

és $1/r^2$ -es távolságfüggés esetén gyakorlatilag ne gyakoroljanak egymásra forgatónyomatékokat (2. ábra). Az igen gondos, hosszan tartó mérés során kimutatták, hogy az $1/r^2$ -es távolságfüggés mintegy 50 mikrométer távolság fölött már igaz, ami kizár több korábbi jóslatot, így a sötét energia „kövér gravitonokkal” való egyszerű magyarázatát is. Persze mindig léteznek bonyolultabb magyarázatok, és Adelberger csoportja valószínűleg még tovább fogja finomítani mérési módszereit.

Érdekes elgondolni, mit szólna Eötvös Loránd, ha tudná, hogy ingája nyomán, amely „egyszerű volt, mint Hamlet fuvolája”, ma olyan érzékeny mérőműszerek születnek, amelyek az Univerzum fő összetevőjének mibenlétét is képesek minden más műszernél pontosabban vizsgálni.

Végül felhívom az olvasók figyelmét, hogy Eötvös Loránd életéről, tevékenységéről és munkáiról a világhálón is sok információt találhatnak. Az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet tartja fenn a virtuális Eötvös-múzeum honlapját [12], míg a KFKI tudománytörténeti honlapján [13] sok más, Eötvössel kapcsolatos anyag mellett az e cikk alapjául szolgáló előadás képei is megtalálhatók [14].

Irodalom

1. R. v. Eötvös, D. Pekár, E. Fekete, *Annalen der Physik* 68 (1922) 11
2. Roland Eötvös *gesammelte Arbeiten*. Összeállította: Selényi Pál, Akadémiai Kiadó, Budapest (1953)
3. Renner J., Kísérleti vizsgálatok a tömegvonzás és tehetetlenség arányosságáról. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 13 (1935) 542
4. J. Illy, Einstein und der Eötvös-Versuch: ein Brief Albert Einsteins an Willy Wien. *Annals of Science* 46 (1989) 417
5. P.G. Roll, R. Krotkov, R.H. Dicke, The equivalence of inertial and passive gravitational mass. *Ann. Phys. (NY)* 26 (1964) 442
6. V.B. Braginsky, V.I. Panov, Verification of Equivalence Principle of Inertial and Gravitational Mass. *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 61 (1971) 873, vagy *Sov. Phys. JETP* 34 (1972) 463
7. E. Fischbach et al., Reanalysis of the Eötvös Experiment. *Phys. Rev. Lett.* 56 (1986) 3
8. Fischbach, E., Bod L., Nárayné Ziegler M., Marx Gy., Az Eötvös-kísérlet száz éve. www.kfki.hu/eotvos/szazeves.html
9. Az Eöt-Wash csoport honlapja: www.npl.washington.edu/eotwash/
10. Király P., Eötvös and STEP. *Phys. Rev. Lett.* 98 (2007) 021101
11. D.J. Kapner et al., Tests of the gravitational inverse-square law below the dark-energy length scale. *arXiv:hep-ph/0611184* (2006)
12. Eötvös Loránd virtuális múzeum: www.elgi.hu/museum/
13. Eötvös Loránd munkái és méltatása: www.kfki.hu/eotvos/
14. Király P., Ünnepi előadás 2006. nov. 22-én. www.kfki.hu/eotvos/eotvoseloadas06.pdf

A FÖLD EREDETE

Nemecz Ernő
az MTA rendes tagja

A föld, ahol az élet terem,
a mindent nyelő sírverem,
a síkság, hegy, tenger, folyó:
öröknek látszik és múló.

Világűr és mennyboltozat,
sok forgó égi kapcsolat,
a milliárdnyi tűzgyoltyó:
öröknek látszik és múló.

Mit eltemet a feledés
egy gyík-kúszás, egy szárnyverés,
egy rezdület, mely elpörög:
múlónak látszik és örök.

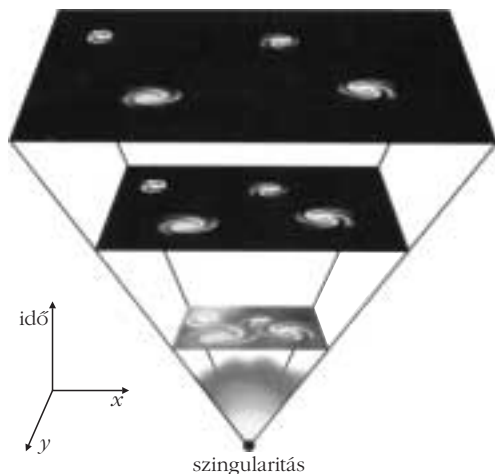
Mert ami egyszer végbement,
azon nem másít semmi rend,
se Isten, se az ördögök:
múlónak látszik és örök.

Weöres Sándor

Azok a természettudományok, amelyek vizsgálati tárgyuk, a „valami” történetével is foglalkoznak – többek között a földtan, csillagászat – voltaképpen Weöres *Öröklét* című versének gondolatát követik, amikor a megtörtént, tehát örök életű eseményeket igyekeznek felderíteni. Ilyen eseménysor a Föld keletkezésének elgondolt története is.

Ahhoz, hogy a Föld létrejöttéről, összetételéről és a rajta megtörtént eseményekről valamilyen elképzelésünk legyen, rövid áttekintésben egészen a kezdetekig kell visszamennünk. Az Univerzum keletkezése az ősi kultúráktól kezdve máig foglalkoztatja az emberi elmét, és a nagy vallások, filozófiai irányzatok számtalan elgondolást hagytak ránk. Ezekre nem kitérve a mai felfogást a természettudományos elvekre és ismeretekre alapozó elméletekkel foglaljuk össze. Amikor azonban természettudományos megközelítésről be-

szélünk, nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy nem a tudományos kutatásban megszokott kísérletekről, kísérletileg igazolt, vagy szükségszerű tényekről, hanem feltevésekben gazdag teóriákról van szó. Igaz, a fizika, a részecskekutatás révén, a világkezdet első perceihez közeli viszonyokat tudja felidézni, azonban mindazok a gondolatok és ismeretek, amelyeket az azóta eltelt időre és folyamatokra vetítünk, nem nélkülözik a spekulatívnek tekinthető összerendezést. Hiszen a Világegyetemmel nem kísérletezhetünk, de elképzelhetünk egy, a rendelkezésre álló ismeretekkel ellentétben nem álló eseménysort. Mivel az ismeretek is állandóan bővülnek, de távolról sem elegendők, az Univerzum történetét egyértelműen nem rajzolhatjuk meg. Innen van az, hogy sokféle elmélettel találkozunk, melyeknek sok filozófiai, sőt, mondhatjuk, metafizikai vonása is van.



