

# *Magyar Tudomány*

**PLANETOLÓGIA**

Vendégszerkesztő: Szabados László

Hume *Dialógus*-ainak időszerűsége

Tudomány, akadémia és a piac

A jövő tudósai

---

**2006 • 8**

---

# A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840

## 167. ÉVFOLYAM – 2006/8. SZÁM

### *Főszerkesztő:*

CSÁNYI VILMOS

### *Vezető szerkesztő:*

ELEK LÁSZLÓ

### *Olvasószerkesztő:*

MAJOROS KLÁRA

### *Szerkesztőbizottság:*

ÁDÁM GYÖRGY, BENCZE GYULA, CZELNAI RUDOLF, CSÁSZÁR ÁKOS, ENYEDI GYÖRGY,  
KOVÁCS FERENC, KÖPECZI BÉLA, LUDASSY MÁRIA, NIEDERHAUSER EMIL,  
SOLYMOSI FRIGYES, SPÁT ANDRÁS, SZENTES TAMÁS, VÁMOS TIBOR

### *A lapot készítették:*

CSAPÓ MÁRIA, GAZDAG KÁLMÁNNÉ, HALMOS TAMÁS, JÉKI LÁSZLÓ, MATSKÁSI ISTVÁN,  
PERECZ LÁSZLÓ, SIPOS JÚLIA, SPERLÁGH SÁNDOR, SZABADOS LÁSZLÓ, F. TÓTH TIBOR

### *Lapterv, tipográfia:*

MAKOVECZ BENJAMIN

### *Szerkesztőség:*

1051 Budapest, Nádor utca 7. • Telefon/fax: 3179-524

matud@helka.iif.hu • www.matud.iif.hu

Kiadja az Akaprint Kft. • 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Tel.: 2067-975 • akaprint@akaprint.axelero.net

Előfizethető a FOK-TA Bt. címén (1134 Budapest, Gidófalvy L. u. 21.);  
a Posta hírlapüzleteiben, az MP Rt. Hírlapelőfizetési és Elektronikus  
Posta Igazgatóságánál (HELP) 1846 Budapest, Pf. 863,  
valamint a folyóirat kiadójánál: Akaprint Kft. 1115 Bp., Bártfai u. 65.

Előfizetési díj egy évre: 6048 Ft

Terjeszti a Magyar Posta és alternatív terjesztők

Kapható az ország igényes könyvesboltjaiban

Nyomdai munkák: Akaprint Kft. 26567

Felelős vezető: Freier László

Megjelent: 11,4 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

---

---

## TARTALOM

<i>Planetológia • Vendégszerkesztő: Szabados László</i>	
Almár Iván: Bevezető gondolatok .....	912
Illés Erzsébet: Miért nem olyan az egyik, mint a másik? A naprendszerbeli bolygótestek összehasonlító planetológiai áttekintése .....	918
Horváth Ferenc: Lemeztektonika és az új globális geodinamika .....	930
Kereszturi Ákos: Fejezetek a Mars fejlődéstörténetéből .....	946
Erdős Géza: A Szaturnusz és környezete .....	955
Szegő Károly: Az üstökösök fizikus szemmel .....	963
Szatmáry Károly: Exobolygók .....	968
<i>Tanulmány</i>	
Szalai Miklós: Hume <i>Dialógus</i> -ainak időszertűsége .....	980
Hargittai Magdolna: Egy örökmozgó fizikus .....	991
<i>Vélemény, vita</i>	
Róna-Tas András: Tudomány, akadémia és a piac .....	996
Bencze Gyula: A tudomány szabadsága kinek a szabadsága? .....	1008
<i>A jövő tudósai</i>	
Bevezető (Csermely Péter) .....	1011
Tíz éves a kutató diák mozgalom: tanulságok a tehetségek segítésében (Csermely Péter) .....	1011
Miért marad továbbra is alacsony a nők aránya a magyar tudományban az EU-csatlakozás után is? (Pető Andrea) .....	1014
A Szlovákiai Magyar Pedagógusok Szövetségének tehetséggondozó programjai (Pék László) .....	1017
<i>Megemlékezés</i>	
Szabadváry Ferenc (Inczédy János) .....	1022
<i>Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)</i> .....	1025
<i>Könyvszemle (Sipos Júlia)</i>	
Történetek a magyar média közelmúltjáról (Gálík Mihály) .....	1029
Dénes Iván Zoltán (szerk.): Liberty and the Search for Identity. Liberal Nationalisms and the Legacy of Empires (Kecskeméti Károly) .....	1031
A nyelv „cseles csalafintaságai” a tudomány tükrében (Daczi Margit) .....	1034
A hatalom nyelvei (Almási Miklós) .....	1036

# Planetológia

## BEVEZETŐ GONDOLATOK

Almár Iván

a fizikai tudományok doktora,  
MTA Csillagászati Kutatóintézet – almar@konkoly.hu

A *Magyar Tudomány* jelen számában közölt cikkgyűjtemény a Naprendszerre vonatkozó modern tudományos eredményekkel foglalkozik a csillagászok, űrkutatók, fizikusok és a különféle földtudományok képviselőinek szemszögéből. A mozaikszerű képből remélhetőleg kibontakoznak egy viszonylag új tudományág, a *planetológia* körvonalai. De mi a planetológia tárgya, módszere és melyek a legfontosabb előzményei? Hogyan illeszkedik a régebbi, „hagyományos” tudományágak közé, és várhatólag milyen irányba fog fejlődni a közeljövőben? Ezekre a kérdésekre keressük a választ ebben a bevezető írásban.

A planetológia a Naprendszer valamennyi égitestével foglalkozik – a Napot kivéve. Bizonyos értelemben beleértjük szülőbolygónkat, a Földet is, amely szintén része a Nap nevű csillag környezetének. Célját és módszereit tekintve ma elsősorban a geológiából és a meteorológiából merít, főképp, de nem kizárólag a szilárd felszíni égitestek vizsgálatára alkalmazva. Vizsgálati módszereit földi terepen fejlesztették ki, és az utóbbi időben már idegen bolygók, holdak és kisbolygók felszínén alkalmazzák. De hangsúlyozni szeretném, hogy *kölcsönhatásról* van szó, mert nemcsak a földtudományokat hasznosítjuk a Naprendszer vizsgálatában, hanem fordítva, a más égitesteken felismert

geológiai, geofizikai, meteorológiai folyamatok és jelenségek tanulmányozása nagymértékben elősegíti a bolygónkon, a Földön kialakult földtudományok fejlődését is. Ilyen értelemben a planetológia a korábbi, a Földdel kapcsolatos tudományos eredmények általánosítására és továbbfejlesztésére kínál lehetőséget.

Mivel újabban más csillagok többé-kevésbé hasonló bolygói és bolygórendszerei is vizsgálhatókká váltak, ezek, vagyis az *exobolygók*, a jövőben ugyancsak planetológiai kutatások tárgyát képezhetik. Bár a planetológia magyará a *bolygókutatás*nak tudományaként fordítható, a Naprendszer többi alkotóelemének (kisbolygók, holdak, üstökösök, meteorok, sőt a bolygóközi por és a Naprendszert kitöltő plazma is) vizsgálata nélkül a planetológia nyilván nem művelhető. Ezért kerültek ezek a témák is a jelen cikksorozatba. Hangsúlyozni kell, hogy az egyes égitesteknél tapasztalt jelenségek összevetése, valamint kölcsönhatásainak tanulmányozása, vagyis az ún. *összehasonlító planetológia*, e tudományág legfontosabb, alapvető módszerévé vált.

*Története az ókortól napjainkig*

A planetológia történelmileg a csillagászat és a földtudományok keresztezéséből született a 20. század végén – döntő részben



az űrszondák mérései és megfigyelései alapján, vagyis az űrkutatás részeként. Bár a Hold és a bolygók égi mozgásának megfigyelése több évezredes múltat tekint vissza, e hosszú időszak túlnyomó részében semmi nem utalt arra, hogy a megfigyelés tárgya a Földhöz bármilyen tekintetben hasonló égitest lenne. Nem véletlenül nevezték el a bolygókat mindenütt a helyi istenekről és mitológiai alakokról, hiszen pusztá jeleknek, a földtől alapvetően különböző „égi világ” részének tekintették őket.

Az igazi nagy fordulatot ebben a tekintetben Galilei távcsöves megfigyelései hozták a 17. század elején. Holdunk véletlenül elég nagy, és elég közel is van hozzánk ahhoz, hogy már az első, primitív távcsöveken keresztül felismerhetők legyenek a földiekhez hasonló hegyei, völgyei és „tengerei”. Galilei továbbá felfedezte, hogy távcsövén keresztül a bolygók korong alakúaknak látszanak, fázisokat is mutathatnak (vagyis nem saját fényrel világítanak), és hogy legalábbis a Jupiter körül „mellék bolygók”, holdak is keringenek. Mindez valószínűvé tette, hogy a Hold és a nagybolygók nemcsak mozgással különböznek az „állócsillagoktól”, hanem tényleg a földihez hasonló, viszonylag közeli égitestek. Galilei e néhány alapvető felfedezéssel évek alatt megváltoztatta az egész világképet: a bolygókat és a Holdat többé nem lehetett „égi jeleknek”, mitológiai lényeknek tekinteni.

Ezzel szinte egyidejűleg, bár természetesen egymástól nem függetlenül, eldőlt a tudományos és ideológiai harc a heliocentrikus kopernikuszi világkép javára. Kialakult egy máig helyesnek tekintett, napközéppontú felfogás a Naprendszerről, amelyben néhány, a Földnél kisebb, és néhány nála nagyobb bolygó kering (többnyire holdjaik társaságában) egy hatalmas, központi csillag, a Nap körül. Az ezt követő csaknem négy évszázadon keresztül a kor csillagászainak fő feladata volt a Naprendszer ismert tagjainak követése,

pályájuk kiszámítása, újabbak felfedezése és – amennyire lehetséges – felszíni alakzataik és tulajdonságaik távcsöves megfigyelése.

E több száz éves megfigyelési program hozott ugyan értékes részeredményeket, de mai szemmel visszatekintve aligha nevezhető igazán sikeresnek. Tagadhatatlan, hogy a távcsövek fejlődésével egyre több kis égitest (holdat és kisbolygót) sikerült felfedezni és elhelyezni a Naprendszer térképén. Tagadhatatlan az is, hogy a gravitáció törvényén alapuló égi mechanika átütő eredménye volt egy nagybolygó, a Neptunusz felfedezése vonzó hatása alapján. (A Plútó esete már nem ennyire egyértelmű.) A nagybolygók alapvető paramétereinek (tömeg, méretek, forgás stb.) levezetése már nem minden esetben sikerült, mert egyes eredmények bizonytalanok vagy hibásak voltak. Legkevesebé valósult meg a bolygók felszínének feltérképezése, részben a nagy távolság, részben a felszínüket borító sűrű légkörtakaró miatt. Az űrkorszak kezdetéig szigorúan véve csak egy *fél égitestről*, tudniillik a Hold felénk forduló oldaláról rendelkezünk használható térképpel. Nem csoda, hogy az időközben kifejlődött földtudományok (geológia, geodézia, geofizika, geokémia stb.) alig foglalkoztak Földünk testvéreinek felszínével, legfeljebb a Hold furcsa krátereire vetettek egy érdeklődő pillantást.

Hangsúlyoztuk már, hogy az 1600-as évektől kezdődően a távcsövel felszerelt csillagászok talán legfontosabb feladata a Naprendszer tagjainak folyamatos figyelése volt. Ez a helyzet a 20. század elejére alapvetően megváltozott. Az új óriástávcsövek és a rájuk szerelt új műszerek (főképp a fényképezőgép és a spektrográf) hallatlanul sikeresnek bizonyultak a csillagvilág vizsgálatában, annak ellenére, hogy a csillagok továbbra is csak fénypontoknak látszottak a távcsövekben. De a fizika és a technika egyre szélesebb fronton hatolt be a csillagászatba, megváltoztatva annak tárgyát és módszereit

is. A csillagászat teljesen átalakult: a Naprendszer bolygói háttérbe szorultak, a fő célpontok a csillagok, csillagködök, csillaghalmazok és galaxisok lettek – sőt megkezdődött az Univerzum fejlődésének vizsgálata is.

Egyetlen példa jól illusztrálja a 20. sz. első felében bekövetkezett szemléletváltást. A 19. sz. végének egyik legnagyobb csillagásza, Simon Newcomb *Astronomy for Everybody* című alapművében, amely a századforduló körül jelent meg több kiadásban, a terjedelem 90 %-át még a műszerek és a Naprendszer ismertetése foglalja el, és csak egyetlen fejezet foglalkozik az „állócsillagok” világával. Ötven évvel később az ugyancsak angol Bernard Lovell népszerű könyvében (*The Individual and the Universe*) már csak egyetlen fejezet tárgyalja a Naprendszer eredetét, a többi asztrofizika, sztellársztronómia és kozmológia. E példa tipikusnak tekinthető. Nincs róla statisztika, de valószínű, hogy addigra a világ csillagászainak nagy többsége már a Tejútrendszer és az extragalaxisok világának vizsgálatával foglalkozott.

Az újabb fordulat 1957 után az első mesterséges holdak, de főleg 1959-től kezdve az első holdrakéták útnak indulásával következett be. Gondoljuk csak meg annak jelentőségét, hogy 1959 őszén, alig két évvel az űrkorszak kezdete után, már sikerült lefényképezni a Hold túlsó oldalát! Ezt az eseményt úgy is értékelhetjük, hogy hirtelen megkétszereződött a megbízhatóan feltérképezhető égitestfelszínnek száma és kiterjedése. S ehhez négyszáz évnyi földi csillagászati megfigyelés után alig két év űrkutatás elegendőnek bizonyult!

A történet további része már közzismert. A szovjet–amerikai űrverseny hatására a legközelebbi égitest, vagyis a Hold elérése került előtérbe. Automaták szálltak le felszínén, sőt mintákat is hoztak talajából. Szakemberek földtudományi módszerek alkalmazásával kezdték meg egy idegen égitest kutatását. (Kevés csillagász vagy fizikus ismerte fel

ennek igazi jelentőségét, ezért jórészt ki is maradtak a meginduló programokból.) Az Apollo-program űrhajósai már geológiai képzést is kaptak, és nem véletlen, hogy az első hivatásos kutató (Hamison Schmitt), aki lábát a Holdra tette, nem csillagász, hanem geológus volt. A Naprendszer kutatásának új korszaka kezdődött, amely alapvetően különbözött a korábbi, távcsöves megfigyeléseken alapuló, hagyományos csillagászatától. De mi is kezdődött igazából? Az új kutatási program elnevezése, a tudományok között elfoglalt helyének meghatározása nem is bizonyult egyszerű feladatnak.

### *Külön tudomány mindegyik égitestre?*

Tényleg geológus járt-e a Holdon, vagy inkább szelenológus? A látszólag ostoba kérdés egy évekig húzódó vitára utal a Holddal kapcsolatos fogalmak elnevezéséről. A 60-70-es években divat volt holdi geológia helyett *szelenológiáról*, holdi geofizika helyett *szelenofizikáról* stb. írni és beszélni. Az új elnevezések a Hold egyik görög nevéhez (Szeléné) kapcsolódnak, és egy valamivel korábbi csillagászati szóalkotással függnek össze. A csillagászatban ugyanis bevett szokássá vált a Föld körüli pálya legalacsonyabb pontját a Föld görög nevéből (Gaia) képezve *perigeumnak*, a legmagasabbat *apogeumnak* nevezni. Hasonló képzéssel jött létre a Nap görög nevéből (Hélios) a Nap körüli pálya *perihéliuma* és *aphéliuma*. A Hold első mesterséges holdjainak felbocsátásakor kezdték pályájuk megfelelő pontjait *periszelénumnak*, illetve *aposzelénumnak* nevezni – noha például kettőscsillagok esetében jól bevált a bárhol alkalmazható *pericentrum* és *apocentrum* is. Ugyancsak természetes szóalkotásként jelent meg a térképészetben használatos *geocentrikus* és *geografikus* jelző helyett a *szelenocentrikus* és *szelenografikus* a Hold térképeinél. Ettől már csak egy kis lépés volt a *szelenodézia*, *szelenológia*, *szelenofizika* stb. elterjedése.

Mindaddig, amíg a Hold volt az egyetlen űreszközökkel alaposabban megvizsgált idegen égitest, addig ez a szóhasználat nem is ütközött különösebb ellenállásba. De a hetvenes évektől kezdve a Mars, a Vénusz, majd a Merkúr, az óriásbolygók (és nagy holdjaik!), valamint egyes kisbolygók és üstökösök is űrszondák célpontjai lettek, és feltárták felszínük titkait. Egy csapásra legalább 20-30 égitest vált jelentéktelen fénypontból vagy elmosódott korongból feltérképezhető, felmérhető és nevekkal ellátott önálló világgá. Természetesen gyorsan fokozódott a földtudományi szakemberek érdeklődése is az új űrkutatási eredmények iránt, és vaskos szakkönyvek jelentek meg mindegyik testvérbolygóról, vagy akár vele összemérhető jelentőségű holdról is. Minthogy a Mars az űreszközökkel eddig legalaposabban kikutatott idegen bolygó, amely körül jelenleg is négy működő műhold kering, felszínén pedig két mozgó laboratórium vándorol, hamar megjelentek a szakirodalomban a Mars görög nevéből (Ares vagy Aresz) képzett megfelelő kifejezések, a *periareum*, *apoa-reum*, *areológia*, *areográfia*, *areocentrikus* stb. (Rosszabb esetben a sajtóban elírták, és aerológia lett az areológiából...) Használatuk azonban már nem igazán terjedt el, mert az űrkutatás újabb és újabb cél-égitesteinek

megjelenésével teljesen zavarossá vált a helyzet. Ennek ellenére itt-ott még ma is felbukkannak a szakirodalomban, ezért érdemes említést tenni róluk.

Elrettentésül az *1. táblázatban* felsorolom, hogy milyen neveket javasoltak a geológiának megfelelő tudomány számára az egyes nagybolygókon, illetve a Holdon.

S ez a lista még nem is teljes a Jupiter Galilei által felfedezett négy nagy holdja, a Titán vagy az újabban behatóan tanulmányozott kisbolygók (Eros, Itokawa) és az üstökösök (Halley, West, Tempel) nélkül. Mindegyikre alkossunk görög nevet, és mindegyikről nevezzünk el egy-egy tudományágat? Az egyes égitestekre „szabott” tudományágak bevezetése azonban abszurd kezdeményezés lenne a tudományok felosztásában. Van példa arra ugyan, hogy egy-egy fontos betegség kezelésével kapcsolatos orvosi tevékenységről (például onkológia), vagy állatfajról (például ornitológia) nevezzenek el külön tudományágat, de az már képtelenség lenne, hogy minden egyes beteg vagy minden egyes madár külön tudományági elnevezést kapjon. Ezért szorult vissza újabban még a szelenológia is, és ezért írjunk és beszéljünk inkább a Hold, a Mars, a Titán vagy az Eros *geológiájáról*, *morfológiájáról*, *geofizikájáról* vagy centrumáról. A Naprendszer égitesteivel (a Napot

<i>Bolygó neve</i>	<i>Geológia helyett</i>	<i>Az eredeti görög név</i>
Merkúr	hermeológia	Hermes – Hermész
Vénusz	cytherológia	Cythera vagy Kythereia – Küthereia, Vénusz egyik görög neve arról a szigetről, ahol született volna
Mars	areológia	Ares – Arész
Jupiter	zenológia	Zeus – Zeusz
Szturnusz	kronológia (!)	Chronos – Kronosz
Uránusz	uranológia	Uranus görög és latin név
Neptunusz	pozeidonológia	Poseidon, Pozeidon – Poszeidón
Plútó	hadeológia	Hades – Hadész
Hold	szelenológia, cynthiológia	A Hold másik görög neve Cynthia – Künthia volt

### 1. táblázat

kivéve) pedig összességében a *planetológia* mint tudomány foglalkozik.

Talán érdemes pár sorban még felhívni a figyelmet a *magyar terminológia* néhány speciális problémájára ezen a területen! A Naprendszer számunkra legfontosabb három égitestét, tudniillik a *Napot*, a *Földet* és a *Holdat* a magyar nyelv nagy kezdőbetűvel különbözteti meg a *naptól* (időtartam), a *földtől* (talaj) és a *holdtól* (egyrészt terület-egység, másrészt más bolygók kísérő égiteste). Ez a megkülönböztetés azonban sajnos nem mindig egyértelmű, mert például a *napfolt*, a *földszerű* (bolygó) vagy a *holdkrátera* magyar helyesírás szerint kis kezdőbetűvel írandó. További probléma, hogy más nyelveken többnyire „kísérő égitestnek” (*satellite*, *szputnyik*, *Satellit*) nevezik az idegen bolygók holdjait, sőt a mesterséges holdakat is; e nyelveken Holdunk neve teljesen más (*Moon*, *Luna*, *Mond*). Magyarul a kettő azonos (*hold*), s ez gyakran okoz félreértést.

Ugyancsak zavaró, hogy a magyar nyelvben nehéz vagy lehetetlen melléknevet képezni a legfontosabb égitestnevekből: a *napi* teljesen más jelent, mint a *solar*; a *holdi* talán még elfogadható a *lunar* fordításaként, de a *bolygói* mint jelző egyáltalán nem működik az angolban oly gyakran használt *planetary* megfelelőjeként. S hogyan képezzünk például melléknevet a Jupiter egyre gyakrabban emlegetett holdja, az *Europa* nevéből? Beszéljünk és írjunk *europai* rianásokról és kráterekről? (Még a vessző elhagyása az *o* betűről sem segít sokat, különösen élőbeszédben nem.) Csak abban reménykedhetünk, hogy hozzáértő magyar szerzők vagy fordítók ügyes körülírások alkalmazásával meg tudják oldani ezeket a nehéz feladatokat.

### *Elhatárolási problémák*

Végezetül foglalkozunk még a planetológia néhány aktuális, általános kérdésével, amelyek megválaszolása még várat magára. Ismét

nem annyira a tudományos, mint inkább a tisztánlátást elősegítő terminológiai, elhatárolási problémákra térek ki röviden. Néhány évtizeddel ezelőtt még jóval könny-nyebb volt osztályozni és csoportokba rendezni a Naprendszert alkotó, ismert égitesteket: a Napon kívül kilenc nagybolygó, mintegy harminc hold, néhány ezer kisbolygó és üstökös, továbbá a bolygóközi anyag alkotta a leltárt. A Naprendszer térképét is könnyű volt elkészíteni: kifelé haladva a földszerű bolygókat követte a kisbolygó-övezet, majd az óriásbolygók és holdjaik. (A Plútót jelentéktelen kivételnek tekintették.) Ez az egyszerű klasszifikációs séma éppen a planetológiai kutatások sikerei nyomán mára teljesen elavult. Nem az a lényeg, hogy nyolc, kilenc vagy tíz nagybolygó kering-e a Naprendszerben, hanem a szerepet játszó égitestek fizikai jellege és rokonsága. Például a földszerű bolygók és bizonyos nagyméretű, aktív holdak planetológiai szempontból egyetlen családot alkotnak, függetlenül keringési pályájuk jellegétől. A kisbolygók és az inaktív üstökösmagok megkülönböztetése is bizonytalanná vált. A legújabb megfigyelések szerint kisbolygók köszálnak szinte mindenkinek a Naprendszerben, és tömegesen fordulnak elő (köztük meglepően nagy méretűek is!) túl a Neptunusz pályáján.

Gyakorlati szempontból is fontos lenne elhatárolni a kisbolygók populációját a kisebb méretű testekétől, amelyeket korábban csak a földi légkörbe belépésükkor lehetett *meteorként* megfigyelni. A sajtó ugyanis előszeretettel fenyeget kisbolygó-becsapódással akkor is, ha csak egy alig tíz méteres törlemelkedarab tart felénk a világűrből. Mi lenne a korrekt elnevezése ezeknek a korábban nem ismert, parányi égitesteknek?

