

BALÁZSI GÁBOR

HATÁRJELENSÉGEK AZ ÉLŐ ANYAGBAN

Egyetemista koromban jöttem rá, hogy rühellem az ember húzta határokat. Akkoriban többször utaztam Magyarországra, részben, mert hajtott a kutatás iránti érdeklődés, részben, mert világot akartam látni: autóstoppal, busszal, vonattal, egyedül vagy többemagammal. Mindig nagyszerűen éreztem magam a határig, mert utazni szerettem, csak határhoz érni nem. Az utazás sajátosan kellemes tudatállapotában alig észleltem, hogy százasaival maradnak el a kilométerek. A határnál viszont hirtelen minden megváltozott, a kellemesből valami embertelenül rideg helyzetbe pottyantam. Ismeretlen időre megállt a vonat, busz vagy kocsí, amiben éppen ültem. Tányérsapkás, egyenruhás alakok jöttek beláthatatlan időközökben, mindenfélét kérdeztek, belenéztek a csomagomba vagy ötször, és sokszor le is szállítottak, vagy elvették az útlevelemet. Úgy éreztem, mintha én is egy csomag lennék, amit átvizsgálhatnak. Némely alkalommal órák teltek el így, egy helyben rostokolva, miközben azt bámultam, ahogy egyenes vonalban átszárnyal egy varjú a határon, és eltűnik nyugat felé, amerre a nap is éppen háborítatlanul lépte át a láthatárt. Elképzeltem a fű közt mászó hangyát, kígyót vagy a föld alatt turo vakondot, amint megállás nélkül folytatják útjukat az országhatáron, ezen az őstermészet számára valótlán emberi agyszüleményen át. Akkor jöttem rá, hogy az ember vontá határok elembertelenítének. De az is felmerült bennem, hogy ha létez-



**Mit jelent számunkra,
ha életünk nem
a születéssel, hanem
a sejtes élet
kialakulásával
kezdődik?
Először talán elámit
a tényleges, több
milliárd éves korunk...**

nek az élővilágban természetes határok, akkor azok az életre terelik a figyelmet, segítenek önmagunkat megérteni, és ez által emberibbé tesznek.

Visszagondolva, hogy mikor és hogyan észleltem először emberileg kialakított térbeli határokat, máris rendeződnek az emlékeim hosszú sorba, aminek a vége ködbe vész. Egyik első határemlékem a kiságy rácsa, amin sok próbálkozás után végre átmásztam. Aztán a kerítés, amin túl a szomszédék kertje kezdődött, ahol a tiltott egres termett. Aztán a megyehatár, amihez közeledve hirtelen szaporodni kezdett, majd uralkodóvá vált az idegen megyejelzés a gépkocsik számtábláin, ami segített betűket tanulni, és szembesített a román és magyar írás közti különbségekkel. Ahogy nőtem, újabb ember húzta határok jelentkeztek, egyik a másik után, de mindig hasonlóan: sok centiméter, méter, illetve kilométer változatlanság után egy vagy több dolog hirtelen megváltozott, majd újra állandósult. S ahogy nőtem, úgy nőtt, bővült az éppen otthonosként észlelt, határig terjedő tér is, ahogy azt Markó Béla írja:

*Eleinte még egészen kicsi a haza.
Egy női test. Egy érintés. Egy hang.
Egy ablak, amelyen ömlik be a fény.
És közben napról napra növekszik.
Nem hódítás, hanem megismerés által.
Az utca. Egyre több ember. Málnaszemek
felejthetetlen illata. A város. Az ország.
Ha szerencséd van, hazád lesz a haza is.
Vagy nem. De akkor is egyre növekszik.*

Tizenöt éves koromban nyilvánvalóvá lett, hogy nemcsak térben húzódnak határok, hanem időben is. Mindaddig úgy cseperedtem fel, hogy közben rajtam kívül szinte változatlan maradt minden, míg teltek a napok, hetek, évek. Ám 1989 decemberében egy hét alatt minden megváltozott. Egy bátor ember védelmére összegyűlt a nagyvárosi tömeg, és nem akart eloszlani. Aztán tömegek toluáltak az utcára más nagyvárosokban is, elmenekült a diktátor, és hirtelen megjelent a narancs, a banán, a csoki a boltokban, a magyar helységnév a táblákon, az egész napos műsor a tévében, a segélycsomagok és tarka ruhák az iskolákban. Végérvényesen új időkhöz léptünk, ahonnan nem volt már többé visszatérés. Nyilvánvalóan egy határjelenségnek voltam akkor része, amiről máig se tudni, hogy mennyiben volt természetes, és mennyiben mesterséges. Közben viszont kamaszodtam, és a testem meg az érzésvilágom gyors változásai arra utaltak, hogy éppen egy egészen természetes határon lépdelek át visszafordíthatatlanul én is, miközben a gyermekkorom örökre a múlté marad a román kommunizmussal együtt.