1. ábra. Galaxisok keletkezése az ősrobbanás utáni 300 ezer évtől. A tágulás során minden galaxis távolodik egymástól.

A kozmológusok többsége ma az ősrobbanás (Big Bang¹) elmélet vagy valamely változatának híve, amely három feltevésen nyugszik: a fizikai törvények univerzalitása, a kozmológiai és kopernikuszi elvek. A tágulásnak is nevezett elmélet kidolgozóit *Friedmann*, *Lemaître*, *Robertson* és *Walker* voltak, s az elmélet döntő igazolása volt az *Edwin Hubble* által a távoli galaxisok spektrumaiban észlelt vöröseltolódási jelenség. Eszerint a Világegyetem alkotórészei (galaxisok stb.) egy kezdeti pontból kiindulva a távolsággal növekvő sebességgel tágulnak, és a spektrum vöröseltolódása a Doppler-effektus következménye. Ha ezt a folyamatot időben visszafelé gondoljuk el, egy pillanatban végül egyetlen pontba² érkezőnk, amely az egész Világegyetemet magában foglalta (szingularitás). Az ősrobbanás pillanata a számításoktól függően 12–15 milliárd évvel ezelőtt volt³. A Planck-időt (10^{-43} s) extrém gyors kiterjedés, *Alan Guth* (1979) által *kozmosz infláció*nak nevezett szakasz követi 10^{-30} s-ig, amely alatt a Világegyetem eredeti méretének 10^{48} -szorosára növekedett (1. ábra). A következő négyszázezer évet a kozmológusok tovább részletezik. Összefoglalóan felsorolva az eseményeket: az egyesített szupererők felbomlanak, a gravitáció elkülönül, gyenge, erős és elektromágneses kölcsönhatások lépnek föl, a szuperszimmetria felbomlik, a kvark-hadron átmenet, könnyű elemek (D, He, Li) 3000 K-en végbemenő szintézise, az anyag felülmúlja az antianyagot. Az Univerzum a kezdeti nagy hőmérsékletéről alacsony hőmérsékletre hűl, és a távolodási sebesség (a Hubble-állandó) a jelenlegire mérséklődik (Mpc-ként 70 km/s). Fontos volt, hogy *Penzias* és *Wilson* 1964-ben felismerték és megmérték az Univerzum minden irányából csekély ingadozással érkező mikrohullámú háttérsugárzást, amely 2,725 K hőmérsékletű feketetest sugárzásának felel meg, s minthogy eredete csaknem a kozmosz keletkezéséig (300 ezer

éves korra) megy vissza, ezért maradványsugárzásnak is hívják, és az ősrobbanási elmélet megerősítésének tekintik. A Big Bang elmélet a foton/barion arányból jól jelezte a ${}^4\text{He}$, ${}^3\text{He}$, D és ${}^7\text{Li}$ közönséges hidrogénhez viszonyított arányát is. Ezek: ${}^4\text{He}/\text{H} = 0,25$, ${}^2\text{H}/\text{H} = 10^{-3}$, ${}^3\text{He}/\text{H} = 10^{-4}$ és ${}^7\text{Li}/\text{H} = 10^{-9}$, ami jól egyezik a megfigyelésekkel.

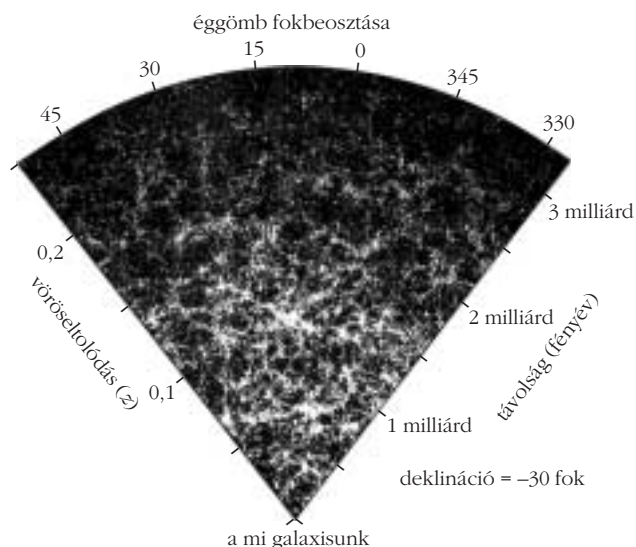
Az Univerzum kialakulása

A kozmológia egyik alapvető problémája a „darabos” Világegyetem létrejöttének megértése. A kérdés az, hogy az exponenciálisan táguló és a kezdetben csaknem homogén plazmából hogyan keletkeztek a csillagok, valamint azok kísérői, továbbá a galaxisok, azok halmazai és szuperhalmazai: vagyis a Világegyetem struktúrája. Az ősrobbanás teoretikusai egyetértenek abban, hogy már az eredeti, csak sugárzásból álló állapot után, a kozmikus infláció során megjelenik a gravitáció, melynek hatására lokális hőmérsékleti és sűrűségbeli – akár $1/100000$ -nyi – ingadozások az anyag csomósodásához, a mai anyageloszlás szerkezetének kialakulásához vezettek. A létrejött 8×10^{83} cm³ térfogatú ($r = 14 \times 10^9$ fényév sugarú) látható Univerzum 350 milliárd galaxisában $3\text{--}5 \times 10^{22}$ csillag van és az atomok száma 4×10^{79} , az átlagos sűrűség pedig 10^{-29} g/cm³ (2. ábra). Ez az Univerzum nagy skálán izotrópnak tekinthető.

Az antropikus elv

B. Carter használta elsőül az *antropikus* elnevezést. Őt követően sokan adtak hangot annak a nézetüknek, hogy az alapvető fizikai állandók már az Univerzum keletkezésekor feltűnő módon úgy alakultak, hogy később lehetővé tegyék a „megfigyelő” megjelenését a Világegyetemben. Íme néhány példa.

2. ábra. Galaxisok eloszlása 3 milliárd fényév távolságon belül a Tejútrendszer felől nézve.



¹ Fred Hoyle elnevezése 1950-ból, magyarul Nagy Bumm.

² A. Guth számításai szerint a kiindulási gömb átmérője 10 cm, Barrow szerint 3 mm lehetett.

³ Újabbban 13,7 milliárd évvel számolnak.



3. ábra. Az égbolt egy kicsiny szeletében a képen látható valamennyi objektum 5–10 milliárd fényévre levő egy-egy galaxis, az Ursa Major irányában (a Hubble-űrtéleszkóp felvétele, NASA).

