

KATIE MACK

**A MINDENSÉG VÉGE**

Fordította Dedinszky Zsófia

KATIE MACK

**A MINDENSÉG VÉGE  
(MÁRMINT  
ASZTROFIZIKAI  
SZEMPONTBÓL)**



**TYPOTEX**

A könyv a Magyar Tudományos Akadémia  
támogatásával készült.



A fordítás a következő kiadás alapján készült:  
*The End of Everything (Astrophysically Speaking)*  
Scribner, New York, 2020  
Copyright © 2020 by Dr. Katie Mack  
Hungarian translation © Dedinszky Zsófia, 2022  
Hungarian edition © Typotex, Budapest, 2022  
Engedély nélkül semmilyen formában nem másolható!

Lektorálta  
Dr. Bokor Nándor  
Dr. Szabados László

ISBN 978 963 493 180 5

Kedves Olvasó!  
Köszönjük, hogy kínálatunkból választott olvasnivalót!  
Újabb kiadványainkról, akcióinkról a [www.typotex.hu](http://www.typotex.hu)  
és a [facebook.com/typotexkiado](https://facebook.com/typotexkiado) oldalakon értesülhet.

Typotex Kiadó  
Alapította Votisky Zsuzsa, 1989  
A kiadó az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók  
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja.  
Felelős kiadó: Németh Kinga  
Felelős szerkesztő: Széll Szilvia  
Tördelés: Jankovics Milán  
Borítóterv: Somogyi Péter  
Nyomta és kötötte: Generál Nyomda Kft., Szeged  
Felelős vezető: Hunya Ágnes

# TARTALOM

1. BEVEZETÉS A KOZMOSZBA	9
2. AZ ŐSROBBANÁSTÓL NAPJAINKIG	22
3. A NAGY RECCS	56
4. A HŐHALÁL	75
5. A NAGY SZAKADÁS	107
6. A VÁKUUMROMLÁS	130
7. PATTOGÁS	156
8. A JÖVŐ JÖVŐJE	175
9. EPILÓGUS	201
Név- és tárgymutató	211



*Anyámnak, aki ott volt a kezdetektől*





## ELSŐ FEJEZET

# BEVEZETÉS A KOZMOSZBA

*Mondják, a földnek tűz vet véget,  
Mások szerint a vég a jég.  
Amit a vágyból eddig éltem,  
A tűzre várok jobban én.  
De ha kétszer pusztulhatna,  
Annyi itt a gyűlölet,  
Hogy tarthassam rombolásra  
Nagyszerűnek,  
Sikeresnek a jeget.*

Robert Frost, 1920\*

Költők és filozófusok a történelem kezdete óta vitáznak és tépelődnek azon a kérdésen, hogy miként fog véget érni a világ. Hála a természettudományoknak, szerencsére ma már pontosan tudjuk a választ: tűz emészti el. Ez egyértelmű. Körülbelül ötmilliárd év múlva a Nap vörös óriássá duzzad, amely bekebelezi a Merkúr pályáját, sőt talán még a Vénuszét is, a Földet pedig szétperzselt, élettelen, láva borította kődarabbá emészti. De még ez sem lesz elég – ennek a kihalt, füstölgő maradványnak a végső sorsa az lesz, hogy a Nap külső rétege körüli spirálba olvad, és atomjait a haldokló csillag izzó atmoszférájába szórja szét. Szóval tűz. Ez tuti. Frostnak tehát igaza volt elsőre.

De nem mert elég nagyot gondolni. Én viszont kozmológus vagyok – a világegyetem egészét kutatom, a legnagyobb léptékeket. Eb-

\* Fábián József fordítása.

ből a szempontból a mi világunk csupán egy aprócska, szánalmas kis porszem az óriási és ezerszínű univerzumban. Ami engem érdekel – tudományos szempontból és őszinte, személyes érdeklődésből is – egy sokkal nagyobb kérdés: miként fog véget érni a *világegyetem*?