Most, hogy az emberélet útjának felétől is egyre távolodom, visszanézve elgondolom, hogy milyen természetes határokon léptem is át eddig? Mekkora változás lehetett, amikor születésemkor először láttam meg a fényt, először telt meg a tüdőm levegővel! S ahogy haladok tovább vissza az időben, látom a szívem első dobbanását, a méhbe beágyazódó magzatot, majd egy megtermékenyített petesejtet, amit sejtfala szemérmes határként védett, de csak ideig-óráig, a fűrgé hímivarsejtek támadásától. Itt már kettéválík, de nem szakad meg az életem fonala, mert apám s anyám, majd nagyszüleim és felmenő őseim testében élő ivarsejtekként követem vissza egyre többfelé szerteágazó életemet, József Attila szavaival:

*az Ős vagyok, mely sokasodni foszlik:
apám- s anyámmá válok boldogon,
s apám, anyám maga is ketté oszlik
s én lelkes Eggvé így szaporodom!*

Egyre gyorsabban forog bennem visszafelé az idő kereke, emberszabású őseim, majd szőrös kisemlősök ivarsejtjeiben bujkálok, aztán ősi tengerekben úszik hordozóim teste, majd nincs is testem, csak egy sejtömeg körülöttem, és így tovább, amíg már sejtként se létezem, hanem molekulákra bomolva szétoszlom, és megszűnök élni négy milliárd évvel ezelőtt. Ez a négy milliárd év életem története, ami nagymértékben hasonlít nemcsak valamennyi élő és holt ember történetére, hanem majmokéra, oroszlánokéra, delfinekéra, és ha eléggé visszamegyünk időben, akkor madarakéra, rovarokéra, gombákéra, és sok más távoli rokonéra is. Vajon hogyan keletkeztek élettelen molekulákból mindenféle életformák, köztük a magamfajta ember? Folyamatos vagy szakaszos volt-e az átalakulás az első sejtektől mostanig? Voltak-e határjelenségek az évmilliárdokon át tartó életfolyamatok során?

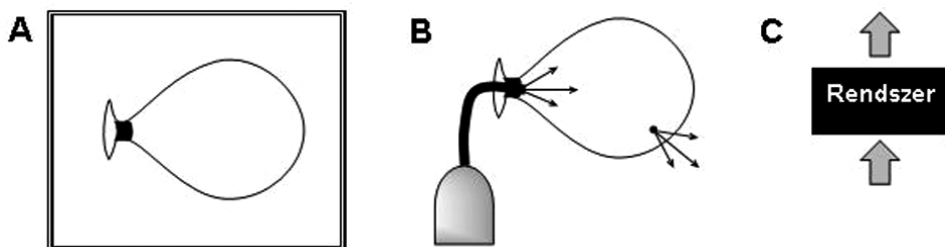
John Maynard Smith és Szathmáry Eörs szerint a földi élet történetét több határvonal választja szakaszokra, amikor addig önállóan szaporodó elődök bonyolultabb életformákba csoportosulnak úgy, hogy később csak a nagyobb egység részeként tudnak szaporodni.¹ Évmilliárdos élettörténetem során a három legfontosabb természetes határjelenségnek tartom a sejtek létrejöttét négy milliárd évvel ezelőtt, a sejtmagos sejtek megjelenését kétmilliárd évvel ezelőtt, valamint a többsejtűség kialakulását félmilliárd évvel ezelőtt.

