeképpen a Világegyetem egyre hevesebb és bonyolultabb ciklusokon át imbolyog a végső elmúlás felé.

Barrow és Tipler arra a következtetésre jut, hogy e bonyolult oszcillációk miatt az eseményhorizont nem egyszerre tűnik el minden irányban, hanem először az egyik irányban, később másfelé, ami lehetővé teszi, hogy a tér valamennyi tartománya kapcsolatban maradjon egymással. A szuperagyaknak tehát roppant gyors észjárásúaknak kell lenniük, mert gyorsan változtatniuk kell a kommunikációjuk irányát, attól függően, hogy éppen mikor melyik irányban mekkora az összhúzóási sebesség. Ha a szuperlény lépést tud tartani ezzel a tempóval, akkor maguk az oszcillációk tudják a gondolkodási folyamat fenntartásához szükséges energiát szolgáltatni. Továbbá, úgy tűnik, hogy

az egyszerű matematikai modellekben a Nagy Reccset megelőző véges időtartam alatt végtelen számú oszcilláció következik be. Ez végtelen nagyságú információ feldolgozására ad lehetőséget, ennél fogva ez elméletileg végtelenül hosszú szubjektív időt jelent a szuperlény számára. Így tehát a szellemi világ az anyagtól független, önálló életre kel, ezért soha nem ér véget, még akkor sem, amikor az anyagi világon úrrá lesz a minden elpusztító Nagy Reccs.

Mit tehet egy végtelen képességű agy? Tipler szerint nem csak arra képes, hogy felszabadítsa saját létezésének és az általa elnyelt Világegyetemnek minden sajátosságát, hanem végtelen információ-feldolgozó képességével képzetes világok orgiaszerű sokaságát tudja szimulálni. Semmi nem korlátozhatná azoknak a lehetséges világegyetemeknek a számát, amelyeket az örök és teremő Szellem ily módon létrehozhat. Amellett tehát, hogy az utolsó három perc az örökkévalóságig meghoszszabbodik, még megvalósul a kozmikus aktivitás végtelen változatosságának szimulált valósága is.

Sajnos mindezek a (néha talán kissé merész) spekulációk nagyon sajátos fizikai modelleken alapulnak, amelyekről bizonyos esetekben kiderülhet, hogy teljesen irreálisak. E modellek ráadásul elhanyagolják a kvantumfizikai hatásokat is, márpedig azok valószínűleg igen fontos szerephez juthatnak a gravitációs összeomlás utolsó szakaszában, például azáltal, hogy határt szabhatnak az információ-feldolgozás sebességének. Ha viszont ez így van, akkor csak abban reménykedhetünk, hogy a kozmikus

szuperlány vagy szuperszámítógép még jóval a rendelkezésére álló idő lejárta előtt ráébred saját létezésére, és tudatosítja saját halandóságát.

10. FEJEZET

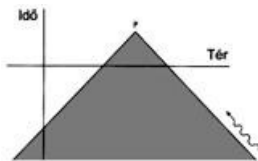
Hirtelen halál és újjászületés

Mindeddig feltételeztük, hogy akár tombolva, akár nyöszörögve múlik ki a Világegyetem (szakszerűbben fogalmazva: akár a Nagy Reccs, akár a mélyhűtött állapot vet véget sorsának), mindez a nagyon távoli, sőt, esetleg a végtelen távoli jövőben következik be. Ha a Világegyetem összeomlik, leszármazottaink évmilliárdokon át tapasztalni fogják a küszöbön álló katasztrófára utaló, figyelmeztető előjeleket. Marad azonban még egy, mindent figyelembe véve sokkal riasztóbb lehetőség.

Amint azt már korábban elmagyaráztam, amikor a csillagászok az eget fürkészik, akkor az égitesteket nem mostani állapotukban látják, mintha egy kozmikus pillanatfelvételben gyönyörködnének. Minthogy hosszabb-rövidebb időbe telik, amíg a fény a Világegyetem távoli részeiről elér hozzánk, bármely égitestnek mindig az akkori állapotát látjuk, amikor az éppen hozzánk érkező fénysugarakat kibocsátotta. A távcső egyúttal időgépként is működik. Minél messzebb van tőlünk a vizsgált égitest, annál távolabbi múltból származik az a kép, amelyet most látunk. Valójában a csillagászok Világegyeteme a tér és az idő egy a múltba nyúló szelete, amelyet a szakma a „múltbeli fénykép”-nek nevez és amelyet a 10.1. ábrán

mutatunk be.

A relativitáselmélet szerint sem információ, sem pedig fizikai hatás nem képes a fényénél nagyobb sebességgel terjedni. Ezért a múltbeli fénykúp a téridőnek nem csak azt a tartományát jelöli ki, amelyről tudomást szerezhethetünk, hanem egyúttal azt is, amelynek eseményei hatást gyakorolhatnak pillanatnyi állapotunkra. Ebből viszont az is következik, hogy a fénysebességgel terjedő fizikai behatások mindig csak bármely előzetes figyelmeztetés nélkül, derült égből villámcsapásként törhetnek ránk. Ha a múltbeli fénykúpból valamilyen katasztrófa tart felénk, akkor a pusztításnak semmilyen előhírnöke nem fog érkezni. Az első, amiről értesülni fogunk, hogy máris nyakunkon a katasztrófa.



10.1. ábra

A tér és az idő egy meghatározott P pontjából, amely lehet például az itt és most, a Világegyetemet szemlélő csillagász nem a Világegyetem mostani, hanem múltbeli állapotát látja. Az információ a P ponton keresztülhaladó, ferde vonalakkal jelölt, múltbeli fénykúp mentén érkezik a P pontba. Ezek az egyenesek ábrázolják azt az utat, amelyek mentén a Világegyetem távoli részeiből a régmúltban elindult fénysugarak a Föld felé tartanak.

Mivel semmilyen információ vagy fizikai hatás nem terjedhet a féynél gyorsabban, a téridő kiszemelt pontjában tartózkodó megfigyelőt csak a rajzon beáramyékolt területen történő események hatásai érhetik, illetve ezekről tud tudomást szerezni. A múltbeli fénykúpon kívül bármilyen katasztrófális esemény történhet, ennek pusztító hatása (hullámvonal) sebesen halad ugyan a Föld felé, a megfigyelő azonban erről mit sem tud, egészen addig, amíg a katasztrófális hatás el nem éri a Földet.

Lássunk erre egy egyszerű, hipotetikus példát! Ha a Nap ebben a pillanatban felrobbanna, akkor erről csak nyolc és fél perccel később szerezhetnénk tudomást, mert ennyi időbe telik, amíg a Nap fénye elér bennünket. Hasonlóképpen az is elképzelhető, hogy valamelyik közeli csillag szupernóvaként már fel is robbant. Ennek következtében a Földet előnti a halálos sugárzás, mi azonban még néhány évig boldog tudatlanságban maradunk, hiszen a rossz hírek csak fénysebességgel száguldva járnak be a Tejútrendszerbe. Igaz tehát, hogy pillanatnyilag a Világegyetem tökéletesen nyugodtnak látszik, egyáltalán nem lehetünk azonban biztosak abban, hogy már eddig nem történt valami valóban borzasztó esemény.

A Világegyetem legtöbb hirtelen bekövetkező, erőszakos cselekménye csak a közvetlen kozmikus környezetben okoz pusztítást. A csillagok halála vagy a minden anyagot elnyelő fekete lyukak csak talán néhány fényévnyi

környezetben pusztítják el a bolygókat és a közeli csillagokat. A leglátványosabb kitörések minden bizonnyal az egyes galaxisok magjában előforduló események. Amint azt korábban már tárgyaltuk, ilyenkor egyes esetekben hatalmas gázcsóvák áramlanak ki, néha a fényéhez képest tekintélyes sebességgel. Mindezt elképesztő mennyiségű sugárzás kibocsátása kíséri. Ez az esemény galaktikus mércével mérve is jelentősnek mondható.

De vajon mi a helyzet az egész Világegyetemet romba döntő méretű eseményekkel kapcsolatban? Előfordulhat-e egy akkora megrázkódtatás, amely mondjuk az egész, élete delén járó Világegyetemet elsöpri? Lehet, hogy már be is következett ez a kozmikus katasztrófa; amelynek kellemetlen hatásai a múltbeli fénykúpunkban már a térben és az időben megbújó törékeny otthonunk felé lopakodnak. 1980-ban két fizikus, Sidney Coleman és Frank De Luccia baljóslatú cikket közölt a *Physical Review D* című folyóiratban, a következő ártalmatlannak látszó címmel: „Gravitációs hatások a vákuumbomlásra és viszont”. A vákuum, amiről a cikkben beszélnek, nem egyszerűen az üres teret jelenti, hanem a kvantumfizikai vákuumot. A 3. fejezetben kifejtettem, hogy ami számunkra üres térnek látszik, abban valójában nyüzsgő kvantumfizikai aktivitás van jelen, mivel véletlenszerű fickándozás formájában kísérteties virtuális részecskék bukkannak fel, majd tűnnek el. Emlékezzünk vissza arra, hogy a vákuumnak nem ez az egyetlen lehetséges fizikai állapota, hanem számos kvantumállapot létezik, amelyek mindegyike üresnek

látszik, azonban mindegyik a kvantumos aktivitás más-más szintjét jelenti, melyekhez ráadásul különböző energiaszintek tartoznak.

A kvantummechanika egyik elméletileg és kísérletileg egyaránt jól megalapozott alapelve szerint a nagyobb energiájú állapotok alacsonyabb energiájú állapotokba igyekeznek elbomlani. Egy atom például egy sor különféle gerjesztett állapot valamelyikében tartózkodhat, melyek mindegyike instabil, ezért a gerjesztett atom igyekszik a legalacsonyabb energiájú állapotba, a stabil alapállapotba eljutni. Hasonlóképpen a gerjesztett vákuum is arra törekszik, hogy elérje a legalacsonyabb energiájú állapotát, az úgynevezett „igazi” vagy „valódi” vákuumot. A felfűvódó Világegyetem képe azon az elgondoláson alapul, hogy a nagyon korai Világegyetemben jelen volt egy gerjesztett, azaz „hamis” vákuumállapot, melynek létezése idején a Világegyetem szédületes mértékben felfűvódott. A hamis vákuumállapot azonban roppant rövid idő alatt elbomlott, a vákuum visszatért alapállapotába, azaz stabil, „igazi” vákuummá vált, így a felfűvódás ezáltal abbamaradt.

Azt szokás feltételezni, hogy a Világegyetem jelenlegi állapota az igazi vákuumnak felel meg, vagyis jelenleg a világűr nem más, mint egy a lehetséges legalacsonyabb energiaállapotában lévő vákuum. De vajon bizonyosak lehetünk-e ebben? Coleman és De Luccia végiggondolta azt a vérfagyasztó lehetőséget, hogy a jelenleg megfigyelhető vákuum valójában nem is a „valódi” vákuum, hanem csupán a vákuum egy nagyon hosszú élettartamú, metastabil állapota, amely azáltal, hogy már évmilliárdok

óta fennáll, a biztonság valamiféle hamis érzetét nyújtja számunkra. Ez azért nem elképzelhetetlen, mert számos olyan kvantummechanikai rendszert ismerünk, amelyek felezési ideje sok milliárd év, ilyen például az urán atommag. Tételezzük fel, hogy a jelenleg megfigyelhető vákuum is ebbe a kategóriába tartozik. A vákuum bomlása, amelyről Coleman és De Luccia cikkének címében szó van, arra a katasztrofális lehetőségre vonatkozik, amikor a jelenlegi vákuumállapot valamilyen okból nem képes tovább fennmaradni, hanem a Világegyetem hirtelen egy még alacsonyabb energiájú állapotba zuhan, aminek végzetes következményei lennének ránk nézve (és természetesen rajtunk kívül minden másra nézve is).

Coleman és De Luccia hipotézisének kulcsa a kvantumfizikai alagútjelenség. Ezt legjobban egy valamilyen erő által fogva tartott kvantum részecske viselkedésével szemléltethetjük. Tételezzük fel, hogy a részecske egy kis gödörben helyezkedik el, amelyet minden oldalról dombok vesznek körül, amint az a 10.2. ábrán látható. Természetesen ezeknek nem kell valóságos (gravitációs) hegyeknek lenniük, megelégszünk azzal is, ha a részecskét például elektromos vagy mágneses erők tartják fogva. Ha a részecskének nincs elegendő energiája ahhoz, hogy megmássza a hegyet (vagyis legyőzze a potenciálgátat), akkor a részecske látszólag mindörökké a csapda foglya marad. Emlékezzünk azonban vissza arra, hogy a kvantummechanikában a részecskék viselkedése eleget tesz a Heisenberg-féle határozatlansági relációnak, ami lehetővé teszi, hogy rövid időre a részecskék energiát

„kölsönözzenek”. Ezáltal érdekes lehetőség kínálkozik. A részecske akár annyi energiát is kölsönözhet, amennyi az őt körülvevő potenciálgát megmászásához szükséges, így átjuthat a hegy túloldalára, még mielőtt az energiakölsönt vissza kellene fizetnie, vagyis kimenekül a potenciálgödörből. Az eredmény olyan, mintha a részecske a potenciálhegybe fúrt alagúton keresztül jutott volna ki az őt fogva tartó gödörből, innen ered az „alagútjelenség” elnevezés.



10.2. ábra

Az alagútjelenség. Ha egy a kvantummechanika törvényeinek engedelmeskedő részecske két hegy közé van beszorítva, még akkor is van némi valószínűsége annak, hogy ki tud szökni a völgyből, azáltal, hogy kölsönvett energiával átmászik a helyen. valójában úgy tűnik, mintha a hegybe fúrt alagúton keresztül jutott volna ki. Hasonló a helyzet akkor is, amikor valamely elem atommagjából a magerők potenciálgátját legyőzve egy alfa részecske az alagútjelenségnek köszönhetően ki tud szabadulni a mag béklyójából. Az utóbbi jelenséget radioaktív alfabomlásnak nevezzük. Ebben az esetben a „hegyet” a magerők és az elektrosztatikus erők jelentik.

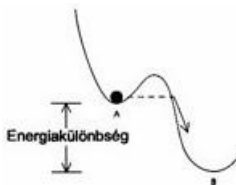
Ábrázolásuk csak vázlatos.

Annak a valószínűsége, hogy egy kvantummechanikai részecske kijut a potenciálgát foqságából, érzékenyen függ

a gát magasságától és vastagságától. Minél magasabb a gát, annál több energiát kell a részecskének kölcsönöznie ahhoz, hogy elérje a tetejét. A határozatlansági elv értelmében azonban, minél több energiát vesz kölcsön a részecske, annál rövidebb időre lehetséges ez. Ez azt jelenti, hogy a magas potenciálfalon csak akkor tud átjutni a részecske, ha a fal vékony, lehetővé téve, hogy a részecske nagyon gyorsan átjusson, még mielőtt a nagy energiakölcsönt törlesztenie kell. Ez az oka annak, hogy a mindennapi életben nem lehet megfigyelni az alagútjelenséget: a makroszkopikus potenciálgátak ugyanis messze sokkal magasabbak és vastagabbak annál, semminthogy észrevehető mértékben megvalósuljon az alagútjelenség. Elvben akár egy ember is átsétálhat egy téglafalon, eme csodaszámba menő jelenség kvantummechanikai valószínűsége azonban felettébb csekély. Atomi szinten azonban az alagútjelenség közismert és gyakori: így működik például a radioaktív alfa-bomlás. Az alagútjelenséget a félvezetők és más elektronikus eszközök, például a pásztázó alagút-elektronmikroszkópok esetében is kihasználják.