Ha az egyesített erők szétválásakor a gravitációs erő 10^{-40} -ed részével erősebb lett volna, akkor a részecskék közötti elektromágneses erők működése következtében a Világegyetem kiterjedés helyett összeomlott volna. A proton+elektron neutronhoz viszonyított tömegaránya stabilizálja a hidrogén-atomot, amely arány legkisebb eltérése esetén a Nap sokkal rövidebb életű lenne. Így a Napban nem alakulhattak volna ki a Li-nál nehezebb elemek, többek között a szén és oxigén, továbbá a szupernóva-robbanások során a vasnál nehezebb elemek. Különösen szembeűnő az élő anyaghoz nélkülözhetetlen szén és oxigén képződése. A ^{12}C három ^4He fúziójával keletkezik, mivel azonban ezek egyidejű, együttes és alkalmas találkozásának valószínűsége csekély, a gyakoribb $2^4\text{He} \rightarrow ^8\text{Be}$ reakció és a Nap belsejében uralkodó hőmérséklet szükséges a szén képződéséhez. A ^{12}C és ^4He további fúziója ^{16}O képződéséhez vezet, de az oxigén alacsonyabb rezonanciaszintje miatt a folyamat nem meríti ki teljesen a szén mennyiségét, vagyis a két elem az élőanyag szükségletének megfelelő arányban van jelen.

További fizikai paraméterek itt fel nem sorolt beállítódását az Univerzum „finomhangolásának” nevezik. E bámulatos összerendezettség láttán alig van kozmológus, aki az antropikus elv alakításához nem járult hozzá, ezért ennek sok változata (gyenge, erős, végleges stb.) létezik, és ezek mindegyike átlépte a fizika határát a filozófia irányába.

A kozmológiai irodalomban az őrobbanás-elmélet bírálatával is találkozunk. Az alapvető probléma a szingularitás miatt alakult ki, mert ez az állapot túl van a matematikai kezelhetőség határán. De gond van az egyenletes gázfelhőből kiinduló mai világegyetemi struktúra kialakulásával is. Megoldatlan továbbá a „hiányzó tömeg” kérdése (l. Németh J., Szabados L.: A sötét anyag, *Fizikai Szemle* 56/11 (2006) 362).

Állandó vita tárgya, hogy a Világegyetem görbülete konvex vagy konkáv, amiből az állandó tágulás, vagy a gravitáció hatására a Nagy Bummal ellentétes Nagy Reccs következnek. Egyesek szerint e folyamat oszcilláló is lehet, ez viszont szemben áll az entrópiátéttel.

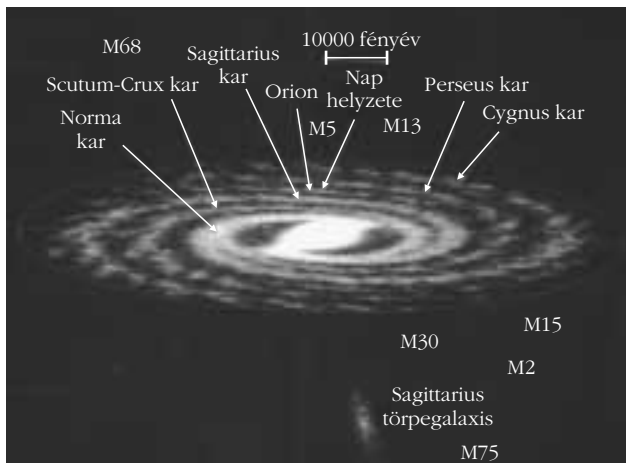
Az antropikus elvnek is vannak szélsőséges hajtásai. *Barrow* és *Tipler* felfogása szerint „megfigyelő szükséges az Univerzum létrejöttéhez”. *Wheeler* felelete arra a kérdésre, hogy miért olyan finoman hangolt az Univerzum: „mert csak így jöhet létre az ember”. Miért izotróp a Világegyetem? *Collins* és *Hawking* így válaszol: „mert mi, emberek, létezőnk”. Végül ide kell illesztenem *Aquinói Tamás* véleményét is arról, hogy miként értjük meg a világot: „mivel a mindenség és benne mi is teremtmények vagyunk, a közös lét összeköt bennünket, s ezért gondolkodásunk és a lét rendje egymásra van hangolva”.

Naprendszerek keletkezése

A naprendszerek és bennük a bolygók keletkezése a galaxisok létezésének problémájához hasonló. A ma általánosan elfogadott felfogás szerint kozmikus porból és gázból (főleg H és He) álló felhőkből gravitációs hatásra sűrűsödtek össze, ámbar a gázok kölcsönhatására vonatkozó matematikai egyenletek kielégítő módon még nem állnak rendelkezésre. Felteszik, hogy szupernóva-robbanás kinetikus energiája indíthatja meg a szomszédos ködben a csillagképződést, a nyomás következtében előáll a sűrűsödés. Egyébként sztelláris rendszerek kialakulása az Orion-köd nagy felbontású felvételein közvetlenül megfigyelhető. Becslések szerint a Földtől 10 parszek távolságon belül szupernóva néhány százmilliótól néhány milliárd évig tartó időszakoként egyszer fordulhat elő.

Saját Naprendszerünkkel kapcsolatban, a kémiai összetételre tekintettel, azt kell feltennünk, hogy Naprendszerük fejlődése valóban szupernóva-robbanás maradványából és az interstelláris ködből indult ki. A Nap anyaga főleg hidrogénből (73,4%) és héliumból (25%) valamint 60 nyomelem keverékéből áll. Láttuk, hogy az őrobbanást követő nukleosintézis a Li-ig jutott el, a csillagok belsejében uralkodó viszonyok a vasig terjedő elemek képződéséhez vezetnek, az ennél nehezebb – Pu, Cm-ig terjedő – elemek viszont csak szupernóva-robbanás hőmérsékleti és nyomásviszonyai között jöhetnek létre. Miután Naprendszerünkben az elemek U-ig tartó sora is jelen van, okunk van arra gondolni, hogy a kiindulás szupernóva-robbanás maradványfelhője lehetett, amely a környező gázköddel adiabatikus tágulás során összekeveredik (kb. 10 ezer év), és ebből indul meg új naprendszerek keletkezése, megváltoztatva azok elemösszetételét az Univerzum átlagához képest.