Életem kialakulása máig tisztázatlan körülmények között zajlott az ifjú, már akkor vízben fürdő, de oxigén helyett szén-dioxidban dús légkörű bolygónkon. Korszerű kőzet- és adatelemzések arra utalnak, hogy már félmilliárd évvel a Föld születése után, azaz kb. négy milliárd éve egy csoport molekula köré fizikai határ, sejtfalnak nevezett zsírburkok képződött, és kialakult a sejt elődje, a protosejt. Noha a (proto)sejtek elterjedése szaporodást igényelt, azaz, hogy a sejt minden alkotóeleme két vagy több új sejtbe valamelyest egyenletesen szétoszoljon, nem világos, hogy a sejtés élet előtt vagy után alakult-e ki a sejtbeli molekulák önálló szaporodása. A legnépszerűbb elméletek szerint valószínűleg egy ribonukleinsav (RNS) polimer molekula önállóan vagy más molekulák segítségével másolni kezdte önmagát, még mielőtt sejtfal mögé bújt volna.² Más elméletek szerint a kis zsírburkok tartalmukkal együtt, növekedésük és a vízmozgás hatására addig szakadoztak ketté, míg önálló szaporodásra képes polimerek alakultak ki bennük, amik aztán szabályozni kezdték az egész sejt osztódását is.³ További nagy kérdés, hogy mindez hol, miként, miből és mitől indult be. A múlt századi Miller–Urey-kísérlet és a hozzá fűződő elmélet, miszerint elektromos kisülések hozták létre az élet alkotóelemeit metán- és ammóniadús légkörben, ma már kevésbé állja helyét. Inkább az látszik valószínűnek, hogy az életem mélyvízi füstölgőkön, a tengerfenékről felmagasló, toronyszerű képződményeken alakult ki, ahol porózus környezetben a Föld mélyéből szüntelenül felszivárgó, lúgos kémhatású, vulkáni melegítésű, sok összetevőjű oldat találkozott a savas kémhatású, szén-dioxidban dús, hideg tengervízzel.⁴

Mikor az életem megjelenését, vagyis az élettelenből az élőbe való átmenetet vizsgáljuk, érdemes belegondolni, Schrödingerrel együtt, hogy mi is az élet?⁵ Miben különbözik az élő anyag az élettelenétől? Vajon az élet természetes határ-

jelenségei miként térnek el az élettelen anyagban megjelenőktől? A válasz attól függ, hogy mit nézünk, ugyanis az élettelen világ határjelenségei és rendszerei kétfélék lehetnek: egyensúlyiak és nemegyensúlyiak.⁶ A különbséget könnyű érzékelteni egy léggömbbel (**1. ábra**). Ha a léggömbbe adott mennyiségű levegőt pumpálunk, majd a végét bekötjük, aztán állandó hőmérsékleten és nyomáson magára hagyjuk, akkor egy idő után beáll az egyensúly, ami azt jelenti, hogy semmi mozgás vagy változás nem érzékelhető többé a léggömbön belül. Az ilyen léggömb egy egyensúlyi rendszer (**1. A ábra**), aminek minden jellemzőjét, például a térfogatát vagy a benne levő hőmérsékletet, nyomást kiszámolhatjuk a hagyományos fizika törvényeinek segítségével.⁷ Sőt új egyensúlyi körülmények közt is megjósolhatjuk ezen jellemzők értékeit. Ezzel ellentétben most képzeljük el, hogy a léggömb lyukas, és a belőle elszivárgó levegőt folyamatosan egy elektromos pumpával pótoljuk. Ha az elillanó levegőt a pumpa egyenletesen pótolja, akkor a léggömb alakja és a benne levő levegő mennyisége, nyomása, hőmérséklete nem változik. Egy ilyen léggömb úgy néz ki, mintha egyensúlyban lenne, pedig erről szó sincs, mert a levegő állandóan áramlik rajta keresztül, a pumpa nyílásától a lyuk felé. Az ilyen léggömb egy állapotát megtartó, állandósult nemegyensúlyi rendszer⁸ (**1. B ábra**), ami a magas nyomású pumpától az alacsonyabb nyomású külvilág felé anyagot közvetít, és aminek hőmérsékletére vagy nyomására rákérdezve, az a helyes válasz, hogy attól függ. Attól függ, hogy mekkora a lyuk, és milyen gyorsan veszít gázt a léggömb, vagy szolgáltat levegőt a pumpa, hogy egyenletesen vagy szakaszosan fújja-e a levegőt, és így tovább. Hagyományos módon nem is értelmezhető az ilyen nemegyensúlyi rendszerek hőmérséklete.⁹