Visszatérve a jelenlegi vákuum lehetséges elbomlásának problémájához, Coleman és De Luccia arra gondol, hogy a vákuumot felépítő kvantummechanikai terek egy a különféle erők által létrehozott (metaforikus) dimbes-dombos tájhoz hasonlíthatók, ahogy az a 10.3. ábrán látható. A vákuum jelenlegi állapota az A völgy fenekének felel meg. Ezzel szemben a valódi vákuumot jelentő fizikai állapot a B völgy

mélyén, vagyis az A állapotnál mélyebben helyezkedik el. A vákuum a magasabb energiájú A állapotból szeretne az alacsonyabb energiájú B állapotba kerülni, amit azonban az A állapotot körülvevő, az A és a B állapotot egymástól elválasztó potenciálhegyek nem engednek. A potenciálhegyek ugyan visszatartják a vákuumot az alacsonyabb energiájú állapotba való bomlástól, ezt azonban nem tudják teljesen megakadályozni, az alagútjelenség révén ugyanis a vákuum mégiscsak eljuthat az A -ból a B állapotba. Ha ez az elképzelés helyes, akkor a Világegyetem jelenleg kölcsönvett időben él az A völgyben, de mindig fennáll annak az eshetősége, hogy egy tetszés szerinti pillanatban az alagútjelenség révén visszatér a B állapotba.



10.3. ábra

A hamis és a valódi vákuumállapotok. Előfordulhat, hogy a világűr jelenleg megfigyelhető A kvantumállapota nem a lehetséges legalacsonyabb energiájú állapot, hanem csak kvázistabil egyensúlyi helyzetnek felel meg, hasonlóan egy magas hegyek között fekvő völgy mélyéhez. Van bizonyos valószínűsége annak, hogy a kvantummechanikai alagútjelenség révén a

Világegyetem átjut a valóban stabil B alapállapotba. A két állapot közötti átmenet, amely egy buborék létrejöttével kezdődik, iszonyú mennyiségű energia felszabadulásával jár.

Coleman és De Luccia matematikailag is modellezni tudták a vákuum elbomlását, hogy pontosan nyomon követhessék a jelenségek lefolyását. Megállapították, hogy a bomlás valahol a tér egy véletlenszerűen kiválasztódó helyén kezdődik, mégpedig a valódi vákuum egy kicsiny buborékja formájában, amelyet az instabil hamis vákuum vesz körül. A valódi vákuum buboréka megszületését követően azonnal elkezd a fényét egyre inkább megközelítő sebességgel tágulni. Ezáltal a hamis vákuum egyre nagyobb tartományait nyeli el és alakítja át egyik pillanatról a másikra valódi vákuummá. A két vákuumállapot közötti energiakülönbség, amely óriási nagy lehet, a 3. fejezetben kifejtett módon a buborék falába összpontosul. Ez a tömény energiafal lökéshullámként seper végig az egész Világegyetemen és minden útjába kerülő dolgot megsemmisít.

Legelőször csak akkor szerezhethénk tudomást a valódi vákuum buborék létezéséről, amikor a fala megérkezik hozzánk, és ettől hirtelen megváltozik világunk kvantumozott szerkezete. Még az utolsó percek sem figyelmeztetnének a veszély közeledtére. Az összes elemi részecske és a közöttük létrejövő kölcsönhatások természete hirtelen, egyik pillanatról a másikra, drasztikusan megváltozna. A protonok talán azonnal elbomlanának, ami együtt járna

minden atomos anyag azonnali elpárologásával. Ami megmaradna, az attól kezdve az igazi vákuum-buborék belsejében létezne, ahol a helyzet alapvetően különbözne attól, amit jelenleg megfigyelhetünk. A legjelentősebb eltérést a gravitáció mutatná. Coleman és De Luccia megállapította, hogy az igazi vákuum energiája és nyomása olyan erős gravitációs teret hozna létre, hogy a buborék belseje a másodperc milliomod részénél rövidebb idő alatt összeomlana, annak ellenére, hogy a buborék fala sebesen tágul. Szó sincs immár a Nagy Reccs felé történő eleinte észrevehetetlenül lassú és csak később felgyorsuló összeomlásról; ehelyett ebben az esetben egy csapásra semmisül meg minden, miközben a buborék belseje a téridő szingularitásával összemlik. Röviden: egy pillanat alatt minden összemlik. „A helyzet kilátástalan” – jegyzi meg a szerzők mesteri leírásukban, majd így folytatják: „Nem valami vidító annak a lehetőségéről elmélkedni, hogy hamis vákuumban élünk. A vákuum elbomlása ugyanis a végső ökológiai katasztrófát jelentené, mert ezt követően nem csak az élet általunk ismert formái válnak lehetetlenné, hanem még a kémiai reakciók is. Legfeljebb az nyugtatható meg, hogy talán ha az általunk ismert élet nem is képes fennmaradni az új vákuumban, legalább valamilyen szerkezetek létezhetnek, amelyek képesek megismerni az örömet. Most azonban már ennek a lehetőségét is kizárhatjuk.”

Coleman és De Luccia cikkének megjelenését követően a vákuum elbomlásának megdöbbentő következményeit széles körben megvitatták a fizikusok és a csillagászok.

Későbbi vizsgálataik során a kozmológus Michael Turner és a fizikus Frank Wilczek apokaliptikus következtetésekre jutottak, melyekről a *Nature*-ben megjelent cikkükben így írnak: „Mikrofizikai szempontból teljességgel elképzelhető, hogy vákuumunk metastabil, így a Világegyetemben – előzetes figyelmeztetés nélkül – bárhol megjelenhet a valódi vákuum csírája, amely buborék azután a fény sebességével növekedve szétterjedhet.”

Röviddel Turner és Wilczek cikkének megjelenése után Pet Hut és Martin Rees, ugyancsak a *Nature*-ben, rámutatott, hogy a Világegyetemet elpusztító vákuumbuborék ijesztő kísértetének megszületését gondatlanságból, maguk a részecskefizikusok idézhetik elő. Az aggodalomra az ad okot, hogy az elemi részecskék nagyon nagy energiájú összeütközései – csupán egy pillanatra és a tér egy parányi tartományában – olyan feltételeket teremthetnek, amelyek kedveznek a vákuum elbomlásának. Ha egyszer viszont az átmenet bekövetkezett, akár csak mikroszkopikus méretekben is, akkor már nincs megállás, az újonnan keletkezett buborék hamarosan csillagászati méretűre duzzad. Vajon nem kellene-e erre való tekintettel korlátoznunk a részecskegyorsítók következő generációjának teljesítményét?

Hut és Rees öröndetes biztatást adnak, mert kimutatták, hogy a kozmikus sugárzásban nagyobb energiák fordulnak elő, mint amekkorákat a részecskegyorsítóknál elérünk. Márpedig a kozmikus sugárzás nagy energiájú részecskéi évmilliárdok óta szakadatlanul bombázzák a Föld légkörében található atommagokat, anélkül, hogy

kiváltották volna a vákuum bomlását. Ezzel szemben az is kétségtelen, hogy ha sikerülne a gyorsítók teljesítményét néhány százszorosára növelni, akkor olyan nagy energiájú ütközéseket kelthetnénk, amelyeneket a kozmikus sugárzás soha nem hoz létre a Földön. Az igazi kérdés persze egyáltalán nem az, hogy az igazi vákuum buborékja kialakulhat-e itt a Földön, hanem az, hogy létrejöhet-e bárhol a megfigyelhető Világegyetemben, valamikor az ősrobbanás óta eltelt idő alatt. Hut és Rees megemlíti, hogy roppant ritkán a kozmikus sugárzás két, nagyenergiájú részecskéje egymással szembe haladva összeütközhet egymással. Ilyenkor az ütközés energiája milliárdszorosa a földi részecskegyorsítóknak szokásos energiáknak, ezért egyelőre nem szükséges elővigyázatosságból korlátozni a gyorsítók teljesítőképességét.

Paradox módon a Világegyetem létezését alapjaiban fenyegető veszély, a vákuumbuborékok keletkezése, egyúttal egy kissé más összefüggésben éppen az a jelenség lehet, amely a megváltás egyetlen lehetséges módját jelenti. A Világegyetem halála elől csak úgy menekülhetünk meg, hogy létrehozunk egy új világegyetemet, és abba átszökünk. Mindez talán úgy hangzik mint egy fantáziaszülte elgondolás végszava, azonban a „csecsemő-világegyetek”-ről sok szó esett az elmúlt években. A létezésük mellett szóló érveket minden bizonnyal komolyan kell vennünk.

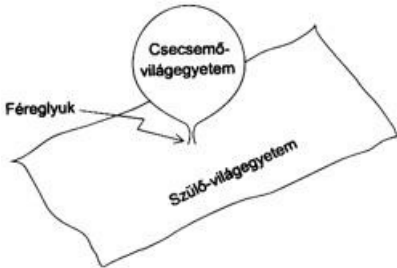
A gondolatot eredetileg 1981-ben vetette fel japán fizikusok egy csoportja, akik a hamis vákuum egy kicsiny,

valódi vákuummal körülvett buborékjának a viselkedését leíró matematikai modellt tanulmányozták. Az általuk vizsgált helyzet tehát éppen a fordítottja volt a fentebb tárgyaltaknak. Jóslatuk eredményeképpen a hamis vákuumbuborék pontosan úgy fúvódik fel egy nagyméretű világegyetemmé, mint ahogy azt a 3. fejezetben leírtuk az űsrobbanás után hirtelen felfúvódó Világegyetemmel kapcsolatban. Első pillanatban úgy tűnhet, hogy a hamis vákuumbuborék felfúvódása következtében a buborék falának úgy kell tágulnia, hogy a hamis vákuum tartományának mérete a valódi vákuum rovására rohamosan növekszik. Ez azonban ellentmond annak a várakozásunknak, hogy az alacsony energiájú, alapállapotú, valódi vákuumnak kell átvenni a hamis vákuum helyét, nem pedig fordítva.

Különös, de az igazi vákuum tartományából szemlélve az eseményeket, nem látszik, hogy a hamis vákuum buboréka által elfoglalt tér felfúvódva növekedne. Valójában a buborék sokkal inkább fekete lyukra hasonlít. (Ilyen szempontból mindez a „Dr. Who időgépe”-ben szereplő Tardisra emlékeztet, amely belülről nagyobbnak látszik, mint kívülről.) A hamis vákuumbuborék belsejében elhelyezkedő hipotetikus megfigyelő azt látná, hogy a világegyetem a tér egyre nagyobb tartományait nyeli el, kívülről nézve azonban a buborék kompakt maradna.

Ezt a különleges helyzetet úgy képzelhetjük el például könnyen, ha rugalmas gumilepedőhöz hasonlítjuk, amely egyes részein felhólyagosodik és a hólyagok felfúvódnak (lásd a 10.4. ábrán). A hólyag valamiféle csecsemő-

világegyetemet alkotna, amelyet köldökzsinórszerű szál, az úgynevezett féreglyuk köt össze az anya-világegyetemmel. A féreglyuk torka az anya-világegyetemben fekete lyukként jelenik meg. Az elrendezés azonban instabil, a fekete lyuk a Hawking-jelenség következtében gyorsan elpárolog és maradéktalanul eltűnik az anya-világegyetemből. Ennek eredményeképpen a féreglyuk lecsípődik, miáltal a csecsemő-világegyetem függetlenné válik a szülő-világegyetemétől, és megkezdí saját életét, teljes jogú, független és önálló világegyetemként. A szülő-világegyetemétől függetlenné vált csecsemő-világegyetem ezt követő fejlődése minden bizonynyal hasonló ahhoz, amint azt a mi Világegyetemünk esetében feltételezzük: a felfúvódás rövid időszakát a lassuló tágulás követi. A modell értelemszerűen azt a nyilvánvaló következményt is magában foglalja, mely szerint a mi Világegyetemünk ugyanígy, egy másik világegyetem utódeként keletkezett.



10.4. ábra

A tér egy a szülő-világegyetemből származó buboréka felfúvódik és csecsemő-világegyetemet hoz létre, amely

a féreglyuknak nevezett köldökzsinóron keresztül kapcsolódik az anyavilágegyetemhez. Az anyavilágegyetemből nézve a féreglyuk szája fekete lyuknak látszik. Amikor a fekete lyuk elpárolog, a féreglyuk torka elcsípődik, leválasztva ezáltal a csecsemővilágegyetemet, amely ezután önálló világegyetemenként megkezdzi független, saját jogú életét.

Alan Guth, a felfúvódó világegyetem elméletének atyja, és kollégái azt a bizarr lehetőséget is megvizsgálták, hogy a fentebb leírtak alapján elő lehet-e állítani egy új világegyetemet mesterségesen laboratóriumi körülmények közt. Ellentétben a hamis vákuum valódivá történő elbomlásával, az nem fenyegeti a világegyetem létezését, ha hamis vákuumot tartalmazó buborékot hozunk létre, amelyet valódi vákuum vesz körül. Igaz ugyan, hogy a kísérlet eredményeképpen létrejöhét egy ősrobbanás, azonban az egész jelenség egy parányi fekete lyuk belsejében játszódik le, amely gyorsan elpárolog. Az újszülött világegyetem létrehozza a saját terét, ahelyett, hogy a miénkől fogyasztana el valamennyit.

Bár az elképzelés teljes egészében feltételezés marad, és kizárólag elméleti matematikai fejtegetéseken alapul, egyes vizsgálatok arra utalnak, hogy ha megfelelő formában óriási mennyiségű energiát koncentrálnak, akkor lehetővé válik új világegyetek létrehozása. A nagyon távoli jövőben, amikor a mi Világegyetemünk a Nagy Reccs közeledtével kezd lakhatatlanná válni, utódaink esetleg majd úgy döntenek, hogy saját érdekükben

kiszállnak a Világegyetemből, és ezért megindítják a csíráztatás folyamatát, majd a féreglyukon keresztül a szomszéd világegyetembe távoznak, még mielőtt a féreglyuk lecsípődik. Természetesen senkinek nincs elképzelése sem arról, hogy ezek a mindenre elszánt lények végre fogják-e hajtani ezt a merész vállalkozást, és ha igen, hogyan. Mindenesetre az utazás a féreglyukon át meglehetősen kényelmetlen lesz, hacsak nem nagyon nagy az a fekete lyuk, amelyben el kell tűnniük.

Figyelman kívül hagyva az ilyen gyakorlatias részletkérdéseket, a csecsemő-világegyetemek pusztá lehetősége megteremti a valódi halhatatlanság lehetőségét, méghozzá nem csak leszármazottaink számára, hanem egész világegyetemek számára is. Ahelyett tehát, hogy *az egyetlen* Világegyetem életéről és haláláról gondolkodnánk, inkább a világegyetemek végtelenségig szaporodó családjára kellene gondolnunk, amelyek mindegyike világegyetemek egész generációinak ad életet, esetleg tömegesen. Ezt a kozmikus termékenységet látva a világegyetemek sokaságát valójában nyugodtan nevezhetjük *világmindenségnek* is. Ennek a mindenségnek nincs kezdete és nincs vége. Az egyes világegyetemek ugyan a könyvünk korábbi fejezeteiben leírt módon megszületnek és fejlődnek, azonban a világegyetemek sokaságából álló világmindenség örökké létezik.

Az eddig elmondottak fényében önkéntelenül is felvetődik a kérdés, hogy vajon a mi Világegyetemünk keletkezése természetes folyamat volt-e (hasonlóan a gyermekek

természetes úton történő születéséhez), vagy valamilyen szándékos beavatkozás eredményeképpen jött-e létre (vagyis valamilyen kísérleti lombikbébinek tekinthető). Elképzelhető, hogy egy rendkívül fejlett és önzetlen lényekből álló társadalom egy anya-világegyetemben úgy dönt, hogy csecsemő-világegyetemek sorát hozza létre, de nem azzal a céllal, hogy saját maguknak menekülési útvonalat biztosítsanak, hanem csak azért, hogy valahol megteremtsék az élet kialakulásának a lehetőségét, arra az esetre, ha az ő világegyetemük elpusztul. Ez az elgondolás ugyanis megkerüli azokat az akadályokat, amelyek abban az esetben merülnek fel, ha a szülő- és a csecsemő-világegyetem között makroszkopikus lények számára is átjárható féreglyukat akarunk létrehozni.