Az tudjuk, hogy volt kezdete. Mintegy 13,8 milliárd évvel ezelőtt az univerzum egy elképzelhetetlenül sűrű állapotból először egy mindent magába foglaló kozmikus tűzgolyóvá, majd egy lassan lehűlő, energiából és anyagból összeálló aktív folyadékká változott, amely a ma ismert csillagjaink és galaxisaink alapját adta később. Aztán bolygók képződtek, galaxisok ütköztek, fény töltötte meg a kozmoszt. Az egyik spirális galaxis szélén, egy teljesen átlagos csillag körül keringő bolygón kialakult az élet, feltalálták a számítógépeket és a politikát, és olyan furcsa hórihorgas, kétlábú lények lepték el, akik saját szórakozásukra olvasnak fizikakönyveket.

De mi jön ezután? Mi lesz a sztori vége? Egy bolygó vagy akár egy csillag halála is túlélhető elméletileg. Az is elképzelhető, hogy az emberiség még néhány milliárd év múlva is létezni fog – talán mai szemmel felismerhetetlen alakban, az űr valamely távoli szegletébe menekülve, ott építve új hazát és új civilizációt magának. A világegyetem vége azonban tényleg a vég lesz. Mit jelent ez számunkra, a létező minden számára, ha egyszer tényleg eljön ez a pillanat?

## **Üdvözlünk az idők végén**

Bár a tudományos szakirodalomban van néhány jól ismert (és igen szórakoztató) cikk erről a témáról, az „eszkatológia” fogalmával (azaz a mindenség végének tudományával) én először a vallásról olvasva találkoztam.

Az eszkatológia – vagy pontosabban fogalmazva, a világ végéről szóló tanítás – a különféle vallások számára remek lehetőséget nyújt arra, hogy teológiai tanításukat kontextusba helyezték, és elemi erővel célba juttassák őket. A kereszténység, a judaizmus és az iszlám a köztük lévő teológiai különbségek ellenére egy dologban megegyeznek:

az idők végezetét mindannyian úgy látják, mint azt a pillanatot, ahol a világ rendje helyreáll, ahol a jók győzedelmeskednek a gonoszak fölött, és ahol Isten kegyeltjei elnyerik méltó jutalmukat.\* Talán a végétélet ígérete igyekszik elsimítani azt a szerencsétlen tényt, hogy tökéletlen, igazságtalan, szeszélyes világunk bizony nem minden lakója számára teszi az életet jóvá vagy élhetővé a jelenlegi formájában. Ahogy bizonyos regényeket meg tud menteni vagy épp tönkre tud tenni egy jól/rosszul megírt utolsó fejezet, sok vallási filozófia számára egyszerűen szükség van a világ (még hozzá egy „igazságos” világ) végére ahhoz, hogy az egész visszamenőlegesen értelmet nyerhessen.

Persze nem minden eszkatológia a vég felől építi fel magát, és nem minden vallás jósol világvégét. A 2012 decembere körüli felhajtás ellenére a maják például a ciklikus világegyetemben hittek, ahogyan a hinduk is, amelyben nincs egyetlen tényleges „vég”. A körforgás ezekben a felfogásokban nem állandó ismétlődést jelent, hanem bele van építve annak a lehetősége is, hogy a következő körben minden jobb lehet: szenvedéseink ebben a világban talán elviselhetetlenek, de ne aggódjunk, jön az új világ, amelyet a jelen aljassága nem érinhet, vagy csupán javíthat rajta. A világi történetek azonban ennél jóval szélesebb spektrumon mozognak, kezdve a nihilizmustól, miszerint semmi sem számít (és a semmi az, ami végeredményben túlél bennünket) egészen az örök visszatérés szédítő teóriájáig, amelyben minden dolog újra és újra ugyanúgy megtörténik, örökkön örökké.\*\* Mindkét, látszólag ellentétes nézetet szokás Friedrich Nietzsche nevével összekötni, akinek, miután bejelentette, hogy a világegyetembe bármilyen rendet csepegtethető Isten halott, szembe kellett néznie a következményekkel, hogy milyen egy végső igazságszolgáltatás nélküli kozmoszban élni.

De Nietzsche korántsem az egyetlen, aki eltöprengett a létezés értelmén. Arisztotelészről Lao-cén és de Beauvoir-on át egészen Kirk

\* Hogy ezek a jutalmak miként lesznek szétosztva és pontosan kiknek – ez már nem igazán hasonlít ezekben a vallásokban.