Az állandósult (stacionárius) nemegyensúlyi rendszerek (**1. C ábra**) az egyensúlyiaknál sokkal többre képesek,¹⁰ és kevésbé írhatók le iskolai fizikatan-könyvek alapján. Például a nemegyensúlyi léggömbben többféle határjelenség lehetséges, mint az egyensúlyiban. Vannak ugyan közös határjelenségeik, mert ha bármelyik léggömböt eléggé hidegre helyezzük, apró vízcseppek jelennek meg a belső felületén, ahová a benne levő vízpára egyszer csak lecsapódik. Ez egy sajátos határjelenség, akárcsak a fagyás-olvadás, a víz és olaj keveredése, a vas mágneseződése és így tovább, amit fázisátalakulásként ismer a tudomány. Viszont a nemegyensúlyi léggömbben lehetnek egészen másfajta határjelenségek is. Például, ha a lyuk méretével együtt fokozzuk a levegő beáramlását, egy adott érték körül örvények keletkezhetnek a léggömb belsejében. A levegő mozgása egy ilyen léggömbben egyre kevésbé jósolható meg hosszú távon, mert a körülmények legparányibb változása is meglepően nagy eltéréseket okozhat a légmozgásban. Az ilyen kaotikus állapotot szemlélteti a híres pillangóhatás, ami-ben egy lepke szárnylebbentése vihart kelthet egy távoli országban.¹¹ Tovább bonyolódik a helyzet, ha a léggömbön többféle, egymással reagálni képes gáz áramlik át, amik lecsapódhatnak, beivódhatnak a léggömb anyagába, ott is reagálhatnak egymással és a burokanyaggal, és így tovább. Az ilyen keverék viselkedése nagyon bonyolult lehet: érdekes mintázatok, oszcillációk alakulhatnak ki, amiknek létrejöttét, alakját nem lehet pontosan előre jelezni az alkotóelemek tulajdonságaiból és kezdeti állapotából.¹² A hasonlóan bonyolult, összetevőik tulajdonságaiból megjósolhatatlan viselkedésű képződmények neve komplex rendszer.¹³



Talán a fentiekből is látszik, hogy az élettelen világban az állandósult nemegyensúlyi komplex rendszerek közelítik meg leginkább az életet (**1. C ábra**). Felületesen nézve, ahogy egy élőlény eszik és ürít, úgy áramlik be és illan ki a levegő is a lyukas léggömbből, miközben mindkét rendszer jellemzői megmaradnak. Mintha a léggömb levegőt enne és ürítene, vagy lélegző, önfenntartó élőlény lenne. Ez persze csak felszínes hasonlóság, ugyanis a NASA meghatározása szerint „az élet egy önfenntartó, darwini evolúcióra képes vegyi rendszer”¹⁴, a léggömb pedig nem képes evolúcióra, mert nem szaporodik. Sőt a szaporodás se elegendő önmagában az evolúcióhoz, mert például az örvények vagy a tűz képesek szaporodni, ha új örvények vagy tűzek támadnak belőlük, de nincsenek túlélésért versengő egyedeik, amik átörökítenék utódaikra változatos tulajdonságaikat. Ettől eltekintve, az állandósult nemegyensúlyi, élettelen rendszerek nagyon gyakoriak, és a csillagoktól kezdve parányi molekuláris pumpákig rengeteg példa van, hogy mindenütt jelen vannak. Jellemzőjük, hogy két eltérő környezet között közvetítenek anyag- vagy energiacsereket. Többé-kevésbé folyamatosan vesznek fel anyagot vagy energiát az egyik helyről, és leadják a másik helyen (**1. C ábra**). Nem ritka köztük a komplex rendszer, mint amilyen volt ifjúkora óta a Föld is, aminek a mélyéből szüntelen feltörő meleg, bonyolult összetételű lúgos oldat és a fenti savas tengervíz közt létesítettek folytonos anyag- és energiacsereket a mélytengeri füstölők, miközben az élettelenből élőbe való természetes átbillenést elősegítő, bonyolult vegyi folyamatoknak helyet adtak.