Nem világos, hogy az anya-világegyetem milyen mértékben örökíti át tulajdonságait a csecsemő-világegyetemre. A fizikusok egyelőre nem értik, hogy a természet különféle kölcsönhatásainak és részecskéinek miért éppen olyanok a tulajdonságai, amilyeneknek azt megfigyeljük. Egyrészt lehetséges, hogy ezek a tulajdonságok a természet nagyon általános érvényű törvényeinek a következményei, vagyis minden világegyetemben azonosak. Másrészt viszont, bizonyos tulajdonságok a fejlődés során bekövetkezett hibák, valamiféle kozmikus mutációk következményei lehetnek. Lehetséges például, hogy a vákuumnak több valódi állapota létezik, amelyek energiája azonos vagy közel azonos. Ebben az esetben lehetséges, hogy a felfúvódó korszak végén az elbomló hamis vákuumállapot véletlenszerűen választja ki az egyenértékű alapállapotok

közül azt, amelyikbe lebomlik. Ami a világegyetem fizikai törvényeit illeti, a vákuumállapotok közötti véletlen választás meghatározza az elemi részecskék számos tulajdonsága mellett a köztük ható erők milyenségét is, sőt, talán még a térbeli dimenziók számát is. Ez azt jelenti, hogy a csecsemő-világegyetem tulajdonságai nem szükségszerűen hasonlítanak anya-világegyetemének sajátosságaira. Talán az élet az utód-világegyetek csupán egy szűk körében fejlődhet ki, esetleg éppen azokban, amelyek fizikai tulajdonságai nem nagyon különböznek a mi Világegyetemünk tulajdonságaitól. Esetleg még az is előfordulhat, hogy léteznek valamilyen kozmikus öröklődési szabályok, amelyek biztosítják, hogy a csecsemő-világegyetem a szülő-világegyetem tulajdonságait meglehetősen pontosan örökölje, eltekintve az esetleges mutációktól. Lee Smolin, fizikus, annak feltételezéséig merészkedett, hogy a világegyetek közti öröklésben is működik valamiféle darwini természetes kiválogatódás, amely közvetve elősegíti az élet, sőt az értelmes élet kialakulását. Még izgalmasabb az a lehetőség, mely szerint az utód-világegyetemeket esetleg az anyavilágegyetemben tevékenykedő értelmes lények hozzák létre, amelyek tudatosan felruházzák az utód-világegyetemet mindazon tulajdonságokkal, amelyek az élet és a tudatosság kifejlődéséhez szükségesek.

A kifejtett gondolatok egyike sem tekinthető többnek egy-egy vad ötletnél, azonban a kozmológia még nagyon fiatal tudomány. A vázolt hóbortos ötletek arra legalább jók, hogy ellensúlyozzák a korábbi fejezetekben leírt baljós

előrejelzéseket. Sejteni engedik ugyanis, hogy még ha kései leszármazottainknak egyszer majd elkerülhetetlenül szembe kell nézniük az utolsó három perccel, valahol még mindig létezhetnek értelmes lények.

11. FEJEZET

Vég nélküli világok

Az előző fejezet végén tárgyalt bizarr elgondolások nem az egyetlen lehetőséget jelentik, amelyet számba kell vennünk, amikor a kozmikus végzet elkerülhetőségét vizsgáljuk. Amikor a Világegyetem sorsáról tartok előadást, valaki egészen bizonyosan rákérdez a ciklikus modellre. Az elképzelés a következő. A Világegyetem tágulása során eléri maximális méretét, majd a Nagy Reccsig tartó összehúzódás veszi kezdetét. Az összeroppanás végén azonban nem semmisül meg teljesen, hanem valamiféleképpen „visszapattan”, és megkezdődik a tágulás és az azt követő összehúzódás újabb ciklusa (lásd a 11.1. ábrán). Ez a folyamat az örökkévalóságig tarthat, amely esetben a Világegyetemnek nincs valódi kezdete és vége, hanem csak az egyes ciklusok kezdetéről és végéről beszélhetünk. Ez az elmélet különösen szimpatikus azoknak, akik a hindu és a buddhista filozófia hatása alatt állnak, azokban ugyanis kiemelkedően fontos szerepet kap a születés és a halál, a teremtés és a pusztulás.



11.1. ábra

A ciklikus világegyetem modellje. A világegyetem mérete periodikusan változik a nagyon sűrű és a nagyon szétszórt állapotok között. Minden egyes ciklus egy ősrobbanással keletkezik és egy Nagy Reccsel ér véget. A két esemény közötti szakasz időben nagyjából szimmetrikus.

A Világegyetem végére vonatkozóan két gyökeresen eltérő, tudományosan megalapozott képet vázoltam fel. A maga módján mindkettő zavarba ejtő. Az önmagát a Nagy Reccsben teljes egészében megsemmisítő kozmosz kilátása meglehetősen riasztó, annak ellenére, hogy valamikor a távoli jövőben mindez bekövetkezhet. Másrészt viszont, a véges ideig tartó dicsőséges tevékenység után a sötét üresség állapotába merülő, végtelen ideig fennmaradó Világegyetem képe még ennél is nyomasztóbb. Számunkra, melegvérű *Homo sapiensek* számára soványka vigaszt nyújt az a tény, hogy valamilyen szuperlények mindkét modell esetén elérhetik a végtelen információfeldolgozó-képességet.

A ciklikus modell vonzereje abban áll, hogy elkerüli a teljes megsemmisülés rémét, anélkül, hogy helyette be kellene vezetnie az örök visszafejlődést és pusztulást. A végtelen ismétlődések unalmas érdektelenségbe fulladását elkerülendő, a ciklusoknak valamennyire különbözniük kell egymástól. Az elmélet egyik népszerű változatában minden új ciklus az előző tüzes pusztulásából fönixmadárszerűen születik újjá. Ebből a kezdeti feltételből a saját újszerű

gazdagságában új rendszereket és struktúrákat fejleszt ki, hogy a következő Nagy Reccsben ismét minden tiszta lappal induljon.

Bár az elmélet vonzónak tűnhet, sajnos súlyos fizikai problémák merülnek fel vele kapcsolatban. Az egyik ezek közül az, hogy meg kellene találni azt a nyilvánvaló folyamatot, amely lehetővé tenné, hogy a Nagy Reccs felé száguldó Világegyetem ne semmisüljön meg, hanem egy nagyon nagy sűrűségű állapotban visszapattanjon az összeomlás, és ismét meginduljon a tágulás. Léteznie kell valamilyen antigravitációs hatásnak, amely mindent elsöprően nagyvá válik az összeomlás legvégén, ellene szegül a gravitáció mindent elsöprő, pusztító erejének, lehetővé téve ezáltal az összeomlás impulzusának ellentétes irányúra fordulását. Jelenleg ilyen erőt nem ismerünk, ha pedig létezne, akkor tulajdonságainak felettébb furcsáknak kellene lenniük.

Az olvasó bizonyára még emlékszik rá, hogy pontosan ilyen erős taszító hatás feltételezésére volt szükség az ősrobbanás felfúvódó elméletében. Emlékezzünk azonban vissza arra is, hogy a felfúvó erőt létrehozó gerjesztett vákuumállapot rendkívül instabil, ezért hamar elbomlik. Az ugyan elképzelhető, hogy parányi, egyszerű, újszülött világegyetem egy ennyire instabil helyzetből származik, sokkal kevésbé hihető viszont, hogy egy bonyolult, makroszkopikus állapotból összehúzódó világegyetem mindenütt eljuthat a gerjesztett vákuumállapotba. A helyzet némiképp arra emlékeztet, mint amikor egy ceruzát a hegyén akarunk egyensúlyozni. A ceruza könnyen kibillen

egyensúlyi helyzetéből, és lefordul. Sokkal nehezebb lenne azt elérni, hogy a ceruza magától a hegyére álljon. Még ha feltételezzük is, hogy az ilyen problémák valahogy megkerülhetők, még mindig maradnak további súlyos nehézségek a ciklikus világegyetemmel kapcsolatban. Ezek egyikéről a 2. fejezetben már volt szó. Az irreverzibilis folyamatoknak alávetett rendszerek, amelyek véges sebességgel fejlődnek, véges időtartam leforgása alatt mindenképpen megközelítik végállapotukat. Ez volt az az alapelv, amely a XIX. században a Világegyetem hőhalálának megjósolásához vezetett. A kozmikus ciklusok bevezetésével nem oldódik meg ez a probléma. A Világegyetemet óraszerkezethez hasonlíthatjuk, amely lassan lejár. Működése egy idő után elkerülhetetlenül megszűnik, hacsak nem húzzuk fel a szerkezetet. De vajon milyen mechanizmus képes felhúzni a kozmikus óraszerkezetet, anélkül, hogy ő maga ne szenvedne irreverzibilis változásokat?

Első pillanatban úgy tűnik, mintha az összehúzódó szakaszában lévő Világegyetem fizikai folyamatai éppen a fordítottjai lennének a táguló szakasz folyamatainak. A szétszóródó galaxisokat valamilyen hatás ismét együvé tereli, a kihűlő mikrohullámú háttérsugárzás ismét felmelegszik, a bonyolult atomok, atommagok elemi részecskék levesévé esnek szét. Közvetlenül a Nagy Reccs előtt a Világegyetem fizikai állapota nagyfokú hasonlóságot mutat a közvetlenül az ősrobbanás utáni fizikai állapottal. A szimmetria azonban csupán látszat. Erre utaló nyom lehet az, hogy a tágulás visszafordulása idején

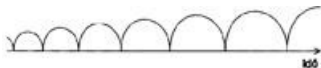
elő csillagászok még az összehúzódás megkezdődése után évmilliárdokon keresztül távolodni látják a galaxisokat. A Világegyetem úgy néz ki, mintha tágulna, holott már jó ideje összehúzódik. A csalóka látszat a jelenségek a fény véges sebességéből adódó késésének egyik következménye.

Az 1930-as években egy Richard Tolman nevű kozmológus kimutatta, hogy ez a késés elrontja a ciklikus Világegyetem látszólagos szimmetriáját. A dolog oka egyszerű. Kezdetben a Világegyetemben nagy mennyiségű, az ősrobbanásból visszamaradt hősugárzás van jelen. Az idő múlásával a csillagok fénysugárzása hozzáadódik ehhez a sugárzáshoz, ezért néhány milliárd év elteltével csaknem ugyanannyi felhalmozódott csillagfény tölti ki a Világegyetemet, mint amennyi a háttérsugárzás energiatartalma. Ez azt jelenti, hogy a Világegyetem lényegesen nagyobb sugárzási energiatartalommal közelíti meg a Nagy Reccsét, mint amennyi energiája közvetlenül az ősrobbanás után volt. Így amikor a Világegyetem átlagsűrűsége az összehúzódó szakaszban ugyanakkora lesz, mint most, akkor valamivel melegebb lesz.

A többlet energiatartalomra a Világegyetem az Einstein-féle $E = mc^2$ összefüggés értelmében saját anyagtartalmának rovására tett szert. A sugárzó energiát termelő csillagok belsejében a könnyű elemek, például a hidrogén, több lépésben nehezebbé, például vassá épülnek fel. A vas atommagja közönséges körülmények közt ötvenhat protont és harminc neutronot tartalmaz. Azt gondolhatnánk tehát, hogy az atommag tömege akkora, mint ötvenhat proton és

harminc neutron tömegének összege, ez azonban nem így van. A kész atommag körülbelül 1 százalékkal könnyebb, mint az öt alkotó elemi részecskék együttes tömege. A „hiányzó” tömegről az erős magerők által létrehozott kötési energia tud számot adni: a kötési energiával egyenértékű tömeg alakult át a csillagfény sugárzó energiájává.

Összességében a folyamat végeredményeként az anyag egy része sugárzássá alakult. Ennek fontos hatása van a Világegyetem összehúzódásának lefolyására, mert a sugárzás gravitációs hatása egész más, mint a vele egyenértékű tömeg gravitációja. Tolman kimutatta, hogy az összehúzódó szakaszban jelen lévő többlet sugárzás következtében a Világegyetem összehúzódása gyorsabb ütemű, mint amilyen a tágulás volt. Ha valamilyen módon bekövetkezne a Nagy Reccs előtti visszapattanás, akkor a következő ciklusban a Világegyetemnek gyorsabban kellene tágulnia. Más szavakkal ez azt jelenti, hogy minden egyes ciklus ősrobbanása nagyobb lesz az előzőnél. Ennek eredményeképpen a Világegyetem minden újabb ciklusban egyre nagyobbra tágulna, így a ciklusok nem csak egyre nagyobbak, hanem egyre hosszabbak is lennének.



11.2. ábra

Az irreverzibilis folyamatok következtében a kozmológiai ciklusok egyre hosszabbakká válnak, miáltal elromlik a tökéletes ciklicitás.

A kozmikus ciklusok irreverzibilis növekedése egyáltalán nem valami rejtélyes jelenség, hanem egész egyszerűen a termodinamika második főtételének következménye. A sugárzás felgyülemzése következtében nő az entrópia, aminek hatása az egyre nagyobb és nagyobb ciklusokban nyilvánul meg. Ezzel azonban szertefoszlott a valódi ciklikusság ábrándja, hiszen nyilvánvaló, hogy a Világegyetem időben fejlődik. A múltba pillantva ez azt jelenti, hogy a ciklusok egymásba zsúfolódva egy bonyolult és zűrzavaros kezdetté olvadnak össze, míg a jövőben a ciklusok hossza minden határon túl nő, egészen addig, amíg olyan hosszú nem lesz, hogy egy adott ciklus az idő legnagyobb részében már megkülönböztethetetlen lesz az örökké táguló modellek hőhalál képétől.

Tolman munkásságát követően a kozmológusok további folyamatokat is találtak, amelyek megsértik az egyes ciklusok táguló és összehúzódó szakasza közötti szimmetriát. Az egyik példa erre a fekete lyukak keletkezése. A standard elképzelés szerint keletkezésük a Világegyetemben nincsenek jelen fekete lyukak, az idő múlásával azonban a csillagok összeomlása és egyéb folyamatok következtében fekete lyukak keletkeznek, ezért ahogy öregsznek a galaxisok, úgy számuk egyre gyarapszik. Az összeomlás legutolsó szakaszában az anyag összenyomódása további fekete lyukak keletkezését segíti elő. Egyesek ezek közül nagyobb fekete lyukakká egyesülnek. Ennek következtében a Nagy Reccs felé közeledve a Világegyetem felépítése gravitációs

szempontból sokkal bonyolultabb, mondhatnánk, sokkal likacsosabb lesz, mint volt az ősröbbanást követően. Ha a Világegyetem visszapattanna, akkor a következő ciklus sokkal több fekete lyuk jelenlétével kezdődne, mint a mostani.

Elkerülhetetlennek látszik tehát az a következtetés, mely szerint bármely ciklikus világegyetem, amely lehetővé teszi, hogy fizikai szerkezetek vagy rendszerek öröklődjenek egyik ciklusból a másikba, óhatatlanul ki van téve a termodinamika második főtétele romboló hatásának. Az elszomorító következtetést csak annak feltételezésével kerülhetjük ki, hogy a visszapattanáskor uralkodó roppant szélsőséges fizikai viszonyok semmiféle információ áttérjedését nem teszik lehetővé az egyik ciklusból a következőbe. Minden korábban létezett fizikai objektum megsemmisül, minden hatás megszűnik. Valójában a Világegyetem teljes egészében újjászületik.

Egyáltalán nem világos azonban, hogy milyen előnyökkel kecsegtet ez a modell. Ha minden egyes ciklus fizikailag tökéletesen független az előzőtől, akkor mi értelme van a ciklusok egymásutániságáról beszélni, és azt gondolni, hogy a mindig újjászülető Világegyetem ténylegesen *ugyanaz* a Világegyetem marad. Az egyes ciklusokban megvalósuló világegyetemek ugyanis abszolút függetlenek egymástól, amelyek akár egymással párhuzamosan is létezhetnek, nem kell a sorozatosságot feltételezni. A helyzet kissé a reinkarnáció elképzelésére emlékeztet, ahol az újjászületett egyén egyáltalán nem emlékszik korábbi életére. Milyen értelemben beszélhetünk ebben az esetben

ugyanannak az embernek a reinkarnálódásáról?