A G2 színképtípusú Nap a 100 ezer fényév átmérőjű Tejútrendszer, egy spirális galaxis Orion-karjában, a középponttól ~25 ezer fényévnyi távolságban talál-



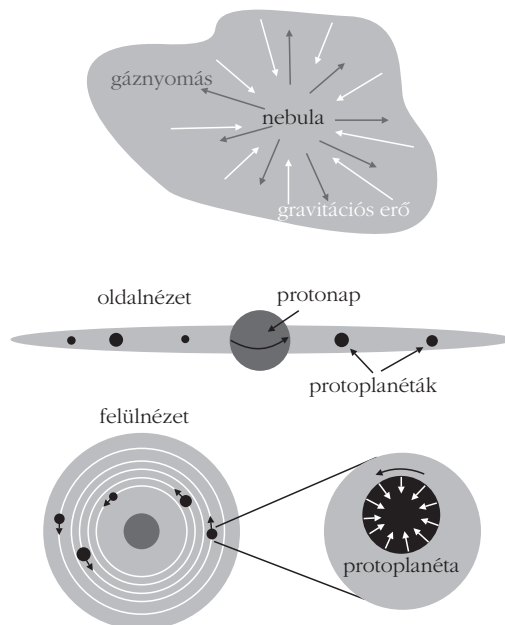
4. ábra. Napunk helyzete a Tejútrendszerben.

ható, és átlagos csillagnak tekinthető (4. ábra). Az egész Naprendszer tömegének 99,86%-a a Napban, de impulzusnyomatékának túlnyomó része a bolygóknak van felhalmozva. Ennek az elhelyezkedésnek és méretnek a földi viszonyok alakulása szempontjából jelentősége van. A Nap csaknem pontos körpályán kering a Tejútrendszer központja körül az Orion-kar Perseus-kar felőli részén kevés csillag társaságában. Keringési sebessége elegendő ahhoz, hogy két spirális kar között maradjon a földi élet egész tartama alatt, s ezáltal elkerülje a karok belsejében gyakori szupernóva-robbanások földi életre pusztító hatását. A Földet ugyanis még 3300 fényév távolságból is, különösen az Ia típusú szupernóva-robbanások során, olyan erős γ -sugárzás fenyegetheti, hogy a felsőlégköri ózon több mint fele nitrogén-oxidokká alakul, és a felszín szabaddá válik az UV- és kozmikus sugarak számára. A spirális karok belsejében tehát a szupernóvák gyakori robbanása valósággal sterilizálhatja a földi típusú életet.

A bolygórendszer és a Föld keletkezése

A tudománytörténet legalább hatféle keletkezési elméletet tart számon, de ezek részletezése nélkül a ma leginkább elfogadott elképzelést tárgyaljuk. Ez *Kant* (1755) – és *Laplace* (1796) tőle független – nebularis elméletére tér vissza a sokkal több asztronómiai ismeret birtokában. A mai elmélet lényegét az 5. ábrán tanulmányozhatjuk. A ködben, amelyben egy szupernóva-robbanás lökéshulláma sűrűsödési csomópontokat kelt, a gravitációs erő felülmúlja a gázszeccskék széttartó mozgását és a nebula kezd összehúzódnani. A főleg H-ből, kisebb részben He-ből álló gázfelhőről felteszik, hogy csekély sűrűsége miatt kiterjedése (az Orion-köd analógiájára) 30–40 fényévnnyi lehetett, tömege 2–10-szerese a Napénak, és eleve forgásban volt (mint a Világegyetem minden objektuma).

Miközben tízmilliomod részére zsugorodott, az impulzusnyomaték megmaradásának törvénye szerint, forgási sebességének növekedése folytán, a

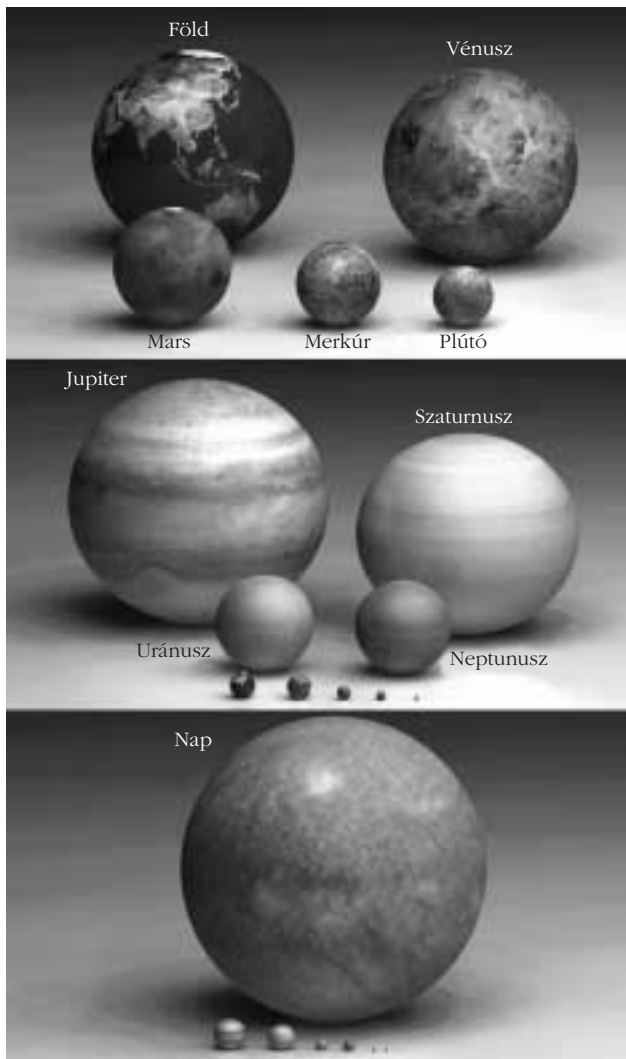


5. ábra. A protonap és protoplanéták kialakulása a nebula gravitációs összehúzódása következtében

gázfelhő 4,58 milliárd évvel ezelőtt forgó koronggal alakult, centrumában a Nappal. E korong jelenlegi rádiusza, ahol a napszél sebességét a gravitáció kiegyenlíti, mintegy 80 CsE ($1,14 \times 10^{10}$ km). A gravitációs összehúzódás nyomán a Nap belseje elérte a H fúziós hőmérsékletét (15 millió K-t) és fényleni kezdett – a mai fényességének 70%-ával (–4,4 milliárd év). Impulzusnyomatéka áthelyeződik a korong bolygóira, ezért kicsi a forgási sebessége (tengelyforgási periódus: 26 nap), ami összhangban van az a tapasztalattal, hogy a 6000 °C felszíni hőmérsékletű csillagok lassabban forognak, mint a 7000 °C hőmérsékletűek.