A sejtek megjelenése után kétmilliárd évig gyökeres szerkezeti változások nélkül telt az életem ahhoz képest, ami később következett.¹⁵ Az első sejtek közül kétféle maradt fent, így utódaik két fő sejtbirodalom tagjaiként, a bolygón levő vegyi tartalékokat ezerféle módon hasznosítva szaporodtak, terjedtek szét mindenhová, ahol folyékony víz volt. Egyik ilyen sejtfaftában kialakult a képesség, hogy napenergia segítségével megkösse a szén-dioxidból a szenet, és felszabadítsa az oxigént, így fogyni kezdett a légkörből és a vizekből a szén-dioxid, és gyűlni kezdett az oxigén. Más sejtek rákaptak az oxigénre mint energiaforrásra, amivel elégethették a táplálékukat. Így kétmilliárd évvel az sejtek megjelenése után újabb jelentős határvonalhoz érkezett az életem. Egyik ősbírodalom sejtje ekkortájt bekebelezte a másikat, ami nem pusztult el, hanem energiát kezdett szolgáltatni magán kívül a befalójának is, belső szervecskéjévé vált, és kizárólag vele együtt szaporodott.¹⁶ Egy máig tartó együttélés kezdődött így, aminek következtében kialakultak az előzőeknél sokkal nagyobb, bonyolultabb szerkezetű és működésű, nagy energiával rendelkező és gazdálkodó sejtmagos sejtek, mint pl. az amőbák és más egysejtű állatkák. A legtöbb sejtmagos sejt, akárcsak az egyszerűbb, sejtmag nélküli sejtek, korlátlan mértékű, gátlástalan szaporodásra van beállva, és osztódás révén, utódaiban folyton megújul, amíg csak táplálékhoz jut, tehát gyakorlatilag halhatatlan, ha valami ki nem irtja. Állítólag François

Jacob mondta, hogy „minden sejt álma, hogy két sejt legyen”, amire szükség is van a túléléshez sok más sejtfele között.

Élettörténetem az utolsó nagy határvonalához kb. félmilliárd évvel ezelőtt érkezett, mikor megjelentek a többsejtű élőlények.¹⁷ Tisztázatlan, de természetes tényező hatására ekkortájt bizonyos sejtmagos sejtek olyan szerves közösségeket kezdtek alkotni, amik állandósultak, és mindinkább csak együttesen, új egységként tudtak szaporodni az erre különválasztott, kijelölt, kitüntetett szerepű ivarsejtek segítségével. A többi, eleve halálra ítélt sejt csak akkor osztódott, ha arra a sejtközösségtől vegyi utasítást kapott, így életük legkésőbb a többsejtű egyed halálával véget ért. Megjelentek az első nagyobb testű, halandó állatok és növények. A testméret növekedésével lehetővé vált a testbeli víztárolás, így az elődeim lassan elhagyták a vizet, és elkezdték meghódítani a szárazföldeket.¹⁸ Az idő kereke pörgött, jégkorszakok jöttek-mentek, kisebb-nagyobb űrbeli testek csapódtak időnként a Földre, köztük egy kisbolygó, amitől kihaltak a dinoszauruszok, esélyt adva az emlősöknek, hogy benépesítsék a megüresedett élettereket. A több mint hatvanmillió éve tartó emlősuralom végén, ezelőtt pár millió évvel megjelent egy majomszerű emlős, aminek csak egyetlen alfaja él ma már a Földön,¹⁹ a többi sejtmagos és sejtmagtalan egysejtűvel, valamint a kezétől gyorsan kiháló többsejtűekkel együtt.²⁰ Ez az ember, amiből egy példány vagyok én is.