Másik lehetőség az, hogy a termodinamika második főtétele valamiképpen megsérül, vagyis „az óra felhúzódik” a Világegyetem visszapattanásakor. Vajon ezáltal meg nem törtéنتé lehet-e tenni a második főtétele okozta rombolást? Vizsgáljuk meg egy egyszerű példán a második főtétele működését, figyeljük meg mondjuk valamilyen parfüm párolgását az üvegből. Tegyük fel, hogy valamilyen, minden molekulára kiterjedő összeesküvéssel sikerülne elérnünk, hogy minden egyes molekula sorsa a visszájára forduljon, vagyis a szobában szanaszét röpdöső illatmolekulák rövid idő leforgása alatt mind visszabújjanak az üvegbe. Olyan ez, mintha a „filmet” visszafelé játszánánk le. Márpedig a termodinamika második főtételenek köszönhetően különbséget tudunk tenni a múlt és a jövő között, azaz meg tudjuk állapítani az idő múlásának az irányát. A második főtétele sérülése azt jelenti, hogy visszájára fordul az idő múlásának iránya.

Túlságosan egyszerű kibúvó lenne azonban a kozmikus halál elől, ha feltételeznénk, hogy az idő múlásának iránya egyszerűen visszájára fordul, amikor meghalljuk az utolsó ítélet harsonáinak hangját. Ha rosszabbra fordulnak a dolgok, nem kell mást tennünk, mint visszafelé lejátszani a Világegyetem eseményeinek filmjét. Mindamellet az elgondolás egyes kozmológusoknak szimpatikusnak tűnt. Az 1960-as években Thomas Gold, asztrofizikus felvetette, hogy a Világegyetem történetének összehúzódo szakaszában az idő esetleg visszafelé múlik. Gold rámutatott, hogy az idő irányának megfordulása abban az

időben az élőlények agyának működésére is hatással lenne, miáltal azok szubjektív időérzete is visszajára fordulna. Az összehúzódó szakasz lakói tehát nem azt érzékelnék, hogy minden visszafelé történik, hanem számukra úgy tünne, mintha minden továbbra is a megszokott módon játszódna le. Így például azt érzékelnék, hogy a Világegyetem továbbra is tágul, nem pedig azt, hogy összehúzódik. Az ő szemükkal nézve az tünne a Világegyetem összehúzódó szakaszának, amelyben mi élünk, és azt érzékelnék, mintha a mi agyunkban játszódna le a visszafelé a folyamatok.

Az 1980-as években Stephen Hawking is eljátszott rövid ideig az idő múlását visszafordító Világegyetem gondolatával, azonban az ötletet azzal vetette el, hogy ez volt élete „legnagyobb tévedése”. Hawking először azt gondolta, hogy a kvantummechanika ciklikus Világegyetemre történő alkalmazása megköveteli az idő minden részletre kiterjedő szimmetriáját. Kiderült azonban, hogy ez nem így van, legalábbis a kvantummechanika standard megfogalmazásának keretei között. Újabban két fizikus, Murray Gell-Mann és James Hartle megvitatták a kvantummechanika szabályainak olyan értelmű módosítását, amelyek eredményeképpen az idő szimmetriája egyszerűen előírásként szerepel. Ezután feltették a kérdést, hogy lenne-e mindennek a Világegyetemre nézve valamilyen jelenleg is megfigyelhető következménye. Erre a kérdésre azonban mind a mai napig nem adható egyértelmű válasz.

A kozmikus utolsó ítélet elkerülésének egy egészen más

módját Andrej Linde, orosz fizikus vetette fel. Ötlete a felfúvódó Világegyetem elméletének a 3. fejezetben megismert modelljén alapul. Az eredeti felfúvódó modellben feltételeztük, hogy a nagyon korai Világegyetem kvantummechanikai állapota megfelel egy bizonyos gerjesztett vákuumnak, aminek következtében a tágulás üteme átmenetileg rettenetesen felgyorsul. 1983-ban Linde felvetette, hogy a korai Világegyetem kvantumállapota esetleg nem helyről helyre véletlenszerűen, kaotikusan változott, hanem valamilyen rendszer szerint, az egyik helyen alacsony energiájú volt, másutt mérsékelten gerjesztett, megint másutt erősen gerjesztett. Ahol a Világegyetem gerjesztett állapotba került, ott bekövetkezett a felfúvódás. A továbbiakban Lindének a kvantumállapot viselkedésére vonatkozó számításai azt mutatták, hogy az erősen gerjesztett állapotok okozzák a legnagyobb mértékű felfúvódást és a leglassúbb bomlást, vagyis minél erősebb a tér egy adott tartományában a gerjesztés, annál nagyobb mértékben fúvódik ott fel a Világegyetem. Nyilvánvalóan, nagyon rövid idő elteltével azok a térbeli tartományok, ahol az energia véletlenül éppen a legnagyobb volt, és ezért a felfúvódás a leggyorsabb volt, elnyelik a többi tartomány legnagyobb részét, vagyis a teljes tér oroszlánrészét ezek foglalják el. Ezt a helyzetet Linde a darwini evolúcióhoz vagy a gazdaság működéséhez hasonlította. Ha egy sikeres kvantumfluktuáció révén – roppant nagy energiakölcsönre szert téve – a Világegyetem egy tartománya rendkívül erősen gerjesztett állapotba kerül, akkor ennek

köszönhetően az illető tartomány térfogata rövid idő alatt jelentősen megnő. A nagy energiakölcsönhöz jutó, szuperfelfúvódó tartományok hamarosan uralkodóvá válnak.

A kaotikus felfúvódás eredményeképpen a Világegyetem mini-univerzumok, vagy buborékok halmazára esne szét, amelyek némelyike szédítő sebességgel tágulna, míg mások egyáltalán nem fúvódnának fel. Minthogy egyes tartományok gerjesztési energiája, egyszerűen a véletlenszerű ingadozásoknak köszönhetően, *nagyon* nagy lesz, ezekben a tartományokban a felfúvódás sokkal nagyobb mértékű lesz, mint amekkorát az eredeti elméletben feltételeztünk. Minthogy azonban éppen ezek a tartományok fúvódnak fel a legnagyobb arányban, ha a felfúvódás utáni Világegyetemben találomra kiválasztunk egy pontot, akkor az nagy valószínűséggel egy ilyen, az átlagosnál erősebben felfúvódott tartományba fog esni. Nagyon valószínű tehát, hogy mi magunk is egy ilyen szuperfelfúvódott tartomány mélyén helyezkedünk el. Linde számításai szerint az ilyen szuperfelfúvódó „nagy buborékok” mérete 10^{108} -szorosára nő, ami tehát egy olyan szám, amelyben az 1-est százmillió nulla követi.

A mi óriás tartományunk azonban csak egy, a végtelenül sok, rendkívüli mértékben felfúvódott tartomány közül, ezért nagy léptékben a Világegyetem változatlanul meglehetősen kusza képet nyújtana. A mi buborékunkban, amely elképzelhetetlenül messzire nyúlik a belátható Világegyetem határain túlra, az anyag és az energia

eloszlása nagyjából egyenletes, a mi buborékunkon túl azonban újabb buborékok következnek, közöttük olyan tartományokkal, amelyekben éppen most megy végbe a felfúvódás. Linde modellje szerint a felfúvódás valójában soha nem ér véget, mindig vannak a térnek ugyanis olyan tartományai, ahol éppen most következik be a felfúvódás folyamata, ahol új buborékok keletkeznek, miközben más buborékok leélik életüket és elpusztulnak. Megvalósul tehát az örök Világegyetem egy változata, némileg emlékeztetve az előző fejezetben tárgyalt csecsemő-világegyetemek hipotézisére, ahol az élet, a remény és a világegyetemek örökkévalók. Soha nem ér véget az egyre újabb világegyetemek keletkezése a felfúvódás révén, miközben valószínűleg kezdet sincs, bár ez utóbbit illetően nem egységesek a vélemények.

Vajon kínál-e a miénken kívüli buborékok létezése valamilyen túlélési lehetőséget utódaink számára? Elkerülhetik-e a kozmikus végítéletet – pontosabban a buborék végső pusztulását – oly módon, hogy az idők végezetéig mindig átköltözködnék egy fiatalabb buborékba? Linde pontosan ezt a kérdést tette fel a *Physics Letters* című folyóiratban 1989-ben közölt nagyszabású, „Élet a felfúvódás után” című cikkében. „Ezekből az eredményekből az következik, hogy a felfúvódó Világegyetemben soha nem fog eltűnni az élet” – írja. „Sajnos ez a következtetés azonban nem jelenti egyértelműen azt, hogy túlságosan optimisták lehetünk az emberiség jövőjét illetően.” Megállapítva, hogy egy adott buborék lassan lakhatatlanná válik, Linde arra a

következtetésre jut, hogy: „A túlélés egyetlen pillanatnyilag elképzelhető stratégiájának az látszik, hogy az öregedő buborékokból átvándorolunk az újabbakba.”

A felfúvódó világegyetem elméletének Linde-féle változatában az az egyetlen elkeserítő, hogy az átlagos buborékok óriásiak. Számításai szerint a miénken kívüli legközelebbi buborék távolságát fényévekben egy akkora számmal fejezhetjük ki, amelyikben az 1-es után sok millió nullát kell írni, vagyis ennek az egyetlen egy számnak a leírása önmagában megtöltene egy vastag kötet könyvet. Még ha sikerülne fénysebességgel utaznunk, akkor is ugyanennyi évig tartana az utazás a szomszédos buborékig, hacsak nincs olyan kivételes szerencsénk, hogy véletlenül éppen valahol a saját buborékunk legeslegszélén helyezkedünk el. Linde azonban kimutatja, hogy még a körülmények ilyen roppant szerencsés összejárása is csak akkor fordulhat elő, ha a Világegyetemünk tágulása előre jelezhető módon folytatódik. Akármilyen csekély és ezért jelenleg tökéletesen elhanyagolható legyen is egy fizikai hatás, idővel a tágulás folyamatát meghatározó szerepűvé válhat, ha a Világegyetemet jelenleg uraló anyag és sugárzás a tágulás következtében végtelenül felhígul. Lehetséges például, hogy mindmáig visszamaradt a Világegyetemben valamilyen felfúvó hatás, azonban jelenleg azt teljes mértékben elnyomja a gravitáció sokkal erősebb hatása. Feltételezve, hogy az előbbieken megbecsült, tengernyi idő szükséges a buborékunkból való kimenekülésre, időközben az ilyen csekély felfúvó hatás is meghatározóvá válhat. Ebben az esetben, ha elegendő idő

áll a rendelkezésére, egyszer majd a Világegyetem ismét elkezd felfúvódni. Természetesen nem az űsrobbanás után tapasztalt elképesztő hevességgel, hanem csak szép lassacskán, az űsrobbanás bágyadt utánezataként. Ez a halk nyöszörgés azonban, bármilyen gyengécske is, az örökkévalóságig folytatódik. Bár a Világegyetem növekedésének sebessége csak kismértékben fokozódik, annak a pusztá ténynek, hogy a tágulás gyorsul, mélyreható fizikai következményei vannak. A tágulás gyorsulása eredményeképpen a buborékon belül létrejön egy eseményhorizont, amely olyasvalami, mint egy fekete lyuk, belülről kifelé nézve és legalább olyan hatékony csapdaként működik. Minden túlélő menthetetlenül bezáródik tehát, mélyen a buborékunk belsejébe, mert hiába halad a buborék széle felé, az az ismételten megindult felfúvódás következtében bizonyosan nála gyorsabban távolodik. Linde számításai szokatlanok ugyan, mégis világosan rámutatnak, hogy az emberiség vagy leszármazottainak sorsa oly csekély fizikai hatásokon múlhat, amelyek kimutatására egészen addig semmi esélyünk nincs, amíg kozmológiai léptékben jelentősekké nem válnak.

Linde kozmológiája bizonyos vonatkozásaiban az állandó állapotú világegyetem régi elméletére emlékeztet, amely az ötvenes években és a hatvanas évek elején volt népszerű, és amely mindmáig a legegyszerűbb és legszimpatikusabb lehetőséget kínálja a Világegyetem végének elkerülésére. Eredeti, Hermann Bondi és Thomas Gold által kigondolt változata szerint az állandó állapotú világegyetem elmélete

feltételezi, hogy nagy léptékben a Világegyetem örökkön örökké változatlan marad. Nincsen tehát sem kezdet, sem vég. A Világegyetem tágulásának megfelelő ütemben folyamatosan új anyag keletkezik, amely kitölti a „hézagokat”, fenntartva ezáltal a Világegyetem állandó átlagsűrűségét. Az adott galaxisok sorsa ebben a modellben hasonló ahhoz, mint amit a korábbi fejezetekben megismertünk: születnek, fejlődnek, majd elpusztulnak. A kimeríthetetlen mennyiségben rendelkezésre álló, újonnan keletkező anyagból azonban állandóan újabb galaxisok alakulnak ki. A Világegyetem egészének általános képe tehát mindig ugyanolyan, adott nagyságú térfogatban mindig ugyanannyi galaxist találunk, bár ezek közt a legkülönbözőbb korúak fordulnak elő.

Az állandó állapotú világegyetem elméletében nem kell magyarázatot keresni arra, hogyan alakult ki a semmiből a kezdet kezdetén a Világegyetem, ugyanakkor az elmélet az állandó fejlődés és a kozmikus léptékű halhatatlanság érdekes kombinációja. Valójában még ennél is többet mond az elmélet, mert felkínálja a kozmikus örök fiatalságot, hiszen az egyes galaxisok lassanként elpusztulnak ugyan, a Világegyetem egésze ennek ellenére soha nem öregszik meg. Utódainknak soha nem kell tűvé tenniük a kozmoszt az egyre nehezebben kiaknázzható energiaforrásokért, hiszen a folyamatosan termelődő friss anyag bőséggel nyújtja azt. Az öregedő galaxisok lakóinak, amikor az üzemanyagkészletek fogytán vannak, egyszerűen csak át kell költözniük egy fiatal galaxisba. Ez így folytatódhat a végtelenségig, miközben az életerő, a

sokféleség és a tevékenység adott szintje az örökkévalóságig fennmaradhat.

Néhány fizikai feltételnek azonban teljesülnie kellene, hogy az elmélet működjék. A tágulás következtében a Világegyetem térfogata néhány milliárd évenként megkétszereződik. Ha fenn akarjuk tartani az átlagsűrűséget, akkor ehhez ezen idő alatt mintegy 10^{50} tonna új anyagnak kell keletkeznie. Ez első pillanatra soknak tűnik, átlagosan azonban csupán annyit jelent, hogy évszázadonként egy repülőgép-hangáryi térfogatban egyetlen atomnak kell keletkeznie. Roppant valószínűtlen, hogy sikerülne észrevennünk ezt a jelenséget. Sokkal súlyosabb gond merül fel viszont az elméletben az új anyagot létrehozó fizikai folyamatok mikéntjét illetően. Végül pedig arra is kíváncsiak lennénk, honnan származik az új anyag előállításához szükséges energia, és hogy lehet, hogy ez a csodálatos energiaforrás a végtelenségig elapadhatatlanul rendelkezésünkre áll. A problémát Fred Hoyle vizsgálta meg alaposabban, aki munkatársával, Jayant Narlikarral együtt teljes részletességgel kidolgozta az állandó állapotú világegyetem elméletét. A teremtő energiaforrásként egy eddig ismeretlen teret javasoltak, az úgynevezett teremtő teret. Definíciójuk szerint magának a teremtő térnek az energiája negatív. Minden egyes m tömegű részecske megjelenése $-mc^2$ energiával járul hozzá a teremtő tér energiájához.