G.P. Kuiper szerint amint a gázfelhő megszűnik teljes terjedelmében egyformán forogni, turbulencia és árapályjelenségek örvényeket idéznek elő benne, s ezek a bolygók előfutárai (protoplanéták, 5. ábra). Az ezekben meginduló kondenzáció a bolygók kétféle típusát hozza létre: a Föld típusú kőzetbolygókat (belső bolygók) és a külső óriás gázbolygókat és holdjaikat. Az elmélet helyesen értelmezi a következőket: a bolygók kellő távolságban vannak egymástól, csaknem kör alakban, ugyanazon síkban keringenek. A belső bolygók sűrűsége nagy, atmoszférájuk vékony vagy nincs, lassan forognak, kevés hidrogént és héliumot tartalmaznak. A külsők sűrűsége kicsi, vastag atmoszféra, gyors forgás, sok hold jellemzi őket, és túlnyomóan jégből, H-ből és He-ből állnak.

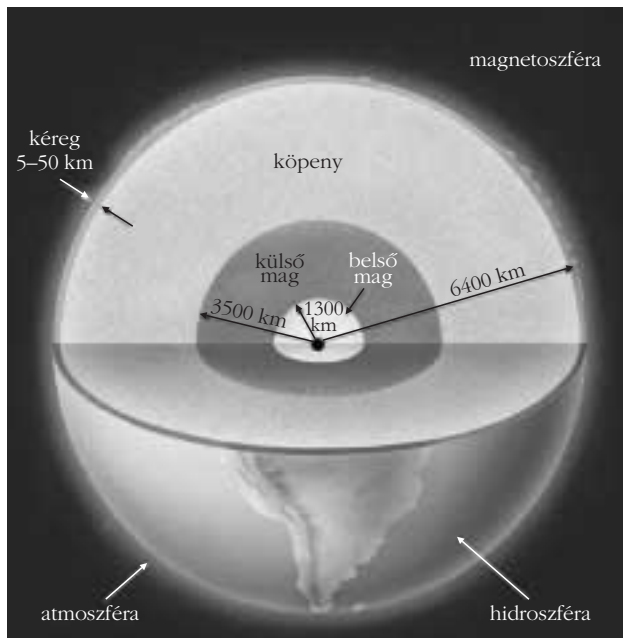
A kémiai összetételt és annak bolygók szerinti eltérését *H.C. Urey* értelmezte helyesen. Eszerint a belső bolygók olyan hőmérsékleten keletkeztek (<1200 °C), amely elegendő volt ahhoz, hogy a napszél eltávolítsa a könnyű elemeket (H, He), és a nagy olvadáspontú (hőálló) elemek (Fe, Si stb.) helyben kondenzálódjanak. A Jupiter bolygó távolságától kezdődően viszont a víz, metán, ammónia megfagyott, megakadályozva a



6. ábra. A Naprendszer bolygóinak méretaránya

hőálló elemek nagyobb szemcsékké történő összeállását, és az eredeti ködből sok H-t és He-ot megkötvő rövid idő alatt nagybolygókká növekedtek (6. ábra). A Naprendszer fontos tagjai a Naptól való távolság sorrendjében: Merkúr, Vénusz, Föld, Mars, kisbolygóöv a Ceres törpebolygóval ($d = 933$ km), Jupiter, Szaturnusz, Uránusz, Neptunusz, Plútó törpebolygó, Kuiper-öv és a mintegy trillió meteoroidot tartalmazó Oort-felhő. Az óriásbolygóknak szerepük van abban, hogy a Jupitertől a Nap felé eső térségtől, benne a Földtől is, távol tartják az időnként erre tartó égitesteket, amint azt nemrég láttuk egy üstökös Jupiterbe csapódása során.

A Föld típusú bolygók esetében a csillagközi por-szemcsék a hőálló elemekkel keveredve, a gravitációs tömörödés és a radioaktív elemek termelte hő hatására megolvadtak, fémtömböket alkottak, és nagyobb sűrűségük következtében lesüllyedtek, a magban összegyűltek. A Föld, éppen úgy, mint a többi belső bolygó, különböző méretű, összetételű, a központi vasmagtól a kéregig csökkenő sűrűségű övekből áll (7. ábra). A Föld átlagos sűrűsége $5,55 \text{ g/cm}^3$, amely a legnagyobb az összes bolygó közül.



7. ábra. A Föld belső szerkezete

Itt kell megemlítenünk, hogy Földünknek egy kísérője is van, amely a Naprendszer valamennyi holdja közül a saját bolygójának tömegéhez viszonyítva a legnagyobb. Keletkezését szintén több elmélet magyarázza. Az ismert adatokkal legjobb összhangban levő felfogás szerint a Föld korai, de már differenciálódott állapotában egy Mars méretű égitest ütközhetett a Földnek, melynek egy köpeny összetételű részét kiszakítva a Hold pályájára állította.

A Föld, az élet helyszíne

A továbbiakban a Földet mint az élet helyszínét fogjuk tekinteni. Régóta foglalkoztatja az emberiség fantáziáját, hogy van-e élet a Földön kívül is. Ezt a korábban teljesen elvi kérdést újabban asztronómiai eszközökkel igyekeznek vizsgálni, és abból a statisztikai logikából indulnak ki, hogy a galaxisok sok százmilliárd csillaga között miért ne lehetnének olyan csillagok, amelyeket bolygórendszer vesz körbe, és a bolygók között akár a Földhöz hasonló is lehet. A nehézségek ellenére (nagy távolság, kis méret, saját fény hiánya) 1995-ben sikerült az első extraszoláris bolygót (röviden exobolygót) megfigyelni Nap típusú csillag mellett: a tőlünk 50 fényév távolságban levő 51 Pegasi csillag körül keringő exobolygót. 2006 végéig már 200-nál több bolygót találtak, a legközelebbit 15 fényév távolságban. Ezek kivétel nélkül a Jupiternél 2–10-szer nagyobb tömegű, a saját csillagjukhoz közeli (Merkúr-) pályán keringő bolygók, s mint ilyenek nem valószínű, hogy élet hordozói.

Ha a mi Földünk életet fenntartó tulajdonságait tekintjük, a kivételes viszonyok egybeesése miatt, a Világegyetemmel kapcsolatban említett antropikus elvre kell gondolnunk. A 8. ábra mutatja be a Naprendszer „lakható” zónáját a központi csillag méretének függ-

vényében. Ebből kitűnik *Ward* és *Brownlee* kopernikuszi felfogással szembeni nézete, hogy az olyan bolygó, mint a mi Földünk és annak helyzete a Naprendszerben és a Tejútrendszerben, s amely annyira barátságos a komplex élet számára, rendkívüli ritkaság lehet az Univerzumban.

Az élő anyag számára elengedhetetlen a H_2O vegyület folyékony és/vagy gőz halmazállapota, a hőmérséklet nem túl széles határok közötti állandósága, káros események hiánya vagy ritkasága. E feltételek teljesülése sok tényező egyidejű jelenlétének függvénye. Említsük meg ezek közül a legfontosabbakat.