\*\* Ezt a nézetet képviseli – bár nem fejti ki filozófiai mélységeiben – a *Csillagközi romboló* című tévésorozat 2000-es évek elején vetített epizódjaiban.

kapitányig és Buffyig, a vámpírok réméig rengetegen feltették már a kérdést: „De mit is jelent mindez?” E könyv megírásának idején erre még nincs konszenzusos válasz.

Akár hiszünk valamilyen vallásban vagy filozófiában, akár nem, nehéz lenne letagadni, hogy a kozmikus végzetünk ismerete bizony befolyásolná a létezésről alkotott gondolatainkat, és azt, ahogyan élünk. Ha tudni akarjuk, hogy mi fog a cselekedeteink közül végeredményben bármit is számítani, muszáj megkérdeznünk: de mi lesz a vég? És ha megtaláljuk a választ erre a kérdésre, az azonnal elvezet a következőhöz: mit jelent mindez számunkra ma? Továbbra is kitegyük a kukát kedden, ha az univerzum úgylis meghal egy nap?

Rengeteg teológiai és filozófiai szöveget rágtam át magam, és bár számos elképesztően izgalmas dolgot tanultam, létezésünk értelmét sajnos egyikből sem olvastam ki. Talán csak nem nekem való ez az egész. Engem ugyanis mindig a tudományos megfigyelés, a matematika és a fizikai bizonyítékok felől megközelíthető kérdések és válaszok vonzottak a legjobban. Bármennyire csábítónak is tűnt az a gondolat, hogy egész életem értelmét megtalálom majd az egyik könyvben, mélyen magamba nézve tudtam, hogy akármit is találok, azt csak akkor fogadom majd el, ha matematikai alapon is képes leszek levezetni.

## ***Nézz az ég felé!***

Amióta az emberiség néhány évezreddel ezelőtt a halandóság kérdésén kezdett töpregni, a kérdés filozófiai jelentősége csak alig változott, a megválaszolásához szükséges eszközeink azonban hatalmasat. Napjainkban a jövő és a végső sorsunk kérdése egyértelműen tudományos kérdéssé változott, és a válasz kézzelfogható közelségbe került. Ez nem mindig volt így. Robert Frost idejében még hevesen dúlt a vita a csillagászok körében arról, hogy az univerzum stabil állapotú-e, azaz változatlan marad-e az idők végezetéig. Ez az elgondolás, miszerint a kozmoszunk egy változatlan, barátságos otthon, sokak számára volt vonzó. Az őrrobbanás és a világegyetem tágulásának felfedezése

azonban örökre kiütötte a nyeregből ezt az elméletet. A világegyetem változik, és mi csak mostanában dolgoztuk ki az elméleteinket és kísérleteinket ahhoz, hogy pontosan megértsük, hogyan. Az elmúlt évek, sőt elmúlt hónapok felfedezései is kellett ahhoz, hogy végre képesek legyünk megfesteni a világegyetem legtávolabbi jövőjét is.

Ezt a képet akarom itt most megosztani. A méréseink alapján most már csupán néhány apokalipszisszcenário jöhet szóba, és ezeket folyamatosan tovább szűkítik (vagy éppen egyiket-másikat megerősítik) napjaink felfedezései. Ahogy sorra vesszük ezeket a lehetőségeket, nemcsak azt látjuk meg, hogyan működnek ma a legmagasabb szintű természettudományok, de az emberiséget is más színben pillanthatjuk meg. Ez pedig, legalább is szerintem, mindenkit örömmel fog eltölteni, a sötét téma ellenére. Fajunk helyzete speciális: egyrészt állandóan tudatában vagyunk kozmikus jelentéktelenségünknek, másrészt viszont képesek vagyunk unalmas kis életünkön jóval túlnyúlva, bele az éterbe, megfejteni a világegyetem legvégső rejtélyeit is.

Tolsztojt parafrázálva: a boldog univerzumok mind hasonlóak egymáshoz, minden boldogtalan univerzum a maga módján az.\* Ebben a könyvben azt fogom leírni, hogy a mai, tökéletlen tudásunk továbbgondolása különböző irányokban hogyan vezet szélsőségesen más végpontokhoz a jövőben: kezdve egy önmagába összeomló világegyetemen át egy magát széttépő univerzumig, vagy éppen egy olyanig, amely fokról fokra, menthetetlenül duzzad apokaliptikus buborékká. És miközben a világegyetemről és annak végső sorsáról alkotott tudásunk modern kori evolúcióját megismerjük, és vele megértjük azt, mit jelent mindez a *mi számunkra*, számos fontos fizikai fogalommal is szembetalálkozunk majd, amelyek nemcsak a kozmikus apokalipszisekhez kapcsolhatók, hanem a mindennapi életünkhöz is.