Noha életem legnagyobb természetes határjelenségei évmilliárdokkal ezelőtt zajlottak, a legtöbb embertársamhoz hasonlóan mégis ritkán gondolok rájuk magammal kapcsolatban. Sőt ha más lenne a foglalkozásom, talán sose gondolnék rájuk. Inkább saját, egyéni határvonalaim és az általuk elválasztott életszakaszok foglalják le kizárólag a gondolataimat: a fogamzás, a születés, a kamaszkor, az öregség és a halál. Ennek oka a tudat, ami elhiteti velem, hogy életem a születéssel, esetleg a fogamzással kezdődik, noha csak a tudatomat létrehozó, halandó test kezdődik azzal. Az igazi életem beláthatatlanul régen kezdődött, és a fenti határjelenségek nélkül nem tudnék se róluk, se a saját határvonalaimról. Pedig a hajdani határjelenségek egyikének fonákja itt kísért életem során is, főleg most, ahogy idősödöm. Noha félmilliárd éve többsejtű állat volt minden őszám, a bennem élő sejtek még mindig magukban hordozzák az egysejtűség képességeit. Főleg a gátlástalan osztódás képességét. Sejtjeim utasítás nélkül nem szabadna osztódjanak, de genetikai vagy más hibák folytán mégis megethetik, hogy korlátlan növekedésnek indulnak, és így rosszindulatú daganat, azaz rák keletkezhet a testemben.²¹ A rák keletkezése magán viseli a határjelenségek jellemzőit: ahogy öregedik a szövet, vagy nő valamilyen káros hatás, egy ideig változatlanul tűnhet minden, mert a környező sejtek és az immunrendszer kiküszöbölik az elromló, korlátlan növekedésre hajlamos sejteket. Idővel viszont nő az esélye, hogy a többszörös védelmi rendszer egyszer csak elégtelen lesz, és a gátlástalanul elszaporodó hibás sejtek még inkább ellehetetlenítik a védelmet. Így viszonylag gyorsan zajló határjelenségek által egy új, kezelés vagy műtét nélkül visszafordíthatatlan rendellenesség alakul ki, és a rák eluralkodik a környezetén.²² Egy másik határjelenség aztán tovább ronthatja a helyzetet, ha a rákos sejtek mozgékonyvá válnak, elhagyják eredeti helyüket, betolakodnak a keringésbe, és a vérereken keresztül máshová vándorolnak, ahol másodlagos, áttétes daganatokká növekednek. Legtöbb rákbeteg nem az elsődleges rákba hal bele, hanem az áttétekbe, ezért fontos lesz a velük összefüggő határjelenségeket és okaikat jobban megismerni, és idővel megszüntetni.²³

Valamennyi szervünk közül talán tudatunk létrehozója, az agy határjelenségei a legérdekesebbek. Az agy működésének sok részlete máig sem teljesen tisztázott, noha korszerű módszerekkel egyre jobban megfigyelhető.²⁴ Agyunk sokféle állapota közt viszonylag gyorsan történnek az átmenetek, mintha egy határon át lépnénk egy teljesen új világba. Például napközben órákon át ébren vagyunk, aztán percekben belül elalszunk, majd átalusszuk az éjszakát. Éjjel a mélyalvás és álomalvás közti határon lépeget többször oda-vissza az agyunk. De hosszabb távon is jelentkezhetnek hirtelen új állapotok, például szerelembe eséskor.²⁵ Számos esetben az agy beteges állapotai is váratlanul, gyorsan állnak elő, mint rövid távon az epilepsziás rohamok²⁶, vagy hosszabb távon a depresszió.²⁷ Számos ilyen átmenet neurológiai alapjairól még sokat kell kiderítenünk, viszont mindenik állapot és az őket többé-kevésbé észlelő tudat létrehozói is olyan agysejtek, amik négy milliárd éves életük során részt vettek a kezdetleges sejtek, majd a sejtmagos sejtek és többsejtű élőlények kialakulásának természetes határjelenségeiben. Ha ezt felfogjuk, akkor az agyunkban öntudatra ébred a négy milliárd éves élő anyag.

Tudatunk elég jól számontartja azokat az állapotokat, amikben agyunk huzamosabb ideig volt és van. De vajon mennyire észleljük a határjelenségeket, mikor agyunk, tudatunk állapotot vált? És meg tudjuk-e előre érezni, ha egy határhoz közeledünk? Mennyire tudható, hogy éppen most alszunk el, halunk meg, vagy esünk kómába? Egyik ismerősöm gondolkodott ilyesmiken, aki már nem él. Halála után ismertem csak meg, de amit róla hallottam, abból tudom, hogy érdekes lett volna vele beszélgetni. Ő mondta, hogy a legszebb, legfontosabb pillanatokat nehezen lehet elkapni, tudatosítani, például az elalvás vagy a szerelembe esés pillanatát. Vitatható, hogy mindez általában igaz-e, de ami az agynak nehéz, abban segíthetnek a gépek. Agybeli elektromos és vegyi jelek alapján, számítógépes adatelemzéssel ma már percekkel előre megjósolható egy közelgő epilepsziás roham.²⁸ A határjelenségek előjeleinek felderítése és vizsgálata egy viszonylag új irány a tudományban²⁹, aminek orvosi, környezetvédelmi, hadászati és más fontos alkalmazásai lehetnek.