Bár technikailag a teremtő tér feltételezése valóban megoldást jelent az anyag keletkezésének problémájára,

mindamellett sok kérdés továbbra is nyitott marad. Meglehetősen esetleges megoldásnak tűnik, minthogy a titokzatos tér semmilyen más kozmológiai megnyilvánulását nem tapasztaljuk. Komolyabb bajt jelentett, hogy az 1960-as évek elejétől gyülekezni kezdtek az állandó állapotú elmélet ellen szóló megfigyelési bizonyítékok. A legfontosabb ezek közül a mikrohullámú háttérsugárzás felfedezése volt. A nagyon egyenletes háttérsugárzás kézenfekvően értelmezhető az ősrobbanás maradványaként, ugyanakkor az állandó állapotú modell keretein belül roppant nehéz megmagyarázni a jelenlétét. Ezen kívül, a galaxisok és a rádiógalaxisok az égbolt nagy területeire kiterjedő átvizsgálása félreérthetetlenül amellel szóló bizonyítékokat szolgáltatott, hogy a Világegyetem nagy léptékben is fejlődik. Amikor mindez nyilvánvalóvá vált, Hoyle és munkatársai elvetették az állandó állapotú világegyetem modelljének egyszerű változatát, bár a különféle, bonyolultabb variációk időről időre felbukkannak. A fizikai és csillagászati problémáktól eltekintve, az állandó állapotú elmélet néhány furcsa filozófiai nehézséget is felvet. Ha például valóban *végtelen* idő és korlátlan mennyiségű energia áll leszármazottaink rendelkezésére, akkor semmi nem korlátozza műszaki fejlődésüket. Szabadon elterjedhetnek az egész Világegyetemben, a tér mind nagyobb tartományait hajtva uralmuk alá. Ennek következtében a nagyon távoli jövőben a Világegyetem jelentős része magán fogja viselni a műszaki civilizáció tevékenységének a nyomait. A kiinduló hipotézis értelmében azonban a Világegyetem nagyléptékű

természete időben változatlan, ezért az állandó állapotú elmélet elfogadása arra a következtetésre kényszerít, hogy a ma megfigyelhető Világegyetem *máris* műszakilag meghódított. Minthogy az állandó állapotú világegyetemben a fizikai feltételek mindig és mindenütt ugyanolyanok, az intelligens lényeknek folyamatosan mindig fel kell bukkanniuk. Mivel ez az örökkévalóságig mindig igaz, ezért léteznie kell olyan társadalmaknak, amelyek már tetszőlegesen hosszú idővel ezelőtt létrejöttek, és műszaki kultúrájukat a tér tetszőlegesen nagy tartományában elterjesztették, beleértve a mi környékünket is. Ezt a következtetést akkor sem kerülhetjük el, ha feltételezzük, hogy az értelmes lények általában nem akarják gyarmatosítani a Világegyetemet. Elég, ha az eddig eltelt végtelenül hosszú idő alatt ez egyetlen társadalomnak eszébe jutott, és a következtetés máris igaz. Íme, tehát egy újabb példa arra a régi, sok fejtörést okozó állításra, mely szerint ha a végtelen Világegyetemben valaminek akár csak a legcsekélyebb valószínűsége is van, akkor annak *m e g k e l l* valamikor történnie, még hozzá végtelenül sokszor. A keserű következtetés logikáját folytatva, az állandó állapotú világegyetem elmélete azt állítja, hogy a Világegyetem folyamatai azonosak lakói műszaki tevékenységével. Amit tehát természetnek nevezünk, az valójában nem más, mint egy szuperlény vagy szuperlények alkotta társadalom tevékenysége. Ez úgy hangzik, mint Platón világot teremtő főistenének egy változata (egy istenség, aki a már lefektetett fizikai törvények keretei közt dolgozik). Érdekes, hogy Hoyle a későbbi kozmológiai

elméleteiben világosan ki is fejt egy ilyen szuperlény létezése mellett szóló véleményét.

A Világegyetem végéről folytatott mindennemű eszmefuttatás során óhatatlanul felbukkan a cél kérdése. Már említettem, hogy a haldokló Világegyetem látomása Bertrand Russellt például a létezés teljes hiábavalóságáról győzte meg. Ez a felfogás jelent meg a közelmúltban Steven Weinbergnél is, akinek „Az első három perc” című könyve abban a végkövetkeztetésben csúcsosodik ki, hogy „Minél jobban megértjük az Univerzum történetét, annál értelmetlenebbnek és céltalanabbnak találhatjuk”. A magam részéről amellet érveltem, hogy talán a lassú kozmikus hőhaláltól való félelmet korábban némileg eltúlozták, sőt, az is lehet, hogy ettől már egyáltalán nem kell félnünk, azonban a Nagy Reccs okozta hirtelen halál továbbra is fenyegető veszély marad. Szuperlények tevékenységéről elmélkedtem, akik csodálatos fizikai és szellemi célokat képesek hátrányos helyzetükben is megvalósítani. Röviden annak az eshetőségét is megvizsgáltam, hogy a Szellemnek akkor sincsenek korlátai, ha magának a Világegyetemnek vannak.

De vajon enyhítik-e ezek a különféle változatok a szorongásunkat? Egy barátom egyszer megemlítette, hogy amit ő eddig az Édenkertről hallott, annak alapján nem különösebben érdekli őt a dolog. Egyáltalán nem találta vonzónak az örök élet lehetőségét a fennkölt egyensúly állapotában. Jobb gyorsan meghalni, és túlesni rajta, mint szembenézni az öröklét unalmával. Ha az örökkévalóság nem egyéb, mint ugyanazon gondolatok és érzékelések

szakadatlan ismétlődése, akkor a lét valóban céltalannak tűnik. Ha azonban a halhatatlanságba némi előrehaladás is vegyül, akkor elképzelhetjük az életünket az örökös újdonság állapotában, miközben mindig megtanulunk vagy teszünk valami újat és izgalmasat. Most már csak egy probléma marad, a miért. Amikor az emberi lények valamely terv megvalósításán dolgoznak, mindig van valamilyen konkrét céljuk. Ha a célt nem sikerül elérni, a vállalkozás kudarcba fullad, bár a tapasztalatok nem feltétlenül hiábavalóak. Ha viszont a célt sikerül elérni, akkor a tervet megvalósítják, és az erre irányuló tevékenységet befejezik. Lehet-e vajon egy vállalkozáson belül olyan célt kitűzni, amelyet *soha* nem lehet teljes egészében megvalósítani? Lehet-e a létezésnek értelme, ha maga a létezés együtt jár egy végtelen utazással egy olyan úticél felé, amelyet soha nem érünk el.

Ha van a Világegyetem létezésének célja, és eléri ezt a célt, akkor a Világegyetemnek meg kell szűnnie, mert további létezése indokolatlan és céltalan lenne. Ha viszont a Világegyetem örökké létezik, akkor nehéz elképzelni, hogy létezésének lenne bármiféle célja. A kozmikus halál tehát az az ár, amelyet a kozmikus sikerekért fizetni kell. Talán a legtöbb, amit remélhetünk, az, hogy az utódainknak sikerül megtudniuk, mi a Világegyetem létezésének célja, még mielőtt az utolsó három perc eltelne.

Magyar nyelvű ajánlott irodalom

Előszó

A szükséges fizikai előismeretek elemi, szórakoztató előadásban megtalálhatók George Gamow, a Nagy Bumm elmélet szülőatyja könyvében:

- GAMOW, G.: *Tompkins úr kalandjai a fizikával*, Gondolat, 1976

A modern kozmológia történetéről:

- FERRIS, T: *A vörös határ*, Gondolat, 1985
- *Hogyan lett tudomány a kozmológiából?*, Tudomány, 1992/10

Újabb fejlemények:

- *Világegyetemes igazságok*, Tudomány, 1990/12

A kozmológia történetének és problémáinak filozófiai vonatkozásairól:

- SZÉKELY L.: *Einstein kozmoszától a felfúvódó világegyetemig*, BTK, 1990

A korábbi tudományos és filozófiai álláspont ősrobbanást elutasító álláspontjára jellemző pl.:

- LABÉRENNE, P: *A világok keletkezése*, Kossuth, 1960

A szövegben említett két alapl mű magyarul is megjelent:

- WEINBERG, S.: *Az első három perc*, Gondolat, 1983
- HAWKING, S. W.: *Az idő rövid története*, Maecenas, 1989

Az élet kozmikus, sőt kozmológiai jelentőségéről:

- SKLOVSZKIJ, I. SZ.: *Világegyetem, élet, értelem*, Gondolat, 1976
- DUCROCQ, A.: *Az élet regénye*, Kossuth, 1967
- FODOR L. I.: *Földön kívüli élet*, Natura, 1984

- LOVELOCK, J. E.: *Gaia*, Göncöl, 1989

1. fejezet: Az utolsó ítélet napja

A Földnek ütköző üstökös régi kedvelt témája a tudományos-fantasztikus irodalomnak is. Pl.:

- WELLS, H. G.: *Amikor az üstökös eljő*, Franklin, én.

A Földet és a Naprendszer egyéb tagjait ért kozmikus bombatalálatokról:

- *Meteoritkráterek a Földön*, Tudomány, 1990/6
- ILLÉS E.: *Kozmikus ütközések nyomai*, Természet Világa, 1992/7. és 8. szám

A Shoemaker-Levy 9 üstökös és a Jupiter összeütközéséről a következő hónapokban bizonyára számos cikk, majd könyv jelenik meg a tudományos és az ismeretterjesztő irodalomban (lásd pl. ILLÉS Erzsébet cikkét az *Élet és Tudomány* 1994 szeptember 30-i számában). Előzetes értékelés pl. a *HVG* 1994/30 (júl. 30.) számában olvasható FREI Zsolt cikkében.

Az Oort-féle üstökösfelhőről:

- *100 billió üstökös kerestetik*, Tudomány, 1990/10
- A periodikus üstököshullás esetleges csillagászati okáról és a földi élővilágra gyakorolt hatásáról:
- GOLDSMITH, D.: *Nemesis, a halálcsillag*, Háttér Kiadó, 1990.

A galaxisok összeütközéséről:

- *Ütköző galaxisok*, Tudomány, 1991/10

2. fejezet: A haldokló világegyetem

A reverzibilitás és irreverzibilitás fizikájáról:

- FEYNMAN, R. P.: *A fizikai törvények jellege*, Magvető, 1983

A korai Nap-modellekről:

- HORVÁTH G.: Kihűl a Nap? *Fizikai Szemle* 1994/3

Az Olbers-paradoxonról:

- ASIMOV, I.: *Az éjszaka sötétje*, Galaktika, 29/111

A fraktál-kozmológia alapjairól, a galaxisok fraktál-eloszlásáról és az Olbers-paradoxon fraktál-alapú megoldásáról Mandelbrot alapművében olvashatunk:

- MANDELBROT, B.: *Fractals: Form, Chance and Dimension*, (Fraktálok: alak, véletlenség, dimenzió), több kiadás, pl. Freeman, San Francisco, 1977

Hasonló témáról szól röviden:

- SZALAY A. S.: *Fraktálok és az Univerzum szerkezete*, *Fizikai Szemle*, 1987/2
- Lásd még a *Fizikai Szemle* fraktál-számát (1988/7).

3. fejezet: Az első három perc

Az ősrobbanás mai elméletének részletes ismertetését lásd WEINBERG és HAWKING idézett könyveiben.

Emellett:

- BARROW, J. D.: *A Világegyetem eredete*, Kulturtrade, 1994
- MARX GY.: *Az Univerzum korai története*, *Fizikai Szemle*, 1979/3
- HAWKING, S.: *Az univerzum eredete*, *Fizikai Szemle*, 1987/12

- ATKINS, P.: *Teremtés*, Gondolat, 1988
- OMNÉS, R.: *A világegyetem és átalakulásai*, Gondolat, 1981

Az általános relativitáselmélet alapgondolatairól és kozmológiai alkalmazásairól:

- EINSTEIN, A.: *A speciális és általános relativitás elmélete*, Gondolat, több kiadás
- TAYLOR, E. F – WHEELER, J. A.: *Téridő-fizika*, Gondolat, 1974
- KAUFMANN, W. J. III.: *Relativitás és kozmológia*, Gondolat, 1985

Még a harmincas években született Eddington szuggesztív és sok tekintetben máig sem elavult műve:

- EDDINGTON, A.: *A természettudomány új útjai*, Franklin, 1939

A vöröseltolódás esetleges nem kozmológiai magyarázatáról:

- MARIK M.: *A kozmológiai vöröseltolódás*, in.: Csillagászati Évkönyv 1984, Gondolat
- *Kétségek a vöröseltolódás körül*, Tudomány, 1990/3

A Hubble-állandó értéke körüli újabb vitákról:

- BÓDY Z.: *...öregebb Világegyetem*, Természet Világa, 1994/2

Az ősrobbanás pillanatának, mint szinguláris eseménynek fizikai és filozófiai problémáival foglalkozik HAWKING idézett könyve és cikke, BARROW könyve, valamint:

- MARX GY.: *A tér és idő határvidéke*, Fizikai Szemle, 1994/4

A háttérsugárzás felfedezésének történetéről lásd *A vörös határ* című könyvet. A Világegyetem nagy léptékű „habos” szerkezetének felfedezéséről:

- *A Világegyetem nagyon nagy léptékű alakzatai*, Tudomány, 1986/9
- SZALAY A. S. et al.: *Az Univerzum nagyléptékű struktúrájának mélységi felmérése*, Fizikai Szemle, 1993/7

A COBE műhold missziójáról:

- *A Cosmic Background Explorer műhold*, Tudomány, 1990/3

A COBE eredményeiről:

- *A kozmológia aranykora*, Tudomány, 1992/9

A COBE által felfedezett struktúrák alternatív magyarázata:

- *Términtázatok és Világegyetem szerkezete*, Tudomány, 1992/5

A könnyű elemek atommagjainak kozmológiai eredetéről ld. WEINBERG idézett könyvét.

A részecskefizika mai állásáról nyilatkoznak neves magyar művelői:

- *Részesei az Egésznek*, Természet Világa, 1989/5

A modern részecskefizika és a kozmológia kapcsolatáról:

- *Részecskegyorsítók a kozmológia ellenőrzésére*, Tudomány, 1988/8

- PATKÓS A.: *A világegyetem állapotától a világegyetem történetéig*, Természet Világa, 1992/3-4

A felfúvódó Világegyetem modelljéről:

- *A felfúvódó Világegyetem*, Tudomány, 1985/1

• LUKÁCS B.: *A felfúvódó világegyetem*, Fizikai Szemle, 1987/12

A kvantumfizika alapfogalmait ismerteti GAMOW i. m., valamint

• KÁROLYHÁZI R.: *Igaz varázslat*, Gondolat, 1976

A kölcsönhatások nagy egyesített modelljéről:

• LUKÁCS B.: *Nagy Egyesítés – kérdőjelekkel*, Természet Világa, 1985/1-4.

4 fejezet: A csillagok végzete

Az 1987-es szupernóváról:

• BOTH E.: *Szupernóva a Nagy Magellán Felhőben*, Természet Világa, 1987/7

• *Az 1987-es nagy szupernóva*, Tudomány, 1989/10

• PATKÓS A.: *A neutrínócsillagászat születésnapja*, Természet Világa, 1987/7

A neutrínók fizikájáról:

• MARX GY.: *Túl a atomfizikán*, Gondolat, 1961

• *A Fizikai Szemle* neutrínó-száma, 1980/12

A csillagok szerkezetéről és fejlődéséről, a bennük folyó magfúzióról, a szupernóva-robbanásokról és a neutroncsillagokról:

• SKLOVSZKIJ, J. SZ.: *Csillagok, születésük, életük, pusztulásuk*, Gondolat, 1981

• ASIMOV, I.: *A robbanó napok*, Kossuth, 1987

• WEISSKOPF, V F: *Az egyszerűség nyomában* /12: *A csillagok*, Természet Világa, 1989/12

• BÓDY Z.: *Csillagászati atommagfizika*, Természet

Világa, 1979/12

- APAGYI B.: *Szupernóva robbanások*, Fizikai Szemle, 1972/9
 - NÉMETH J.: *Neutroncsillagok*, in Fizika 1977, Gondolat
 - *A világegyetem legidősebb pulzárai*, Tudomány, 1987/4
- Laplace eredeti cikke, amelyben (1799-ben!) feltételezte a fekete lyukak létezését, a Fizika 1978 című kötetben olvasható (Gondolat).