\* Németh László fordítása alapján.

## ***A kozmikus vég megmérése***

Persze vannak köztünk olyanok is, akik számára a kozmikus apokalipszis a mindennapok aggodalmi közé tartoznak.

Pontosan emlékszem arra a pillanatra, amikor rájöttem, hogy a világegyetem bármelyik pillanatban véget érhet. Phinney tanár úr nappalijának padlóján ültem a többi alapszakos csillagász társammal, hetenkénti vacsorameghívásunk keretében, miközben a tanár úr az egyik széken foglalt helyet hároméves gyermekével az ölében. Azt magyarázta, hogy az univerzum kezdeti, hirtelen tágulása máig megmagyarázhatatlan rejtély, nem tudjuk, miért kezdődött és miért állt le, és egyáltalán nem jelenthetjük ki teljes biztonsággal, hogy ne indulhatna be újra bármikor, akár ebben a pillanatban. Senki sem állíthatja, hogy ott, a nappaliban ne indulhatna be egy ilyen hirtelen, túlélhetetlen térszakadás – miközben mi ártatlanul majszolgatjuk a sütinket és kortyoljuk a teánkat. Ez teljesen váratlanul ért, hirtelen már a padló sem tűnt annyira szilárdnak alattam. Örökre beleégett az agyamba a kisgyermek képe, ahogy csak ott ül, valamit piszkálgatva, tökéletes közönnyel aziránt, hogy a kozmosz körülötte bármikor kettészakadhat, tanárom pedig csak elmosolyodik, aztán továbblép egy másik témára.

Ma már, magam is kutatóként, pontosan megértem azt a kis mosolyt. Van valami morbid izgalom abban, hogy olyan folyamatokon gondolkozzunk, amelyek megállíthatatlanok és elementáris erejűek ugyan, matematikailag mégis pontosan leírhatók. Világegyetemünk lehetséges jövőképeit mind kielemeztük, kiszámoltuk, lemértük valószínűségeik alapján, a jelenleg rendelkezésre álló legjobb adatok segítségével. Azt talán nem tudjuk, mikor üt be a kozmikus világrobbanás, de ha beüt, készen állnak az azt leíró egyenleteink. Ez bizonyos szempontból mélyen megnyugtató gondolat: hiába olyan aprócska és jelentéktelen az ember, hogy esélye sincs befolyásolni a világegyetem végét (vagy akár csak jelen lenni akkor), legalább képes lehet megérteni azt. Sok másik fizikus közömbösen tekint óriási kozmoszunkra, vagy azokra az elképzelhetetlenül hatalmas erőkre, amelyek mozgatják. Persze, le lehet az egészét redukálni néhány egyenletre, azokat úgyesen

egymáshoz illeszteni, aztán menni a dolgunkra. Engem azonban az a sokk és szédületérzés, amely a mindenség törekenységének felismertével rám zuhan, sohasem fog elhagyni már, ahogyan saját haszontalanságom tudata sem. Van valami egyszerre rémisztő és mégis reményteli érzés abban, amikor az ember elkezd kozmikus perspektívában gondolkodni – hasonlatosan ahhoz, mint amikor egy újszülöttet tartunk a kezünkben, és egyszerre érezzük benne az élet gyöngeségét és valami el sem képzelhető nagyság ígérését. Szokták azt mondani, hogy az űrt megjárt asztronauták egyfajta megváltozott perspektívával, a kívülről rátekintés képességével térnek vissza, hiszen Földünket felülről látva ráeszméltek, milyen törekeny is ez a mi kis oázisunk, és mennyire össze kellene fognunk nekünk, az emberiségnek, amelynek tagjai talán az egyetlen, gondolkodásra képes lények az egész univerzumban.