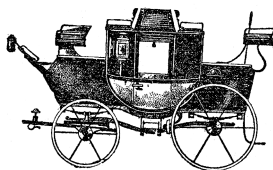
A másik oldalról is van probléma. Nem az a legfontosabb, hogy a Plútót ezentúl kisbolygónak vagy nagybolygónak kell-e tekinteni, inkább azzal kell a csillagászoknak foglalkozniuk, hogy hol húzódik a határ a

legnagyobb bolygók és a legkisebb csillagok között („barna törpék”). Ez a kérdés nem a Naprendszeren belül, hanem a más csillagok körül közvetett úton felfedezett kísérő égitestek esetében merül fel alapvető problémaként. Nálunk a Naprendszerben ugyanis a Napon kívül biztosan nincs csillag jellegű égitest, de egyáltalán mennyire tipikus a mi bolygórendszerünk az Univerzumban? Az eddig felfedezett mintegy 170 Naprendszeren kívüli bolygó csillagának környezetét tanulmányozva könnyen arra a következtetésre juthatunk, hogy igen kevésbé. De lehet az is, hogy egyszerű szelekciós effektusról van szó, és a mi Naprendszerünkhöz hasonló bolygórendszereket távolabbról különösen nehéz lenne felfedezni.

A modern planetológiát irigylésre méltóan gazdag kutatási terület és – mint láttuk – számos megoldandó probléma jellemzi. Az elmúlt évtizedek hihetetlenül gyors

fejlődése ellenére még messze nem jutott el a stagnálásig, amikor már csak jelentéktelen részletek tisztázása marad hátra. Mint az itt következő tanulmányokból is látni lehet, még az élettelen Naprendszer teljes feltárása is befejezésre vár, nem is szólva arról a fantasztikus perspektíváról, amelyet a biológia szempontjából jelentene egy akár aktív, akár fosz-szilis életnyom felfedezése valahol egy idegen égitesten. Tágabb hazánk, a Naprendszer, rendkívül érdekes, változatos világnak bizonyult, amely tele van szakmai kihívásokkal mind a csillagászok, mind az űrkutató-fizikusok, mind a földtudományok művelői számára. Öröndetes, hogy a magyar szakemberek, többnyire nemzetközi együttműködésben, egyre aktívabban kapcsolódnak be fontos planetológiai kutatásokba.

Kulcsszavak: *planetológia története, terminológia, űrkutatás*



# MIÉRT NEM OLYAN AZ EGYIK, MINT A MÁSIK?

## A NAPRENDSZERBELI BOLYGÓTESTEK ÖSSZEHA- SONLÍTÓ PLANETOLÓGIAI ÁTTEKINTÉSE

Illés Erzsébet

a fizikai tudomány kandidátusa, tudományos főmunkatárs  
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete – illes@konkoly.hu

### *Bevezetés*

Az ember azt hinné, hogy a fejlődésük különböző fázisában lévő bolygótestek sorba rakhatók, és valamiféle egyértelmű megfeleltetés rajzolódik ki, ha a bolygó egyik jellemző paramétere függvényében ábrázolunk egy másik paramétert. Azt gondolnánk, hogy legfontosabb jellemző a tömeg, és az határozza meg, hogy egy bolygótest milyen fejlődési utat jár be, s azt milyen gyorsan teszi. De vajon igaz-e ez?

Mindenesetre a bolygótestek között látunk olyan eseteket, amikor azt várnánk, hogy az azonos helyen történt keletkezés, a hasonló összetétel vagy a nagyjából azonos tömeg miatt valahogy hasonló lesz a kialakult helyzet is. Ebben az írásban most az összehasonlító planetológiát ezen aspektusból szemléljük, és azokat az eseteket vesz-szük számba, ahol égitestpárok vagy -csoportok között vagy egy égitesten belül érthetetlen kettősséget találunk. Azon természetesen nem csodálkozunk el, hogy a tömegek olyan nagy különbözősége, mint amilyen a Föld típusú bolygók és az óriásbolygók között van, más-más fejlődési utat jelöl ki.

Az űrkutatás jóvoltából ma már a 400 km-nél nagyobb átmérőjű, kéreggel borított bolygótestek közül huszonhatot ismertünk közelebbről. (Itt ne legyünk tekintettel arra,

hogy egy test hol végzi mozgását: a Nap körül kering-e, tehát bolygó, vagy egy bolygó körül kering-e, tehát hold. Csak az a fontos, hogy megindult-e a megolvadás, a gravitációs szétválás vagy valamiféle geológiai aktivitás útján. Közös néven nevezzük őket bolygótesteknek.)

Az összehasonlító planetológia legelső rácsodálkozó megállapításai azok voltak, hogy a törvényszerűségek máshol is olyanok, mint amilyeneket a Földön megismertünk, hogy ott is olyanok a folyásnyomok, mint itt, hogy ott is úgy néznek ki a vulkánok, mint itt, hogy ott is úgy fúj a szél, mint itt. Szóval a Földön szerzett ismeretekkel, tapasztalatokkal máshol is megmagyarázhatók a dolgok. Aztán ahogy egyre több mindent megismertünk máshol is, egyre furcsább párhuzamok kerültek elő. Talán nem is elég megmondani, hogy egy égitest mekkora, hogy felvázoljuk fejlődésének történetét, ahogy korábban gondoltuk? Mi minden szól bele abba, hogy mi lesz egy-egy közbülső állapot?

E cikkben áttekintést adunk a Naprendszer bolygótestei között az olyan párokról vagy csoportokról, amelyeknél hasonló eredményt várunk, és megpróbáljuk felvázolni azokat az okokat is, amik miatt esetükben mégis különbséget találunk. Bizonyos furcsaságok és magyarázatok sok

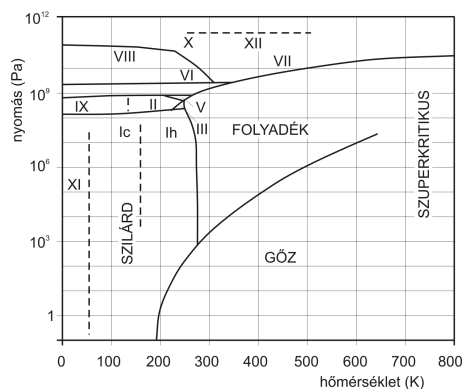
esetben közismertek a tudományos közvéleményben, másokat e cikk keretében vetünk fel először. Ezen utóbbi esetben utalunk rá, hogy nem közismert ellentmondásról vagy a közvélemény által már elfogadott okról ejtünk szót, tehát a tisztelt Olvasó fogadja kellő fenntartással a gondolatébresztőnek szánt példákat.

### *Milyen lehet a többi hold?*

A csillagászok a Hold alapján úgy képzeltek, hogy a Naprendszer minden holdja kráterekkel teli, élettelen világ lehet, és nagy meglepetést keltett, amikor a Voyager szondák fotói nemcsak hogy gömb alakú, de sok esetben geológiai aktivitást mutató holdakról hoztak hírt még a néhány száz km átmérőjű, kisebbek köréből is. Ez esetben az elmélet és a megfigyelés szinte versenyt futva szolgáltatta az információt azokról az okokról, amelyek miatt más lett a valóság, mint amit az 1960-as években vártak. Nevezetesen, a Naprendszer kémiai övessége nemcsak a bolygók, de holdjaik esetében is érvényesül. Vagyis – ellentétben a Föld típusú bolygók környezetében keletkezett testekkel – nem szilikátos, hanem nagyobb részét jeges anyagból állnak az óriásbolygók holdjai is, annak következtében, hogy a Naprendszer keletkezése idején a fiatal Nap felfűtötte környezetét, és így a belső térségekben csak a magasabb olvadáspontú anyagok tudtak szilárd halmazállapotúak maradni és a Föld típusú bolygókba beépülni, de a távoli, hidegebb vidékeken már az illó anyagok jege is képes volt erre. Továbbá a nagyszámú holdat tartalmazó holdrendszerekben a rezonancia és a nagy központi égitestek miatt fellépő árapályfűtés segíthet a kisebb testek megolvasztásában, így a gömb alak megjelenésében, sőt rajtuk a vulkanizmus megjelenésében is. A jéganyag pedig, s főként a keverék jegek – mint pl. a víz-ammónia keverék jege – megolvasztásához sokkal kisebb hőmenny-nyiség is elegendő, mint a szilikátokéhoz.

### *A Ganymedes–Callisto dichotómia*

De ezen általános képen túl nagyon sok részletben is meglepetés várt ránk. Azt még szintén viszonylag könnyű volt megmagyarázni az árapályfűtés távolsággal csökkenő mértékével, hogy a Jupiter holdrendszerében a bolygóhoz legközelebbi Io a legaktívabb, és az egyre távolabb keringő holdak egyre kisebb geológiai aktivitást mutatnak. Az azonban hosszú ideig teljesen érthetetlen volt, hogy a két külső Galilei-hold felszíne miért annyira különböző (Illés, 2004). A Ganymedes ugyanis aktív, repedésekkel teli, míg a Callisto felszínén semmiféle geológiai aktivitás nyoma nem látszik, csak becsapódásos kráterek borítják. Pedig a két hold majdnem egyforma nagy, majdnem azonos távolságra kering a Jupiter körül. A Nap körül mindenesetre azonos távolságra keringenek az egész Jupiter-rendszerrel együtt, tehát ugyanabból az anyagból épülhetnek fel. Talán a Ganymedes–Callisto dichotómia volt az első az összehasonlító planetológia történetében, amikor fel kellett ismerni, hogy két, nagyjából egyforma tömeg esetén is különböző lehet az eredmény, és az átmenetek nem mindig folyamatosak. Pedig a Földön a tél beköszönte minden évben rádöbbenheti erre a közepes szélességek lakóit, hogy



1. ábra • A  $H_2O$  fázisdiagramja (Baranyai, 2006 alapján).

nulla fok körül fehér lesz a határ – az albedó hirtelen megváltozik! De akár magasabb, akár alacsonyabb hőmérsékleten nagy hőmérséklet-tartományban nem következik be ilyen látványos változás.

A Ganymedes–Callisto esetében a hirtelen változásra a magyarázatot a víz többféle kristályos formájával próbálták megadni. A mindennapi életben ismert jég (jég I) ugyanis a víznek nem az egyetlen kristályos változata, létezik több is (1. ábra). Nagyobb nyomáson a jég I átkristályosodhat más kristályszerkezetű jéggé. A kristályszerkezettel nemcsak a sűrűsége, hanem például a folyási tulajdonsága is megváltozik. És amíg a jég I reológiai tulajdonságaival számoló belső szerkezeti modellek azt jelezték, hogy a Callisto belsejében be kellett volna indulnia egy szilárd fázisú áramlásnak, amely a bolygótest belsejéből kihozza volna a termelődő hőt, és ennek nyomán a felszínen geológiai aktivitásnak kellene látszania, addig, ha más kristályszerkezetű jéggé kristályosodott át a belseje, akkor a rosszabb folyási képesség miatt nem biztos, hogy be tudott indulni a köpeny cirkulációja. Ez lehet az oka annak, hogy egy vastag, passzív felső réteg felszíne az, amit a Callisto esetében látunk, és ezen 4,5 milliárd éve csak a becsapódások változtatják a tájat, semmi más. A Ganymedes viszont még épp azon határ felett maradt, amelynél ez az átkristályosodás nem történt meg, tehát a felszíne mutatja, hogy a köpenyáramlás beindult.

#### *A holdak mágneses tere és légköre*

Egyedül a Ganymedesnek van saját, belső eredetű mágneses tere a holdak között. A Titánnak miért nincs? Pedig a Titán mérete is és sűrűsége is körülbelül akkora, mint a Ganymedesé. Azt lehetne várni, hogy a Titánnak is van vasmagja. Vagy talán a Titán sem differenciálódott eléggé, mint ahogy azt a Galileo szonda gravitációs mérései a Callisto esetében mutatták, és nem alakult ki még a magja, nem különült el a vas?

És az Európának és az Iónak miért nincs belső eredetű mágneses tere? Méretre kisebbek, de sűrűségük sokkal nagyobb, mint a Ganymedesé. Valószínűleg az illóanyag-tartalmuk lehet kisebb. Tehát lehetne nekik is vasmagjuk. Forgási sebességük nagyobb, mint a Ganymedesé, tehát várható lenne esetükben is dinamó hajtotta mágneses tér. Hogy az Iónak van-e, ahhoz a Galileo szonda mérései még nem adhattak egyértelmű választ. Az Io ugyanis olyan közel van a Jupiterhez, hogy annak erős mágneses terében az Io gyenge, saját mágneses terét kimutatni sokkal közelebbről és tartósabban végzendő, pontos mérésekkel lehet majd.

Viszont a Titánnak számottevő légköre van, de semelyik másik holdnak, még a Ganymedesnek sincs. Ennek az ellentmondásnak az okát abban látom, hogy a Titán még elég meleg ahhoz, hogy fejlődjön rajta légkör, de nem túl meleg, és elég nagy tömegű is, s így meg is tudja tartani azt (Illés, 2005c).

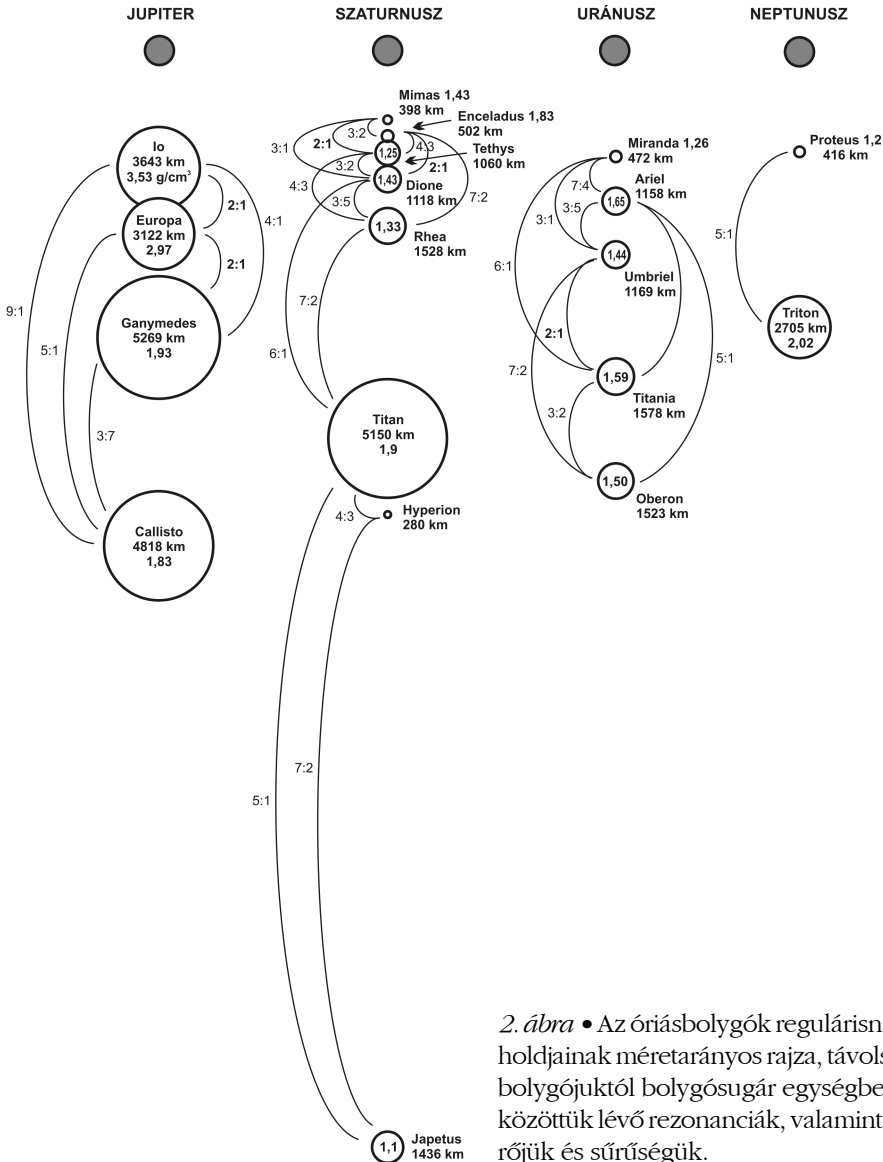
#### *Az Umbriel érthetetlenül alacsony fényvisszaverő képessége*

Hasonló kettősség holdak között az Uránusz rendszerében is fellép. Az öt Uránusz-holdat szemlélve ugyanis az Umbriel sokkal sötétebb, mint a másik négy. Miért? Hiszen ugyanabból az anyagból épülhetett fel mind az öt hold. Az Umbrielnél kettő közelebb, kettő távolabb kering az Uránusz körül, tehát semmi nem indokolja, hogy ő más anyagból legyen. Csak egy felszíni réteg léte okozhatja ezt a megjelenésbeli különbséget. Ezt az is alátámasztja, hogy két friss becsapódásos kráternél látunk friss, fehér anyagot, amit nyilván a becsapódás hozhatott a felszínre. A sötét megjelenés okára az irodalomban eddig semmi elfogadható magyarázat nem található. Viszont a jelenleg a Szaturnusz rendszerében keringő Cassini szonda egyik képe esetleg elvezethet a magyarázathoz, ha majd további megfigyelések alátámasztják az alábbi következtetéseim helyességét.



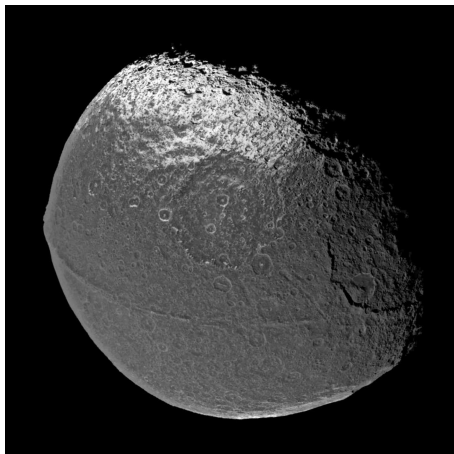
A Szaturnusz holdjai között van ugyanis egy nagyon furcsa hold, amely felfedezése (1671) óta izgatja a csillagászok fantáziáját. Ez az 1436 km átmérőjű Japetus, amely a Szaturnusztól legtávolabb keringő reguláris holdnak számít (2. ábra), vagyis úgy gondolják, hogy a bolygó összeállása idején a bolygóval

együtt keletkezett. E hold egyik fele olyan fényes, mint a friss hó, a másik olyan sötét, mint a szén, s ez a különbség már a korai távcsövekkel is észrevehető volt. Itt egy égitesten belül látjuk azt a felszíni dichotómiát, amit az Uránusz rendszerében a különböző holdak között. Mi lehet az ok?



2. ábra • Az óriásbolygók regulárisnak hitt holdjainak méretarányos rajza, távolságaik bolygójuktól bolygósugár egységben és a közöttük lévő rezonanciák, valamint átmérőjük és sűrűségük.

Az irodalomban sokféle magyarázat található a Japetus esetére, azonban egyiket sem tekintették teljesen kielégítőnek. A Cassini szonda 2004 szilveszter éjszakáján készített egyik fotóján (3. ábra) egy legalább 1300 km hosszú és 13 km magas hegygerinc látszik a Japetus sötét oldalán, majdnem pontosan az egyenlítője mentén. E cikk szerzőjének az a véleménye, hogy a hegygerinc egy egycellás köpenycirkuláció következtében torlódhatott fel az összeáramlási határon, tehát kompresszió nyomát jelzi a kéregben (Illés, 2005c). Ez a kompresszió a hegygerinc – a kompresszió vonala – mentén gejzírkifújások sorozatát okozhatta vagy okozhatja. S a metán, amely a Szaturnusz Titán holdján is nagy mennyiségben fordul elő, gejzírtevékenység következtében kispriccelhetett a felszínre, amely később a Nap ultraibolya sugárzása következtében elsötétíthette/el-sötétítheti a felszínt. A sötét és világos terület határa a gerinccel párhuzamosan fut magas bolygórajzi szélességen, és fényesen hagyja a pólus környezetét. A határ távolsága a gerinctől 700–800 km magasságig felspriccelő gejzírfelhőre enged következtetni; ilyen magas vulkáni felhőt mértek az Io vulkánjainál is. Ott kén- és kén-dioxid-kifújásokat láttak



3. ábra • A 13 km magas és legalább 1300 km hosszú hegygerinc a Japetuson. Cassini-kép.

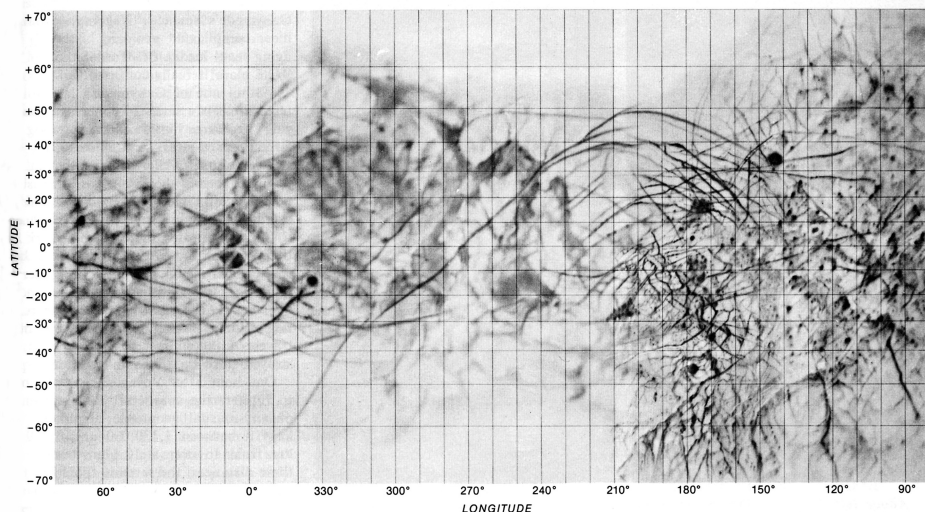
korábban a Voyagerek és nemrég a Galileo szonda kamerái is. A Japetuson a felhők magasságára tehát az Io, az elsötétedő felületre a Triton poláris sapkáin talált gejzírfoltok szolgáltattak már példát – tehát nem irreális az elképzelés.

S hogy kerül a képbe az Umbriel? A Voyager-képeken kontrasztnövelő technikát alkalmazva már az első eredmények azt mutatták, hogy az Umbriel nagyon sötét felszínét a szélességi körökre 45 fokban futó repedéshálózat borítja a közepes szélességeken. Ez az Európán látható repedésrendszerekhez hasonló (4. ábra), és szintén árapály-feszültségek hatásának tulajdonítják. E repedéshálózat mentén bárhol gejzírkifújások juttathattak metánt a felszínre, amely később elsötétedik, akár a Nap ultraibolya sugárzásának, akár részecskesugárzás bombázásának a hatására – legyen az a Naptól jövő részecskesugárzás, a galaktikus kozmikus sugárzás vagy az Uránusz magnetoszférájában mozgó töltött részecskék sugárzása.

#### *További példák az egycellás köpenyáramlásokra*

Ha már a Japetus kapcsán áttértünk az egy égitesten belüli dichotómiára, akkor nézzünk ezekre további példákat a Naprendszerben! Ez is érdekes, hiszen az egycellás köpenycirkuláció sok furcsa következménnyel jár más égitestek esetében is. A Holdnál és a Marsnál beszélnek még egykori egycellás köpenyáramlásról. Emiatt a Holdnál is és a Marsnál is nagyon aszimmetrikus felszíni dichotómiát látunk, de a marsi légkör, illetve folyadék- és jégszféra furcsa kettősségét is magyarázhatja az egycellás köpenycirkuláció következtében létrejövő topográfiai dichotómia.

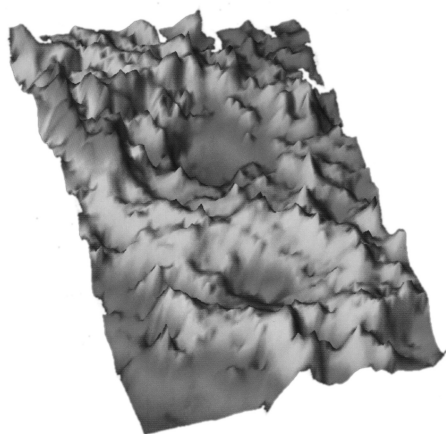
*A Hold egycellás köpenyáramlásának* felszálló ága jelenleg a Föld felé néző oldalon van. A felszállás helyén a melegebb köpenyanyag alulról elvékonyította a kérget (vagy eleve ezen a helyen vékonyabb ké-



4. ábra • Voyager-képek alapján készített térkép az Europa repedésrendszeréről

reg tudott létrejönni, mert mindig elhordta a köpenyáramlás a képződött új kérget a másik oldalra). Ma a túloldalon, a Koroljov-krátertől északra van a visszaáramlás helye, ahol összehordva megvastagodott a kéreg (8 km-rel magasabban fekszik ez a hely, mint az átlagos magasság). Miután az innenső oldalon vékonyabb a kéreg, és az innenső oldali nagy becsapódások össze is töredezték azt, néhány százmillió évvel később a köpenyáramlás felszálló ágában a vulkáni bazalt megtalálhatta az utat a felszínig, hogy a nagy medencék aljzatát előntesse. Ezeket látjuk most mint sötét foltokat a Hold korongján. Miután a Hold túloldalán a köpenyáramlás leszálló része volt, s ezért a kéreg sokkal vastagabb, ott az SPN néven emlegetett képződmény (South Pole – Aitken-medence) aljzatát nem öntötte el a bazalt annak ellenére, hogy az sokkal mélyebben van (8,2 km-rel az átlagos magasság alatt), mint az innenső oldali medencék aljzata (5. ábra).