Mit jelent számunkra, ha életünk nem a születéssel, hanem a sejtés élet kialakulásával kezdődik? Először talán elámit a tényleges, több milliárd éves korunk, és hogy még nem tűntünk el, úgymint rengeteg más élvonal, amikhez hasonlóan, hajdanán egy állandósult nemegyensúlyi komplex rendszerben, életelen anyagból jöttünk létre természetes határjelenség során. Másodsorban belegondolhatunk, hogy noha bolygónk teljes jelenlegi élővilága, a baktériumoktól az elefántokig velünk egyforma korú, ebben a négy milliárd éves élő tömegben mégis csak nekünk és a velünk lényegében azonos múltú és összetételű ember társainknak van olyan tudatunk, ami mindezt felfoghatja, és felelősséget vállalhat tetteink jövőbeli következményeiért. Egyrészt ugyanis minden tudat velünk együtt, egy példátlan szenvedéssel járó határjelenségben véglegesen eltűnhet, vagy gyökeresen megváltozhat, ha gondatlanul úgy alakítjuk a környezetünket, hogy a saját magunk és embertársaink vesztét okozzuk. Másrészt a jövőbeli szenvedést módunkban áll csökkenteni vagy elkerülni, és a határjelenséget elviselhetőbbé alakítani, ha már most ennek megfelelően gondolkodunk és cselekszünk.³⁰ Ebben nélkülözhetetlen szerepe lenne az oktatásnak, hogy a felnövő nemzedékek fejében a földi élet, azaz saját életük közös négy milliárd éves története, és az emberiséget fenyegető közös veszély rögződjön egészen kicsi koruktól, mert ez legalább olyan fontos, mint a nemzetek és birodalmak egymás-

sal vívott háborúiról beszámoló, hagyományos történelem. Vallástól vagy bármilyen világnézettől függetlenül fontos, hogy kétséget kizáróan bebizonyított tényeket, köztük életünk történetének eddig megismert részleteit is úgy hordozzuk a fejünkben, mint például a bolygónk alakját és Nap körüli mozgását.

Az utolsó természetes határjelenség, aminek többsejtű, élő egyedként része vagyunk, a halál. Ilyenkor valamennyi testünkben levő sejt, a négybilliárd éve élő anyag viszonylag rövid idő alatt újra élettelené válik. De jóval azelőtt, mielőtt ez bekövetkezne, egérutat nyerhet az életünk, nemcsak gyerekeink testében, lefagyasztott szövetmintáinkban és ivarsejtjeinkben, hanem embertársaink tudatában is,³¹ mikor tetteinkre, mondásainkra, alkotásainkra emlékeznek. Sőt manapság már elektronikus vagy más jellegű adattárolókon is egyre élethűbben marad meg nemcsak az arcunk, egy-egy szavunk vagy mozdulatunk, hanem génszekvenciánk, személyes adataink, havi számláink is. Mint a hajdani sejtek, ezek az adatok is képesek szaporodni, versengeni, új élettereket meghódítani. Vajon milyen határjelenségek mentén fognak átszerveződni az egyre szaporodó és eltűnő adatok a jövőben, és önállósulnak-e, hogy egyre kevesebb emberi figyelmet igényeljen a másolásuk, karbantartásuk? Létesülnek-e majd felsőbbrendű adatformák a meglévőkből, ahogy az egyszerű sejtekből sejtmagos sejtek, majd többsejtű élőlények lettek? Létre lehet-e újra hozni engem mint élőlényt, valamikor majd a génszekvenciám alapján? És ha újra létrejövök, vajon hogyan fognak válaszolni a kérdésre, hogy mi az élet?³²