A galaktikus elhelyezkedés

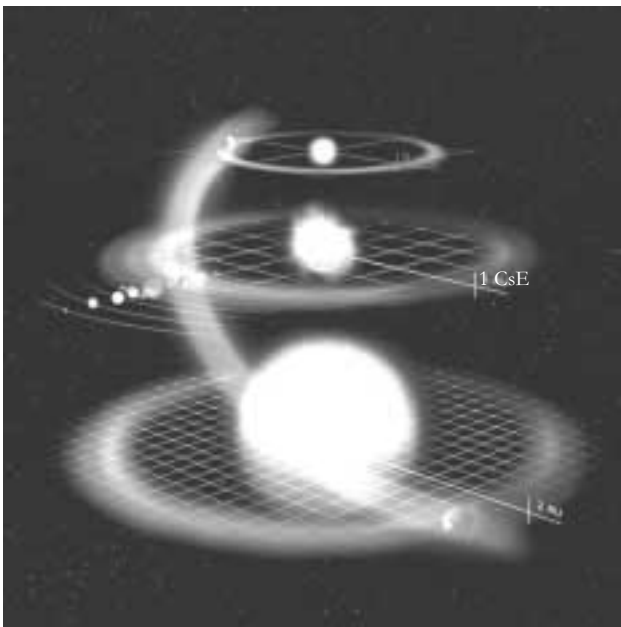
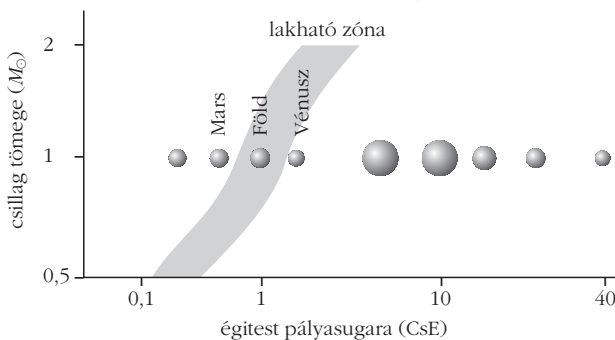
A Nap kedvező helyen van a galaxisban, mert elegendő távolságra van ahhoz, hogy a központból érkező erős röntgen- és γ -sugárzás fluxusa kellően lecsökkenjen. A centrumtól kifelé csökkenő fémtartalom a Nap helyén még elegendő, hogy az U-ig terjedő elemek jelen legyenek a Földön. Az adott helyen csekély a gravitációs perturbáció, és ennek következtében kevés nagy meteoritbecsapódás várható. Fontos, hogy a Nap keringési sebessége (226 millió év/körforgás) összhangban legyen a galaxis spirális karjának keringési sebességével, mert különben kereszttezhetné a

karok közötti zónát. Ennek a galaktikus lakhatósági zónának szélességét *Lineweaver* (2005) 7–9 kiloparszekre teszi, amelyben a galaxis csillagainak mindössze 5%-a van.

A központi csillag (Nap) tulajdonságai

Az élhető bolygó központi csillagának mérete sem közömbös, mert csak olyan közepes nagyságú lehet, amely rendkívül hosszú fejlődés során (további 5 milliárd év múlva) alakul át fehér törpévé. A nagy csillagok ugyanis viszonylag rövid idő alatt (1 milliárd év) szupernóva-kitöréssel mennek át. Nagy szerepe van a Nap–bolygó távolságnak, a napsugárzás erősségének, ingadozásának és spektrumának abban, hogy a Földön több milliárd éven át megfelelő klíma alakuljon ki. A klíma alakulásának elsődleges forrása a Nap sugárzási energiája, de a klíma ingadozása rendkívül összetett jelenség, és csak a geológiai múltba való visszatekintés útján ítéltethető meg. Ha a sugárzási energia és Föld albedója minden korlátozás nélkül érvényesülhetne, az átlagos hőmérséklet körülbelül $33\text{ }^\circ\text{C}$ -kal kisebb volna a jelenleginél, vagyis a víz csak fagyott állapotban létezne. A nagyobb átlagos hőmérsékletet tehát az atmoszféra összetételében levő, a földi infravörös sugarakat visszaverő, üvegházhatást kiváltó gázok idézik elő. Ilyenek: CO_2 , metán, ammónia. Különleges hatást a CO_2 -nak tulajdonítanak, jóllehet ennek koncentrációja az utóbbi 600 millió évben geológiai és biológiai hatásokra $>0,5\%$ és $0,02\%$ között ingadozott. A fosszilis tüzelőanyagok égetése 1850-től napjainkig $0,028\%$ -ról $0,036\%$ -ra növelte az atmoszféra CO_2 -koncentrációját, és az évszázad végére $0,056\%$ -ot várnak $1,5\text{--}5\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-emelkedéssel. A klíma alakulására további hatással van a nagy mennyiségű metán felszabadulása a mezőgazdasági tevékenység, a szibériai olvadás következtében. A vulkanizmus, aeroszolok, felhőzet viszont csökkenti a hőmérsékletet.

8. ábra. A Föld a Naprendszer lakható zónájában helyezkedik el.



A Föld mérete

Morris (2003) foglalta össze a mérettel összefüggő előnyöket és hátrányokat. Kis bolygó nem tud elegendő atmoszférát megtartani, aminek szélsőséges hőmérséklet-ingadozás, erős UV-sugárzás a következménye. Ugyanakkor a lemeztektonika korai megszűnése rendkívül meredek hegyek, kanyonok kialakulásához vezetne. Ellenkező esetben, ha a bolygó nagy és gravitációs ereje jelentősen felülmúlná a Földét, az megnehezítené hegyek és kontinensek kialakulását. Szélső esetben a felszínt egyetlen óceán borítaná, ami technológiát kezelő élőlény kifejlődését nem tenné lehetővé.

A nagy Hold jelentősége

A Mars nagyságú égitest ütközése a Földdel hozta létre a Holdat, beállítva ezzel a Föld forgási sebességét, tengelyének a keringési síkkal bezárt szögét ($23,5^\circ$). Ezt a szögértéket, mely optimum az élőlények szempontjából, a Hold nagy tömege giroszkópszerű hatással stabilizálja, különben a tengely mozgá-

sa kaotikussá válna, mint a hold nélküli bolygók esetében. A forgási sebességet a Hold jelentős árapálytevékenysége lecsökkentette s így egy nap hossza a 3,5 milliárd év előtti 15 órától a jelenlegi 24 órára nőtt. Jelenleg a Hold évi 38 mm-nyi távolodása 0,02 ms-mal növeli a nap hosszát. Mindez kedvezően hatott a magasabb rendű élőlények fejlődésére.