A Mars egycellás köpenyáramlásának következményei. Ahogy a Holdnál már említettük, csak vékony kéreg marad a felszállás helyén, és megvastagszik a kéreg a leszállás környékén. Ha az ilyen bolygótest alakjához



5. ábra • A Holdon a Clementine szonda magasságméréseiből mintegy negyven ősi becsapódásnyom rajzolódott ki, amelyek a bolygótestek összeállásának az utolsó nagy bombázási időszakában keletkezhetnek. Ezek a fotókon már nem láthatók, mert a későbbi becsapódások „elmosták” a képet, de a magassági viszonyok még kirajzolják a nagy medencéket. Az ábrán a Clementine magassági térképén a Mendel–Rydberg-kráterek láthatók.

illesztünk egy felületet, akkor annak közép-pontja nem esik egybe a gravitációs közép-ponttal. A Hold esetében 1,6 km a két köz-pont közötti távolság, a Mars esetében 3 km. A több cirkulációs-cellás köpenyáramlású égitesteknél nem tud ilyen nagy különbség kialakulni. Hemiszférikus szimmetria esetén minél több cirkulációs cella van, annál kisebb ez a különbség.

A Marsnál a 3 km-es eltolódás azt jelenti, hogy amerre a kéreg megvastagodott – és ez ott a déli pólus iránya –, az a környék 3 km-rel messzebb van a tömegközéppont-tól, tehát gravitációsan magaslatnak számít. Amerre a kéreg elvékonyodott – s ez a Mars-nál az északi pólus környéke –, az a környék 3 km-rel közelebb van a tömegközéppont-hoz, tehát gravitációsan mélységnek számít. A déli pólus környéke tehát 6 km-es „magaslat” az északi pólus környékéhez képest. A gravitációs tömegmozgások ezt „úgy élik meg”, mintha ott hegy lenne. Mi mindenben nyilvánul ez meg?

Ha folyadék lenne (vagy volt) a Marson, az délről észak felé folyna (vagy folyt). Valóban, a folyóvölgyek délről észak felé vezetnek! Ha volt óceán, akkor az az északi pólus környékén foglalt helyet. És valóban, az északi síkság körül találtak egykori tengerpartra utaló nyomokat!

Hogyan csapódnak ki ezen a furcsa alakú bolygón a légkörben lévő illóanyagok: a vízgőz és a szén-dioxid? A hőmérsékleti viszonyok olyanok, hogy a levegőben lévő kevés vízgőz még a felszín közelében kondenzálódhat akár az egyenlítő környékén is, de a földrajzi szélességgel csökkenő hőmérséklet miatt az északi póluson is. A déli pólusra viszont nem ér fel, mert ahogy a levegő hőmérséklete a magassággal egyre csökken, már sokkal kisebb magasságon kicsapódik belőle dér formájában. Viszont ennek a 6 km magas „hegynek” a magasságában a hőmérséklet már olyan alacsony, hogy ott télen eléri a szén-dioxid kicsapódási

hőmérsékletét, és szén-dioxid-hó rakódik le. Ennek egy része a megmaradó hósapka, de egy része a déli nyár folyamán szublimál, tehát szezonális változásnak van kitéve. A Mars Global Surveyor szonda pontos magassági mérései szerint 1-2 méteres szén-dioxid-hó réteg az, ami telente lerakódik, és tavasztól újra a légkörbe kerül vissza.

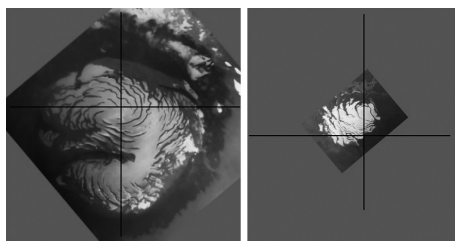
Tehát az egycellás köpenyáramlással magyarázható az összetételi dichotómia a Mars két poláris sapkája között, s talán ez az oka elsősorban a kiterjedésbeli dichotómiának is. A Mars északi poláris sapkája ugyanis sokkal nagyobb kiterjedésű, mint a déli (6. ábra). Bár ehhez a dichotómiához hozzájárulhat a Mars pályájának nagy excentricitása, és főleg az, hogy a Mars éppen a déli nyár idején jár napközelen. Vagyis ekkor halad a pályáján leggyorsabban, és ekkor a legnagyobb a besugárzás. Ezért délen a nyár „forró”, de rövid. A Földön a Marssal ellentétben nagyjából egyforma nagyok a poláris sapkák.

Még egy fontos dolgot megmagyaráz a Mars egycellás cirkulációja: a Föld típusú bolygók szélrendszerének dichotómiáját. A Mars légkörzése nagyban különbözik a Föld légkörzésétől, pedig napjaik hossza és tengelyhajlásuk is hasonló. Azt várhatná az ember, hogy a széljárás is nagyon hasonló a két bolygón.

#### *Az egyenlítőre szimmetrikus légkörzés kialakulása*

A bolygók légköre együtt forog a bolygókkal, csak nem merev testként. Ha a légkör valahol előresiet vagy lemarad a felszínhez képest, azt a felszínen álló megfigyelő szélként érzékeli.

A Föld típusú bolygók szélrendszerét a Nap melege hajtja. A legmelegebb hely egy bolygón a szubszoláris, vagyis a Naphoz legközelebb eső pont (ahol a bolygó felszínén álló megfigyelő számára a Nap a zenitben tartózkodik). A légkörön keresztül beérkező napfény itt melegíti fel legjobban a talajt, és a légkör a talajtól veszi át a hőt. Felmelegszik,



6. ábra • A Mars északi (bal) és déli (jobb) poláris sapkája. Mars Global Surveyor-fotó.

kitágul, sűrűsége kisebb lesz a környező levegőnél, felszáll, helyére a környezetéből áramlik levegő, és beindul a cirkuláció. Így indul el függőlegesen egy-egy légköri cirkulációs cella szimmetrikusan észak és dél felé.

Hogy az egyenlítő és a pólus között milyen távolságon belül záródik egy-egy ilyen cella, az nagyban függ a bolygó tengelyforgási sebességétől, vagyis a Coriolis-erő nagyságától. Ha nagyon lassan forog egy bolygó, mint például a Vénusz, akkor a cella az egyenlítőtől közvetlenül a pólusokig el tud jutni, tehát egyetlen lépésben szállítja az egyenlítőn kapott meleget a poláris vidékekre. Azt mondjuk, hogy egycellás légköri cirkuláció alakul ki, pedig igazából itt két cella van az egész glóbuszra vonatkoztatva, és a hőt az északi ill. déli pólus felé szállító cellák szimmetrikusan helyezkednek el az egyenlítőre, mint a legjobban fűtött helyre vonatkozóan.

Ha egy bolygó gyorsabban forog, akkor az áramlás már előbb eltérül, nem ér el a poláris vidékekre, és alacsonyabb szélességen megtörténik a visszatérés. Ilyenkor fogaskerékyszerűen beindul egy másik cella mindkét félgömbön, esetleg egy harmadik is. A Föld esetében mindkét félgömbön három cellán keresztül jut így el az Egyenlítőn kapott hő a poláris vidékekre: forró égöv, mérsékelt öv és sarki égöv alakult ki ennek következtében, szimmetrikusan mindkét félgömbön.

Mit várunk a Marsnál, miután napjának hossza nagyon hasonló a földihez? Azt, hogy

hasonló lesz a széljárás is. A Mars ritka légkörében ritkán képződnek felhők, amelyek kirajzolnák a légkör mozgását, ezért kellő számú pontos adatot majd a felszínén és a légkörében mozgó mérőszondák fognak szolgáltatni. Eddig a két Viking szonda leszállóegységeinek leszállás közbeni és felszíni mérései, illetve az újabb marsjárók mérései állnak rendelkezésre a modellszámításokhoz. A modellek igen érdekes széljárásra utalnak.

A Marson is működhet a Föld esetére leírt szélrendszer, ahol a széljárást a Nap besugárzása tartja fenn. Azonban ugyanúgy, ahogy a Földön is a fix felszíni kényszerek, például hegyek, elterelik a szeleket, illetve lejtőirányba segítik, hegyre felmenet pedig lassítja a levegő mozgását, így a Marson is a lejtő irányába – vagyis az északi félgömb felé – ez a mozgás könnyebb, és nagyobb távolságig juthat el a cella, de dél felé, vagyis „hegymenetnek” nehezebb. És ha ehhez a Nap fűtötte kényszerhez hozzájön egy másik mozgáskomponens, nevezetesen a tengelyhajlásból adódó szezonális, akkor furcsa, igazi egycellás cirkuláció lesz az eredmény – mégpedig az egész glóbuszra vonatkozóan egycellás.

A déli félgömb tavaszán ugyanis a déli poláris sapkáról egyre több szén-dioxid-jég szublimál a növekvő besugárzás hatására. Ezzel ott nagyon megnövekszik a szén-dioxid parciális nyomása a légkörben. A nagyobb légnyomás hatására radiálisan, minden irányba meginduló szelek a magasan fekvő déli pólus környékéről mint lejtő menti szelek rohannak lefelé az egyenlítő menti gyenge komponensét elsodorva csatlakoznak az erősebb északi cella széléhez, és így erős transzekvatoriális szélként túlfutnak az egyenlítőn. Vagyis valóban az egész glóbuszra vonatkozóan egycellás cirkuláció, és nem az egyenlítőre szimmetrikus áramlási kép alakul ki. Ez az oka annak, hogy a déli

félgömb tavaszán tör ki a legtöbb globális porvihar. A Mars felszínének vastag, finom porát ugyanis nagyon könnyen felkapja a szél, és az egész bolygót beburkolja vele. Csapadék hiányában pedig csak nagyon lassan, néha hónapok múlva tud kihullani a rengeteg finom por. Ezzel magyarázható az a megfigyelés, hogy a felszínen lévő por összetételét az egymástól nagy távolságra leszálló két Viking szonda is meg a Pathfinder is ugyanolyannak mérte, hiszen ezek a globális porviharok összekeverik a bolygó-felszín porait, és mindenhova ezt a kevert port terítik szét.

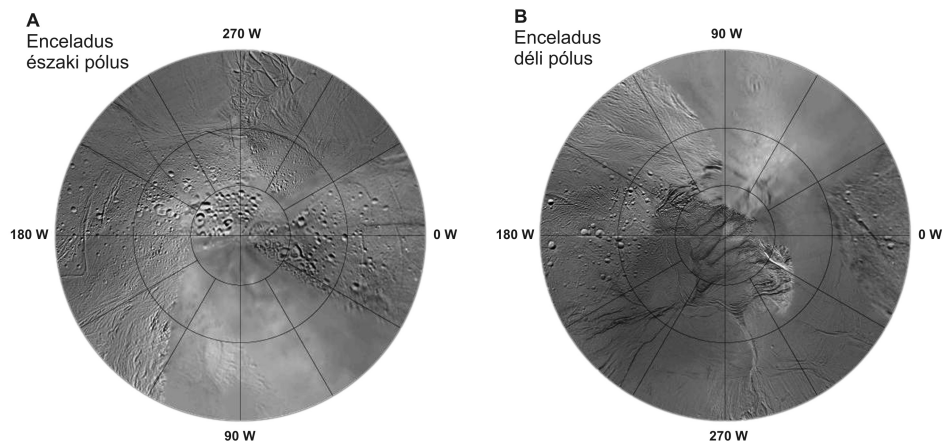
### A legaktívabb jéghold

A Szaturnusz *Enceladus* holdjánál is nagyon érdekes jelenséget okoz az egycellás köpenycirkuláció. Ez a mindössze 500 km átmérőjű holdacska a Dione holddal van 2:1 arányú rezonanciában, és ez elegendő ahhoz, hogy a jelek szerint talán a legaktívabb jéghold legyen a Naprendszerben. Az az érdekes, hogy a Mimas a Tethysszel ugyanilyen jó rezonanciában mozog, és közelebb is vannak a Szaturnuszhoz, a Mimas

geológiailag mégsem aktív. Vajon miért? Ez is dichotómia, csak itt két égitest között.

A Cassini-képek tanúsága szerint az *Enceladus* északi pólusának környéke öreg, tele van becsapódásos kráterekkel – ellentétben a déli pólus környékével, ahol viszont sok repedés található (7. ábra). Sőt, a hold déli pólusa környezetében vízjégszemcsékből álló „légkört” is detektáltak a Cassini szonda műszerei. Ez arra utal, hogy nem a jég szublimálásával kerültek vízmolekulák a hold körüli térségbe, hanem gejzírek által kispriccelt jégpor vagy újra megfagyott víz az, amit a műszerek regisztráltak.

A repedések iránya a déli félgömbön olyan, amelyet árapályfeszültségek alapján várnánk, és amelyet az Europa holdon is látunk (4. ábra). Az Európánál a repedésrendszer azonban az egyenlítőre szimmetrikus, ahogy azt egy egyenletes vastagságú kéreg esetén a modellek mutatják. Véleményem szerint az *Enceladus* belseje olvadt lehet, mint a Jupiter Europa holdjának belseje, miután azonban az árapályfeszültségek a déli félgömbön meg tudják repeszteni a kérget, de az északi pólus környékén nem, a kéreg



7. ábra • a: Az *Enceladus* hold kráterekkel teli, öreg északi félgömbje. A 90 fokos hosszúság környékén lévő homályos részről még nem készült nagyfelbontású kép. b: Az *Enceladus* hold repedésekkel teli, fiatal déli félgömbje.

nem lehet ugyanolyan vastag mindenütt. Hogyan lehetséges, hogy az északi pólus környékén vastagabb a kéreg?

Szerintem ha egy, a Marséhoz és a Holdhoz hasonló egycellás köpenyáramlás van az Enceladus óceánjában is (ami nem feltétlenül víz, hanem lehetséges, hogy kásás jégből álló óceán), akkor az áramlás vagy elhordja a jégkérget és feltorlaszolja azt az északi pólus környékén, vagy termális erózióval elvékonyítja a kérget a déli pólus környékén, ahol azt már az árapályfeszültségek képesek megrepeszteni. A repedések mentén gejzírkifújásokat működtet a napi árapály, aminek hatására találták a finom vízjég-port a déli pólus környezetében. Ez a mechanizmus adhatja a Szaturnusz E gyűrűjének az anyagát is, azzal, hogy a vízjég-porszemcsék egy idő után Szaturnusz körüli pályára állnak. Ugyanúgy, ahogy az Io vulkánjaiból kikerülő kén vagy nátrium az Io körül mintegy 20 órát mozog, majd a Jupiter kén-, illetve nátriumgyűrűjét gazdagítja.

Az érdekes azonban az, hogy miért éppen így áll az Enceladus, vagyis hogy a legvékonyabb kéregrész miért a déli pólus felé néz, és miért nem a Szaturnusz irányába? Mint ahogy az is érdekes, hogy ha a Japetusnál is egycellás köpenyáramlás van, a felszálló ág miért a követő oldalon van, és miért nem a Szaturnusz felé néz? Geofizikailag ugyanis az lenne a plauzibilis, ahogy a Föld is „fogja” a Holdat, vagyis hogy a legvékonyabb kéregrész néz a Föld felé, mert ott a köpeny sűrűbb anyaga által képviselt gravitációs anomáliát „fogja meg” a Föld gravitációs tere. Egyébként az Io hold is úgy mozog a pályáján, hogy a legvékonyabb kéregrész fordul a Jupiter felé. A Marsnál is az lenne a plauzibilis, hogy a legvékonyabb kéregrész nem a déli pólus irányába, hanem a Nap felé néz. A Mars tengelyforgása azonban nem kötött, az Enceladusé és a Japetusé viszont igen, ahogy a Föld Holdjáé is.

### *A Titán különleges státusa a Szaturnusz holdjai között*

Véleményem szerint a Szaturnusz holdjai között vagy a Titán a kakukktojás és a többi hold normális, vagy a Titán normális és a többi nem az. A Titán akkora, mint a Jupiter nagy reguláris holdjai, a többi, regulárisnak tekintett Szaturnusz-holdhoz képest viszont nagyon nagy (2. ábra). Ha volt elegendő anyag a Naprendszer keletkezése idején ahhoz, hogy a Szaturnusz körül is létrejöjjenek olyan nagy holdak, mint a Jupiter körül – márpedig a Szaturnusz és a Jupiter hasonló mérete alapján ez feltételezhető –, akkor miért olyan kicsik a többiek? Ütközés verte szét őket? Ha pedig azért olyan kicsik a többiek, mert nem volt elég anyag, akkor mitől olyan nagy a Titán? Két protohold ütközött, és anyaguk egyetlen naggyá olvadt össze? Ezt a lehetőséget támogatja egyébként egy mások által már felvetett furcsaság a pályákban, hogy tudniillik a belső, regulárisnak hitt holdak és a Titán között is, meg a Titán és a nála mesz-szebb keringő Japetus között is van egy-egy nagy üres térész a Szaturnusz körül. Persze az sem lehet lehetetlen, hogy mind a kétféle esemény lejátszódhatott a Szaturnusz körül; szét is verődhetek protoholdak, és össze is olvadhattak mások.

Furcsa persze a Szaturnusz holdjai között az is – ahogy a 2. ábra képe feltűnően nyilvánvalóvá teszi –, hogy a Japetus olyan nagy távolságra „kilóg” a rendszerből a többi holdhoz képest. És ha igaz az, amivel a vezető oldal sötét anyagát magyarázom, akkor érthetetlen, hogy honnan van a Japetusnak a geológiai aktivitáshoz szükséges energiája. Ebben a távolságban már az árapályfűtés egyébként is kicsi lenne, de a hold nincs is rezonanciában semmivel. Lehetséges, hogy a Titánnal kapcsolatos feltételezett ütközés excentrikus és nagy inklinációjú pályára lökte őt, amely pályának a körré válása kapcsán kapott árapályfűtés adta volna neki az energiát, mint a Tritonnak a Neptunusztól kapott

árapályfűtés? (A Tritont befogott holdnak tartják; a Japetusról ez még nem vetődött fel, mert nem retrográd a pályája. Pedig 14 fokos pályahajlása éppúgy predesztinálná erre, mint a Tritont a 23 fokos pályahajlás.)

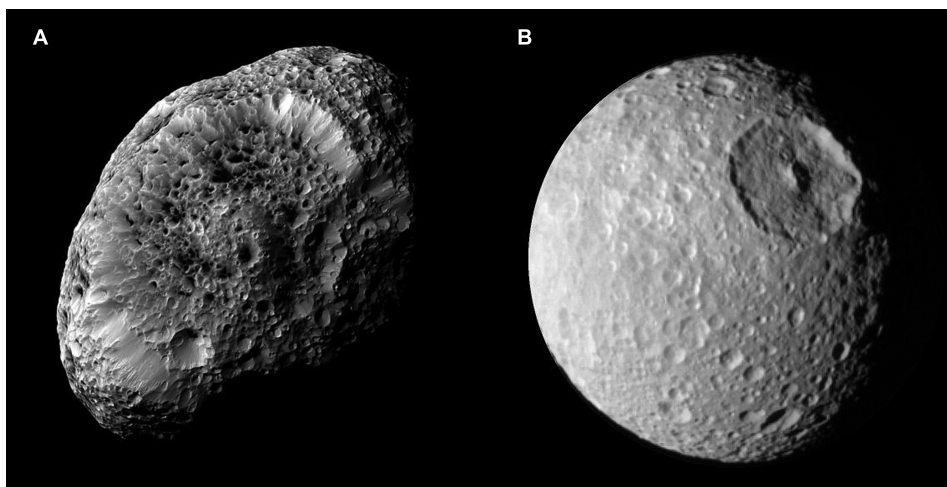
Érdekes még az is, hogy a Titán és a Japetus között mozgó Hyperion a Cassini legújabb felvételei szerint inkább egy laza, a Kuiper-övből származó objektum lenne (8. ábra), mint egy kompakt hold. Hogy kerülhetett egy befogott hold a reguláris holdak felségterületére, és hogyan lett pályaeccentricitása és pályahajlása olyan, mint egy reguláris holdé? Ha a holdrendszer belsejében van egy befogott Kuiper-objektum, akkor ebben is különleges a Szaturnusz rendszere.

S ha ehhez még hozzávesszük a Szaturnusz-gyűrű különlegességét magyarázó munkahipotézisemet (Illés 2005a, b), miszerint a Szaturnusz jéggyűrűje egy most szétदारabolódó üstökösmag jeges anyagából származhat, akkor még azt a feltevést is megkockáztathatjuk, hogy a Hyperion ennek az óriási üstökösmagnak egyik, a Roche-határon kívül maradt darabja lehet.

### *Dichotómia az óriásbolygóknál*

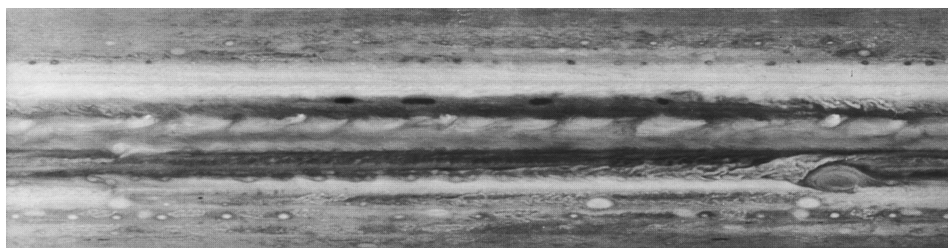
A Jupiter két félgömbje nem egyforma, pedig az ember azt hinné, hogy egy gázgömb egyszerűbb eset, mint egy szilárd bolygó. Nemcsak a Nagy Vörös Folt léte teszi a Jupiter-t aszimmetrikussá, hanem például az úgynevezett fehér foltok is csak a déli félgömbön fordulnak elő egy szélességi sávban (9. ábra). Ugyanakkor a sötétbarna, elnyúlt elliptikus foltok csak az északi félgömb egy bizonyos szélességén keletkeznek. (Ezek a keskeny oválisok felhőmentes övezetek lehetnek, amelyekben mélyre lehet látni a Jupiter légkörébe. Hosszúsági kiterjedésük körülbelül akkora vagy valamivel nagyobb, mint a déli hemiszféra egy-egy nagyobb fehér viharfoltjáé, de a fehér foltokkal ellentétben szélességi kiterjedésük sokkal keskenyebb azokénál, és azonos a teljes hosszuk mentén.)

A Földön a ciklonok szintén egy bizonyos szélességi sávban fordulnak elő, igaz, ez a sáv a Nap éves vándorlásával szélességben mozog az Egyenlítőhöz képest. De ez az egymást követő ciklonok sorozata mint hullámjelenség nagyjából szimmetrikusan lép fel a



8. ábra • a: A Cassini szonda közelképe a Hyperionról. b: Összehasonlításként egy körülbelül azonos nagyságú normális szaturnuszhold, a Mimas.





9. ábra • A Jupiter bolygó Voyagerszondák képeiből összeállított Mercator-vetületű térképe. Az elnyúlt barna foltok csak az északi, a fehér oválok csak a déli félgömbön jelennek meg.

két félgömbön. S ha mégis van hemiszférikus aszimmetria, azt a Földön elsősorban a különböző kontinensborítottságnak tulajdonítják. De a Jupiteren nincs felszín, nincsenek kontinensek, a köpeny nagy nyomású, kritikus állapotban lévő anyaga folyamatosan mehet át a légkör anyagába. Mi okozhatja ezt a kettősséget a két félgömb között?