Számomra a világegyetem végső pusztulásáról való gondolkodás ugyanilyen perspektívát ad. Micsoda intellektuális luxus az, ha megengedhetjük magunknak, hogy az idő legeslegtávolabbi jövőjéről töprengjünk, ráadásul töprengéseinket szavakba is tudjuk foglalni és másoknak átadni! Amikor azt kérdezzük: hát mehet ez így tovább az idők végezetéig?, azzal burkoltan a saját létezésünket próbáljuk igazolni, kiterjesztve azt a jövő végtelenségéig, számot vetve és megvizsgálva azt, amit mi hagyunk majd hátra. Ha elfogadjuk, hogy az idő egyszer véget ér, azzal keretet és jelentést adunk életünknek, sőt reményt is nyerünk belőle, amely paradox módon, lehetővé teszi azt, hogy hátralépjunk egyet kicsinyes mindennapi problémáinktól, és közben teljesen átadjuk magunkat a jelennek. Talán épp ez az, amit mindannyian keresünk.

A válaszhoz pedig egyértelműen egyre közelebb kerülünk. Attól eltekintve, hogy a világ politikai szempontból bármelyik pillanatban széteshet, természettudományos szempontból aranykort élünk. A fizika területén a legfrissebb felfedezések, a legújabb technológiai vívmányok és elméleti módszerek olyan haladást tesznek lehetővé, amilyenre eddig még nem volt példa. Az univerzum kezdetére vonatkozó ismereteinket évtizedek óta csiszolgatjuk, ám az univerzum végének tanulmányozása még éppen a reneszánszát éli. Szuperteleszkópok és részecskegyorsítók legfrissebb megfigyelései rajzolják át ismereteinket elképesztően

izgalmas (és egyben félelmetes) új lehetőségekkel, és változtatják meg nézeteinket arról, hogy mi képzelhető el (és mi nem) a kozmosz távoli jövőjében. Ezen a területen hihetetlen a haladás, és ez esélyt ad nekünk arra, hogy a meredély legszélére állva tekinthessünk le a végtelen sötétségbe. Csak éppen tudományos szempontból.

A kozmológia tudománya nem arról szól, hogy jelentést adjunk a dolgoknak, hanem sokkal inkább a végső alapigazságok feltárásáról. Ha sikerül pontosan meghatározni az univerzum alakját, benne az anyag és az energia eloszlását, valamint a változását mozgó erőket, azzal a valóság legmélyebb struktúráját tárhatjuk fel. Amikor a fizika fejlődéséről hallunk, hajlamosak vagyunk laboratóriumi kísérletekre gondolni, holott a világot irányító alapvető törvényszerűségekről alkotott tudásunk nagy része nem magukból a kísérletekből ered, hanem abból, hogy megértjük ezek kapcsolatát a tényleges égi megfigyeléseinkkel. Az atom szerkezetének meghatározásához például arra volt szükség, hogy a fizikusok összekapcsolják a radioaktív kísérletekből származó eredményeket a Naptól érkező fény színképvonalainak mintázatával. A Newton-féle gravitációs törvény azt állítja, hogy ugyanaz az erő tartja a Holdat a pályáján, mint ami miatt egy kocka lecsúszik egy lejtőn. Ez az elgondolás vezetett végső soron a gravitációelmélet egyik bámulatos átdolgozásához, Einstein általános relativitáselméletéhez, amelynek érvényességét nem is a Földön mért adatok, hanem a Merkúr pályájának furcsaságaival kapcsolatos megfigyelések igazolták, valamint a csillagok látszó helyének vizsgálata egy teljes napfogyatkozás idején.

Ma már úgy látjuk, hogy az évtizedek kemény munkájával, a legkiválóbb földi laboratóriumainkban megalkotott részecskefizikai modelleink hiányosak, és erre éppen az égi jelenségek vizsgálata világított rá. Más galaxisok (azaz olyan kozmikus konglomerátumok, mint a mi Tejútrendszerünk is, benne milliárdnyi vagy akár billiónyi csillaggal) mozgásának és eloszlásának vizsgálata súlyos hibákra mutatott rá számos részecskefizikai elméletünkben. Még nem tudjuk, hogyan oldjuk fel ezeket a problémákat, de annyit biztosan állíthatunk, hogy a kozmosz vizsgálata döntő szerepet fog játszani a megoldásban. A részecskefizika és a kozmológia összehozása tette lehetővé a téridő alakjának meghatá-



rozását, a valóság „leltárkészletének” felmérését, és segített megismerni a csillagok és galaxisok születése előtti időket, ezáltal nemcsak az életnek, hanem minden létező anyagnak a kezdetét.