A mágneses mező szerepe

A Föld élőlényeit az űrből érkező káros sugárzással szemben a magnetoszféra védi meg. Ezt a Föld magjában elhelyezkedő, a Hold gravitációs hatására az alsó köpenytől eltérő sebességgel forgó olvadt külső vas-mag gerjeszti a dinamoelv alapján. Ahhoz, hogy ez folyós állapotban legyen, hosszú felezési idejű radioaktív elemekre (U, Th, K) van szükség, amelyek az Univerzumban meglehetősen ritkán fordulnak elő.

A lemeztektonika hatása az élő rendszerre

Láttuk az atmoszféra CO₂-tartalmának befolyását a klímára. A CO₂-koncentrációt a felszíni mállási folyamatok tartják megfelelő határértékek között. A felszíni szilikátközetekből ugyanis a csapadékvíz hatására kioldódó Ca²⁺-ionok a légköri CO₂-dal reagálva mészkővé (CaCO₃) alakulnak. A folyamat annál intenzívebb, minél nagyobb a hőmérséklet. A CO₂ kivonása az atmoszférából viszont csökkenti a hőmérsékletet, s vele a mállási sebességet. Az atmoszférának a többé-kevésbé egyenletes klíma fenntartásához CO₂-bevitelre van szüksége, ami a lemeztektonikai tevékenység révén valósul meg. A Föld felső kérgét hat egymáshoz képest vándorló lemez alkotja, melyek részben elrejtik a mállás során képződött CaCO₃-ot, részben például vulkánok működtetésével CO₂-ot bocsátanak az atmoszférába. Másrészt a lemezek egymással történő súrlódása szeizmikus jelenségekhez vezet, ennek ellenére az emberiség 70%-a földrengések által sűrűn látogatott területeken él.

A jégkorszakok szerepe

Ismeretlen, de feltűnő kapcsolat látszik fennállni a földi jégkorszaki periódusok és az élőlények minőségi és számbeli változása között. Az első intenzív jégkorszak (hólabda Föld) 2,4 milliárd évvel ezelőtt kezdődött, majd közvetlenül a befejeződése utánól származik az első eukarióta egysejtű élőlény. Ezt követi a kriogén hólabda periódus (850–635 millió évek között), majd 50 millió év múlva megjelennek az Ediacaran fossziliák (Kanada), minden mai élőlény előzményei. Nem túlzottan hosszú idő múlva (–542 millió évben) a kambriumban az élővilágnak fajta- és egyedszám tekintetében egy robbanásszerű kibontakozása ment végbe. A legújabb korra térve: az utolsó jégkorszak 1,5 millió évvel ezelőtt kezdődött. A neandervölgyi és a modern ember kialakulása az ingadozó jégkorszakok idején ment végbe, és a nagytermetű emlősök kipusztultak. –12 ezer évtől a jég visszaszorult, megindul a mezőgazdasági tevékenység, és az úgynevezett kis jégkorszak (a 14. századtól a 19. század közepeig) után következett be a technikai robbanás.

A Gaia-elmélet

A földi életet lehetővé tevő tényezők említetknél is nagyobb sokaságának összehangolt jelenléte már régebben gondolkodóba ejtette a kutatókat. Koherensnek tűnő elgondolást jelenleg sokan a Gaia-elméletben látnak. Kidolgozása *Sir James Lovelock* nevéhez és *A new look at life on Earth* című, 1979-ben megjelent könyvéhez fűződik. Eredetileg két variáció alakult ki: a *gyenge* és az *erős* Gaia-elmélet. Az első annyit mond ki, hogy az organizmusok a Földön az idők folyamán radikálisan megváltoztatták összetételüket. Az erősebb változat szerint a Föld bioszférája önszervező rendszer, amely úgy működik, hogy a maga rendszerét egy metaegyensúlyi állapotban tartja, amely rendkívül kedvező az élet számára.

Szerinte a biomassza befolyásolja a bolygó feltételeit úgy, hogy az minél kedvezőbb (hospitable) legyen. A „hospitality” kifejezést a teljes homeosztázis⁴ értelemben használja. E kezdeti hipotézis, amelyet a kritikusok teleologikusnak tartanak, azt mondja, hogy az atmoszféra homeosztázisban van a bioszféra által és érdekében. Tehát az élő anyag egy homeosztatikus visszacsatolás révén stabilizálja az atmoszféra összetételét és hőmérsékletét.

Lovelock érvei

- A Föld felszíni hőmérséklete állandó, bár a nap-sugárzás energiája a kezdetektől 25–30%-kal nőtt;
- Az atmoszféra összetétele állandó, bár változónak kellene lennie;
- Az óceánok sótartalma állandó.

Több nemzetközi konferencián⁵ foglalkoztak az elmélettel. Elsőként *Ford Doolittle* kritizálta azzal, hogy az organizmusok nem vehettek részt olyan folyamatban, amely előre látta és tervezte volna önmagát. Az ellenvélemények hatására Lovelock új variációt terjesztett elő, amely elhagyta azt a gondolatot, hogy a Gaia tudatosan alakította ki az élet számára kedvező feltételeket, amit a tudományos közvélemény már jobban fogadott. Azt állította, hogy a Gaia-elmélet homeosztatikus volt, vagyis a biota úgy befolyásolta az abiotikus világot, hogy az homeosztatikus visszacsatolásává vált.

James Kirchner fizikus szerint nem egyszerűen gyenge és erős Gaia-elmületről van szó, hanem van: influential Gaia, co-evolutionary Gaia, homeostatic Gaia, teleological Gaia és optimizing Gaia. Az optimalizáló Gaia szerint a biota úgy manipulálja a környezetét, hogy az biológiailag kedvező, sőt optimális legyen. Az atmoszféra Lovelock szerint több mint anomális. Hihetetlen, hogy a véletlen úgy alakítsa a hőmérsékletet, pH-t, az élelemként szereplő vegyületeket, hogy azok hosszú időre éppen optimálisak legyenek.

⁴ A homeosztázis egy nyílt rendszer, különösen organizmus olyan tulajdonsága, amely átalakítja belső környezetét, hogy egy többszöri dinamikus egyensúly révén stabil maradjon.