Én magam azt feltételezem, hogy a mágneses tér szól bele valahogy még a légköri rétegek áramlási rendszerébe is. Illetve lehet, hogy a Jupiter esetében talán fordítva lenne helyesebb mondani. Az az aszimmetria, amely a bolygóbelső, vagy inkább a fémesen viselkedő atomos hidrogénből álló köpeny cirkulációs rendszerében fellépett – és aminek a következménye maga a mágneses tér is –, még a légkörben is hat, és ennek hatására látjuk ezt a hemiszférikus aszimmetriát. Vajon a földi légkör nagyléptékű aszimmetriájába mennyire szól bele a mágneses tér különbözősége a két félgömbön?

Kutatásaink során a semleges felsőlégkör (250–500 km) összecsússzási adataiban furcsa aszimmetriát találtunk a 60. szélességi körök

közötti tartományban. A holdak mozgásából levezetett sűrűségértékekből minden ismert effektus hatását a legjobb felsőlégköri modellekkel levonva a maradéknak fehér zajt kellett volna adnia, ha a modellek mindent jól írnak le. Ezzel szemben a modellmaradékok azt mutatják, hogy a földi felsőlégkörben a sűrűség monoton csökken az északi 60. foktól a déli 60.-ig haladva. Tehát nem szimmetriát találtunk. Az Egyenlítő környékének semmiféle kiütetett szerepe nem volt.

Egy szilárd kérgű bolygó, tehát a Föld esetében a légkör sűrűsége – vagy inkább fűtése és ennek következtében a sűrűsége – a mágneses tér, tehát a magnetoszféra folyamatai miatt változhat, ha valóban az változtatja, és nem valami más. Mindenesetre, amiket más bolygótestek esetében tapasztalunk, azokat érdemes megvizsgálni a Föld esetében is. A planetológia tapasztalatai segíthetnek bizonyos érthetetlen földi jelenségek értelmezésében.

Kulcsszavak: *bolygó, bolygógyűrű, hold, összehasonlító planetológia*

## IRODALOM

- Baranyai András (2006): A jég változatos szerkezete. *Természet Világa*. 137, 1, 38–39.  
 Illés Erzsébet (2004): Bolygótestek a Naprendszerben. *Magyar Tudomány*. 6, 710–721.  
 Illés Erzsébet (2005a): A bolygógyűrűk eredete I. *Ter-*

- mészet Világa*. 136, 3, 106–109.  
 Illés Erzsébet (2005a): A bolygógyűrűk eredete II. *Természet Világa*. 136, 4, 178–180.  
 Illés Erzsébet (2005c): Holdak a Naprendszerben. In: *Meteor Csillagászati Évkönyv 2006*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 194–227.

# LEMEZTEKTONIKA ÉS AZ ÚJ GLOBÁLIS GEODINAMIKA

Horváth Ferenc

a földtudomány kandidátusa, intézetvezető egyetemi tanár  
ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet  
frankh@ludens.elte.hu

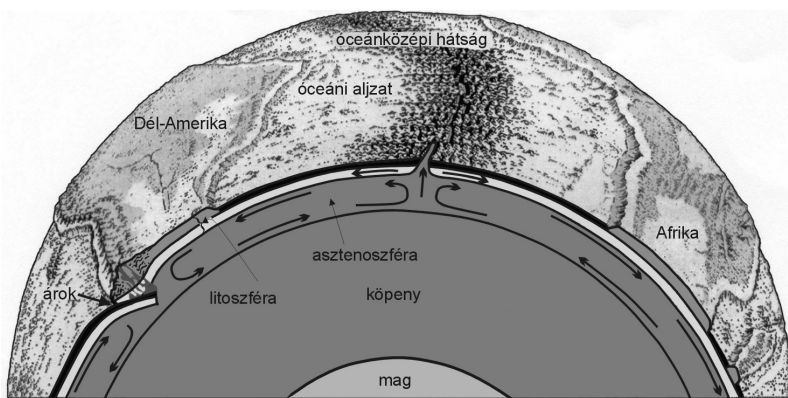
Komoly, de csak szűk körben elismert előzmények után az 1960-as évek közepén született meg a *lemeztektonika*. Az elméletet „új globális tektonika” elnevezéssel is illették, mert egységes magyarázatot adott a teljes Föld felszínét beborító kontinentális és/vagy óceáni litoszféramezek mozgására és a kölcsönhatásuk következtében kialakult nagyfelszíni formákra.

Az utóbbi két évtizedben az elmélet látványosan továbbfejlődött, aminek fő hajtómotorja a földi köpeny finomszerkezetét feltáró szeizmikus tomográfia, a mélységi magmás kőzetek eredetét vizsgáló geokémia,

valamint a köpenybeli konvekciós áramlásokat szimuláló numerikus és analóg modellezések voltak. Bár több kérdésben még egymásnak markánsan ellentmondó tudományos álláspontok léteznek, a haladás iránya egyértelmű: a lemezek felszíni folyamatainak összekapcsolása a köpenyben és a külső magban zajló anyagáramlásokkal egy „új globális geodinamika” születését vetíti előre.

## Bevezetés

A lemeztektonika tudománytörténeti előzményeit, hazai térhódítását, valamint az elmélet alapjait több évvel ezelőtt ennek a

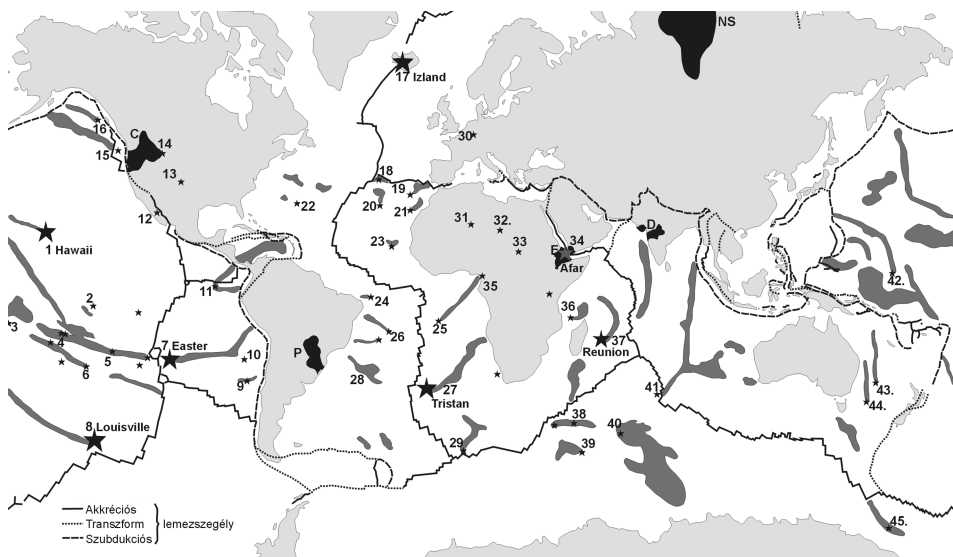


1. ábra • A lemeztektonika „klasszikus” modellje. A litoszféramezeket a kéreg és a felsőköpeny szilárd része alkotja. Ezek a részlegesen olvadt állapotú asztenoszférán mozognak. Feláramlás az óceáni hátságoknál, leáramlás pedig az alábukási (szubdukciós) zónáknál alakul ki. A konvekciós anyagáramlás alapvetően a felsőköpenyre korlátozódik, a Föld tömegének döntő része (az alsóköpeny és a mag) nem vesz részt a folyamatokban.

lapnak a hasábjain foglaltam össze (Horváth, 1997). Az azóta eltelt időszakban jelentősen megerősödött és kiteljesedett egy, a kezdetektől meglévő koncepció, amely a Föld felső néhány száz kilométer vastag héjára (a litoszférára és az asztenoszférra) korlátozódónak vélt folyamatokat (1. ábra) a teljes köpenyben végbemenő anyagáramlásokkal kívánja szorosan összekapcsolni. Ennek a koncepciónak a történetéről és kivirágzásáról számolok be ezúttal, mivel úgy látszik, hogy ennek eredményeképpen a XXI. század első évtizedeiben lényeges haladást érünk

el annak megértésében, hogy miképpen működik a Föld.

Még a lemeztektonikai elmélet kialakulásának hajnalán vetette fel J. Tuzo Wilson (1963a), hogy az óceáni területek vulkanikus eredetű szigeteinek kora felhasználható az óceánfenék szétterjedésének (spreading) a bizonyítására. Szerinte ugyanis azok kora szisztematikusan nagyobb, minél távolabb helyezkednek el a vonatkozó óceáni hátságtól, ahol is az óceáni litoszféra és vele együtt a szóban forgó szigetek is keletkeztek. Ha tehát egy vulkánossági centrum óceáni



2. ábra • A forró foltok (csillagok) valamint a kapcsolódó vulkáni kúpok-szigetsorok (sötétzürke sávok) és a nagy bazalt platók (fekete foltok) (Coffin – Eldholm, 1994) térképe, feltüntetve a hátságok és a szubdukciós zónák helyzetét is. Nagy csillag az elsődleges köpenyoszlophoz tartozó forró foltokat jelöli (Courtillot et al., 2003). A számozott forró foltok, vulkánosorok vagy bazalt platók neve a következő: 1=HAWAII, 2=Marquises, 3=Phoenix, 4=Tahiti, 5=Pitcairn, 6=Macdonald, 7=HÚSVÉT, 8=LOUISVILLE, 9=Juan Fernández, 10=San Félix, 11=Galápagos, 12=Guadalupe, 13=Raton, 14=Yellowstone, 15=Cobb, 16=Bowie, 17=IZLAND, 18=Azori, 19=Madeira, 20=New England, 21=Kanári, 22=Bermuda, 23=Zöldfoki, 24=Fernando, 25=Szent Ilona, 26=Trinidad, 27=TRISTAN, 28=Rio Grande, 29=Meteor, 30=Eifel, 31=Hoggar, 32=Tibesti, 33=Darfur, 34=AFAR, 35=Kamerun, 36=Comore, 37=RÉUNION, 38=Marion, 39=Conrad, 40=Kerguelén, 41=St. Paul, 42=Java-Ontong, 43=Lord Howe, 44=Tasmán, 45=Balleny. Nagy betűk az elsődleges forrópontokat jelölik. Nagy kontinentális bazaltplatók: C=Columbia-folyó, P=Parana, E=Etiópia, D=Dekkán, NS=Nyugat-Szibéria.

hátság középvonalában helyezkedik el, a termelőő óceáni kéreggel együtt lineáris vulkáni kúpok és/vagy szigetek jönnek létre szimmetrikusan a hátság két oldalán. Példaként a Dél-Atlanti-hátságon ülő Tristan da Cunha-szigeteket létrehozó vulkánt hozta fel, amely a Dél-Amerika irányába húzódó Rio Grande-hátságot és az Afrika felé elnyúló Walvis-hátságot hozta létre az Atlanti-óceán kinyílási története során (2. ábra). Egy másik korabeli munkájában Wilson (1963b) a Hawaii-Emperor szigetsort vizsgálva arra a nyilvánvaló, de koncepcióan meglepő következtetésre jutott, hogy a Kamcsatka irányába fokozatosan idősebb vulkáni szigetsor legfiatalabb, ma is aktív, kiinduló láncszeme, Hawaii nem kapcsolódik hátságához, attól kb. 5000 km-re nyugatra helyezkedik el (2. ábra). Azaz léteznek a hátságoktól független köpenyanyag-feláramlási helyek, amelyeket *ő forró foltoknak* (hotspots) nevezett el, ahol is a mozgó litoszférát átolvasztó köpenyanyag a felszínre jutva olyan szigetsort hoz létre, amelynek lefutása és koradatai a litoszférolemez kinematikáját mutatják meg. A 2. ábra mai ismereteinknek megfelelően mutatja a forró foltokat (Sleep, 1990), valamint a hozzájuk kapcsolódó nagy magmás tartományokat (LIPs – Large Igneous Provinces [Coffin – Eldholm, 1994]).

A hátságoktól független köpenyfeláramlások gondolatát W. Jason Morgan (1971, 1972) fejlesztette koncepcióvá. Arra a következtetésre jutott, hogy a környezetüknél magasabb hőmérsékletű, a legelső köpenyből feláramló *oszlopok* (plumes) jönnek létre, amelyek táplálják az óceánfenéken (esetenként kontinenseken) kialakuló vulkáni kúpokat és a nagykiterjedésű bazaltplatókat (2. ábra). Mivel az alsóköpeny viszkozitása 10-100-szor nagyobb a felsőköpenyéénél (legvalószínűbben 30-35-ször, 1. táblázat), az oszlopok térbeli helyzetének egymáshoz képest meglehetősen stabilnak kell lenniük, ezért a hozzájuk rögzített koordináta-

rendszer alkalmas a litoszférolemezek abszolút mozgásának a leírására. Morgan olyan fontosnak ítélte a köpenyoszlopok szerepét, hogy a lemezmozgás hajtóerejét is ezeknek tulajdonította. Ezek szerint a bonyolult geometriájú hátság tengelyekhez nem aktív köpenyfeláramlás kapcsolódik, hanem a szétszakadó központi hasadékvölgy mentén az asztenoszféra anyaga passzív módon emelkedik fel és olvad meg. Az óceáni hátságoknál képződött bazaltok (MORB) és az óceáni szigetek bazaltjai (OIB) között fennálló szignifikáns geokémiai különbségeket a köpeny sekély ill. mélyzónájából való passzív és aktív eredet jól magyarázza (Zindler – Hart, 1986).

### *A Föld szerkezete és anyagi összetétele*

A lemeztectonikai elmélet kialakulásával szoros elvi összefüggésben és a technikai haladás eredményeit messzemenően kihasználva jelentősen fejlődött a földrengéseket regisztráló szeizmológiai világhálózat és adatfeldolgozási metodika is. Ennek látványos eredménye a Föld átlagolt szerkezetét leíró *új földmodell* kidolgozása (Dziewonski – Anderson, 1981) és az ettől való eltéréseket háromdimenziósan leképező *szeizmikus tomográfia* megszületése (Sengupta – Toksöz, 1977) volt.

### *A héjasan homogén földmodell*

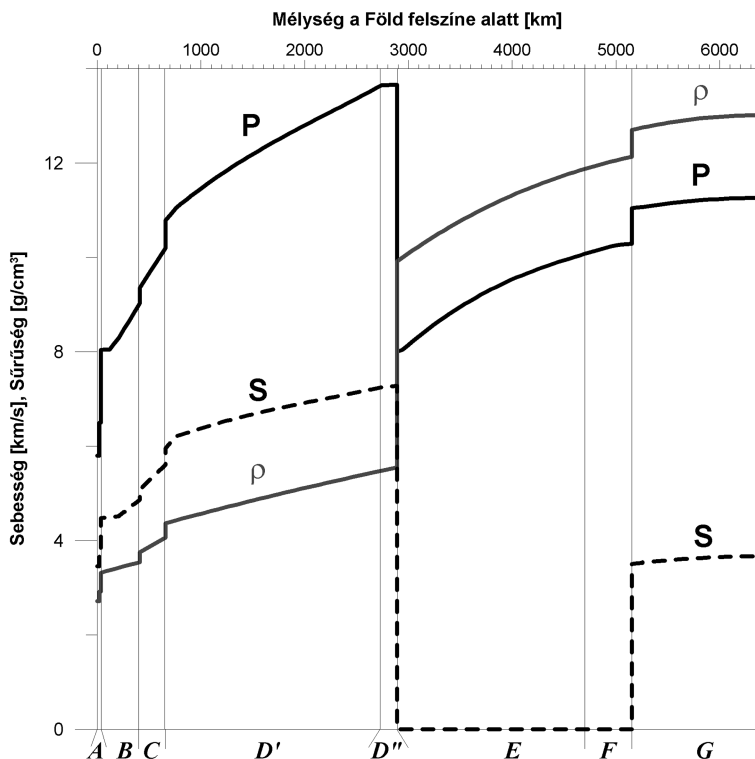
A 0,3 % eltéréssel gömb alakú Föld belső szerkezetét is a nagyfokú gömbszimmetria jellemzi; jó közelítéssel homogén gömbhéjakból felépítettnek tekinthető. A belső felépítés vizsgálatának egyetlen közvetlen módszere van, mégpedig a földtest átvilágítása természetes módon (nagy méretű földrengések) és mesterséges úton (föld alatti atomrobbantások) keltett rugalmas hullámok segítségével. A különböző helyeken kipattant rengések alapján szerkesztett menetidőgörbék inverziójával a longitudinális (P) és transzverzális (S) hullámok sebességé-

FŐEGYSÉG	ALEGYSÉG	A HATÁR JELLEGE ÉS MÉLYSÉGE	ANYAGI ÖSSZETÉTEL	VISZKOZITÁS
kéreg (A)	kéreg (A)	kémiai kontinens óceán 20-60 km 10-14 km	gránit bazalt granodiorit gabbró	—
köpeny (B+C+D'+D'')	felsőköpeny (B)	ásványtani fázisátmenet 410 km	peridotit (pirolit)	6×10 <sup>20</sup> Pa s
	átmeneti zóna (C)	ásványtani fázisátmenet 660 km	spinel	
	alsóköpeny (D')	kémiai 2750 km	perovszkit	
	legalsó köpeny (D'')	kémiai 2891 km	litoszféra-, alsóköpeny- és maganyag keveréke	200×10 <sup>20</sup> Pa s
	külső mag (E)	4700 km		
mag (E+F+G)	átmeneti zóna (F)	olvadákszertű vas 5153 km	2×10 <sup>20</sup> Pa s (kevés S és Si) szilárd	
	belső mag (G)	6371 km		

1. táblázat • A héjasan homogén földmodell jellemzői (Davies, 1999 nyomán módosítva)

nek mélységgel való változása meghatározható a felszíntől a Föld középpontjáig. A két sebességmenetből egyszerűsítő feltevésekkel élve (Adams–Williamson-egyenlet) számolható a sűrűség mélységi változása is. Az így kapott sűrűségfüggvény tovább javítható a Föld hosszú periódusidejű szabadrezgéseivel való összehasonlítás segítségével (Anderson – Hart, 1976). Nagy földrengések hatására ugyanis a Föld szabadrezgéseket végez, és a különböző módusú rezgések amplitúdója a Föld rugalmassági paramétereitől és a sűrűség mélységi változásától függ. Ez a három, *közvetlen módon* meghatározhatónak tekinthető paraméter

(P és S hullámsebesség, sűrűség) definiálja a Föld szerkezetét. A klasszikusnak tekinthető héjasan homogén földmodell Keith Edward Bullen (1950) munkájának az eredménye, és ennek az új szeizmológiai eredményekkel továbbfejlesztett változata az *Előzetes Referencia Földmodell* kitüntető nevet kapta (Dziewonski – Anderson, 1981). A legújabb adatok feldolgozása megerősítette ennek érvényességét, csak igen kismértékű pontosításokat lehetett tenni (Kennett et al., 1995). Ennek eredményei láthatók a 3. ábrán és az 1. táblázatban. Az egyes héjak betűjele Bullentől származik, azzal a javítással, hogy az eredetileg egységesnek vélt D



3. ábra • A longitudinális és a transzverzális hullámok sebességének (P ill. S), valamint a sűrűségnek ( $\rho$ ) mélységi változása a héjasan homogén földmodellben (Kennett et al., 1995).

réteg (alsóköpeny) legalján, azaz a köpeny és a mag határán egy csökkent sebességgradiensű, vékony réteg található. A jelölésbeli problémát úgy oldották fel, hogy az alsóköpeny fő tömege lett a D' héj, míg a témánk szempontjából különleges fontosságú réteg a mag tetején a D'' elnevezést kapta. Az újabb vizsgálatok szerint ugyanis a D'' héj laterálisan nagyfokú heterogenitást mutat, a P és S hullámsebességek anizotrópiája és csökkenése alapján pedig 5-30 % mértékű részlegesen olvadt állapotra lehet következtetni (Romanowicz, 2003).

A szeizmológiai úton meghatározott héjak anyagi összetételét több, jelentősen különböző forrású adatok együttes alkalmazásával lehet megadni. A kéreg anyagi összetétele mind a kontinensek, mind az

óceánok területén felszíni megfigyelésekből és fúrási adatokból ismert. A felsőköpenyből is vannak anyagmintáink, amelyek obdukción vagy bazaltokban és kimberlitekben lévő xenolitok formájában jutnak a felszínre. A mélyebb rétegekről való ismereteink megszerzésének útja a nagy nyomáson és magas hőmérsékleten végzett, szilárd és folyékony fázisú kísérletek petrológiai laboratóriumába vezet (Birch, 1961; Ringwood, 1975, 1991). További fontos információk forrása a kő- és vasmeteoritok tanulmányozása, mert feltételezhető, hogy ezek egy már differenciálódott, korai Föld típusú bolygó felrobbanása során keletkeztek. Mai ismereteinket az 1. táblázat foglalja össze, beleértve a szeizmikus határok valószínű okának a megadását is. A köpenydinamika szempontjából alap-

vető jelentőségű az, hogy a felső- és az alsóköpeny között lévő átmeneti zóna (C héj, 3. ábra) teteje 410 km mélységben *exoterm*, alja pedig 660 km mélységben *endoterm* ásványtani fázisátmenet (Bina – Helffrich, 1994).

### *Eltérések a héjas homogén földmodellről: a szeizmikus tomográfia eredményei*

A földkéreg esetében nyilvánvaló, hogy annak homogén gömbhéjjal való helyettesítése csak durva közelítése a valóságnak. A lemeztektonika felfedezése hasonlóra hívta fel a figyelmet a felsőköpeny esetében is, hiszen az alábukó (szubdukálódó) litoszféalemezek hideg és sűrű nyelveket képeznek az asztenoszférában, míg a meleg és híg anyagfáramlások oszlopszerűen felboltozódó anomáliákat idéznek elő (1. ábra). P és S hullámsebességekre lefordítva ez azt jelenti, hogy az alábukó litoszféalemezek nagyobb, a köpenyfeláramlások pedig kisebb sebességű anomáliát hoznak létre környezetükhöz viszonyítva. Földrengések során tehát mindazon sugárutak, amelyek anomális tértartományokon haladnak át, nem a referencia földmodellből következő standard futási idővel érkeznek be egy szeizmológiai állomásra, hanem attól pozitív vagy negatív értelemben eltérővel. A  $\Delta t = t$  (standard) –  $t$  (tényleges) eltéréseket futásidő-reziduáloknak hívjuk. Az alábukott lemezek pozitív, míg a köpenyfeláramlások negatív reziduálokat okoznak.

A Földön elhelyezkedő sok ezer szeizmológiai állomás évente közel százezer rengést regisztrálhat, így a világ szeizmológiai központjai milliós nagyságrendben ontják a futásidő-reziduál adatokat. A szeizmikus tomográfia elve az, hogy olyan háromdimenziós változó sebességeteret konstruálnak, amelyben a hullámok úgy terjednek, hogy kielégítsék a futásidő-reziduál adatokat (Sengupta – Toksöz, 1977). Az eredeti ötletre alapozott algoritmusok egyre finomodnak, az adatok mennyisége nő, minősége pedig javul, ami azt eredményezi, hogy ma már

több megbízható és jó térbeli felbontású sebességanomália-kép áll rendelkezésre a teljes földköpenyről (Van der Hilst et al., 1997; Ritsema et al., 1999; Megnin – Romanowicz, 2000). Általános gyakorlat az, hogy a sebességanomáliákat az adott tértartományra vonatkozó referencia földmodell sebességének százalékában adják meg. Ezek a földköpenyben általában +2 % és -2 % között változnak, ami két biztató hírt jelent egyszerre. Egyrészt azt illusztrálja, hogy jó közelítés a gömbszimmetrikus referencia földmodell, másrészt világossá teszi, hogy eszközeink ma már annyira fejlettek, hogy az ettől való kis eltéréseket is nagy hitelességgel ki tudjuk mutatni.

E megnyugtató hírek után elsősorban azt kell hangsúlyozni, hogy a szeizmikus tomográfia eredményei megrázóak, mert a Föld felső néhány száz kilométeres tartományára korlátozódó lemeztektonikai koncepció teljes paradigmarendszerének újragondolására kényszerítenek.

### *Termikus konvekció a köpenyben*

Az újragondolás azért szükséges, mert a szeizmikus tomográfia eredményeit sommásan két állításban lehet megadni:

- nemad helyes képet a szubdukálódott lemez geometriájáról a hipocentrumok eloszlása, mert a lemezek egy része aszeizmikusan behatol az alsóköpenybe és felhalmozódhat a mag tetején (D" réteg);
- a feláramló köpenyanyag forrása is a D" réteg, de a forró foltoknak csak némelyikéhez tartozik közvetlen hőoszlop, nagy részük két hatalmas szuperfelboltozódásból ered.