De ez persze kétirányú utca. Ahogyan a modern kozmológia segíti megértésünket a legeslegapróbb szinteken, ugyanúgy a részecskékkel kapcsolatos kutatások is előremozdíthatják a legeslegnagyobb léptékek megismerését. Ez a felülről lefelé, illetve alulról felfelé megközelítés a fizika tudományának leglényegét adja. Hiába hajlamos a közvélemény a tudományos haladást óriási heurékapillanatok és látványos paradigmaváltások sorozataként látni, a valóságban sokkal jellemzőbb az, hogy már meglévő elméleteket viszünk tovább és hajszolunk a végletekig, hogy meglássuk, megrepednek-e valahol. Amikor Newton golyókat gurítgatott le a lejtőn, vagy a bolygók mozgását figyelte az égen, nem tudhatta, hogy szükségünk lesz egy olyan általános tömegvonzási elméletre, amely segít megmagyarázni a Nap körüli téridőgörbületet vagy a fekete lyukak belsejében lévő elképzelhetetlen gravitációs erőket. Azt még álmában sem sejthette, hogy egy napon képesek leszünk majd megmérni a gravitáció hatását egyetlen neutronra.\* Szerencsére a világegyetem hatalmas, így sok extrém környezetet lehet megfigyelni benne. Ami azért is jó, mert így könnyebben tanulmányozhatjuk a korai univerzumot is, amikor az egész kozmosz maga is egyetlen szélsőséges környezet volt.

Egy széljegyzet a terminológiáról. A kozmológia mint általános természettudományos fogalom az univerzum egészének tanulmányozását jelenti, a kezdetétől a végéig, beleértve a részeit, az evolúcióját és az azt irányító alapvető fizikai törvényszerűségeket. Az *asztrofizikában* a kozmológus olyasvalaki, aki minden szempontból nagyon távoli dolgokat tanulmányoz, mivel (1) általában az univerzum kiterjedt részeit

\* Ezt úgy csináljuk, hogy pattogatjuk. Tényleg. Először lehűtjük a neutronokat az abszolút nulla fok közelébe, aztán lelassítjuk őket kocogó tempóra, majd elkezdjük pattogatni, mint egy pingponglabdát az ütőn. Ebből a kísérletből még a sötét energiáról is megtudhatunk bizonyos dolgokat, arról a rejtélyes dologról, amely miatt gyorsulva tágul a világegyetemünk. A fizika nagyon durva.

fürkészi, és mivel (2) a csillagászatban a távoli dolgok időben is messze vannak, hiszen rengeteg időbe (olykor akár évmilliárdokba is) telik, míg elér hozzánk a fényük. Bizonyos asztrofizikusok a világegyetem kezdeti kialakulását tanulmányozzák, míg mások távoli objektumok (például galaxisok, galaxishalmazok és hasonlók) megfigyelésével és azok tulajdonságainak kutatásával foglalkoznak. A *fizikán* belül azonban a kozmológia el tud mozdulni egy sokkal elméletibb irányba is. Bizonyos kozmológusok, akik a fizika (nem pedig a csillagászat) tantervéken dolgoznak, például kutathatják a részecskefizika olyan alternatív formáit, amelyek az univerzum első másodperce milliárdodrészeének a milliárdodrészeiben voltak alkalmazhatók. Mások Einstein gravitációelméletének magasabb dimenziókba való kiterjesztéseit vizsgálják, és ott a fekete lyukak viselkedését. Bizonyos kozmológusok olyan hipotetikus univerzumokat tanulmányoznak, amelyek távolról sem hasonlítanak a miénkre – más formájúak, többdimenziósak, és más a keletkezéstörténetük –, hogy ezáltal olyan új elméletek matematikájával foglalkozhassanak, amelyek egyszer, *talán*, a számunkra is relevánsak lesznek majd.\*

A lényeg az, hogy a kozmológia mindenkinek mást és mást jelenthet. Az a kozmológus, aki a galaxisok fejlődését vizsgálja, talán szót sem tud érteni azzal a kozmológussal, aki a kvantumtérelmélet hatását kutatja a fekete lyukakra, és fordítva.