A planetáris ködökről:

- *Planetáris ködök*, Tudomány, 1992/7

A Nap belső szerkezetéről és a Nap-neutrínók rejtélyéről:

- MARX GY.: *A Napból érkező neutrínókra várva*, in Fizika 1977, Gondolat, 1978
- MARX GY.: *Milyen meleg a Nap közepe?* Fizikai Szemle, 1988/11
- *Neutrínók a Napból*, Tudomány, 1990/7
- MÖSSBAUER, R.: *A Nap és a neutrínók*, Fizikai Szemle, 1988/1

5. fejezet: Leszáll az éj

A csillagok születésének megfigyeléséről:

- *Indukált csillagkeletkezés*, Tudomány, 1992/4
- *A csillagok ifjúkora*, Tudomány, 1991/9

Az anyag kozmikus körforgásáról, „reprocessálásáról”:

- DUCROCQ, A.: *Az anyag regénye*, Kossuth, 1965
- MARX GY.: *Bölcsőnk az univerzum*, Fizikai Szemle, 1987/3

A fekete lyukakról ld. KAUFMANN i. m., valamint:

- *Fekete lyukak* (3 cikk), in: Fizika 1978, Gondolat
- MISNER et al: *Dialogus a fekete lyukakról*, Fizikai Szemle, 1979/7
- *A fekete lyukak membránelmélete*, Tudomány, 1988/6
Az anyag lehetséges végállapotairól:
- LUKÁCS B. – PAÁL GY: *A világ szerkezeti állandói* in: Csillagászati évk. 1982, Gondolat
A fekete lyukak körüli gázáramlásról:
- *Anyagkorongok a kettőscsillagok körül*, Tudomány, 1992/3
A galaxismagokról, aktivitásukról és a kvazárokról:
- AMBARCUMJAN, V A.: *Az univerzum kutatásának filozófiai kérdései* Gondolat, 1980
- *Fekete lyukak a galaxisok közepén*, Tudomány, 1991/1
- VILKOVSKIJ, E. JA.: *A rejtélyes kvazárok*, Gondolat, 1988
- *A 3C273 kvazár*, Tudomány, 1991/8
Saját Galaxisunk magjáról:
- *Mi van a Galaxis középpontjában?* Tudomány, 1990/6
- *A Nagy Annihilátor*, Tudomány, 1991/9
A gravitációs hullámokról:
- *A gravitációs hullámok megfigyelése*, Tudomány, 1987/8
- *Hullámlésen*, Tudomány, 1992/5

6. fejezet: Megmérjük a világegyetemet

A Világegyetem tágulását leíró egyenlet levezetése és megoldása a *Fizikai Szemle* Einstein-centenárium, 1979/3 számában, MARX György idézett cikkében

olvasható.

A tömeghiányról:

- MARX GY: *Eötvös Lorántól a sötét anyagig*, Fizikai Szemle, 1994/5

A neutrínók nyugalmi tömegéről:

- SZALAY A. S.: *A neutrínótömeg a kozmológiában*, in: Fizika 1975, Gondolat, 1976
- *A Fizikai Szemle* neutrínó-száma, 1980/12

A neutrínók tömegéről, a hideg és meleg sötét anyag különböző fajtáiról:

- LUKÁCS B. – PAÁL GY: *A világ szerkezeti állandói*, in: Csillagászati Évkönyv 1982, Gondolat
- *Sötét anyag a világegyetemben*, Tudomány, 1987/2
- MASSÓ, E.: *Sötét anyag a Tejútrendszerben*, Fizikai Szemle, 1994/1
- WYSE, R. F G.: *Az anyag eloszlása a Tejútrendszerben*, Fizikai Szemle, 94/1

A sötét anyag hálós szerkezetei, mint a galaxisképződés kristálycsírai:

- MARX GY. – SZALAY A. S.: *Hogyan születnek a galaxisok*, Fizikai Szemle, 1983/6

A sötét anyag különböző részecskefizikai aspiránsaira vonatkozó Világegyetemes igazságok, pro és kontra érvek izgalmas összefoglalása a *Tudomány* 1990/12 számában olvasható.

A gravitációs lencsehatásról:

- *Gravitációs lencsék*, Tudomány, 1988/9
- LUKÁCS B.: *Gravitációs lencsék*, Fizikai Szemle, 1982/7

A barna törpék felfedezése:

- *Fizikai Szemle*, 1994/1

Eddington „számmisztikájának” elemei előfordulnak A *természettudomány új útjai* című idézett könyvében. A természeti állandók közti furcsa (véletlen?) összefüggések meglepően szabályos Univerzum konstrukcióját teszik lehetővé; a tervrajzot ld. a Csillagászati Évkönyv 1982-es kötetében, LUKÁCS Béla és PAÁL György idézett cikkében.

A természeti állandók szerepéről az antropikus elv, más néven a lakható világ elve gondolatvilágában:

- DÁVID GY.: *A lakható világegyetem*, Természet Világa, 1990/7

7. fejezet: Az örökkévalóság soká tart

A „végtelen” fogalmát a matematikában, a fizikában és a filozófiában sokféle értelemben használják. Ld.:

- *Végtelenség és Világegyetem*, cikkgyűjtemény, Gondolat, 1974

A természettudományok mind több területén fontossá váló káosz fogalmáról és alkalmazásairól:

- *A káosz*, Tudomány, 1987/2

A gravitációs csúzi és hasonló égimechanikai problémák modellezéséről:

- HORVÁTH G. – JÁNOSI I.: *Gravitációs reakciók számítógépes modellezése*, *Fizikai Szemle*, 1987/11 és 12

A protonbomlásról és detektorairól:

• *A protonbomlás kutatása*, Tudomány, 1985/2

A részecskefizika mai állásáról:

• KISS D.: *Bevezetés a kísérleti részecskefizikába*, Akadémiai, 1990

• FRITZSCH, H.: *Kvarkok*, Gondolat, 1987

• *Szuperszimmetrikus-e a természet?* Tudomány, 1986/8

• *Szuperhúrok*, Tudomány, 1986/11

• *A Higgs-bozon*, Tudomány, 1987/1

• KATONA Z.: *Elemi részek*, Gondolat, 1978

8. fejezet: Élet a lassuló világban

A civilizációk jövőbeli lehetőségeiről:

• KARDASEV, N. SZ. et al: *Szupercivilizációk*, Fizikai Szemle, 1989/7

• LEM, S.: *Kiberiáda*, Európa, 1971

Idegen civilizációk kereséséről SKLOVSZKIJ és FODOR i. m., valamint:

• ALMÁR I.: *Kutatás idegen civilizációk után*, Természet Világa, 1993/4

• *A Fizikai Szemle SETI száma*, 1989/7

A gondolkodás és a kvantumelmélet kapcsolatáról:

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

Az információfeldolgozás energiaviszonyairól:

• *Démonok, gépek és a második főtétel*, Tudomány, 1988/1

A Világegyetem termodinamikai történetének modern felfogásáról, a hőhalálprobléma megoldásáról:

- MARX GY: *Irreverzibilis univerzum*, Fizikai Szemle, 1988/5

9. fejezet: Élet a gyorsuló világban

Képzetes világok teremtéséről:

- LEM, S.: *Summa Technologiae*, Kossuth, 1976

10. fejezet: Hirtelen halál és újjászületés

Új, „csecsemő-világegyetemek” teremtésének technikájáról és etikájáról:

- LEM i. m.

A tér dimenziószáma, mint lehetséges dinamikai változó:

- GORELIK, G. J.: *Miért háromdimenziós a tér?* Gondolat, 1987

Csecsemő-világegyetemek más-más fizikai paraméterekkel:

- DAVID idézett cikke az antropikus elvről.

11. fejezet: Vég nélküli világok

A ciklikus Világegyetemről:

- ZELDOVICS, JA. B.: *Keletkezhet-e a világmindenség a semmiből?* Természet Világa, 1989/1

Az állandó állapotú világegyetem különféle modelljeiről ld.

- KAUFMANN i. m.

A Nagy Bumm és a Nagy Reccs közti különbségekről:

- PENROSE i. m.

Jegyzetek

1 Magyarországon ehhez még hozzájárult egy ideológiai alapú merev elutasítás is. Még a nyolcvanas évek elején íródott filozófiai tankönyvek is „idealista téveszmének” bélyegezték azt az állítást, mely szerint a Világegyetemnek kezdete lett volna. Emellett az egész kozmológiát birtokháborításnak tekintették, amellyel a természettudomány illetéktelenül és irreleváns eszközökkel próbál beleszólni az eredendően a filozófia hatáskörébe tartozó „végső kérdésekbe”.

2 Gondoljunk csak arra, hogy a Föld oxigéntartalmú légkörének – amely az egész Naprendszerben egyedülálló – létrejötte és fennmaradása kizárólag a növényvilágnak köszönhető. A szabad oxigén jelenléte viszont megváltoztatta a kőzetek anyagaiban végbemenő kémiai reakciókat, és így végső soron az egész bolygó geológiai fejlődésébe is beleszólt.

3 Más kárán tanul az okos! A könyv angol eredetijének megírása óta a fenti katasztrófa-forgatókönyv részben megvalósult – az emberiség szerencséjére nem a Földön, hanem a Jupiteren. A *Shoemaker-Levy 9* nevű üstökös magja a Jupiter gravitációs hatására 1993 végén több részre szakadt. Ennek következtében megváltozott a törmelékek pályája is, és az előzetes számításoknak megfelelően az üstökös 21 kisebb-nagyobb (pár száz méterestől néhány kilométeresig terjedő átmérőjű) darabja 1994 júliusában egy hetes szőnyegbombázás során

összeütközött a Jupiterrel. Egy-egy ilyen üstökös-darab is elegendő lett volna ahhoz, hogy a Földön a fent leírthoz hasonló katasztrófát váltson ki. A Jupiter azonban több mint 300-szor nagyobb a Földnél, nincs szilárd felszíne, légköre viszont sokkal sűrűbb és vastagabb. Az üstökös-törmelékek ezért nem a szilárd felszínbe vágtak krátert, hanem a sűrű légkörben lefékeződve és felizzva okoztak hatalmas robbanásokat. A sok ezer atombomba robbanásával felérő becsapódások óriási gázfelhőket emeltek ki a légkörből, és hatalmas, a Föld méreténél nagyobb lyukakat, kavargó viharokat hagytak maguk után. Az emberiség eddigi történetében egyedülálló csillagászati eseménysorozatot számos földi csillagvizsgáló, a Hubble űrtávcső, a Jupiter felé tartó Galileo űrszonda, és a Naprendszerből kifelé igyekvő, de visszanéző Voyager-2 szonda is folyamatosan figyelte és fényképezte. A katasztrófa elemzése sok információt szolgáltat majd az üstökösök és a Jupiter légkörének adatairól, folyamatairól, a Naprendszer eredetéről.

4 Az egyes molekulák ütközései a mechanika törvényeinek megfelelően mennek végbe; ezek a törvények pedig nem tüntetik ki az idő egyik irányát sem: egy ütközés megfordítottja éppúgy megtörténhet, mint az eredeti ütközés. A megfordíthatatlanság, az irreverzibilitás mozzanata a molekulák nagy számával kapcsolatos: a mikroszinten megfordítható elemi ütközések együttese egyirányú – pontosabban: fordított irányban elhanyagolhatóan kis valószínűséggel végbemenő – folyamatokat eredményez. A mikroreverzibilitás és a

makroirreverzibilitás kapcsolata korántsem magától értetődő – pontos matematikai megfogalmazásával több mint száz éve bajlódnak a fizikusok.

⁵ Ilyen filmet valóban készített a magyar Iskolatelevízió a hetvenes években: a filmen a füst visszagomolyodott a kéménybe, az eltört váza egybeforrt, a felvert tojás sárgája és fehérje különvált, röviden: a rendezetlenségből rend született. A nézők persze hamar felismerték, hogy a film a valódi folyamatok visszafele lejátszásával készült. Kevésbé átlátszóan alkalmazták ugyanezt a trükköt Tarkovszkij filmjében, a Lem regényéből készült *Solaris*-ban. Az egész bolygót beborító élő óceán hullámai valóban élőnek látszottak: szinte célratörően duzzadtak, ágaskodtak. A rendezetlenség irányába tartó közönséges folyamat, a földi óceán hullámjainak elernyedése visszafelé lejátszva a rendeződés, az entrópiacsökkenés, az élet illúzióját keltette.

⁶ Akkoriban úgy gondolták, hogy a Nap szénből van, és közönséges kémiai módon ég. A Nap energiaforrására vonatkozó korai fizikai elméletek érdekes összefoglalása Horváth Gábor *Kihűl a Nap?* című idézett cikkében olvasható.

⁷ A véges idővel ezelőtt, a maximális rendezettség állapotában keletkezett (vagy teremtett), és azóta folyamatosan leépülő, pusztuló Világegyetem képe érdekesen egybecseng a számos nép mitológiájában szereplő, a hajdani „Aranykorra”, a bőség és a rend korszakára nosztalgikusan emlékező történetekkel. A

szövegben szereplő következtetés matematikailag nem teljesen meggyőző: előfordulhat, hogy a folyamatos, véges sebességű degradálódás végtelen ideig tart. Ehhez persze a kezdeti, tökéletesen rendezett állapotban igen kis sebességgel kellett megindulnia az entrópia képződésének. Ez elvileg lehetséges, de fizikailag igen valószínűtlen.

8 Az Olbers-paradoxon szépirodalmi igényességű leírása és megoldása Asimov *Az éjszaka sötétje* című esszéjében olvasható.

9 Az Olbers-paradoxonnak a Világegyetem tágulása mellett más, ravaszabb megoldása is lehetséges (a két megoldás nem zárja ki egymást). B. Mandelbrot, a fraktálgeometria kidolgozója mutatott rá példát (Fournier d'Albee korábbi ötlete nyomán), hogy lehetséges olyan (nem homogén) anyageloszlás, amelyben nincs kitüntetett középpont és irány, de mégsem lép fel az Olbers-paradoxon. Ehhez speciális, fraktál-jellegű anyageloszlás szükséges. Az utóbbi évek megfigyelései arról tanuskodnak, hogy igen nagy (a galaxishalmazoknál jóval nagyobb) léptékben vizsgálva a Világegyetem anyageloszlása a Mandelbrot által megjósolthoz hasonlít.

10 Nem arról van szó, hogy a távcsőben látszó galaxis felismerhetően vörösebbé válna: a galaxisok túl halványak ahhoz, hogy a távcsőben színesnek látszódjanak. Hubble tulajdonképpen a galaxisok színeképvonalainak a vörös szín irányába történő szisztematikus elcsúszását, az ún. vöröseltolódást fedezte fel.

11 Hubble felfedezése a színeképlelemzés módszerén alapul. 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 színeképeiben meghatározott helyzetű fényes vonalak látszanak (szemben például az izzó szilárd testek által kibocsátott fény folytonos színeképeivel). 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 vöröseltolódásakor az egyes fényes vonalak hullámhossza megváltozik. Az hihetnénk, hogy ezzel lehetetlenné válik a kibocsátó atomfajta azonosítása. A helyzet szerencsére más: az egyes atomfajta színeképvonalai mintegy együtt csúsznak el a színekép mentén, relatív helyzetük megmarad, ezért a vonalkombinációk továbbra is lehetővé teszik az elem azonosítását, valamint a vöröseltolódás mértékének egyetlen paraméterrel történő jellemzését.

12 A vöröseltolódás szokásos egyszerű magyarázata a Doppler-jelenségre hivatkozik: a mozgó forrás által kibocsátott hullámok hullámhossza megváltozik: ha a forrás távolodik az észlelőtől, a hullámhossz nő (fény esetében ez vöröseltolódást jelent), közeledő forrás esetén csökken (kékeltolódás). Az eltolódásra jellemző mennyiség, a hullámhossz relatív megváltozása arányos a forrás

sebességévei. Ezen a nyelven kifejezve Hubble felfedezése azt állítja, hogy a tőlünk távolodó galaxisok sebessége arányos pillanatnyi távolságukkal: $v = Hx$, ahol x a galaxis távolsága, v a sebessége, H pedig a nevezetes Hubble-állandó. Az állandót eléggé pontatlanul ismerjük (a galaxisok távolságmeghatározásának nehézségei miatt), értéke nagyságrendileg 10 km/s/millió fényév, másképpen: $1/H = 12 - 15$ milliárd év. A szövegben ismertetett, az általános relativitáselméletre támaszkodó értelmezés szerint a „galaxisok távolodása” nem valamilyen robbanás következménye: nem a galaxisok mozognak, hanem a tér nő meg közöttük. A kétféle értelmezés matematikailag ekvivalens – egészen addig, amíg a távolodás vöröseltolódásból számított értéke meg nem közelíti, illetve túl nem lépi a fénysebességet. Ekkor a Doppler-jelenség mint magyarázat már nem használható, míg az általános relativitáselmélet továbbra is konzekvens képet ad.