A következőkben ezeket az állításokat fejtem ki részletesebben.

### *Leáramlás: szubdukció a felszíntől a köpeny-mag határig*

A klasszikus lemeztektonika egyik legfontosabb alaptézise az, hogy a hátságoknál szim-

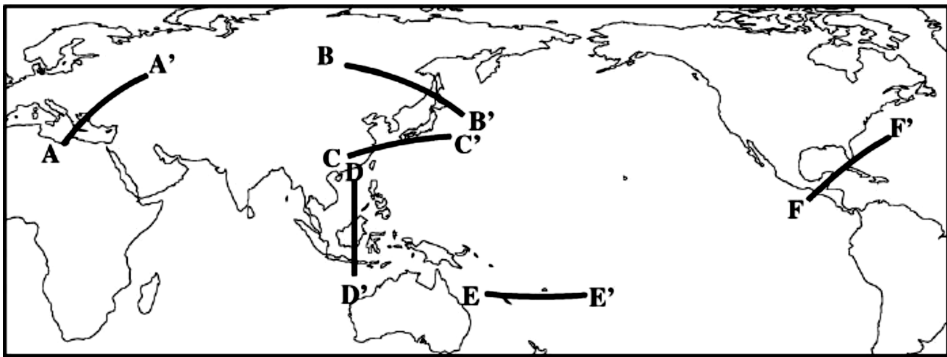
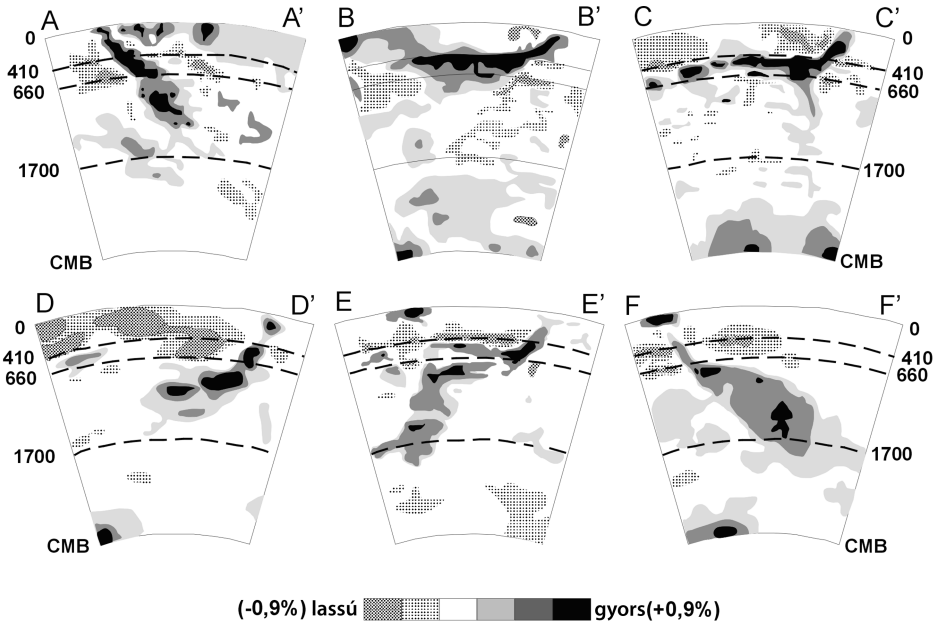
metrikusan mindkét irányban termelődő óceáni litoszféralemez végső soron a kontinensekkel ütközve semmisül meg az alátolódási (szubdukciós) zónák mentén. Amennyiben az óceáni lemez a szubdukciós zónához érve már olyan idős ( $t \geq 30$  millió év), hogy jelentősen kihűlt, akkor köpenylitoszférája nagyobb sűrűségű, mint az asztenoszféra, azaz reá nem felhajtóerő, hanem húzóerő hat. Ez az idősebb óceáni lemezek alábukásánál fellépő *árokkihúzás* (trench-pull) olyan jelentős mértékű, hogy mai ismereteink szerint a lemezeket hajtó erő döntő részét (kb. 90 %-át, Lithgow-Bertelloni – Richards, 1998) adja. Ilyen esetben az alábukás olyan könnyen zajlik, hogy a meghajlott lemez *hátragördül* (roll-back), azaz a szubdukciós zóna óceáni irányban hátrafelé mozog, és ennek következtében létrehozza a szigetíveket és a mögöttes extenziós eredetű peremi medencéket. Ez valósul meg a Csendes-óceán nyugati szegélyén. Ezzel szemben az óceán keleti szegélyén, Közép- és Dél-Amerika partjainál az alátolódó lemez fiatal és meleg, ezért nem elég nehéz ahhoz, hogy hátragördüljön. Ennek következtében nem tud kialakulni szigetív, és a vulkáni ív mögötti területet erős kompresszió jellemzi. A Föld szeizmikus energiájának döntő hányada a szubdukálódott lemezekben szabadul fel, de az igazán nagy földrengések gyakorisága jelentősen nagyobb a kelet-pacifikus alátolódások esetében (Stem, 2002).

A szeizmikus tomográfia kialakulása előtti időszakban az volt az általános felfogás, hogy az alátolódott lemez geometriáját a földrengéshétek (hipocentrumok) elhelyezkedése jól jellemzi. Ezek ténylegesen mutatnak egy ferdén a kontinens vagy a szigetív alá nyúló nyelvet (Benioff-zóna) és annak frontját mintegy 660–680 km mélységben. Ennél mélyebb rengéseket még sohasem észleltünk. Az így kirajzolódó szubdukálódott lemez-nyelvek tényleges hossza (max. 800–1200 km) azonban komoly geometriai problémát

vetett fel, mert az sokkal kisebb az alátolódás időtartamának és sebességének ismeretében vagy tektonikai rekonstrukciók alapján számolt értékénél. 4–8 cm/év alátolódási sebesség és 100 millió év időtartam esetén a szubdukálódott lemez hossza 4000–8000 km, míg India és Ázsia ütközéséig több mint tízezer km hosszúságú tethysi óceáni litoszférának kellett alátolódnia. Hasonlóan kézenfekvő, de meglepő az, hogy egy 5–10 cm/év sebességgel alátolódó pacifikus óceáni lemez frontja 40–80 millió év alatt el kell, hogy érje a köpeny-mag határt. A környezetéhez (asztenoszférához) való temikus asszimilálódás (egyszerűen fogalmazva beolvadás) nem oldja meg a hosszúság problémáját, mert a számítások szerint a hideg litoszféra hővezetéssel való teljes felmelegítése nagyon lassú, legalább 150–200 millió éves folyamat (Peacock, 1996). Hová lett tehát az óriási mennyiségű alábukott óceáni litoszféralemez?

A megnyugtató választ a szeizmikus tomográfia adja meg: ott van, ahol lennie kell a földköpenyben, de a 660 km-es fázishatár alatti tartományban már nem képes földrengés kialakulni. A 4. ábra néhány jellegzetes tomográfiai szelvényt mutat be az alpi-melanéziai és a cirkumpacifikus szubdukciós zónákból. Látható, hogy az alábukott litoszféranyelv geometriája meglepően változatos. A B és C szelvény (Japán és környéke) azt mutatja, hogy a litoszféralemez lejutott az átmeneti zónába (C réteg), de nem volt képes áttörni a 660 km-es fázishatáron, hanem azon megtörve 1000–2000 km hosszúságban közel horizontálisan elterül. Ezt úgy nevezzük, hogy az alábukott litoszféralemez a felső- és alsóköpeny közötti átmeneti zónában *stagnál* (Fukao et al., 2001). A Tonga-szigetekhez kapcsolódó szubdukció (E szelvény) geometriája azt bizonyítja, hogy bizonyos idejű stagnálás után a lemez átlépheti a fázishatárt, és mélyen behatolhat az alsóköpenybe. Az égei, indonéziai és közép-amerikai szubdukció (A, D és F szelvény) geometriája pedig



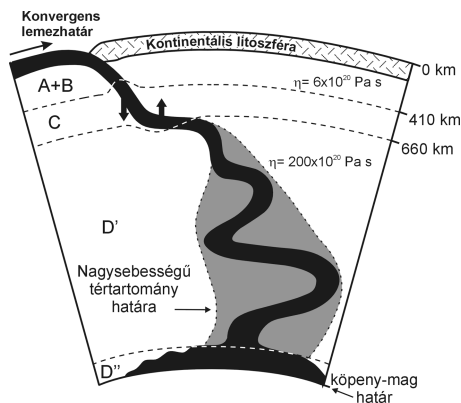


4. ábra • Szeizmikus tomográfiaszelvények aktív alátolódási zónákból (Romanowicz, 2002, 2003). Az ábra a pozitív sebességanomáliával jelentkező szubdukálódott lemez eltérő geometriai jellegzetességeit mutatja.

világossá teszi, hogy a fázishatáron adott körülmények között könnyen át lehet jutni, de az mindenképpen hatással van a litoszféranyelv összetételére és alakjára. Úgy látszik, hogy a litoszféranyelv az alsóköpenyben szétterül, szélesebb tartománnyá növekedik, és eközben a létrehozott sebességanomália mértéke csökken. Különösen látványos alsóköpenybeli litoszféra-felhalmozódások

mutathatók ki az eltűnt Tethys-óceán egykori (kb. 140–40 millió évvel ezelőtti) alábukásának eredményeként Arábia és India alatt (Bijwaard et al., 1998).

A bemutatott változatos köpenybeli litoszféramez-geometriák jól magyarázhatók egyszerű elvi megfontolásokkal (5. ábra). A hideg óceáni litoszféramez a kontinentális litoszféra alá bukik konvergencia esetén,



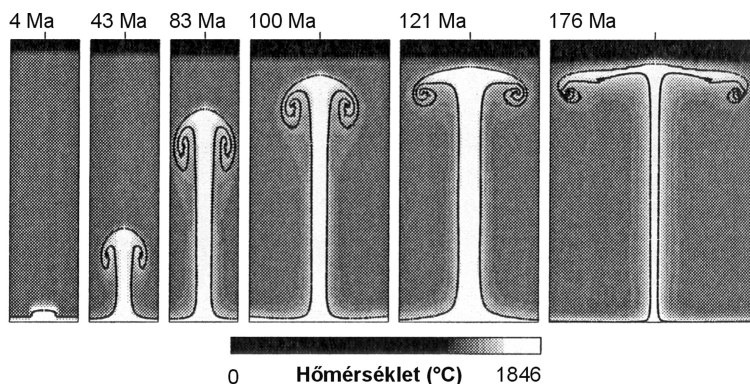
**5. ábra** • Az alábukó óceáni litoszféralemez elvi geometriája a felszíntől a maghatárig. A hideg óceáni lemez a kontinentális litoszféralemez pereménél meghajlik és alábukik. A 410 km-es fázishatár segíti, a 660 km-es fázishatár gátolja az alábukást. Ha a fázismenet teljessé válik, az alábukás folytatódik az alsóköpenybe, de itt a nagyobb viszkozitás miatt a lemez lassabban süllyed és feltorlódik. Menet közben a lemez hőhiánya is fokozatosan csökken, a nagy sebességű anomáliát mutató tértartomány szétfolyik.

mert sűrűsége nagyobb, mint az asztenoszférré. A 410 km-es köpenybeli fázishatárt megközelítve a hidegebb óceáni litoszférában hamarabb megindul az olivin/spinel fázisátmenet, ami egyben hőtermelő (exoterm) folyamat. A fázishatár felboltozódik, és a magasabban kialakuló többletsűrűség (a spinel sűrűsége 7-8 %-kal több mint az oliviné) nagyobb húzóerőt jelent a lemez számára. Emiatt a 410 km-es fázishatár *könnyedén átjárható*. Épp ellenkező a helyzet a 660 km-es fázismentnél, mert a spinel-perovszkit átalakulás hőnyelő (endoterm) reakció. Ezért a lemezben és környezetében a határfelület lejjebb húzódik, így a lemez itt egy ideig kisebb sűrűségű marad a környezeténél (a spinel sűrűsége közel 10 %-kal alacsonyabb a perovszkiténál). Ez felhajtóerőt hoz létre, ami *gátolja* a 660 km-es fázishatáron való átjutást.

Mivel a felszínen a konvergencia folytatódik, az alátolódó lemez a fázishatáron terül el, és ez a közel vízszintes szelet nagyon hosszú lesz, ha gyors a lemezek közeledése, illetve jelentős a szubdukált lemez hátragördülése. Ez történik Japán körzetében (4. ábra B és C szelvény). Amikor a fázisátmenet teljesen végbement, nincs már akadálya annak, hogy az alátolódó lemez behatoljon az alsóköpenybe, és a környezetéhez képest még mindig kisebb hőmérséklete miatt tovább süllyedjen. Ha a hátragördülés mértéke kicsi (például az Égei-tenger vidéke), vagy a lemez nem annyira hideg (például Közép-Amerika), akkor a 660 km-es fázisátmenetnél való megakadás rövid idejű, és nem hoz létre jelentős hosszúságú elfekvő szakaszt az alátolódó lemezben. Az alsóköpeny 30-35-ször nagyobb viszkozitása miatt azonban itt a süllyedés sebessége sokkal kisebb, ezért az 5. ábrán érzékeltetett módon a lemez *feltorlódik* (Davies, 1999). Ezzel párhuzamosan a hődiffúzióval fokozatosan szétfolyó hőanomália miatt a nagyobb sebességű tartomány is egyre nagyobbá és szabálytalanabbá válik a tomografikus képen (vö. 4. ábra). A kevésbé jó alsóköpenybeli leképezés ellenére általános egyértelműen abban, hogy az alábukó litoszféralemezek *végállomása* a maghatáron lévő D'' réteg (*litoszféra-temető*, Jellinek – Manga, 2004).

*Feláramlás: forró foltok, köpenyoszlopok és szuperfelboltozódások*

Morgan (1971, 1972) javaslatát az alsóköpenyből felemelkedő forró és környezeténél sokkal kisebb viszkozitású köpenyoszlopról a laboratóriumi kísérletek és a numerikus modellszámítások (Cserepes – Yuen, 2000) megerősítették és további részletekkel gazdagították. A 6. ábrán látható modellszámítási eredmények azt mutatják, hogy egy nagy hőmérsékletű alsó határfelületről a kis hőmérsékletű felső határfelület irányába emelkedő köpenyoszlop hogyan fejlődik. Va-

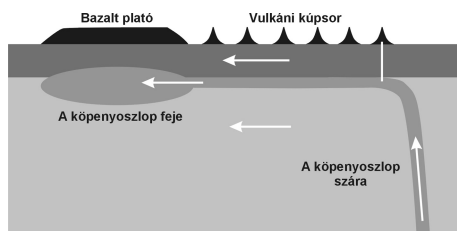


6. ábra • Köpenyoszlop időbeli fejlődése (4–176 millió év) numerikus modellszámítás alapján (Davis, 1999). A modellparaméterek a földköpeny viszonyainak megfelelően lettek skálázva. A köpenyoszlop egy a környezeténél 430 °C-kal melegebb alsó határfelületből nő ki és viszkozitása 1 %-a a köpenynek, ahol ez  $10^{22}$  Pa s.

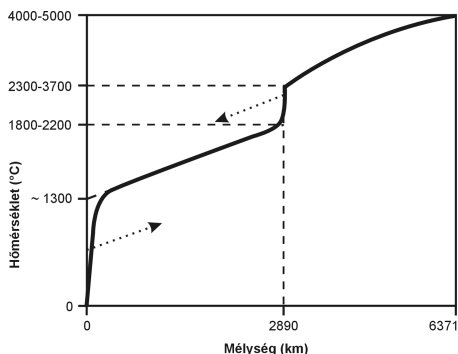
lójában az oszlop fokozatosan elnyúló gomba alakot ölt: az idő múlásával egyre vékonyodó szára (átlagosan kb. 200–400 km átmérőjű) és horizontálisan kiterjedő, spirálisan visszahajló peremű fejelesz. Amikor az akár 1200 km átmérőjű fej eléri a litoszférát, annak 500–1500 méteres emelkedését okozza (dinamikus topográfia), majd áttörve azt jönnek létre a nagy (főleg óceánfenéki) bazaltplatók (2. ábra). Az ezekhez csatlakozó vulkáni kúpsorok kialakulását Mark A. Richards és munkatársai (1989) nyomán a 7. ábrán látható módon képzeljük el. Az történik, hogy a köpenyoszlop feje után a szára is eléri a litoszféra alját, és a felette elmozduló litoszférán idézi elő a növekvő korú vulkáni kúpsort.

A termikus konvekció domináns módja az alsóköpenyben a köpenyoszlopok kialakulása. Természetesen a 6. ábrán látható oszlop felemelkedése során a környezetben lévő köpenyanyagot is magával vonszolja. Ez a csatolás annál erősebb, minél nagyobb a viszkozitás. Mivel a hővezetéshez viszonyítva az anyag feláramlása gyors, ennek során gyakorlatilag nincs érdemi hőmenyiségcsere. Az anyag belső energiája s emiatt a hőmérséklete csak a nyomás csökkenése miatt lesz fokozatosan kisebb a

felemelkedés során. Az így létrejövő hőmérsékleti változást *adiabatikus gradiensnek* hívjuk, és értéke meglehetősen kicsi, kb. 0,2–10,3 °C/km (Davies, 1999). Ebből az következik, hogy a litoszféra alatti, mintegy 2650 km vastag köpeny aljáig a hőmérséklet 540–800 °C-kal növekszik, a litoszféra aljára jellemző 1300 °C-hoz képest. A 8. ábrán látható diagram a földi hőmérséklet–mélység függvényt mutatja be, ismereteinknek megfelelő félkvantitatív módon. Az ábrán látható nyílak azt illusztrálják, hogy a felemelkedő köpenyoszlopban és a lesüllyedő litoszférában a gradiens adiabatikus, de a hőmérséklet nagyobb



7. ábra • Modell annak illusztrálására, hogy a köpenyoszlop feje hozza létre a nagy kiterjedésű bazaltplatót, míg a fokozatosan elhajló szára gerjeszti a vulkáni kúpok/szigetek egyre fiatalodó sorozatát (Richards et al., 1989).



8. ábra • Sematikus hőmérséklet–mélység menetet a Földben. A köpenyt két termikus határ-reteg zárja közre. A forró mag tetején alakul ki a csökkent viszkozitású D” réteg, amely a köpenyfeláramlások forrása. Az emelkedő köpenyanyagból számottevő hőmennyiség nem tud elvezetődni, ezért hőmérséklete csak kismértékben csökken a nyomásesés miatti tágulás következtében (adiabatikus gradiens). A felsőköpeny tetején ismét gyorsan csökken a hőmérséklet a felszíni értékre, és kialakul a litoszféra. A két nyíl a köpenyáramlás felszálló és leszálló ágára jellemző hőmérsékleti menetet jelzi (Davies, 1999).

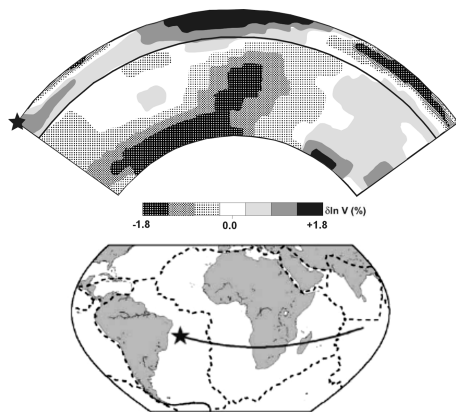
illetve kisebb, mint az átlagos köpenyre vonatkozó érték, és ez adja a mozgáshoz szükséges felhajtó- és húzóerőt.

A köpeny tetején és alján lévő nagy hőmérsékleti gradiensű tartományt (a litoszférát és a D” héjat) *termikus határreteknek* hívjuk. A felsőn keresztül hűl, az alsón keresztül pedig fűtődik a köpeny, s ez a közel 3 milliárd éve működő folyamat hajtja a globális köpenyáramlásokat, amelynek felszíni megnyilvánulása a lemezmozgás. A köpenyáramlásokhoz szükséges energiát alapvetően a vasmagban lévő ősi (primordiális) *hőmennyiség* szolgáltatja a D” réteg közvetítésével. A magbéli hőtranszport nagyon hatékony folyamat, mert a külső mag viszkozitása majdnem olyan alacsony értékű (1. táblázat), mint az olvadt vasé a felszínen. Ennek megfelelően az áramlási sebességek itt

nagyok, 0,4 mm/s  $\approx$  12 km/év értékűek (Cserpes – Petrovay, 1993), vagyis a maghatár magas hőmérséklete hosszú távon biztosított. A teljes köpenykonvekció és lemezmozgás fenntartásához rendelkezésre álló hőenergia bőséges, de csökkenő mértékű, amit az egykoron teljesen cseppfolyós állapotú mag centrumában kihűlés miatt szilárduló belső mag létezése bizonyít.

A szeizmikus tomográfia a köpenyáramlások feltérképezésével is meglepetést okozott. Elsősorban azért, mert az első eredmények nem mutatták a forró foltok alatt az elmélettől elvárt, a maghatártól a felszínig nyúló oszlopszerűen csökkent sebességű anomáliákat. Ehelyett két, közel 10 ezer km kiterjedésű, a maghatáron ülő és a teljes köpenyen átnyúló csökkent sebességű anomáliát rajzoltak ki Dél-Afrika (9. ábra) és a Csendes-óceán déli medencéje alatt (Ritsema et al., 1999; Megnin – Romanowicz 2000).

A meglepő eredmény két teljesen eltérő értelmezésre vezetett. Többen úgy vélték,



9. ábra • Szeizmikus tomográfiai szelvény Afrikán keresztül a kontinens délnyugati pereme alatt kifejlődött szuperfelboltozódás bemutatására (Romanowicz, 2003). A csökkent sebességű anomáliával jellemzett tartomány a köpeny/mag határtól indulva aszimmetrikusan a Réunion forró folt irányába húzódik.

hogy ezek a D'' rétegből táplálkozó *szuperfelboltozódások* (superwells vagy superplumes), amelyekből csak magasabb szinten (például a 660 km-es fázishatárnál) nőnek ki a köpenyoszlopok (McNutt, 1988). A nagy tekintélyű Don L. Anderson (2000) ezzel szemben hevesen érvel amellett, hogy köpenyoszlopok pedig nem léteznek: szinte minden, nem lemezhatáron bekövetkező vulkáni tevékenység oka a lemezekben felhalmozódó feszültségek által kiváltott *litoszféra-repedés*. Ezek mentén az asztenoszférából magnás anyag nyomul a felszínre, bazaltplatót vagy lineáris (de nem feltétlen korprogresszív) vulkáni szigetsort hozva létre. Mások, elsősorban a tomográfia szakértői olyan algoritmusokat fejlesztenek, amelyekkel jobb térbeli felbontás érhető el. Újabb Raffaela Montelli és munkatársai (2004) bizonyították, hogy vannak megkérdőjelezhetetlenül a legalsó köpenyből eredő köpenyoszlopok, míg mások csak a felsőköpenyben mutathatók ki. A modellező szakemberek pedig felhívják a figyelmet arra, hogy a köpenyoszlopok hajlamosak csapatosan megjelenni (oszloperdők) a D'' réteg tetején, majd a felemelkedés során növekvő fejük olvad össze szuperfelboltozódássá (Schubert et al., 2004).

### Az új szintézis körvonalai

Az áttekintett eredmények integrálásával és egy új globális geodinamikai koncepció felvázolásával újabb több szerző is próbálkozott. Ezek közül, megítélésem szerint, kiemelkedik Vincent Courtillot (Courtillot et al., 2003), valamint A. Mark Jellinek és Michael Manga (2004) szintézise.

A Vincent Courtillot vezette csapat fő célja az volt, hogy tisztázza milyen köpenytartományból erednek a köpenyoszlopok. Öt kritériumot definiáltak, amelyek teljesülése esetén bizonyítottnak vehetjük azt, hogy egy felszíni forró folthoz tartozó köpenyoszlop valóban a legalsó köpenyből indult el. Ezek a következők:

- Számottevően elnyúlt és hosszú időtartamú vulkáni kúp/szigetsort hozzon létre.
- Ennek a somnak az elején legyen bazaltplató (vö. 7. ábra).
- A felszínre ömlő bazaltok mennyiségéből számolható átlagos anyagfluxus legyen nagyobb, mint  $10^3$  kg/s.
- Geokémiai jellemzői (alapvetően a  $^3\text{He}/^4\text{He}$  és  $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$  arányok) arra mutassanak, hogy egy jól izolálódott és primitív köpenyrezervoárból származik.
- S hullámtomográfiás képen kapcsolódjon hozzá kis sebességű anomália.