■ JEGYZETEK

1. John Maynard Smith – Szathmáry Eörs: *The major transitions in evolution*. Oxford University Press, Oxford, 1995.
2. Paul G. Higgs – Niles Lehman: *The RNA World: molecular cooperation at the origins of life*. Nature Reviews Genetics 2015. 16. 7-17. web: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25385129/> (2023. 01. 25)
3. Freeman J. Dyson: *Origins of life*. Cambridge University Press, Cambridge, 1999.
4. Nick Lane: *The vital question: energy, evolution, and the origins of complex life*. First American Edition, W. W. Norton, New York, 2015.
5. Erwin Schrödinger: *What is life? The physical aspect of the living cell with mind and matter & Autobiographical sketches*. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
6. Hermann Haken: *Synergetics. An introduction. Nonequilibrium phase transitions and self-organization in physics, chemistry, and biology*. Springer, 1983.
7. Ken A. Dill – Sarina Bromberg: *Molecular driving forces: statistical thermodynamics in biology, chemistry, physics, and nanoscience*. Garland Science, 2011; Herber B. Callen: *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. Wiley, New-York, 1985.
8. Gregoire Nicolis – Ilya Prigogine: *Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through fluctuations*. Wiley, New York, 1977.
9. Callen: i. m.
10. Haken: i. m.
11. Jamie L. Vernon: *Understanding the Butterfly Effect*. web: <https://www.americanscientist.org/article/understanding-the-butterfly-effect>. (2023. 01. 08)
12. Mohan Srinivasarao – Germano S. Iannacchione – Atul N. Parikh: *Biologically inspired far-from-equilibrium materials*. Mrs Bulletin, 2019. 44. 91–95.
13. Julio M. Ottino: *Engineering complex systems*. Nature, 2004. 427. 399–399.
14. <https://astrobiology.nasa.gov/research/life-detection/about/>
15. Smith–Szathmáry: i. m.; Lane: i. m.
16. Lane: i. m.
17. Stephen Jay Gould: *Wonderful life: The Burgess Shale and the nature of history*. W.W. Norton, New-York, 1989; Smith–Szathmáry: i. m.
18. Neil Shubin: *Your inner fish: A journey into the 3.5-billion-year history of the human body*. Pantheon Books, 2008.
19. Yuval Noah Harari: *Sapiens. A brief history of humankind*. Harper, New York, 2015.

20. David Attenborough: *Life on our planet: my witness statement and a vision for the future*. Ebury Press, London, 2022.
21. Anna S. Trigos – Richard B. Pearson – Anthony T. Papenfuss – David L. Goode: *Somatic mutations in early metazoan genes disrupt regulatory links between unicellular and multicellular genes in cancer*. *Elife* 2019.8. web: <https://elifesciences.org/articles/40947> (2023. 01. 24); Robert Weinberg: *The biology of cancer*. Garland Science, Taylor & Francis Group, 2014.
22. Weinberg: i. m.
23. Jorge Gomez Tejeda Zanudo et al.: *Towards control of cellular decision-making networks in the epithelial-to-mesenchymal transition*. *Phys Biol* 2019.16. web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6405305/> (2023. 01. 12)
24. Buzsáki György: *Rhythms of the brain*. Oxford University Press, Oxford, 2006.
25. Helen Fisher – Arthur Aron – Lucy L. Brown: *Romantic love: an fMRI study of a neural mechanism for mate choice*. *J Comp Neurol* 2005. 493. 58–62. web: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16255001/> (2023. 01. 20)
26. Matias I. Maturana et al.: *Critical slowing down as a biomarker for seizure susceptibility*. *Nature Communications* 2020. 11. web: <https://www.nature.com/articles/s41467-020-15908-3> (2023. 01. 19)
27. Ingrid A. van de Leemput et al.: *Critical slowing down as early warning for the onset and termination of depression*. *PNAS* 2014. 111. 87–92. web: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1312114110> (2023. 01. 27)
28. Newsroom, U. S. *EEG helps scientists predict epileptic seizures minutes in advance*. web: <https://www.utsouthwestern.edu/newsroom/articles/year-2019/predicting-epileptic-seizures.html> (2023. 01. 28)
29. Martin Scheffer et al.: *Anticipating Critical Transitions*. *Science* 2012. 338. 344–348. web: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1225244> (2023. 01. 18)
30. Attenborough: i. m.
31. Richard Dawkins: *The selfish gene 40th anniversary edition*. Oxford University Press, Oxford, 2016.
32. Ezúton köszönöm Bús Ildinek, Balázi Beátának és Gyórfy Gábornak, hogy a kéziratot átnézték, és észrevételeikkel segítettek a végleges változat kialakításában. Anyagi támogatásért köszönetemet fejezem ki az USA National Institutes of Health, NIGMS MIRA Programnak (R35 GM122561) és a Louis & Beatrice Laufer Fizikai és Kvantitatív Biológia Kutatóközpontnak.