[13](#) A helyzet hasonló ahhoz, mintha azt kérdeznénk: Mi van az Északi-sarknál egy méterrel északabbra? A Föld felszínének minden pontján jól definiált a kérdés, és a rá adandó válasz is létezik: meg tudjuk mutatni azt a pontot, amely tőlünk egy méterrel északabbra fekszik – kivéve, ha magán az Északi-sarkon állunk, mert ekkor a kérdés elveszti értelmét. Az Északisark minden földi pontnál északabbra van, de nincs pont, amely nála északabbra lenne. Ugyanígy értelmes a „Mi volt egy másodperccel ezelőtt?” kérdés is a téridő minden pontjában és pillanatában – kivéve magát az ősrobbanást, amely minden

pillanat előtt volt, de nincs olyan pillanat, amely őelőtte lett volna. Ez a példa több egyszerű hasonlatnál: a két szituáció matematikailag tökéletesen azonos. A később tárgyalandó Nagy Reccs pedig a Déli-sarkkal analóg: minden más pillanat után van, de nincs értelme a kérdésnek, hogy mi történik őutána: maga az idő ér véget.

14 A korábban sokat emlegetett hőhalál, az általános termodinamikai egyensúly állapota tehát ismét felbukkant – de nem mint a bizonytalan jövőben bekövetkező, hanem mint a Világegyetem múltjának egy meghatározott szakaszában (kb. 300 000 évvel az ősrobbanás után) fennállott, ma is észlelhető nyomokat hagyó, megfigyelésekkel felfedezett hajdani állapot. A világ tehát feltámadt a hőhalálból! Ez is, mint annyi más látszólagos paradoxon, az általános tágulással magyarázható. A tágulás folyton újjárendezi a színpadot, felborogatja a kulisszákat, nem hagyja tökéletesen beállni az egyensúlyt. A Világegyetem termodinamikai története tulajdonképpen az egyensúly felé tartó, entrópiát termelő helyi folyamatok és az elérendő egyensúlyi helyzetet folyamatosan megváltoztató általános tágulás versenyének története.

15 Mit jelent a Világegyetem „sugara”? Gondoljunk a táguló gumiszálra fűzött gyöngyökre. Ha el akarjuk kerülni a szál végeivel kapcsolatos problémákat, a szálat karikává tekerhetjük. Ekkor a tágulás mértékét azzal jellemezhetjük, ha az idő függvényében megadjuk a karika növekvő sugarát. Ez a Világegyetem egyik lehetséges (ún. zárt) modelljének modellje. Jellemzője, hogy térfogata (azaz a

karika kerülete) és a benne levő anyagmennyiség (a karikára fűzött golyók száma) véges. De vannak más modellek is, amelyek térfogata és anyagmennyisége végtelen. Ilyenkor is definiálható egy „sugárnak” nevezhető, a tágulás során növekvő paraméter, de az nem ennyire szemléletes. Vegyük észre azonban, hogy a tágulás azzal is jellemezhető, ha megadjuk két szomszédos golyó távolságát az idő függvényében. Ez az adat mindig értelmes, függetlenül attól, hogy a gumiszál záródik-e vagy sem. Ha tehát a későbbiekben a szerző a „Világegyetem sugarát” említi, gondoljunk egyszerűen két tipikus galaxishalmaz időben változó távolságára. Hasonlóan: a „Világegyetem teljes tömege” csak a zárt modellben értelmezhető, ehelyett használhatjuk viszont a Világegyetem sűrűségét, azaz az egységnyi térfogatban levő anyag mennyiségét, amely ráadásul helyi mérésekkel is meghatározható. Világunk feltűnő jótulajdonsága, és meglepő egyszerűségének egyik fontos jele, hogy lokális (távolság, sűrűség) és globális (sugár, össztömeg) adatai kölcsönösen meghatározzák egymást.

16 E mérések során a csillagok színképét vizsgálták. Mivel a csillagok belsejében a hidrogént héliummá átalakító atommagreakciók folynak, azt várhatnánk, hogy a fiatal csillagok majdnem tiszta hidrogénből, az öregek majdnem tiszta héliumból állnak. Ezzel szemben azt tapasztalták, hogy a hélium részaránya egyetlen egy csillagban sem kisebb 25%-nál. Ennek egyetlen logikus magyarázata az lehet, hogy 25%-nyi hélium már az első csillagok keletkezése előtt, a presztelláris gázfelhőben

jelen volt. Ez a felhő a csillagok keletkezésének idején viszonylag hideg volt. Kellett tehát lennie egy korábbi, forró állapotnak, amikor végbemehettek a hélium magokat létrehozó magreakciók. Ez a gondolatmenet is logikusan vezetett el a korai forró Univerzum, a Nagy Bumm gondolatához. A későbbi pontosabb elméleti számítások valóban 25% hélium-arányhoz vezettek. (Pontosabban: ez a mérésekből ismert adat segít kiszűrni az elmélet különféle variánsai közül a valóságos Világegyetemhez nem illeszkedőket.)

[17](#) A felfúvódó Világegyetem elméletét az ötlet (1980) szülőatyja, Alan Guth személyesen ismertette a Tudomány 1985/1 számában. Néhány szót az elnevezésekről: gondosan különböztessük meg a Világegyetem tágulását a felfúvódástól. A Világegyetem születése óta tágul, ezt azonban lassuló ütemben teszi. A felfúvódás (más szóval infláció) viszont gyorsuló ütemű (exponenciális) tágulást jelent.

[18](#) Az atommag mérete viszont csak 10^{-13} cm, ezért a virtuális elektron magfizikai skálán mérve tekintélyes, száz atommagnyi utat tud megtenni.

[19](#) A modern részecskefizikában felmerült az az izgalmas lehetőség is, hogy esetleg a vákuum alapállapota sem egyetlen állapot, hanem több – esetleg végtelen sok – egyforma energiájú, ekvivalens, de mégis különböző alapállapot van. Képzeljünk el egy élére állított kártyalapot: nyilvánvaló, hogy nem alap-, hanem gerjesztett állapotban van. Aztán ledől: jobbra vagy balra – és eléri a két

ekvivalens, de megkülönböztethető alapállapot valamelyikét. A hegyére állított ceruza pedig (folytonosan) végtelen sok alapállapot közül választhat ledőlésekor. Ezeknek az egyszerű mechanikai példáknak az analógiája nyomán indult el a modern kvantumtérelmélet, amikor a hetvenes és nyolcvanas években sikeresen megmagyarázta az elemi részecskék között ható erős és gyenge magerőket és elektromágneses erőket.

20 A newtoni gravitációelméletben a gravitáció egyetlen forrása az anyag tömegsűrűsége. Más szóval nem számít, hogy milyen színű, szagú, kémhatású, energiájú, sebességű, stb. egy test, gravitáló hatását kizárólag tömege határozza meg. Einstein általános relativitáselméletében megnőtt a szereplők száma: az anyageloszlás tíz különböző paramétere szól bele, milyen gravitációs hatást fejt ki, azaz miképpen görbíti a téridőt a rendszer. Nyugvó anyageloszlás esetén a két fő paraméter a tömegsűrűség és a nyomás. A teljes gravitációs hatást a tömegsűrűség és a $-$ fénysebesség négyzetével osztott $-$ nyomás háromszorosának összege határozza meg. Közönséges, a hétköznapi fizikában előforduló anyagok esetében e tíz paraméter közül kilenc, köztük a nyomás, elhanyagolhatóan kicsi a tizedikhez $-$ a tömegsűrűséghez képest. (Számítsuk ki, hogy egy atmoszféri nyomás a fénysebesség négyzetének hatalmas értékével osztva milyen csekély tömegsűrűségnek felel meg!) Így ebben az esetben Newton gravitációelmélete jó közelítésnek bizonyul. Csakhogy vannak a közönséges, földi fizikában megszokottól alapvetően eltérő anyagfajták is $-$ és az

ősrobbanás közvetlen környezetében ezek voltak a meghatározók.

21 Ha a Világegyetem zárt modellje a helyes, akkor ez az anyagmennyiség nagyságrendileg megegyezik az Univerzum teljes tömegével. Ha a nyílt – és ezért térben végtelen – modell a helyes, akkor a fenti számadat csak a végtelen világ általunk pillanatnyilag belátható – a fény által az ősrobbanás óta megtett út által meghatározott sugarú – részének tömegét jelenti.

22 Ugyanebben az évben (1932) fedezték fel az atommag alkotórészeként a proton elektromosan semleges rokonát, a neutront (neutrális = semleges). Ettől megkülönböztetendő látta el Pauli az eredetileg általa is neutronnak nevezett részecskét az olasz -ino kicsinyítőképzővel. Így tehát neutrínó = „semlegeske”.

23 Mint már korábban szó volt róla, minden csillag tartalmaz legalább 25%-nyi, az ősrobbanás utáni első percekben keletkezett héliumot is.

24 A Rák-köd nem a Rák csillagképről, hanem furcsa, szálas szerkezetéről, a fényképeken rákra emlékeztető alakjáról kapta nevét. Ez a szerkezet az erős mágneses terek által elrendezett, csapdába ejtett gázoknak köszönhető. A szupernóva-maradványok erős mágneses tere által felgyorsított elemi részecskék alkotják a kozmikus sugárzás fő forrását.

25 A neutroncsillag elektromágneses sugárzásának nagy része a csillag igen nagy mértékben felerősödött, gyors forgásra készített mágneses tere által kibocsátott

rádiósugárzás. Ez a sugárzás a forgásnak megfelelő szabályos, periodikus pulzálás formájában érkezik a Földre (ezért nevezték az ilyen sugárzást kibocsátó objektumokat pulzároknak). Az első pulzár felfedezésekor, a hatvanas évek közepén a szabályos rádiójeleket a „kicsi zöld emberkék” üzenetének hitték. Később azonosították a pulzárokat a harmincas években elméletileg megjósolt neutroncsillagokkal.

26 A fekete lyuk első közelítésben olyan hatalmas gravitációjú objektum, amelyet még a fény (és ezért semmi más) sem képes elhagyni, mert felszínén a szökési sebesség meghaladja a fénysebességet. Pontosabb leírása csak az általános relativitáselmélet keretében lehetséges. A következő fejezet részletesebben foglalkozik a fekete lyukak fizikájával.

27 A csillaglégkör ledobott külső része vékony, táguló gömbhéj formájában veszi körül a csillagot. Ezt a látványos égi objektumot planetáris ködnek nevezik.

28 Roppant kicsik – egy csillaghoz mérve. Egy tipikus fehér törpe akkora, mint a Föld, azaz kb. 10 000 km átmérőjű. (Vessük ezt össze a Nap típusú csillagok 1-2 millió km-es, illetve a vörös óriások néhány száz millió km-es méretével.) Ezzel szemben a szupernóvarobbanás után visszamaradó neutroncsillagok, amelyek még mindig tartalmazzák az anyacsillag tömegének jelentős részét, csak kb. 10 km átmérőjűek. Hozzájuk képest a fehér törpe valóságos óriás! A neutroncsillag anyagát a gravitáció még a fehér törpe szupersűrű anyagánál is sokkal nagyobb

mértékben préseli össze.

29 A csillagászok sokat vitatkoznak arról, hogy a Tejútrendszer anyagának mekkora hányada lehet jelen ilyen kihűlt csillagmaradvány, ún. fekete törpe formájában. (Ne tévesszük össze ezeket a barna törpékkel, amely a csillaggá nem fejlődő, ahhoz túl kis tömegű sűrű gázfelhők neve.) Lehetséges, hogy a későbbi fejezetekben sokat emlegetett sötét anyag egy része fekete törpékből áll.

30 Korábban – a Világegyetem időbeli végtelenségének dogmája alapján állva – sokan úgy gondolták, hogy kell működnie valahol a világban egy olyan folyamatnak, amely a csillagok elhasznált salakanyagát visszaalakítja szűz hidrogénné, hogy abból új csillagok keletkezhesenek. Ilyen folyamatoknak semmi nyoma, emellett létezésük ellentmondana a fizika ismert törvényeinek. Egyesek (ld. pl. Labérenne idézett, 1960-as kiadású könyvét) mégis komolyan érveltek e folyamatok létezése mellett – hiszen a világnak állandó állapotúnak *kell* maradnia. Ilyen abszurd helyzetekhez vezethet a természettudományokban egy filozófiai vagy esztétikai jellegű dogmához való merev ragaszkodás és a belőle következő struccpolitika.

31 A Röntgen-sugárzást angol nyelvterületen – Röntgen eredeti szóhasználata szerint – X-sugárzásnak nevezik.

32 Lehetséges, hogy a fekete lyukak anyagelnyelése nem folyamatos, hanem periodikus jelenség. A lyukba zuhanó anyag által kibocsátott sugárzás irtózatossá sugárnyomása mintegy kisöpri a lyuk környezetéből a

befelé igyekvő távolabbi anyagdarabokat. Aztán elfogy a behulló anyag, gyengül a sugárzás, és ismét győz a gravitáció: újabb anyaghullám zúdul a lyukba. Ezután kezdődik minden elölről. Lehet, hogy a Tejútrendszer magjában észlelt bonyolult struktúra egy ilyen időben periodikus folyamat térbeli nyomait őrzi.

33 A rendszer nyolcórás „évről” van szó!

34 A gravitációs hullámok kisugárzása nemcsak az égitestek egymás körüli keringését, hanem a neutroncsillagok gyors forgását is fékezi. Egy gáz vagy folyadék halmazállapotú forgó test perdületének csökkenésére anyagának folytonos átrendeződésével (a lapultság csökkentésével), és így a forgás szögsebességének, tehát a kibocsátott pulzáló sugárzás frekvenciájának folytonos csökkenésével reagálna. A neutroncsillagok jelentős része azonban másképp viselkedik. A hosszabb időn (hónapokon, esetleg éveken) át állandó frekvencia hirtelen, ugrásszerűen csökken, majd ismét sokáig állandó marad. Ezt a földrengésekhez hasonló mechanizmussal értelmezhetjük: a csillag anyaga egy „csillagregés” során hirtelen rendeződik át a perdület csökkent értékének megfelelő alakúra, majd az alak állandó marad, miközben újból gyűlni kezdenek a belső feszültségek, amelyek később kiváltják majd a következő csillagregést. Ilyen belső feszültségek csak szilárd anyagban ébredhetnek, ezért a neutroncsillagok megfigyelt hirtelen periódusváltozása nemcsak a gravitációs sugárzás létének egy új, független – bár közvetett – bizonyítékául

szolgált, hanem egyben lehetővé tette az anyag egy új, közvetlen kísérlettel talán soha sem vizsgálható állapotának, a hihetetlenül nagy nyomás hatására kialakuló szilárd neutronkristálynak a felfedezését is.

³⁵ Sok számítást végeztek arra vonatkozóan is, hogy a Naprendszeren áthaladó gravitációs hullámot a különböző űrszondák pályájának kismértékű, de szisztematikus és korrelált torzulása alapján mutassák ki. Sajnos ez az effektus is csekély. Tervezik egy speciális, gyorsan forgó precíziós pörgettyűt szállító műhold felbocsátását is. A gravitációs hullám hatására a pörgettyű tengelye észrevehetően elmozdulna. A számítások szerint ez az eszköz 100 fényéves körzetből észlelni tudná pl. egy kettős neutroncsillagrendszer vagy egy szupernóvarobbanás gravitációs sugárzását.

³⁶ Egyes számítások szerint az űrhajós mégis észreveheti a fekete lyuk határát, ha *oldalra* néz. Így a szemébe jutnak ugyanis azok a fénysugarak, amelyek a fekete lyuk gravitációs terében csapdába esve, mintegy műholdként körpályán keringenek a lyuk körül. Ha tehát nagy tömegű égitest körül ólálkodunk, és a központ reménytelenül sötét, viszont erre merőleges irányból hirtelen fényfelvillanást látunk, igen jó esélyünk van rá, hogy éppen beestünk egy fekete lyukba. Sajnos ezt a hírt már nem mondhatjuk el senkinek. (A pontosabb számítások szerint a keringő fénysugarak pályájának sugara az eseményhorizont sugarának másfélszerese, tehát ha a fényfelvillanás után gyorsan észbekapunk, még

elemenekülhetünk.)