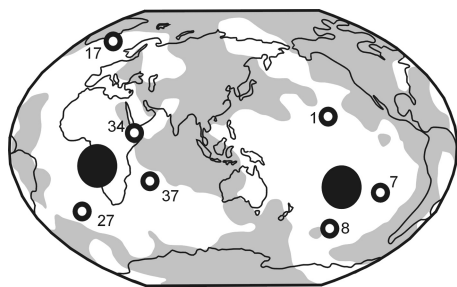
49 forró foltot megvizsgálva (vö. 2. ábra) világossá vált, hogy – számos vizsgálat hiánya miatt – a mai adatbázis még nem teljes. Egyúttal természetes folyamatok is okozhatnak ismerethiányt, mint például az, hogy a Hawaii-Emperor vulkáni kúpsor végéről hiányzik a bazaltplató, feltehetőleg azért, mert az Aleut- és Kuril-árok találkozásának körzetében már szubdukálódott. Végül is öt kritériumból három teljesülését elegendőnek ítélték, s így a 2. táblázatban összefoglalt hét *primer* (legalsóköpeny eredetű) *köpenyoszlopot* fogadtak el. Újabb adatok birtokában valószínűnek gondolják, hogy az elsődleges köpenyoszlopok listája még a Galápagos, Kerguelen és a Marqueses forró foltokkal bővíthet (Clouard – Bonneville, 2001).

Megnézték továbbá, hogy Morgan (1972) eredeti felvetése a forró foltok egymáshoz viszonyított fix pozíciójáról mennyire teljesül. Bár számos korábbi vizsgálat kimutatta, hogy ez nem áll fenn, bizonyították, hogy a három pacifikus forró folt (Hawaii, Easter, Louisville) és a négy indoatlanti forró folt (Izland, Tristan, Afar, Réunion) önmagukban stabil rendszert képeznek, az egymáshoz viszonyított mozgásuk kisebb, mint 0,5 cm/év. Kimutatták továbbá azt is, hogy az S hullámtomográfiás képen (Ritsema et al., 1999) világosan kirajzolódó, a földgolyó két átellenes pontján elhelyezkedő afrikai és dél-pacifikus szuperfelboltozódás és a primer kö-

Neve	Vulkáni kúpsor	Bazaltplató és kora	Anyagfluxus $^3\text{He}/^4\text{He}$ ( $n \times 10^3 \text{ kg/s}$ )	S hullám sebessége
Afar	nincs	Etiópia 30 (Ma)	1	magas
Húsvét-szk.	van	Közép-Pacifikus- szigetek, 100 Ma	3	magas
Hawaii	van	szubdukálódott, >80 Ma	8,7	magas
Izland	van	Grönland, 61 Ma	1,4	magas
Louisville	van	Ontong-Jáva, 122 Ma	0,9	–
Réunion	van	Dekkán, 65 Ma	1,9	magas
Tristan	van	Parana, 133 Ma	1,7	alacsony

2. táblázat • Mélyköpeny eredetű köpenyoszlopokhoz tartozó forró foltok  
(Courtillet et al., 2003)

penyoszlopok nem esnek egybe (10. ábra). Az elsődleges forró foltok a szuperfelboltozódások körül, de attól ezer kilométert meghaladó távolságban helyezkednek el. Azaz ezek a köpenyoszlopok nem a szuperfelboltozódásból emelkednek ki, hanem valóban közvetlenül a legalsó köpenyből erednek. Jellinek és Manga (2004) szintézise



10. ábra • Az afrikai és a dél-pacifikus szuperfelboltozódás (nagy fekete körök), valamint az elsődleges forró foltok (kis körök) elhelyezkedése a 2850 km mélységre vonatkozó S hullámtomográfiai térképen. A térképen a szürke tartományok jelzik a hideg területeket, míg a melegebb régiók fehéren maradtak (Courtillet et al., 2003). A szuperfelboltozódások a melegebb régiókban közel centrális helyzetűek, az elsődleges forró foltok ezek közül, de határozottan elkülönülten találhatók. A forró foltok melletti számok meg egyeznek a 2. ábrán látható számozással.

meggyőzően érvel amellett, hogy a *forrásterület* a D" réteg, amelyben a részben megolvadt alsóköpeny és a belejutott litoszféra anyaga keveredik a vasmagból átjutó anyaggal.

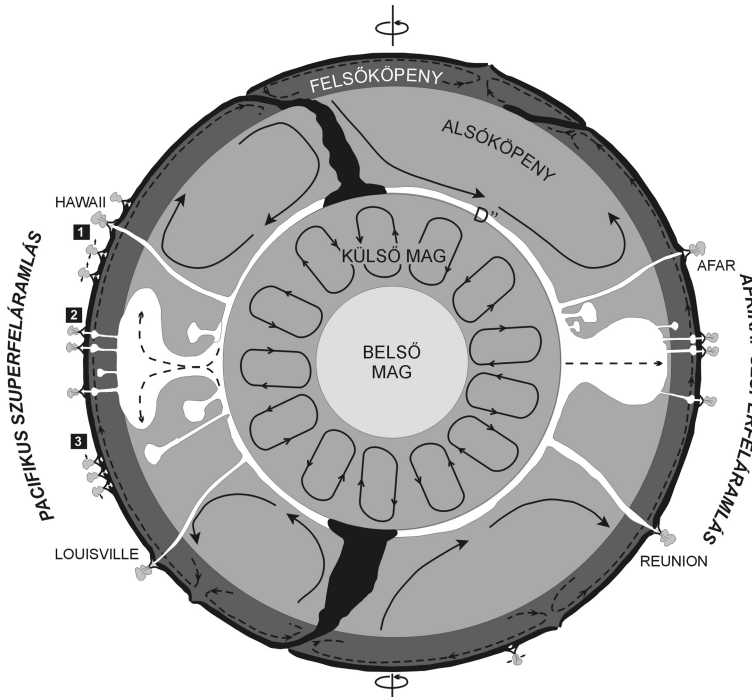
A maradék közel negyven forró foltot két osztályba lehetett sorolni elhelyezkedésük és jellegzetességeik alapján. A *másodlagos* forró foltokhoz olyan köpenyoszlopok tartoznak, amelyek a szuperfelboltozódásokból nőnek ki, méghozzá általában a 660 km-es fázishatártól indulva. *Harmadlagosak* pedig azok a forró foltok, amelyek egészen sekély forrásúak, vagyis valószínűleg a Don L. Anderson (2000) által javasolt litoszféra-repedések mentén törnek fel.

Az általánosított földmodellt a 11. ábra mutatja, amely némi módosítással Courtillet és munkatársai munkája (2003) alapján készült. Eszerint a következőképpen működik a földmotor. A külső magban létező intenzív áramlások tartják fenn a földi mágneses teret, s egyúttal intenzíven fűtik a köpeny alját. Ennek hatására egy alacsony viszkozitású termikus határreteg jön létre, amelyből alapvetően két típusú feláramlás indul el. A földtest két szemben lévő (antipodális) területe, Afrika délnyugati része és a Csendes-óceán déli medencéjének központi része alatt két szuperfelboltozódás található. A szeizmikus tomográfia arra utal, hogy ezek óriásgomba módjára ellaposodnak a 660 km-es fázishatár alatt. Az itt lévő fázismenet ugyanis gátolja

a nagyomba tovahaladását. Kedvezőbb a helyzet vékony oszlopok számára, amelyek ebből kiemelkedve és a litoszférát átolvasztva érik el a felszínt (másodrendű köpenyoszlopok). A szuperfelboltozódások pereme körül, de attól határozottan elkülönülve jönnek létre az elsődleges köpenyoszlopok, amelyek térbeli helyzete meglehetősen stabil, de a felsőköpeny-áramlások némileg eltéríthetik azokat. A litoszféra a köpeny külső, termikus határrejtege, amely részt vesz a konvekcióban, és annak jellegét lényegesen befolyásolja. A hátságok és más litoszféra-repedések mentén csak passzív a felsőköpeny anyagának felemelkedése. A szubdukciós zónáknál alábukó és nehéz óceáni litoszféralemez könnyedén (azaz a lemezek felszíni 1-10 cm/év sebességével) lesüllyed az átmeneti zóna (C réteg) aljáig. Az itt bekö-

vetkező endoterm fázismentet időlegesen feltartóztatja a további merülést, és a lemez a szubdukció és a hátragördülés ütemében elfekszik a fázishatáron. A fázisment lezajlása után a lemez további süllyedésre képes, de a nagy viszkozitású alsóköpenyben ennek sebessége jóval kisebb, mint a felsőköpenyben, aminek következtében a lemez feltorlódik. Ezzel párhuzamosan negatív hőmérsékleti anomáliája fokozatosan „szétfolyik” (hődiffúzió), ami a tomográfiás képen is foltszerűen szétterjedő, nagy sebességű tartományt eredményez. Az alábukó litoszféra végállomása a köpeny és a mag határa, ahol is a D” réteg anyagával keveredve záródik a Föld legnagyobb anyagáramlási és differenciálódási ciklusa.

A vázolt globális geodinamikai folyamatok nyilvánvaló logikai hidat képeznek a felszíni



11. ábra • A Föld keresztmetszete az új globális geodinamikai modell illusztrálására (Courtillet et al., 2003; Jellinek – Manga, 2004 után módosítva). A Pacifikum területén bejelölt forró foltok mellett szereplő szám (1, 2 és 3) az első-, másod- és harmadrangú osztályokat mutatja.

lemeztektonikai események, valamint a köpeny és mag konvektív hűlése között. Ezúton eddig függetlennek vélt jelenségek, mint a lemezek globális átrendeződése és a földi mágneses tér stabilitása között találhatunk ok-okozati összefüggést. Hasonlóan megérthetők lesznek azok a globális környezeti változások, amelyeket a nagy magmás tartományok kialakulása okoz. De legfontosabb talán annak felismerése, hogy a *földmotor működése a hőenergia kialakulásának és lecsengésének a függvénye, azaz a mai lemeztektonikai kép geológiai*

*időskálán jelentősen változik*, és ennek rekonstrukciója elengedhetetlen a múlt és a jövő földtörténetének megismerésében. Ugyanakkor kétségtelen, hogy bár változó stílussal, de lemeztektonikai folyamatok legalább 3 milliárd éve működnek a Földön, ellentétben a Föld típusú bolygókkal, amelyeknek nincs és aligha volt lemeztektonikájuk, bár a köpenyáramlások lehetősége adott a Vénuszon és a Marson is.

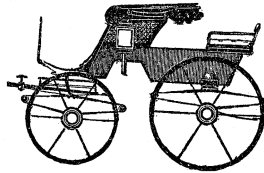
Kulcsszavak: *globális geodinamika, lemeztektonika, köpenyoszlopok, szubdukció*

## IRODALOM

- Anderson, Don L. – Hart, Stanley R. (1976): An Earth Model Based on Free Oscillation and Body Waves. *Journal of Geophysical Research*. 81, 1461–1475.
- Anderson, Don L. (2000): The Thermal State of the Upper Mantle: No Role for Mantle Plumes. *Geophysical Research Letters*. 27, 3623–3626.
- Bijwaard, Harmen – Spakman, W. – Engdahl, E. R. (1998): Closing the Gap between the Regional and Global Travel Time Tomography. *Journal of Geophysical Research*. 103, 30055–30078.
- Bina, Craig R. – Helffrich, George (1994): Phase Transition, Clapeyron Slopes and Transition Zone Seismic Discontinuity Topography. *Journal of Geophysical Research*. 99, 15853–15860.
- Birch, Francis (1961): Composition of the Earth's Mantle. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. 4, 295–311.
- Bullen, Keith Edward (1950): An Earth Model Based on a Compressibility-Pressure Hypotheses. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. 6, 50–59.
- Coffin, Millard F. – Eldholm, Olav (1994): Large Igneous Provinces: Crustal Structure, Dimensions, and External Consequences. *Reviews of Geophysics*. 32, 1–36.
- Courtillot, Vincent – Davaille, A. – Besse, J. – Stock, J. (2003): Three Distinct Types of Hotspots in the Earth's Mantle. *Earth and Planetary Science Letters*. 205, 295–308.
- Clouard, Valérie – Bonneville, Alain (2001): How Many Pacific Hotspots Are Fed by Deep-Mantle Plumes? *Geology*. 21, 695–698.
- Cserepes László – Petrovay Kristóf (1993): *Kozmikus fizika*. ELTE Jégyszet. Budapest, 1–214.
- Cserepes László – Yuen, David A. (2000): On the Possibility of a Second Kind of Mantle Plume. *Earth and Planetary Science Letters*. 183, 61–71.
- Davies, Geoffrey F. (1999): *Dynamic Earth: Plates, Plumes and Mantle Convection*. Cambridge University Press, Cambridge–New York, 1–458.
- Dziewonski, Adam M. – Anderson, Don L. (1981): Preliminary Reference Earth Model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 25, 297–356.
- Fukao, Yoshio – Widiyantoro, S. – Obayashi, M. (2001): Stagnant Slabs in the Upper and Lower Mantle Transition Region. *Reviews of Geophysics*. 39, 3, 291–323.
- Horváth Ferenc (1997): *Lemeztektonika*. Magyar Tudomány. 10, 1217.
- Jellinek, A. Mark – Manga, Michael (2004): Links Between Long-Lived Hot Spots, Mantle Plumes, D", and Plate Tectonics. *Reviews of Geophysics*. 42, RG3002, 1–35.
- Kennett, Brian L. N. – Engdahl, E. R. – Buland, R. (1995): Constraints on Seismic Velocities in the Earth from Traveltimes. *Geophysical Journal International*. 122, 108–124.
- Lithgow-Bertelloni, Carolina – Richards, Mark A. (1998): The Dynamics of Cenozoic and Mesozoic Plate Motions. *Reviews of Geophysics*. 36, 1, 27–78.
- Megnin, Charles – Romanowicz, Barbara (2000): The Three-Dimensional Shear Velocity Structure of the Mantle from the Inversion of Body, Surface and Higher-Mode Waveforms. *Geophysical Journal International*. 143, 709–728.
- McNutt, Marcia K. (1998): Superswells. *Reviews of Geophysics*. 36, 211–244.
- Montelli, Raffaella – Nolet, G. – Dahlen, F. A. – Masters, G. – Engdahl, E. R. – Hung, S.-H. (2004): Finite-Frequency Tomography Reveals a Variety of Plumes in the Mantle. *Science*. 303, 338–343.
- Morgan, W. Jason (1971): Convection Plumes in the Lower Mantle. *Nature*. 230, 42–43.
- Morgan, W. Jason (1972): Plate Motions and Deep Mantle Convection. *Geological Society of America. Memoir*. 132, 7–22.
- Peacock, Simon M. (1996): Thermal and Petrologic Structure of Subduction Zones. In: Bebout, Gray E. et al., (eds.): *Subduction: Top To Bottom*. Geophysical Monographs Series. Vol. 96, AGU, Washington D. C., 119–133.
- Richards, Mark A. – Duncan, R. A. – Courtillot, V. E. (1989): Flood Basalts and Hot-Spot Tracks: Plume Heads and Tails. *Science*. 246, 103–107.



- Ringwood, Alfred Edward (1975): *Composition and Petrology of the Earth's Mantle*. McGraw-Hill, 1–618.
- Ringwood, Alfred Edward (1991): Phase Transformations and Their Bearing on the Constitution and Dynamics of the Mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 55, 2083–2110.
- Ritsema, J.–Van Heijst, H. J.–Woodhouse, J. H. (1999): Complex Shear Wave Velocity Structure Imaged Beneath Africa and Iceland. *Science*. 286, 1925–1928.
- Romanowicz, Barbara (2002): Global Mantle Tomography: Present Status and Perspectives. *Acta Geophysica Polonica*. 50, 3–21.
- Romanowicz, Barbara (2003): 3D Structure of the Earth's Lower Mantle. *C. R. Geoscience*. 335, 23–35.
- Schubert, Gerald–Masters, G.–Olson, P.–Tackley, P. (2004): Superplumes Or Plume Clusters? *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 146, 147–162.
- Sengupta, Madhumita K. – Toksöz, M. Nafi (1977): Three-Dimensional Model of Seismic Velocity Variation in the Earth's Mantle. *Geophysical Research Letters*. 3, 84–86.
- Sleep, Norman H. (1990): Hotspots and Mantle Plumes: Some Phenomenology. *Journal of Geophysical Research*. 95, 6715–6736.
- Stern, Robert J. (2002): Subduction Zones. *Reviews of Geophysics*. 40, 4, 3–1–3–38.
- Van Der Hilst, Rob D. – Widiyantoro, S. – Engdahl, E. R. (1997): Evidence for Deep Mantle Circulation from Global Tomography. *Nature*. 386, 578–584.
- Wilson, J. Tuzo (1963a): Evidence from Islands on the Spreading of the Ocean Floor. *Nature*. 197, 536–538.
- Wilson, J. Tuzo (1963b): A Possible Origin of the Hawaiian Islands. *Canadian Journal of Physics*. 41, 863–870.
- Zindler, Alan – Hart, Stanley (1986): Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 14, 493–570.



# FEJEZETEK A MARS FEJLŐDÉSTÖRTÉNETÉBŐL

Kereszturi Ákos

geológus, ELTE TTK Természetföldrajzi Tanszék, Collegium Budapest,  
Magyar Csillagászati Egyesület  
kru@mcse.hu

Az elmúlt évtizedek kutatási eredményei alapján egyre több elemét ismerjük a vörös bolygó fejlődéstörténetének – ugyanakkor a teljes képből mégis fontos darabok hiányoznak. Az utóbbiak közül a három legsúlyosabb problémakört külön névvel illetik, amelyeknél ellentmondás feszül az egyes megfigyelések, illetve elméleti modellek között. A *vízparadoxon* az egykori víz eróziós nyomai és a mai szárazság, valamint a kevés vízben mállott ásvány közötti ellentmondást tartalmazza. Megoldása talán a globális hűlésben, a víz egy részének elvesztésében illetve megfagyásában és jégként történő raktározódásában keresendő. Emellett a múltban is feltehetőleg csak ritkán és rövid ideig volt folyékony víz a felszínen. A *halvány ősnap paradoxon* központi csillagunk kezdeti, a mainál gyengébb sugárzása és a felszínformák alapján rekonstruált ősi meleg éghajlat közti ellentmondás. A *karbonát paradoxon* pedig a szén-dioxidban gazdag légkör és az abból elméletileg keletkező felszíni karbonátos ásványok hiánya közti problémát jelzi (Fairén et al., 2004). Az alábbiakban a Mars fejlődéstörténetének néhány fontos eseményét és jellemző időszakait emeljük ki, amelyek mai ismereteink alapján döntő szerepet játszottak a jelenlegi felszín és éghajlat kialakulásában.

A Mars felszínformáinak korát a rajtuk található különböző méretű kráterek száma alapján becsülik meg: minél idősebb a felszín-

forma, annál több a nagyobb kráter rajta. Ez csak relatív korbecslésre ad lehetőséget, amiből különböző modellek alapján lehet a megfelelő abszolút kort közelítőleg megadni. Jelenleg a leginkább elfogadott értékek alapján a bolygó fejlődését három nagy időszakra osztják: Noachiszi (4,5-3,5 milliárd éve), Hesperida (3,5-1,8 milliárd éve) és Amazóniai (1,8 milliárd évvel ezelőttől napjainkig).

## *Meleg éghajlat és lemeztektonika*

A bolygó fejlődésének elején igen aktív volt. A felszíni kőzetek sok helyen eltérő irányban mágneseztek, egymással párhuzamos sávokat alkotnak. Ezek térbeli helyzete a földi óceánközépi hátságokkal párhuzamos mágnesezett sávokra emlékeztet, ahol az új kéreg képződésekor a mágneses erővonalak belefagynak a hűlő kőzetekbe – és így a pólusváltások nyomán felváltva normál és reverz polaritású sávok alakulnak ki. A Marson a jelek alapján kezdetekben egy, az egyenlítővel közel párhuzamos hátság lehetett talán a déli féltekén, ahol a kőzetburok képződött és tágult. Erre utalnak még a gömbfelületen mozgó kőzetlemezekben kialakuló jellegzetes, ún. transzform vetők. A folyamat nyomán pedig a Tharsis-hátság egyik forró foltja felett elmozduló lemezen létrejöttek az Ascreaus, a Pavonis és az Arsia vulkánok – a Hawaii-szigetlánc tűzhányóihoz hasonlóan.

Különböző nyomok alapján a bolygó kezdeti időszakában sok helyen volt *folyékony*

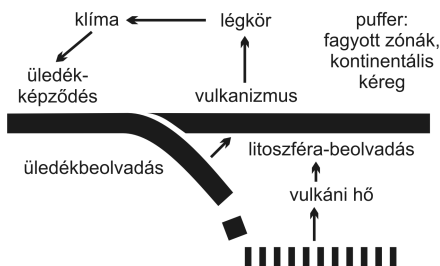
víz felszínén (Solomon et al., 2005). Az idős magmás kőzetek itt agyagos ásványokká mállottak (Poulet et al., 2005), emellett sok kis vízfolyás keletkezett. Ez utóbbiak általában 1 km-nél keskenyebbek, hosszuk néhol 10, alkalmanként a 100 km-t is eléri, elsősorban kisebb csoportokat alkotnak, amelyek nem állnak össze kiterjedt vízhálózáttá. Ezek az ún. hálózatos csatornák a déli felföldek területén vannak, 95 %-uk Noachiszi korú. Kialakulásukhoz feltehetőleg meleg éghajlat kellett, utóbbihoz pedig erős napsugárzás – azonban a kezdetekben a Nap energiakibocsátása a mainál kb. 30 %-kal kisebb volt. Esetleg üvegházgázok emelték meg a felszíni hőmérsékletet, azonban ha több széndioxidot teszünk a légkörbe, a modellek alapján az kiválik, és felhőket alkot, csökkentve a felszínre jutó energia mennyiségét. Talán egyéb üvegházgázok is melegítették a bolygót, vagy a belső eredetű hő segített a kezdeti

meleg fenntartásában. A kérdés egyelőre nem megoldott. Egy újabb elgondolás szerint már kezdetekben sem volt kifejezetten meleg a Marson, de egy-egy nagyobb becsapódás nyomán visszahullott forró kőzettörmelék kisebb területen megolvashatta a jeget, létrehozva az elszórt vízhálózatokat.

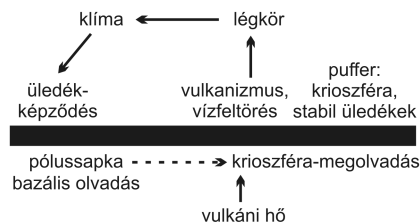
A vízfolyásnyomok, a légköri izotóparányok, a marsi eredetű meteoritokban lévő, vízben keletkezett karbonátok, a magma víztartalmára vonatkozó ásványtani becslések és a bolygó kigázósodásával kapcsolatos számítások arra utalnak, hogy a kezdeti vízkészlet egyenletesen elosztva nagyszámszerűleg legalább 100 méter vastag vízréteget alkotna a bolygón. Ha ennek jelentős része folyékony állapotban volt a felszínen, akkor az az északi síkságok területén halmozódott fel, és kiterjedt állóvizet alkotott, amelyet hipotetikus *óceánnak* neveznek (teljes térfogata  $10^7$ – $10^8$  km<sup>3</sup> lehetett).

A bolygó fejlődését tömege határozta meg, amely a Földénél közel tízszer kisebb volt. Emiatt adott tömegre a földnél nagyobb felület jutott, ezért a Mars a mi bolygónknál gyorsabban hűlt. A globális lemeztektonika korán megszűnt, és csökkent a vulkánok által a légkörbe bocsátott üvegházgázok mennyisége. A lemezek mozgása hiányában pedig a felszínen kivált anyagok (például ásványokba épült víz és szén-dioxid) nem jutottak a felszín alá, ahol beolvadhattak volna (1. ábra). A hűlő magban leállt a globális mágneses teret generáló dinamóhatás, ennek hiányában pedig a Napunkból kiáramló részecskék együttese, a napszél szabadon erodálta, fújta el a légkört. A földnél gyengébb gravitációs térben könnyebben el is tudtak szökni a gázmolekulák. Mindezek együttes eredményeként csökkent a felszín felé áramló hő és a légkör mennyisége, ezzel együtt pedig az üvegházhatás intenzitása. A földnél gyengébb gravitációstér miatt ugyanakkora becsapódások a Mars légkörének sokkal nagyobb részét fújták el, mint a Föld esetében. Mindezek együttes

## FÖLD – GLOBÁLIS LEMEZTEKTONIKA



## MARS – MEGAOUTFLOW-ELMÉLET



1. ábra • A globális anyagkörforgás fő vonalai a Földön (fent) és feltételezett korlátozott változata a Marson (lent)

hatására hosz-szú globális hűlés indult meg a bolygón, s ez a felszíni változások csökkenésével járt.