⁵ Az egyiket az Amerika Geofizikai Unió rendezésében 1988-ban, a másodikat Spanyolországban 2000-ben tartották.

nek az élet számára. Inkább: a biota által felhasznált energia aktiválja az optimum fenntartását. A gyenge hipotézist koevolúciónak nevezik, és lényege a következő: a biota befolyásolja az abiotikus környezetet, a környezet pedig befolyásolja a biotát a darwini folyamatokkal (Lovelock 1996). A gyenge változat nem homeosztázisra épül, csak azt állítja, hogy az élet és környezete hat egymásra, amit szigorúan tudományos szempontból elfogadhatóbbnak tartanak. Például mindenki elfogadja, hogy a fotoszintetikus baktériumok a prekambriumban teljesen megváltoztatták az atmoszférát, oxidatívává tették, és ezzel alkalmassá a további fejlődés számára. Más kérdés azonban, hogy ez a folyamat nem igényli egy homeosztázis általi koordináció közreműködését.

Lovelock 1979-ben azt írja: a Gaia kutatása kísérlet a legnagyobb élő teremtmény (a Föld) megtalálására. Milyen „élő” lény, milyen szempontból? – vetik fel. A Gaia valódi élő organizmus? Milyen értelemben? És milyen szempontból tud egy kibernetikus Gaia „optimális” fizikai és kémiai környezetet biztosítani az élővilág számára a bolygón? Optimálisat, kinek?

Lovelock egy szerzőtársa, *Lynn Margulis* óvatossábban fogalmaz, szerinte csak egy homeoretikus⁶ és nem homeosztatikusan mérlegelés létezik, vagyis a Föld atmoszférájának, hidroszférájának és litoszférájának összetétele egy pontok rendszere körül homeosztatikusan van ugyan rendezve, de ez a pontrendszer az idővel maga is változik. Tehát szerinte nincs a bioszférának olyan tendenciája, hogy a létező élőhelyét megőrizze, még kevésbé, hogy komfortosabbá tegye. Ennek megfelelően a Föld nem egy élő organizmus, amely él és hirtelen elpusztul, hanem egy olyan közösségfajta (community), amelyben az integráció különböző fokán álló egységek léteznek. A Föld egy interaktív ökoszisztéma, mégpedig egyetlen óriás ökoszisztéma a Föld felszínén. A Gaia egy nagy szimbiózis, amint az úrból látható. Kérdés: a Gaianak nevezett globális biogeokémiai-klimatikus rendszer hogyan változott az idők folyamán? Mi a története? A Gaia tudja-e biztosítani egy rendszer stabilitását valamilyen időtartamra és közben a változást hosszú időskálán? Miképpen igazolják a geológiai megfigyelések az elmélet nézeteit? *Staley* (2002) úgy véli, hogy az alternatív Gaia-elmélet a tradicionális darwini elvekre épül ugyan, de az új megközelítésben a populáció dinamikáját nem a darwini szelekció, hanem a környezet szabályozása határozza meg.

Ami a Gaia-elmélet filozófiai aspektusát illeti, helyes ahhoz a bírálathoz csatlakozni, amely elképzelhetetlennek tartja, hogy az élővilág mintegy előre lássa és hajtsa végre azokat a homeosztatikusan változásokat, amelyek a saját kedvező életkörülményeinek fenntartásához szükségesek (az elkövetkező időkben).

⁶ Homeorhesis egy olyan dinamikus rendszer amely egy trajektóriára tér vissza és nem egy állapotra, mint a homeosztázis esetében.

Összefoglalás

Az Univerzum – szingularitástól egy kis égitesten értelmes élőlény megjelenéséig terjedő – folyamatainak elgondolása természetesen nem végleges és nem is kifogástalan. Az ősrobbanási teória, melyet a Világegyetem keletkezése standard elméletének tartanak több, tudományosan igazolhatatlan feltevésből indul ki. Különösen sok vita tárgya volt a kezdet ($t = 0$ idő) és a semmiből (ex nihilo) való keletkezés megjelölése a korábbi nézetekhez képest, melyek a világot örökké létezőnek gondolták. Ezért új variációk álltak elő, lehetővé téve az örökké létezést (pl. steady state elmélet), de ezek nem állták meg helyüket.

Az ősi vallások (kereszténység, rabbinita judaizmus, iszlám, a hinduizmus némely ága) képviselői részben elfogadták az ősrobbanás elméletét, és párhuzamot láttak benne a teremtésre vonatkozó isteni nyilatkozattal. *Mózes* (*Gen. 1,2*) szerint a világot Isten teremtette, először létrehozva a teret, anyagot, időt, majd a fényt (energiát). A tudományos keletkezési elmélet különböző következményeinek is vannak vallási-filozófiai vonatkozásai. Ha a gravitáció nem tudja megállítani a kozmikus tágulást, a csillagok oly távolra kerülnek, hogy sötét lesz az éjszaka. A Biblia egy helye: „Az ég és a Föld elmúlnak...” (*Máté 24,35*) lehet utalás erre a kozmikus szituációra. Akik a Nagy Reccs elgondolói, azok a Zen filozófusok oszcilláló univerzumában találnak előzményekre.

Ezek a párhuzamok arra utalnak, hogy a kísérletileg igazolható mennyiségek, melyek korábban demarkációs határt jelentettek a tudományok és az értelmes érvelés filozófiai, teológiai és szellemtudományi módszere között, mennyire elmosódnak, ha a tudományos vizsgálódás oly messzire tör előre. E kétféle gondolkodás természetesen nem vezethető vissza egymásra, de szerencsére az emberi elme a mennyiségi és minőségi fogalmakat egyaránt megérti. A Big Bang elméletet övező sok kritika nem kell, hogy elbizonytalanítson, mert aktuális *Allan Sandage* felfogása, aki szerint: „A tudomány az egyetlen akkorrigáló emberi intézmény, de a folyamat csak akkor halad előre, ha önmagát hibásnak tekinti.” Befejezésül pedig felidézhetjük *Nicolaus Steno* (*Niels Stensen*) dán kutatónak (1638–1686), a kristálytan egyik megalapozójának gondolatát: „A szépet látjuk, de még szebb, amit értünk is, a legszebb viszont az, amit fel sem foghatunk.”

Irodalom

- J.D. Barrow, *A Világegyetem születése*. Kulturtrade, Budapest (1997)
 J.D. Barrow, F. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*. Oxford Univ. Press (1986)
 G.C. Brown, C.J. Hawkesworth, R.C.L. Wilson (szerk.), *Understanding the Earth, a new synthesis*. Cambridge Univ. Press (1992)
 P. Francis, *A bolygók*. Gondolat, Budapest (1988)
 S.W. Hawking, *Az idő rövid története*. Mecenás könyvek, Talentum, Budapest (1988)
 C.W. Lane, Critical review of the anthropic cosmological principle. *International Philosophical Quarterly* 27 (1987) 437–447
 F.J. Tipler, Intelligent Life in Cosmology. *International Journal of Astrobiology* 2 (2003) 141–148