37 Ez a jelenség a speciális relativitáselméletben megismert idődilatáció, azaz az időintervallumok hosszúsága relativitásának igencsak szélsőséges esete.

38 Az itt használt angol szó: „gateway”, egyben F. Pohl egyik fantasztikus regényének címe is (magyarul *Átjáró* címmel jelent meg), melynek alapkonfliktusa az, hogy a főhős véletlenül belökte szerelmét egy fekete lyukba. Az idő fent vázolt relativitása miatt a lyukba zuhanó hölgy szemrehányó tekintete hősünket haláláig, sőt az örökkévalóságig elkíséri.

39 Nemcsak hasonlóan, hanem azonosan! 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 kő mozgását leíró közismert egyenlettel, ennél fogva megoldásai, azaz a lehetséges mozgások fajtái is azonosak. Ezt az analógiát használja ki a tágulás egyenletének egy egyszerű, az általános relativitáselméletet messze elkerülő levezetése.

40 A 3. fejezet 6. lábjegyzetében leírtak szerint a következőkben „a Világegyetem tömegéről” olvasva gondoljunk mindig a Világegyetem átlagos sűrűségére. Ez zárt és nyílt világban is véges, és (elvben) mérhető. A szövegben szereplő konkrét számítások a látható, azaz a

Nagy Bumm óta eltelt idő alatt a fénysugár által bejárt Világegyetemre vonatkoznak, amely véges és végtelen világ esetén is véges, egy kb. 15 milliárd fényév sugarú gömb.

[41](#) Ez kb. 1 protont jelent 10 m^3 térfogatban, másképp kifejezve: 10^{-31} g/cm^3 sűrűséget.

[42](#) „Közönséges anyag” itt azt kell érteni, mintha a Világegyetem fent kiszámolt tömege csak elektronok formájában lenne jelen. Célszerű követni ezeket az igen nagy és igen kicsiny számokat tartalmazó egyszerű számításokat pl. a fizikai állandóknak a középiskolai függvénytáblázatban szereplő értékeit használva.

[43](#) 1975-ben Szalay A. Sándor és Marx György éppen a kozmológiai adatokból kiindulva adott felső és alsó korlátot is a neutrínó tömegére. (Korábban mindig csak felső korlátot közöltek, hallgatólagosan feltételezve, hogy az igazi érték pontosan nulla.) Akkoriban még újdonságszámba ment, ma már bevett gyakorlat, hogy kozmológiai modellek és megfigyelési adatok alapján becsülnek meg nehezen vagy sehogyan sem mérhető részecskefizikai paramétereket. A kapott érték az elektron tömegének mintegy húszezredrésze volt. 1980-ban egy szovjet kutatócsoport a radioaktív béta-bomlás pontos mérésével az előrejelzethez közeli tömegértéket kapott. Ezt az eredményt azonban más, független laboratóriumi mérések nem erősítették meg. A kérdés ma is nyitott. A helyzetet bonyolítja, hogy a részecskefizika és a kvantumtérelmélet további fejlődésével új hipotetikus részecskék légiója

bukkant fel. Ezek mind helyet követelnek maguknak a Nagy Bumm után az energiatortán való osztozkodáskor. Így egyre nehezebb az egyes részecskekre független becsléseket adni. A kutatónak a konkrét számolás előtt el kell köteleznie magát az elmélet valamelyik változata mellett: ez általában gyengíti a kapott eredmény meggyőző erejét.

44 1994 elején a kísérleti részecskefizikusok a harmadik, másfél évtizede keresett neutrínó-fajta (tau-neutrínó) létezését is kimutatták.

45 Felmerült, hogy a gravitációs lencsehatást kiaknázva *magát a Napot* használjuk csillagászati távcsőként. Egy megfelelően felszerelt űrszonda – néhány évtized alatt – messze elhagyja a Naprendszert, majd visszanéz. Ekkor a Nap gravitációs tere által fókuszait fényt begyűjtve alaposan megvizsgálhatja a Nap túlsó oldalán levő csillagászati objektumokat. A számítások szerint ezzel a módszerrel akár a közeli csillagok egyes bolygói is felismerhetők lesznek. A szonda adatait rádióon továbbítja a Földre. Továbbhaladva – mint amikor a távcső lencsét mozgatjuk – mindig más és más objektum képe lesz éles, kerül fókuszba. Így a szonda egész működési ideje alatt (ami néhány évszázad is lehet!) ontja a csillagászati információkat. A technikai előkészítés megkezdődött, a szonda a tervek szerint a 2010-20-as években indulhat. A csillagászok már vitatkoznak: merre van az égen az a legérdekesebb objektum, amivel *ellenkező* irányba kell a szondát küldeni.

Azóta az észlelések száma szaporodott. A gravitációs mikrolencsehatás valószínű okozói barna törpék, a csillagfejlődés korai stádiumában megrekedt, a csillaggá váláshoz túl kis tömegű sűrű gázfelhők, amelyekből igen sok kószálhat szerte a Galaxisban. Saját fényük nem lévén, csak ezzel a módszerrel észlelhetők. Az első mérési adatok alapján végzett becslés szerint jelenlétük a Tejútrendszer gravitációs tömeghiányának mintegy felét magyarázhatja meg. Nem alkalmasak azonban a galaxisközi, a galaxishalmazokat összetartó sötét anyag szerepére.

Híres próbálkozás volt pl. Arthur Eddingtoné, aki a (zárt) Világegyetem összes részecskéinek számát (kb. 10^{80}) az elektron és proton között ható elektromos és gravitációs vonzóerő hányadosának (értéke $10^{40} = e^2/Gm^2$, ahol e az elemi töltés, G a gravitációs állandó, m egy tipikus elemi részecske tömege) négyzetével azonosította, majd ezt a számot is igyekezett – a relativitás- és kvantumelmélet saját gyártmányú egyesítése segítségével – valami „még alapvetőbből” levezetni. Dirac ugyanezt a 10^{80} számot az Univerzum elemi időegységekben kifejezett korának tekintette, és ezzel időben változónak tételezte fel – ekkor természetesen valamelyik természeti „állandó” változását is fel kellett tennie. Az alapvető természeti törvényekben szereplő állandók dimenziótlán kombinációi közti meglepő összefüggések manapság az ún. *antropikus elv* híveinek szolgálnak érveket.

Ez az érvelés az *antropikus elv* (másnéven a *lakható világ elve*) felhasználásának tipikus példája. Az elv szerint a világ leírása és magyarázata során figyelembe kell venni azt az elemi tényt, hogy ennek a világnak lakói vannak – mi magunk (esetleg mások is, de ez nem szükséges az érveléshez). Az észlelt világnak olyannak kell lennie, hogy lehetővé tegye saját létezésünket; ezért a világmagyarázat sem mondhat ennek ellent. Ha pl. egy – bármilyen szép – kozmológiai modellből az következne, hogy a világ még a csillagok begyulladásá előtt, mondjuk egymillió évvel a Nagy Bumm után magába roskad, ezt a modellt sajnálattal el kell vetnünk, hiszen a modell világában mi nem léteznénk. Ez a látszólag triviális és ártatlan kikötés máris jelentősen megszorítja – az adott modellosztályon belül – a használható paraméterek értékét. Tudjuk, hogy világunk elérte a csillagkorszakot, ez megköveteli a finomhangolás – a kritikus sűrűség megközelítése – bizonyos mértékét, ezért pl a felfúvódó modellosztályban a felfúvódás ideje nem lehet kevesebb száz „szempillantásnál”. Itt belép egy pszichológiailag fontos tényező: a táguló Világegyetem egymást követő korszakai mindig sok nagyságrenddel hosszabbak az összes megelőzőnél (a „dramaturgiai időskála” logaritmikus). Valóban: bár már milliárd évek teltek el, azaz jóval több, mint az Univerzum csillagkor megelőző teljes életkora, a csillagkor még épphogy elkezdődött, sok a szűz, feldolgozatlan hidrogén. Az előző fejezetben ismertetett, a fekete lyukak gravitációs energiáját kiaknázó civilizációk pedig már százmilliárd

éves skálán tervezhetnek. Az időskála megnyúlásának alapvető oka a Világegyetem tágulása miatt bekövetkező hűlés, a fizikai folyamatok lassulása. A táguló világ bármely korszakának bekövetkeztét „követeljük meg” az antropikus elv alapján, bármelyik korszakban ébred öntudatra egy hipotetikus értelmes lény, mindig úgy fogja érezni, hogy saját korszaka – rövid előjáték után – éppen hogy csak elkezdődött. Ezért igen valószínűtlennek fogja tartani a világ paramétereinek olyan beállítását, hogy az alig elkezdődött korszak máris véget érjen – hiszen annyi más lehetőség van! Így konklúziója mindig megegyezik a fenti szövegben szereplővel: a világnak még valószínűleg sokkal több ideje van hátra, mint amennyi eddig eltelt. Ez az érzelmi alapú logika hasonlít annak az embernek az okoskodásához, aki halhatatlannak hitte magát, mondván: eddig már oly sok napon meghalhatott volna, így igen valószínűtlen, hogy éppen ma következzen be a sajnálatos esemény. A kritikus lépés – mint az antropikus elvvel kapcsolatban kimutatott furcsaságok esetén mindig – a *valószínűség*, illetve a valószínűtlenség fogalmainak használata. Lehet-e, szabad-e egy *egyszeri* Világegyetemben a paraméterek értékeinek valószínű vagy valószínűtlen voltáról beszélni? Ez az a kérdés, mely sokakat visszarettent – másokat pedig vad spekulációkra ösztönöz.

[49](#) Pontosabban: ez a jelenség csak *forgó* fekete lyukak környezetében, az eseményhorizont és az azt körülvevő másik kritikus felület között, az ún. ergoszférában következhet be.

50 A fekete lyuk effektív hőmérséklete egyszerűen fordítva arányos tömegével.

51 A fekete lyuk tehát a kibocsátott hőszugárzás, azaz a hűlés következtében melegebb lesz. Úgy is fogalmazhatunk, hogy fajhője negatív. Ez a furcsaság azonban nemcsak a fekete lyukak egyedülálló tulajdonsága. Máshol is fellép a fizikában és a csillagászatban, ha a gravitáció és a termodinamika találkozik. Legjobb példa erre a csillagok keletkezése, illetve az ehhez vezető folyamat, a gázfelhők gravitációs összehúzódása. Az összezsugorodó gázfelhő felmelegszik, gravitációs energiájának egy része hővé alakul. A meleg gáz azonban hőszugárzás formájában kibocsátja az energia egy részét – a pontos számítás szerint a felét –, ezáltal hőmérséklete és így nyomása nem nő olyan mértékben, mint ha pl. zárt tartályban lenne. A nyomás nem képes ellenállni a gravitációnak – a felhő tehát folyamatosan zsugorodik, sugározva hűti magát, és egyre melegszik. Ennek a rendszernek is negatív tehát a fajhője. A zsugorodást kétféle mechanizmus állíthatja meg: vagy fellép egy extra, nem termikus eredetű nyomás (durván szólva: a részecskék összeérnek), vagy a felhő közepén beindul a magfúzió, és a felszabaduló hő miatt megnövekvő nyomás szegül ellene a gravitációnak. A fekete lyukak elpárologásakor nem ismerünk hasonló korlátozó mechanizmust: a folyamat instabil lesz, megszalad, és véges idő alatt elvezet a végkifejlethez: a lyuk teljes elpárologásához.

52 A fekete lyukak „elpárolgásához” szükséges idő kiinduló tömegük köbével arányos.

53 Ezt a törvényt, amely megtiltja a proton pozitronná alakulását, Wigner Jenő állította fel. A törvény a bariontöltés nevű mennyiség megmaradását mondja ki. A proton a legkönnyebb, még bariontöltést hordozó részecske, így töltését nem tudja kinek továbbadni – ezért stabil. Az új elméletek szerint a bariontöltés megmaradása nem egzakt, csak közelítő természet-törvény, így kis valószínűséggel, de bekövetkezhet a proton bomlása. (Hasonló mechanizmusa, de jelenlegi tudásunk szerint szigorúan teljesülő törvény, az elektromos töltés megmaradása okozza a legkönnyebb elektromosan töltött részecske, az elektron abszolút stabilitását.)

54 Hasonlítsuk össze az itt vázolt nem túl szívdерítő képet Arthur Eddington 1934-ben írt soraival: „...Széles körökben feltételezik, hogy a protonok és elektronok végső rendeltetése: egymás megsemmisítése és a bennük rejlő energiának sugárzás alakjában való felszabadítása. Ha ez így van, akkor a világmindenségből végeredményben egy mindinkább ritkuló, mindig nagyobb hullámhosszúságú sugárzásból álló golyó lesz.” (l. m. 71. o. Donhoffer Szilárd fordítása) A tudomány időközben hatalmas utat tett meg, feltételezve, majd elejtve a proton stabilitásának tételét, új szereplők, elemi részecskék, galaxismagok, fekete lyukak kerültek a színpadra, hogy röpke szerepük eljátszása után ismét letűnjenek. És a fizika 1994-es állása szerint ismét csak Eddingtont kell idéznünk: „Így talán leírhatom a világ

végét – egyetlen, lenyűgöző rádió-közvetítés alakjában.”

55 A gyarmatosítás szó nyomán ne gondoljunk holmi galaktikus birodalomra, a Galaxis császárára és repülő csészealjakra a Tejút egyik végéből a másikba száguldozó katonáira. A fantasztikus regények galaktikus birodalmának elengedhetetlen kelléke a hipertéri rádió és a hiperhajtómű, amelyekkel a hősök a fénysebesség korlátjának fittyet hányva ésszerű idő alatt üzenhetnek és közlekedhetnek csillagról csillagra. A fizikai realitás birodalmában maradván azonban a Tejútrendszer mérete, az emberi élettartam és a fénysebesség feloldhatatlan ellentmondás-gubancot alkot. A jövő gyarmatosított Galaxisa igen prózai lesz: jobban hasonlít a polinéz szigetvilágra vagy a középkori Európa elszigetelt jobbágyfalvainak rendszerére, mint a mai világfalura. Az egyes naprendszerek lényegileg önellátók, csak közvetlen szomszédaikkal tartanak fenn kereskedelmi és kommunikációs kapcsolatot. Központi igazgatás, kormányzat nem alakulhat ki, illetve nem tud tartósan fennmaradni. Csak az igen fontos hírek, tudományos eredmények, lassan terjedő kulturális irányzatok járnak át az egész Galaxist, a többi csak helyi érdekességű lehet. Az emberek nemigen utaznak – kényelmetlen és célja se nagyon van. Ehhez járul még a biológiai diverzitás: minden bolygón kialakul/alakítják a maximálisan alkalmazkodott emberfaj/t, melynek egyedei esetleg nem is viselnék el a másik bolygó viszonyait. De ebben rejlik a provincializmusból való kiemelkedés kulcsa is: a hármas gubanc két tényezője adott, az egyetlen megváltoztatható

tényező az emberi életkor, életrimus, és egyáltalán: maga az ember. Lehet, hogy a távolabbi jövő kiborg-utóemberei már nem is unják magukat halálra, amikor néhány száz évnyi űrutazással elugranak a legközelebbi strandbolygóra.

[56](#) Douglas Adams *Galaxis útikalauz*-sorozatában szerepel egy szerencsétlen halhatatlan, aki már minden könyvfilmlet legalább nyolcvanezerszer látott.

[57](#) Az agy tudatos működése és a kvantumgravitáció még csak csírában meglevő elmélete között lehetséges mély kapcsolatokra hívta fel a figyelmet Roger Penrose magyarul is megjelent könyvében.

Tartalom

- [Előszó](#)
- [Az utolsó ítélet napja](#)
- [A haldokló Világegyetem](#)
- [Az első három perc](#)
- [A csillagok végzete](#)
- [Leszáll az éj](#)
- [Megmérjük a Világegyetemet](#)
- [Az örökkévalóság soká tart](#)
- [Élet a lassuló világban](#)
- [Élet a gyorsuló világban](#)
- [Hirtelen halál és újjászületés](#)
- [Vég nélküli világok](#)
- [Magyar nyelvű ajánlott irodalom](#)
- [Jegyzetek](#)