Én viszont minden ágát imádom. Először tízéves koromban hallottam a kozmológiáról, Stephen Hawking könyveiből és előadásaiból. Fekete lyukakról beszélt, görbült téridőről, az ősrobbanásról és egy csomó olyan dologról, amitől dobott egy hátast az agyam. *Képtelen voltam betelni vele.* Amikor tudomást szereztem róla, hogy Hawking magát kozmológusnak nevezi, azonnal tudtam, hogy én is az akarok lenni.

\* A húrelmélet különösen jeleskedik ezekben az elméletekben. (A húrelmélet olyan tudományterület, amely a gravitáció és a részecskefizika újfajta összeboronálásával kísérletezik, de alapjait elsősorban matematikai analógiák adják, nem pedig a „való” világból vett megfigyelések.) Néha, amikor húrelméleti előadásokon ülök, késztetést érzek, hogy jelentkezzek csak azért, hogy tisztázzam: a bemutatott számítások egyike sem vonatkozik a *mi* világegyetemünkre, nehogy valakit ugyanúgy összezavarjon a dolog, mint engem, amikor először találkoztam a húrelmélettel.

Az elmúlt években a terület minden részét volt szerencsém kutatni: a fizika és a csillagászat tanszékek között ide-oda ugrálva tanulmányoztam fekete lyukakat, galaxisokat, csillagközi gázokat, az ősrobbanás furcsaságait, a sötét anyagot és azt a feltevést, miszerint az egész univerzum akár egyetlen pillanat alatt kihunyhat.\* Még a részecskefizikába is belekaptam bohó fiatalkoromban, úgyhogy játszhattam lézerrel az atomfizika-laborban (bárki bármit is mond, az a tűz nem az én hibám volt!), evezhettem egy felfújható csónakon a 40 méter mély, vízzel telt neutrínóobszervatóriumban (nem, ahhoz a robbanáshoz sincs semmi közöm!).

Manapság inkább csak elméletekkel foglalkozom, ami talán mindenkinek jobb is. Ez azt jelenti, hogy nem végzek megfigyeléseket, nem kísérletezem, és nem elemzek adatokat, bár gyakran fogalmazok meg feltevéseket arra vonatkozóan, hogy egy-egy jövőbeni kísérlet vagy megfigyelés milyen eredményekkel jár majd. A kutatási területem az úgynevezett fenomenológia – az új elméletek felfedezése és az azok tesztelése közötti tartomány. Ez annyit tesz, hogy megpróbálok minél kreatívabb módokat kitalálni arra, hogy miként kapcsoljuk össze azokat a dolgokat, amelyeket az elméletiek kiötölnek az univerzum szerkezetéről mindazzal, amit a megfigyeléseket végző csillagászok és a kísérleteket folytató fizikusok ténylegesen látnak a mért adatokban. Tehát mindenről<sup>1\*\*</sup> rengeteget kell tanulnom, és ez irtó jó szórakozás.

## ***Vigyázat, spoiler!***

Ez a könyv lehetőséget ad arra, hogy bizonyos kérdések mélyére ássak: hogy merre tartunk, mit jelent mindez, és mit tudhatunk meg a világegyetemünkről e kérdések vizsgálatával. De nincs egyetlen általánosan elfogadott válasz sem, a létező dolgok végzetének a kérdése to-

\* Ez mind közül a legszórakoztatóbb téma, amivel valaha is foglalkoztam, épp emiatt a könyv miatt. Nem tudom pontosan, miért szeretem annyira. Lehet, hogy ez rossz jel?

\*\* És mivel az univerzumról beszélünk, ez a minden ténylegesen MINDEN.

vábbra is nyitott, és továbbra is aktívan kutatott terület, mert a levont következtetéseink akár drasztikusan is megváltozhatnak néhány egészen apró értelmezésbeli változtatástól is adatelemzés közben. Ebben a könyvben öt lehetséges végkimenetet vizsgálunk meg, a kozmológusok szempontjából vett szakmai népszerűségük alapján sorba rendezve, és mindegyiknél bemutatjuk majd, milyen bizonyítékok szólnak mellette és ellene.