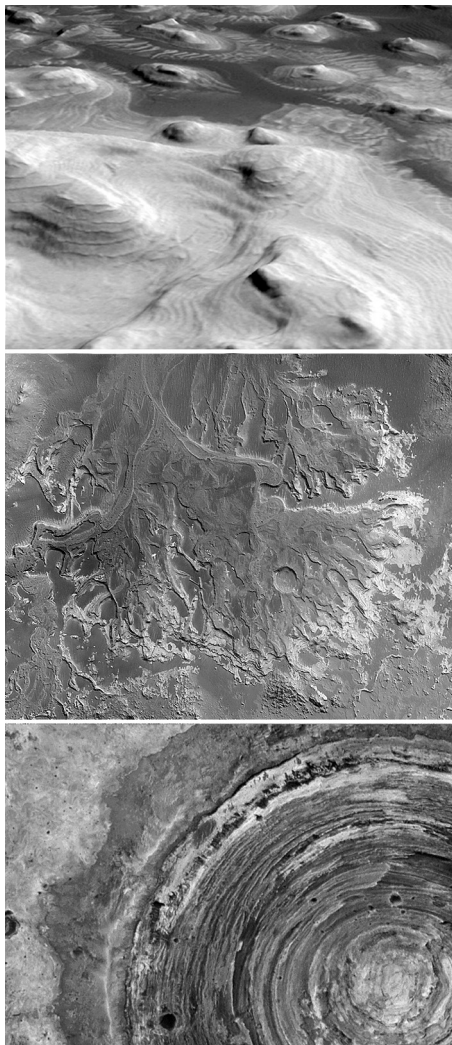
A Mars fejlődése során tehát csökkent a felszíni átlaghőmérséklet. Az északi óceán befagyott, jege lassan szublimált, és a vízgőz a globális légkörzessel a hideg helyekre vándorolt, ahol felhalmozódott. Az egyik ilyen terület a magas déli felföldek sarkvidéke volt. Itt kiterjedt pólussapka kezdett növekedni, amelynek alja a vastag és hőszigetelő jégreteg alatt adott mélységben a bolygó belső hőjétől olvadt. A fentről tehát vastagodó pólussapka alulról folyamatosan fogyott, és vizet pumpált a felszín alatti repedésekbe. A bolygó globális domborzati viszonyai miatt a felszín alatti vizek lassan észak felé vándoroltak, de a marstalaj felső és hideg rétegébe belefagyott jég miatt nem jutottak a felszínre.

#### *Áradások és átmeneti melegedések*

A folyamat hatására instabil helyzet alakult ki: néhol délen, a felszín alatti víz szintje magasabban volt, mint az északi síkságok lapos felszíne. Ahol elég nagy volt a hidrosztatikus nyomás, és valamilyen törés, esetleg vulkáni fűtés elősegítette a víz feltörését, ott az a felszínre emelkedett. A hirtelen felszabadult és főleg észak felé lefolyó vízmennyiség hatalmas mélyedéseket vájt magának. Ez a folyamatsor természetesen csak az elméleti séma, a valódi helyzet bizonyára sokkal bonyolultabb volt.

A kezdeti melegebb időszak után (főleg a Heszperidában) is képződtek vízfolyásnyomok, még hozzá ekkor születtek a fent említett legnagyobbak. A legtöbb ilyen a Tharsis-hátság vidékén található, sok közülük a Valles Marineris tektonikus árokrendszer néhány mélyedéséből indul ki. A fenti instabil helyzetben a vulkánok alulról származó fűtése további jeget olvasztott meg a felszín alatt, néhol a töredezett kőzettestek megoladtak, és a meggyengült konzisztenciájú területek összeomlottak. A lesüllyedő kőzettömbök

között kiemelkedett a víz, emellett ahol a nyomásviszonyok kedveztek, a repedések mentén is a felszínre jutott. A víz lejtős irányba áramlott, néhol több  $\text{km}^3/\text{másodperces}$

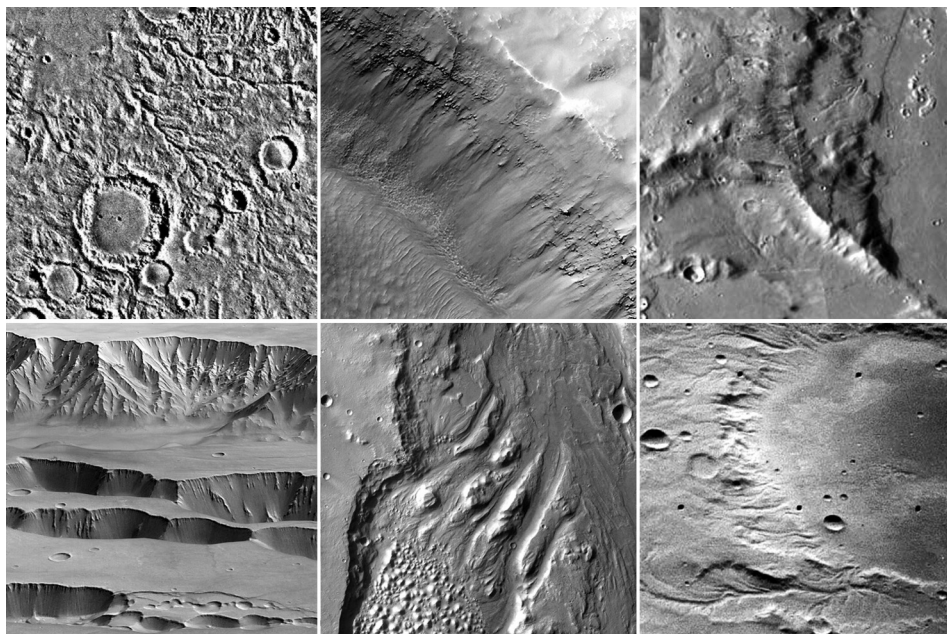


2. ábra • Példa néhány üledékes képződményre, zárójelben a kép átmérőjével. Fentről lefelé: az Arabia Terra nyugati részén lévő teraszos üledékek perspektivikus képe (2,5 km); egy ősi tavi delta a Holden-kráterben (12 km); a Meridiani Planum síkság egyik kráterében lévő üledékes rétegek (2,5 km)

vízhozammal, kialakítva az esetenként 10 km-nél is szélesebb, több km mély és 1000 km-es hosszúságú vízfolyásnyomokat. Az ilyen, gyakran összeomlott blokkokkal tarkított ún. *káoszterületekről* teljes szélességben induló vízfolyásnyomokat nevezik *áradásos csatornáknak* (Rodriguez et al., 2005). Itt a meder és a völgy helyett a csatorna kifejezést használják együttesen, mivel nem tudni, eredetileg milyen magasságig ért a víz. A zord éghajlaton az áramló víz felső néhány métere megfagyott, amely alatt néhol 100 méternél is vastagabb víztömeg folyt, rendkívüli eróziós hatást kifejtve. A víz az esetek többségében az északi síkságra futott ki, ahol rövid életű állóvizet alkotott. A bolygón sok helyütt több km vastag üledékes összletek egy része is ilyen időszakos vizes periódusokban keletkezhetett (Tosca – McLennan, 2006).

Egy-egy vízfeltörés sokrétű következménnyel járt. Egyrészt több km mély eróziós völgyeket mélyítettek a felszínbe, hatalmas hordalékmennyiséget megmozgatva. Általában az északi síkságokra kifutva fejezték be mozgásukat, állóvizet alkotva – utóbbiakat részóceánoknak is nevezik (szintén önkényesen használva a földi óceán analógiájára). Itt üledékes feltöltések keletkeztek, majd anyaguk nagyságrendileg  $10^3$ - $10^4$  év alatt megfagyott (2. ábra). Ennek során erősen átalakultak a víz-, illetve jégtestek partvonalai, és a visszamaradt jég tartalom által utólag is befolyásolták a területen kialakuló felszínformákat.

A fenti nagyobb állóvizek mellett kisebb tavak is keletkeztek, ezek nyomát főleg kráterekben láthatjuk, a legtöbb közülük 2,0-2,5 milliárd éves. Létezésükre Gilber-típusú



3. ábra • Néhány fontos esemény illetve folyamat jellegzetes eredménye a bolygó felszínén. Fent (balról jobbra): idős vízfolyásnyomok hálózata; ősi vizes mállással képződött sötét rétegek kibukkanása; az egykori északi óceán partvonalnyomai; Lent (balról jobbra): a Valles Marineris felszakadásával keletkezett árkok perspektivikus képe; vízfeltöréssel keletkezett káoszterület és áradásos csatorna; egy ősi krátertőbe torkolló vízfolyásnyomok

deltákra és teraszos partokra hasonlító képződmények, sima üledékes feltöltések, valamint a mélyedésekbe torkolló vízfolyásnyomok utalnak. Ezek a tavak is időszakosak lehetnek, élettartamuk a becslések szerint sok ezer-tízezer év volt. Leggyakrabban ott fordulnak elő, ahol az éghajlati modellek alapján a klíma leginkább kedvezett a folyékony víz tartós jelenlétének. Egy-egy elöntés után megnőtt a légkör vízgőztartalma és vele enyhén az üvegházhatás. A szublimáló és máshol lerakódó jég nyomán az akkumulációs területeken pedig felerősödött a glaciális aktivitás. Egy-egy áradásos időszak tehát nemcsak mechanikai változást okozott a felszínen, hanem a légköri vízpára és részben az éghajlat befolyásolása által kémiai átalakulásokkal is járt. Több olyan felszínforma mutatkozik a Marson, amelyek kialakulása az epizodikus északi részóceánok keletkezésével, majd eltűnésével kapcsolatos. Ezek kialakulási folyamatát (a Mars Episodic Glacial Atmospheric Oceanic Upwelling by Thermotectonic Flood Outburst kezdőbetűiből képzett betűszóval) *Megaoutflow* néven foglalják össze (Baker, 1999; Baker et al., 2000).

A bolygó fejlődéstörténete a hűlés és a globális anyagkörü forgás hiánya, illetve igen gyenge jellege miatt a felszíni átalakulások csökkenésének irányába haladt (3. ábra). Földünkön a globális lemeztectonika révén a kőzetek és a bennük lévő anyagok, így a megkötött szén-dioxid egy része, főleg a vulkáni aktivitással visszajuthat a légkörbe. Ha a Marsnál a vulkáni aktivitással a légkörbe kerültek gázok, majd valahol szilárd halmazállapotban kiváltak a felszínre, azok többsége ott is marad. A globális lemeztectonika hiánya és a gyenge vulkanizmus miatt csak ritkán és kevés  $H_2O$ ,  $CO_2$  került vissza a légkörbe. Az illók azon része, amely az évmilliók során nem szökött el az atmoszférából, főleg a pólussapkában és a felszín alatti krioszférában (a kőzetek repedéseit

kitöltő globális, több km vastagságot is elérő jéggrétegekben) tárolódik.

### *Tengelyferdeség és éghajlati kilengések*

Nagy tömegű hold hiányában a Mars forgástengelye viszonylag labilis helyzetű. Elsősorban a Jupiter gravitációs zavarai miatt a bolygó tengelyferdesége periodikusan változik – mondhatni lassan dülöngél. Jelenleg a Mars forgástengelye a pályasíkjára állított merőlegessel 25,5 fokos szöget zár be, de a modellek alapján időnként a 40 fokot is elérheti, sőt meg is haladhatja. Kis tengelyferdeség idején (amikor a tengely közel merőleges a pályasíkra) az illók ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ) a sarkvidékekre vándorolnak, ugyanakkor az alacsony szélességű területek melegeknek és szárazodnak. Nagy tengelyferdeség esetén ennek ellentéte történik: a pólussapkákból a jég alacsonyabb szélességekre vándorol. Amikor ismét meredekebb helyzetbe áll a forgástengely, a jég visszamigrál a sarkvidékre – de olyan átmeneti időszak is elképzelhető, amikor a melegebb alacsony szélességeken megolvad a jég, és ez a regolitba szivároghatva kémiai átalakulásokat okoz. Talán ilyen periódusok nyomát őrzik a Spirit marsjáró által a kőzeteken megfigyelt mállási kéreg a Gusev-kráterben. Az alacsony szélességekre vándorló jég jelentős része a geomorfológiai jelek, és az éghajlati modellek alapján a Tharsis-vulkánok területén, főleg azok kúpjától északnyugatra rakódott le. Itt kiterjedt gleccs-csemyomok és a szublimáló jég után visszamaradt felszínformák láthatók.

A pólussapkák mérete, térfogata tehát időben változik. Amikor csökken a sarkvidéki éves középhőmérséklet, először a magasabb olvadáspontú vízjég fagy ki, ez alkotja a jégsapkák tömegének nagy részét. Amint még hidegebbek lesznek a sarki telek, a szén-dioxid-jég is kifagy, ez képezi a mindkét sapkán megfigyelhető néhány méter vastag szárazjég fedőt. A déli pólussapka a környező területek vizsgálata alapján a mainál sokkal

kiterjedtebb lehetett a Hesperidában, míg északon ilyenre nem utalnak nyomok. A sapkák méretváltozását jelzi még, hogy a két pólussapkát környező üledékekben hiátus mutatkozik a késő Hesperida és késő Amazoniai időszak között. Lehet, hogy ekkor a mainál sokkal kisebbek voltak a jégsapkák.

A jelek nem csak a sapkák méretének, de a halmazállapotának változására is utalnak. A déli hósapka anyagát az alatta elhelyezkedő vulkánok feltehetőleg többször is részben megolvasztották. Hasonló történhetett akkor is, amikor az éghajlat hűlése miatt túl gyorsan vastagodott a déli sapka. Ez nehezen engedte a belső hőt elszökni, ami a sapka aljának olvadásához vezetett. A geomorfológiai jelek alapján a megolvadt vízjég először a Prometheus-medencét töltötte fel, innen folytatta útját észak felé, feltöltve az Argyre-medencét, majd kráterek láncolatán keresztül jutott el az északi síkságra – a fenti Megaoutflow ciklushoz hasonló eseménysort kiváltva (Ghatan – Head, 2004).

A hideg időszakokban a helyenként felhalmozódó jég megőrzésében fontos szerepe lehet a finom porrétegnek. Egy néhány méter vastag, gyenge hővezetésű porréteg alatti jégtakaróból szublimáló  $H_2O$ -molekulák igen lassan diffundálnak keresztül a ritka légkörrel átjárt porózus takarón. Ez lelassítja a jégréteg elvesztését. Egyes számítások szerint ma akár az egyenlítő közelében is lehetnek a korábbi éghajlatkilengések során odavándorolt, néhány 10 millió éves jégrétegek.

A változó hőmérsékletnek és  $H_2O$ -eloszlásnak megfelelően az egyes időszakban keletkezett jellemző geomorfológiai formák helyzete eltolódott. Erre a déli felföldekről az északi síkságokra kifutó völgyrendszerek mutatnak látványos példát. Megjelenésük alapján néhol akár víz is formálhatta őket, majd később a jég vehette át területükön az uralmat. Hasonló az áradásos csatornáknál is megfigyelhető: az aljzatukon lévő, gleccserkarcokra hasonlító nyomokat a víz

lefolyása után visszamaradt megfagyott jég lassú, gleccserszerű kúszása hozhatta létre.

Szintén érdekes az áradásos csatornák aljzatán lerakódott üledékek helyzete: több esetben ugyanis az eróziós nyomok, a körbe-mosott szigetek alapján kijelölt folyásirányba emelkedik az aljzat. Bár ezt utólagos tektonikus mozgások is kialakíthatták, némely esetben egyelőre nem zárhatjuk ki, hogy rendkívül sajátos üledéklerakódással keletkeztek. Helyenként olyan jelek is mutatkoznak, amelyek szerint az elsődleges áradás után az eredeti folyásiránnyal ellentétes irányú volt a vízáramlás. Ezek kiváltásában közreműködhetett például a marstalajban lévő azon jéganyag, amely nem olvadt meg azonnal, hanem csak fokozatosan, utólag szublimált, így lassan változtatta meg az anyag eloszlását a területen.

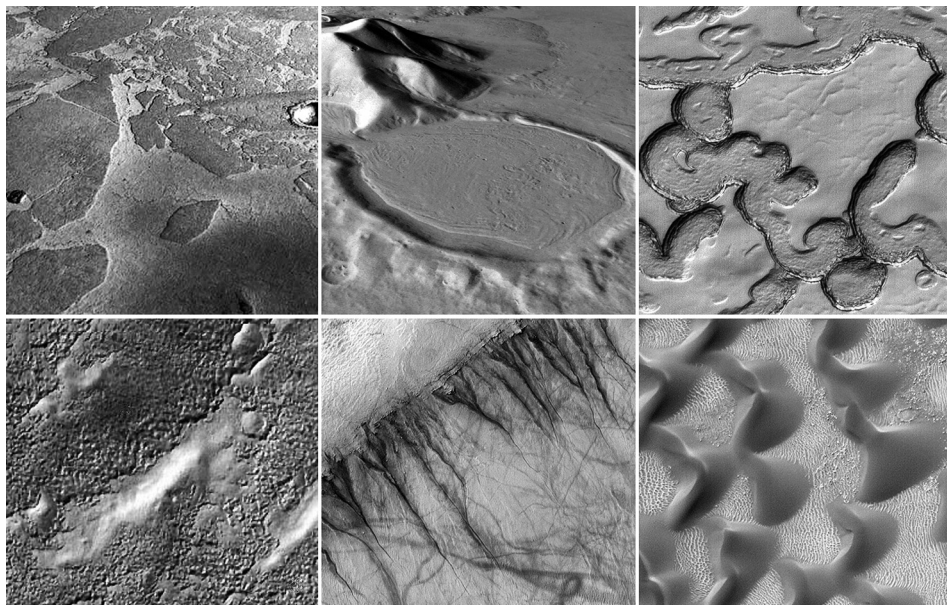
A vulkánok fontos szerepet töltöttek be a bolygó felszínfejlődésében és éghajlati változásaiban (Kargel, 2004). A kitörések nyomán a  $H_2O$ -val reakcióba lépő vulkáni gázok miatt savas kémhatásúak lesznek a felszínen esetleg megjelenő vizek, sőt a kicsepülő vízpára (savköd) is. Egy nagyobb kitöréskor nemcsak a változó kémhatás miatt erősödik a mállás, hanem a légkörbe kerülő tüvegázok is okozhatnak gyenge éghajlatváltozást. Az évi középhőmérséklet kismértékben emelkedik, a napi és évszakos hőingás pedig csökken. A vulkánok közül kiemelkednek a Tharsis-hátság tűzhányói, amelyek területén a porózus vulkanitokban sok jég kötődött meg, majd szabadult fel víz formájában egy-egy kitörés során. Ekkor keletkeztek a fent említett káoszterületek, az ezekből észak felé kiágazó áradásos csatornák. Mivel a Tharsis-tűzhányók a bolygó szinte egész fejlődéstörténete alatt működtek, fontos hatásuk volt az éghajlat változásaira.

A Marson a vulkánkitörések gyakran jártak globális következményekkel. Ennek egyik oka, hogy a bolygó közetburka elég vastag, és a modellek alapján a magkam-

rák nagyobbak és mélyebben találhatók, mint a földiek. Egy-egy kitörés ezért általában energikus volt, és gyakran robbanásos formában zajlott. A kis légnyomás miatt az emelkedő magnában lévő gázok könnyen álltak össze buborékokká, ezért gyakran eredményeztek robbanásos kitöréseket. A Mars felszíni légsűrűsége a Földön kb. 30 km magasan uralkodónak felel meg. A földinél gyengébb gravitációs erő szintén elősegítette a kitörési felhők magasra emelkedését. Egy képzeletbeli kitörés, amelynek felhője a Földön például 20-30 km magasra emelkedik, a Marson a 60 km-es magasságot is meghaladná, amelyből a finom törmelék az egész bolygó felszínén hullhat. Az ilyen heves kitörések keretében jöhetnek létre a finom porból lerakódó igen lapos, néhol 1 foknál is kisebb lejtőszögű vulkáni pajzsok (paterák).

### *Periodikus felszínalakulás*

A bolygón látható, eltérő megjelenésű felszínformák tehát a kváziperiodikus éghajlatváltozásokkal kapcsolatos klímamorfológiai tartományok eltolódása és a szintén időszakosnak feltételezett vulkáni tevékenység miatt jöhetnek létre. Az esetleges életformák kialakulásához és értelmezéséhez fontos tudni, hogy a marsfelszíni fizikai viszonyok a folyékony víz megjelenése határán változnak. Emiatt egy kisebb melegedés is alapvetően módosítja a bolygó arculatát. Ha pedig a változás nem nagy ahhoz, hogy folyékony víz jelenjen meg, az erősödő  $H_2O$ -körforgás így is a jég felhalmozásával glaciális, periglaciális felszínalakuláshoz vezethet (Head et al., 2003). Az ilyen kváziperiodikus éghajlatváltozások nyomát sok felszínforma őrzi. Ezek között említhetők a réteges poláris



4. ábra • Képződmények a bolygó közelmúltjából. Fent (balról jobbra): a feltételezett befagyott tenger helyén keletkezett jégtáblák nyomai; egy kráterbe „folyt” gleccserre emlékeztető forma; a déli pólusapka vízjégrétegen zsugorodó szén-dioxid-fedő; Lent (balról jobbra): a közepes szélességen mutatkozó, jég cementálta felbomló porréteg; magas szélességeken mutatkozó folyásnyomok és a felettük elhaladt porördögök sötét sávjai;



üledékek, amelyek mindkét sarkvidéken a pólussapka környékét sima felszínű, finoman rétegzett, egymással párhuzamos, közel vízszintes egységekkel borítják. A feltételezések alapján a légkörből hulló porból rakódtak le, talán vízzel együtt, majd később a melegebb cirkumpoláris időszakokban erősen szárazodtak. Itt említhető még a mindkét félteke közepes szélességén jelentkező jéggel cementált sima, mindössze méteres vastagságú felszíni porréteg, amely a jelek szerint a mostani éghajlati változások miatt éppen felbomlóban van (Head et al., 2006). Elképzelhető, hogy ide sorolhatók a magas szélességeken lévő összetett dűnemezők, amelyek a bennük lévő cementáló jég időszakos szublimálása, majd visszafagyása nyomán ciklikusan és eltérő mértékben mozogtak a szél hatására.

A Mars ma sem „halott”, napjainkban az alábbi folyamatok alakítják arculatát (4. ábra): Zsugorodik a pólussapkák felszíni szárazjég takarója, és egyre több látszik ki a mélyebben fekvő vízjégsapkából. A szél folyamatosan áthalmozza a port, akárcsak az erősen felmelegedő területeken képződő forgószelek. Utóbbiakban az egymással sűrűlő porszemek által létrehozott sztatikus elektromos mezőben agresszív oxidánsok képződhetnek, akárcsak a felszíni porban az ultraibolya sugárzás hatására. Főleg a pólussapkák területén uralkodó évszakos változások miatt erősen ingadozik a légköri vízgőztartalom, ezzel párhuzamosan az illók eloszlása. Az évszakosan megjelenő vízpáraködök pedig az ásványok felszínét vékonyan borító adszorbeált vízmolekulák eloszlását módosítják. A jeges területeken a földi glecs-cserekre hasonló szerkezetek ma is lassan kúsznak a felszínen. Egyes vulkánok területén az elmúlt néhány tízmillió évben is

zajlottak kitörések (Hauber et al., 2005), az Olympus Mons magasabb vidékei néhány millió évvel ezelőtt el lehettek jegesedve, ebből a jégből még ma is lehet a lejtőkön a por alatt. Ahol pedig a láva a jégre folyt, ott az megolvadt és látványos vízfolyásos szerkezeteket hozott létre. Az Elysium-hát-ság vulkánjaitól délre lévő síkságon olyan képződmények mutatkoznak, amelyek egy néhányszor tízmillió évvel ezelőtt létezett tenger befagyott jégtábláira, illetve azok nyomaira emlékeztetnek (Murray et al., 2005). A legfiatalabb vulkáni nyomok az északi pólussapka környékén lévő apró kúpok, amelyeken az eddigi felvételeken egyetlen becsapódásos krátert sem találtak. Mindkét féltekén magas szélességeken legfeljebb néhány millió éves folyásnyomok is vannak. Ezek részben a napfénytől olvadó hókupacokból származnak, részben a felszín alól a fagyó/olvadó jég térfogatváltozása nyomán keletkezett nyomásváltozás miatt spricceltek a felszínre (Heldman – Mellon, 2004).