Mindegyik végkifejlet egy teljesen más típusú apokalipszissal kecsegtet, és mindegyiket másfajta fizikai jelenségek uralnak majd, egy dologban azonban megegyeznek: egyszer eljön a vég. Eddigi kozmológiai olvasmányaimban sehol sem találtam olyan komolyan vehető hipotézist, amely szerint az univerzum változatlan formában, örökre fennmaradhat. Még a legendásabb változatban is várható egy olyan átalakulás, amely akaratlanul is, de *mindent* elpusztít majd, és a kozmoszt (legalábbis a megfigyelhető részét) lakhatatlanná teszi bármilyen komolyabb életforma számára. Ezért még ezt a kimenetet is végnek nevezem (bocsánatot kérve minden érző random kvantumfluktuációtól,\* aki olvassa ezt). És csupán néhány elképzelhető végkimenet hordozza magában azt az aprócska reményt, hogy a kozmosz esetleg újjászülethet, vagy bármilyen formában megismételheti önmagát, de még így is heves viták folynak arról, hogy ebben az új univerzumban megmarad-e bármilyen halovány emlékképe az őt megelőző univerzum(ok)-nak, vagy hogy elméletileg elképzelhető-e bármilyen menekülés ebből a kozmikus apokalipsziszból. A legvalószínűbb mégiscsak az, hogy létezésünk kis szigetének, a megfigyelhető univerzumnak a vége valóban, ténylegesen a vég lesz. És most elmondom, hogyan fog ez valószínűleg megtörténni.

Először egy kis szintre hozás következik, és felelevenítjük az univerzum történetét a kezdetektől napjainkig. Aztán jöhet a lerombolás. Öt külön fejezetben öt különböző véget fogunk körbejárni: hogyan fog elérkezni, hogyan fog kinézni, és hogyan vezetnek egyre gyarapo-

\* Légyszí, maradjatok velünk a negyedik fejezetig, ahol a Boltzmann-agy-közösség is méltó említést kap majd.

dó fizikai ismereteink az egyik hipotézistől a másikig. Kezdjük a nagy recs (Big Crunch) elméletével, amely szerint az univerzum egy látványos nagy összeomlásban végzi, miután a jelenlegi tágulása hirtelen ellenkező irányúvá válik. Aztán jön két fejezet a sötét anyag főszereplésével bekövetkező apokalipszisekről, az egyikben a világegyetem a végtelenségig tágul majd, egyre üresebbé és sötétebbé válva, a másikban pedig az univerzum szó szerint széttépi önmagát. Aztán szó lesz majd a vákuumromlásról, egy halálos kvantumbuborék spontán létrejöttéről,\* amely felemészti a kozmoszt. Végül pedig a ciklikus kozmológia ingoványos talajára tévedünk, ahol olyan finomságokkal találkozunk majd, mint az extra dimenziók, és ahol világegyetemünk végét talán egy párhuzamos világegyetemmél való összeütközés jelenti majd... újra meg újra. A záró fejezet végül az összes elméletet egy tető alá hozza, és megismertet a jelenlegi legmodernebb kutatásokkal, és hogy ezek szerint melyik végjátzsma tűnik a legesélyesebbnek; azzal, hogy mire számíthatunk a közeljövőben az új teleszkópok és kísérletek eredményei alapján; valamint hogy lezárhatjuk-e hamarosan a kérdést egyszer és mindenkorra.

Hogy mit jelent mindez a számunkra, emberek számára, akik mit sem sejtve tengetjük aprócska életünket ebben az elképzelhetetlenül óriási rengetegben, az teljesen más kérdés. Ezzel kapcsolatban is felvillantunk néhány lehetséges megközelítést az epilógusban, és szólunk arról is, hogy vajon az értelem vagy az érzelem hátrahagyhat-e bármilyen örökséget, amely túléli ezt a pusztítást.\*\*

Egyelőre nem tudjuk, az univerzum vége tűz, jég vagy valami el sem képzelt dolog lesz-e. Amit azonban pontosan tudunk, az az, hogy ez az univerzum egy bámulatos, gyönyörű és valóban király hely, és megéri időt fordítani rá, hogy alaposan felfedezzük. Amíg még lehet.

\* Szakszóval ezt „valódi vákuumbuboréknak” hívjuk, ez a kifejezés azonban, őszintén szólva, ugyanolyan nyomasztóan hangzik.

\*\* Még egy spoiler: az esélyek nem túl rózsásak.