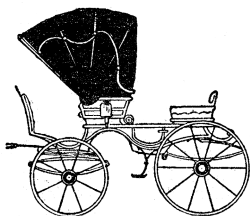
A cikkben vázolt folyamatok néhány képződmény kialakulását közelítőleg megmagyarázzák, de a Mars fejlődésének megismerésétől még nagyon messze vagyunk. Napjaink egyik legfontosabb kérdése a felszínformák kialakulásának magyarázata a bolygó globális fejlődésének contextusában. Óriási eredmény lesz, ha sikerül majd összekapcsolnunk a belső (vulkanikus, tektonikus) és külső (pályaelem-ingadozás) révén bekövetkezett változások hatását a felszínformák keletkezésére. Ekkor születik majd meg a klimatikus planetomorfológia érett elmélete, amelynek megismerését a Mars fagyott, mégis igen érzékeny világa tette lehetővé.

---

Kulcsszavak: *éghajlat, fejlődéstörténet, geomorfológia, Mars, planetológia*

# IRODALOM

- Baker, Victor R. (1999): *The MEGAOUTFLO Hypothesis for Long-Term Environmental Change on Mars*. 31<sup>st</sup> Annual Meeting of the DPS, #130
- Baker, Victor R. – Strom R. G. – Dohm J. M. – Gulick V. C. – Kargel J. S. – Komatsu G. – Ori G. G. – Rice J. W. (2000): *Mars Oceanus Borealis, Ancient Glaciers and the MEGAOUTFLOW Hypothesis*. Lunar and Planetary Science Conference XXXI, #1863.
- Fairén, Alberto G. – Fernández-Remolar, D. – Dohm, J. M. – Baker, V. R. – Amils, R. (2004): Inhibition of Carbonate Synthesis in Acidic Oceans on Early Mars. *Nature*. 431, 423–426.
- Ghatan, Gil J. – Head, James W. (2004): Regional Drainage of Meltwater beneath a Hesperian-aged South Circumpolar Ice Sheet on Mars. *Journal of Geophysical Research*. 109, E07006
- Hauber, Ernst – van Gasselt, S. – Ivanov, B. – Werner, S. – Head, J. W. – Neukum, G. – Jaumann, R. – Greeley, R. – Mitchell, K. L. – Muller, P. – HRSC Co-Investigator Team (2005): Discovery of a Flank Caldera and Very Young Glacial Activity at Hecates Tholus, Mars. *Nature*. 434, 7031, 356–361.
- Head, James W. – Mustard, J. F. – Kreslavsky, M. A. – Milliken, R. E. – Marchant, D. R. (2003): Recent Ice Ages on Mars. *Nature*. 426, 6968, 797–802.
- Head, James W. – Marchant, D. R. – Agnew, M. C. – Fassett, C. I. – Kreslavsky, M. A. (2006): Extensive Valley Glacier Deposits in the Northern Mid-Latitudes of Mars: Evidence for Late Amazonian Obliquity-Driven Climate Change. *Earth and Planetary Science Letters*. 241, 3–4, 663–671.
- Heldmann, Jennifer L. – Mellon, Michael T. (2004): Observations of Martian Gullies and Constraints on Potential Formation Mechanisms. *Icarus*. 168, 285–304.
- Kargel, Jeffrey S. (2004): *Mars - A Warmer, Wetter Planet*. Springer
- Murray, John B. – Muller, J.-P. – Neukum, G. – Werner, S. C. – van Gasselt, S. – Hauber, E. – Markiewicz, W. J. – Head, J. W. – Foing, B. H. – Page, D. – Mitchell, K. L. – Portyankina, G. – HRSC Co-Investigator Team (2005): Evidence from the Mars Express High Resolution Stereo Camera for a Frozen Sea Close to Mars' Equator. *Nature*. 434, 7031, 352–356.
- Poulet, F. – Langevin, Y. – Bibring, J.-P. – Gondet, B. – Arvidson, R. – the OMEGA team (2005): Mineralogy of the Northern High Latitude Regions of Mars. Lunar and Planetary Science Conference. XXXVI, #1828.
- Rodriguez, Jose, Alexis Palmero – Sasaki, S. – Kuzmin, R. O. – Dohm, J. M. – Tanaka, K. L. – Miyamoto H. – Kurita, K. – Komatsu G. – Fairén, A. G. – Fémis, J. C. (2005): Outflow Channel Sources, Reactivation, and Chaos Formation, Xanthe Tena, Mars. *Icarus*. 175, 36–57.
- Solomon, Sean C. – Aharonson, O. – Aumou, J. M. – Banerdt, W. B. – Carr, M. H. – Donbald, A. J. – Frey, H. V. – Golombek, M. P. – Hauck, S. A. – Head, J. W. – Jakosky, B. M. – Johnson, C. L. – McGovern, P. J. – Neumann, G. A. – Phillips, R. J. – Smith, D. E. – Zuber, M. T. (2005): New Perspectives on Ancient Mars. *Science*. 307, 5713, 1214–1220.
- Tosca, Nicholas J. – McLennan, Scott M. (2006): Chemical Divides and Evaporite Assemblages on Mars. *Earth and Planetary Science Letters*. 241, 21–31.



# A SZATURNUSZ ÉS KÖRNYEZETE

Erdős Géza

a fizikai tudomány kandidátusa  
KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet  
erdos@rmki.kfki.hu

## *Miért érdekes a Szaturnusz és környezete?*

1997. október 16-án a NASA az Európai Űrügynökséggel (ESA) közösen hosszú útjára bocsátotta minden idők legdrágább tudományos célú űrszondáját, a Cassini–Huygens elnevezésű párost. A küldetés célja a Szaturnusz és Titán nevű holdjának tanulmányozása, amelyhez 2004 júliusában érkezett meg, és előreláthatóan a méréseket négy éven keresztül fogja végezni. A magas költségek (mintegy 3,5 milliárd dollár) ellenére az űrmisszió szükségességét könnyen lehetett indokolni, mert a Naprendszer talán legizgalmasabb égitestéről van szó. Közismert a Szaturnusz gyűrűje, amely kölcsönhat a közelében mozgó holdakkal. Ez a dinamikai folyamat analóg azzal a folyamattal, amely a Naprendszer keletkezésekor, a bolygók formálódásakor ment végbe. Habár az analógia nem tökéletes, és sokak számára erőltetettnek is tűnhet, mindkét esetben apró részecskék (gáz, por, jég) és nagyobb égitestek olyan bonyolult rendszeréről van szó, amely még napjaink szuperszámítógépeivel is igen nehezen modellezhető. A folyamatok helyszíni tanulmányozása tehát közelebb vezethet a 4,5 milliárd évvel korábbi események megértéséhez is.

A Cassini–Huygens misszió más szempontból is időutazásnak tekinthető. A Szaturnusz körül keringő Titán a Naprendszer második legnagyobb holdja. 5150 km-es átmérője csak kevéssel marad le a Jupiter

Ganymedes holdjától, és két bolygónál (Merkúr és Plútó) nagyobb is. A bolygókéval összemérhető méret mellett a Titán igazi érdekessége, hogy a Naprendszer egyetlen olyan holdja, amelyet sűrű légkör borít. A légkör összetétele hasonlít a Föld ősi atmoszférájához, vagyis ahhoz, amely az élet megjelenése előtt volt jellemző térségünkre. Az analógia persze itt sem tökéletes, hiszen például a Szaturnusz és a körülötte keringő Titán tízszer távolabb van a Naptól, mint a Föld, így a Titán légkörének hőmérséklete igen alacsony. De mindenképpen figyelemre méltó, hogy benne megtalálhatók azok az összetevők (nitrogén, metán, etán stb.), amelyek nagyobb, szerves molekulák létrejöttéhez szükségesek.

## *Történelmi visszatekintés*

Érdemes röviden megemlékeznünk a korábbi felfedezésekről, hogy a Cassini–Huygens kísérlet eddigi és további várható eredményeit is megfelelően értékeljük. A következőkben főleg olyan korábbi felfedezéseket említék, amelyek az írás tárgyához valamilyen kapcsolódnak.

Az első távcsövek megjelenésekor a Szaturnusz már az érdeklődés homlokterében állt, de Galilei 1609-ben még csak „tripla bolygónak” látta az égitestet. A későbbi megfigyelők is különböző alakúnak látták és rajzolták le. Christiaan Huygens holland csillagász zsenialitása kellett ahhoz, hogy 1659-ben rájöjjön arra, ha a rajzokat időrendbe helyezi a Szaturnusz Nap körüli harmincéves

keringése szerint, a megfigyelt furcsa alak gyűrűként értelmezhető. A gyűrű síkja eltér a Szaturnusz Nap körüli keringésének síkjától, ezért látjuk az égitestet időben a keringés fázisa szerint különböző alakúnak (1. ábra). Huygens másik érdeme, hogy ő fedezte fel a Titánt. A távcsövek tökéletesedésével Jean-Dominique Cassini olasz-francia csillagász 1675-ben kimutatta, hogy a gyűrűben rés van. A szondapáros elnevezése a két csillagász munkásságáról emlékezik meg.

Az elektrodinamika alapegyenleteinek megalkotásáról híres James Maxwell 1857-ben elméleti úton levezette, hogy a gyűrű nem lehet szilárd. A központi égitest körül keringő testek szögsebessége ugyanis a távolsággal csökken (a Kepler-törvények szerint), míg szilárd test esetében a szögsebességnek állandónak kellene lennie. Ha a Szaturnusz gyűrűje szilárd lenne, a természetes mozgástól (Kepler-pályáktól) való eltérés olyan nagy árapály-erőket eredményezne, amelyeket egyetlen anyag sem képes elviselni. Ma tudjuk, hogy a gyűrű anyaga törmelék, amelyben a részecskék nagysága az egészen apró portól a ház méretű testekig terjed.

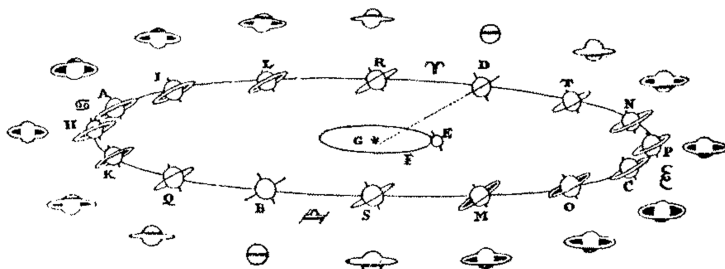
A közelmúlt, de még az űrkutatás előtti korszak is tartogatott szenzációs felfedezést. 1944-ben Gerard Kuiper spektroszkópiai vizsgálatokkal metánt mutatott ki a Titánon, ezzel felfedezte a hold légkörét. A későbbi kísérleteket viszont már az űreszközök ural-

ják. A Cassini előtt három szonda repült el a Szaturnusz mellett 1979-1981 között (Pioneer-11, Voyager-1 és -2). A Cassini szondát 2004-ben a Szaturnusznál lefékezték, és ezzel az óriásbolygó első mesterséges holdjává tették. A vele együtt utazó Huygens 2005. január 14-én sima leszállást hajtott végre a Titán holdon.

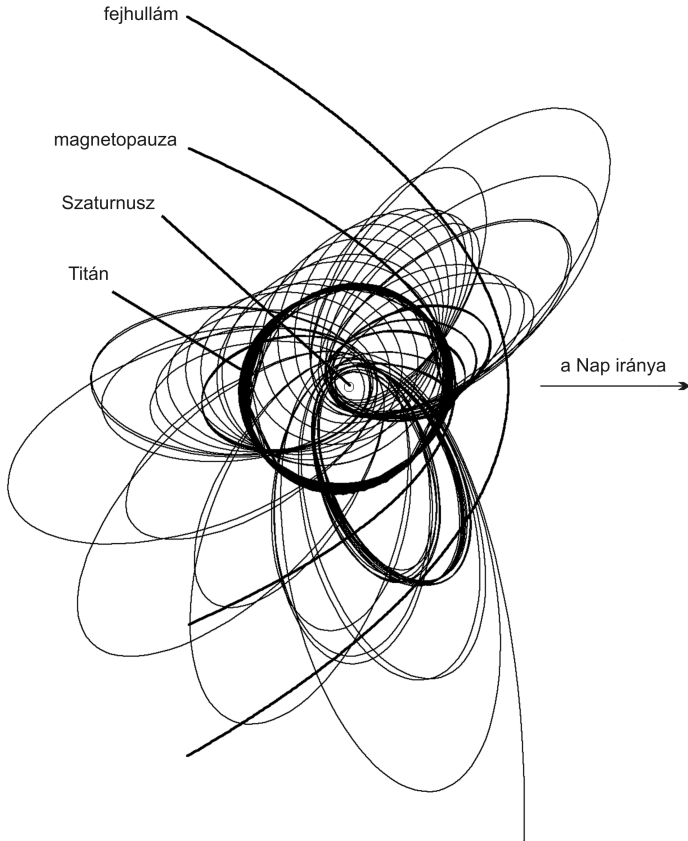
### A Cassini űrszonda pályája, műszerei

A Cassini hosszú úton, 1997-től 2004-ig utazva jutott el a Szaturnusz közelébe. Az út során kétszer találkozott a Vénusszal, egyszer a Földdel és egyszer a Jupiterrel. Ezek a találkozók gravitációs lendítésekkel növelték a szonda sebességét, amelyekkel jelentős üzemanyagot lehetett megtakarítani. A Szaturnusz körüli pályák (2. ábra) még bonyolultabbak, a gravitációs lendítéseket a Szaturnusz óriási holdja, a Titán végzi, amellyel a szonda a négyévesre tervezett túrázás során összesen 45-ször fog találkozni.

A Napból szuperszonikus sebességgel kiáramló napszél (ionizált gáz, vagyis plazma) kölcsönhatásba lép a Szaturnusz plazmakörnyezetével. Ennek következtében két, nagyjából paraboloiddal közelíthető felület alakul ki, amelyeknél a plazma paraméterei ugrást szenvednek. A külső felületet, a fejhullámot az jellemzi, hogy ott lassul le a szuperszonikus napszél szubszonikussá. A magnetopauzá-nak nevezett belső felület a bolygó eredetű



1. ábra. • Christiaan Huygens rajza a *Systema Saturnium* című könyvében a Szaturnusz gyűrűjének inklinációjáról az ekliptikához képest.



2. ábra • A Cassini űrszonda pályája a Szaturnusz körül.

plazmatartományt (magnetoszférát) választja el az interplanetáris plazmától (lelassult napszélről). A 2. ábrán a holdak közül csak a Titán pályáját tüntettük fel. Látható, hogy a kb.  $20 R_s$  sugarú közel körpálya a magnetoszférán belül helyezkedik el ( $R_s$  = Szaturnusz sugár = 60 000 km). A legtöbb jeges hold pályája és a gyűrű is néhány  $R_s$  távolságra terjed ki, ami az ábrán alig lenne látható.

A Cassini virágszimokra hasonlító pályája felkeresi a legérdekesebb plazmatartományokat. Ha nem lennének pályakorrekciók, a Cassini ellipszispályán mozogna, amelynek nagytengelye csak nagyon lassan, a Szaturnusz harmincéves Nap körüli keringésének sebességével fordulna körbe. Az ellipszispá-

lyától való eltéréseket a Titán gravitációs lendítéseivel végzik. Ezek a hintamanőverek arra is alkalmat adnak, hogy segítségükkel jeges holdakat keressen fel a szonda. A bonyolult pálya kialakításához csak kevés üzemanyagra van szükség (annyira, amellyel a szondát 0,5 km/s sebességre lehetne gyorsítani). A gravitációs lendítésekkel annyi üzemanyagot lehetett megtakarítani, amely-lyel a szondát 33 km/s sebességre lehetne gyorsítani (ez a mozgási energia tízszer nagyobb, mint amennyi a fellövéshez kellett).

A Cassini űrszonda tizenkét műszere két csoportba osztható: távérzékelő berendezések és a helyszíni fizikai paramétereket mérő berendezések egyaránt helyet kaptak rajta.

A távérzékelő műszerek a látható fényben, az infravörös és az ultraibolya tartományban készítenek felvételeket, végeznek spektroszkópiai vizsgálatokat. A szonda radarberendezéssel is fel van szerelve, ez a Titán felszínének feltérképezésében hasznos, ami a felhős, ködös, sűrű atmoszféra miatt másképp nem lenne lehetséges (hasonlóan a Vénuszhoz). Egy új képalkotó technikát is alkalmaznak, amely a gyorsan mozgó semleges atomokat, molekulákat detektálja. Ezek a térképek a magnetoszféráról adnak információt. Ugyanis a detektált részecskék eredetileg a magnetoszférában felgyorsult ionok, amelyek töltéscserével válnak semlegessé. A semlegesrészecskék már kiszámítható pályán (sőt egyenes vonalban) terjednek, ami elengedhetetlen feltétele a képalkotásnak.

A helyszíni viszonyokat mérő műszerek közül a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet (RMKI) két berendezés építésében és az adatok vizsgálatában vett, illetve vesz részt. Az egyik a plazmarészecskéket detektáló CAPS nevű műszer, magyar társkutatója Szegő Károly. A másik a MAG mágneses térerősséget mérő műszer (magyar társkutatója a cikk szerzője). Ezenkívül a szondán van még pordetektor, tömegspektrométer, valamint rádió- és plazmahullámokat detektáló műszer.

A Cassini szonda magával vitte az ESA által épített Huygens leszálló egységet. Ez a mintegy 300 kg tömegű, korong alakú szonda ejtőernyővel ereszkedett le a Titán felszínére. A műszereket úgy állították össze, hogy alkalmasak legyenek arra, hogy a leszállás során mérjék a légkör fizikai, kémiai tulajdonságait, a szél sebességét, valamint aeroszolokat gyűjtsenek, gázkromatográfiái vizsgálatokat végezzenek. Ellátták videokamerával, hogy a leereszkedéskor és utána is felvételeket készítsen. A felszín vizsgálatára alkalmas műszerrel is felszerelték.

*Tudományos célok és eddigi eredmények*

A Cassini–Huygens misszió tudományos céljainak részletes ismertetése túl hosszú lenne, ezért inkább csak vázlatos felsorolásra vállalkozunk. A következő objektumok vizsgálatát tűzték célul:

- Szaturnusz (légkör összetétele, fizikai tulajdonságai, mozgása)
- gyűrűk (hőmérséklet, összetétel, részecskék mérete, kölcsönhatás holdakkal)
- jeges holdak
- Titán (légkör, felszín)
- a Szaturnusz magnetoszférája (belső mágneses tér, részecskefonások és -elnyelők)
- a Titán plazmakörnyezete

Már a Cassini által a Szaturnusznál végzett első mérések nagy érdeklődést váltottak ki. A magyar részvétellel történő plazma- és mágnesestér-mérések szempontjából érdekes megfigyelés volt, hogy a Szaturnusz körüli pályára álláskor a szonda több alkalommal áthaladt a fejhullámon és a magnetopauzán (Dougherty et al., 2005; Young et al., 2005). Ez úgy lehetséges, hogy a két elválasztó felület ki-be mozog. A Szaturnusz magnetoszférája időben változó, nagyon dinamikus rendszer. Az összehasonlítás a korábbi Voyager-megfigyelésekkel azt mutatja, hogy a magnetoszféra mérete most sokkal nagyobb, mint a 80-as évek elején. Fontos eredmény, hogy első alkalommal sikerült méréseket végezni a Titán plazmakörnyezetében (Szegő et al., 2005). A mérésekből következtetni lehetett a Titánról származó ionok összetételére, amely a metán meglepően nagy koncentrációját mutatja.

A továbbiakban három, általam a legérdekesebbnek, leglátványosabbnak ítélt eddigi eredményt ismertetek.

### *Leszállás a Titánon*

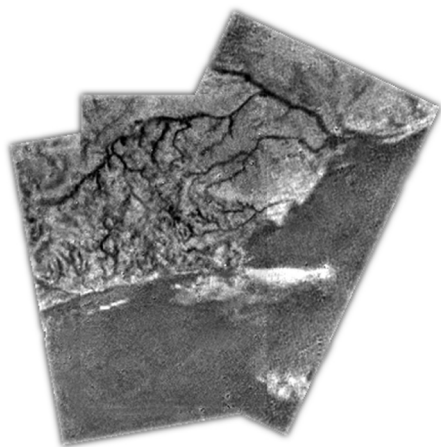
Az ESA nagy sikert ért el azzal, hogy az általa épített Huygens szonda sima leszállást hajtott végre a Titánon. A Titán sűrű légköre miatt nem volt ismert, hogy a hold felszíne szilárd vagy folyékony halmazállapotú-e. A Titán felszínének hőmérséklete ( $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) és

összetétele (metán, etán) alapján mindkét eset elképzelhető volt. A Huygens szondát úgy tervezték, hogy „vízre” szállást is képes legyen túlélni, és még néhány percig adatokat sugározni, amíg az akkumulátorok ki nem merülnek. A művelet várakozáson felül jól sikerült. A leereszkedéskor a lassulást mérő műszer szerint a talaj szilárd volt, de süllyedékes, mocsásra emlékeztető. A leszállás után küldött képek homokhoz és folyami kavicsokhoz hasonlítható tájat mutatnak, a felvételek kiszáradt folyó- vagy tómederre emlékeztetnek. Ez arra utal, hogy folyadék okozta erózió formálja a felszínt.

Még meggyőzőbb bizonyítékokat szolgáltatott a folyadék okozta erózióra a leszállás során készített panorámafelvételek. A 3. ábra az egyik legszebb mozaikfelvételt mutatja. Laikusok számára is nyilvánvaló, hogy a képen folyadék vájta medreket, kanyonokat láthatunk. Ez azért fontos felfedezés, mert a Földön kívül eddig nem ismertünk olyan égitestet, amely felszínét még napjainkban is folyadék formálja. A folyadék jelenlétére további bizonyítékokat szolgáltat a Cassini szondán elhelyezett radar, amely a Titán

minden megközelítésekor szorgalmasan térképezi a sűrű légkör alatti felszínt.

A Titánon való leszállás komoly technikai bravúr, ilyen nagy távolságban lévő égitesten még nem sikerült az emberiségnek leszállást végrehajtania. Jellemző adat, hogy a rádiójelek ebből a távolságból másfél óráig utaznak hozzánk. A Huygens szonda adását a Cassini szonda vette a leszállás során, majd a leszállás után néhány órával a Cassini Föld felé fordított parabolaantennájával sugározta vissza a begyűjtött információt. Egy szerencsés kimenetelű rendellenességet érdemes megemlíteni, amely rávilágít a technikai nehézségekre és azok leküzdésére. A Cassini szonda a Huygens rádióadásának vételekor mérte a jelek frekvenciájának Doppler-eltolódását, amiből az ejtőernyővel leereszkedő szonda sebességét és ezzel a Titán légkörének szélességét lehetett meghatározni. Sajnos ezek az adatok a visszajátszáskor elvesztek. De a Huygens mindössze mobiltelefon teljesítményű rádióadását a Földről is lehetett észlelni, és ki lehetett mutatni annak frekvenciaeltolódását. A leereszkedő szonda sebességének mérése a Földről olyan teljesítmény, mintha a Holdon teniszezők labdájának mozgását akarnánk a Földről követni.



3. ábra • A Huygens leszálló szonda fényképe a Titán felszínéről (ESA–NASA–JPL–University of Arizona)

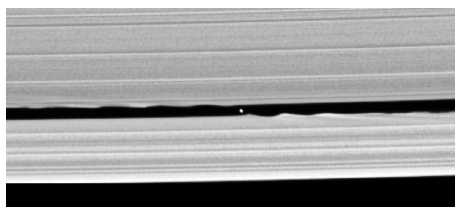
#### *Gyűrűk és holdak kölcsönhatása*

Érzékeny műszerekkel kimutatható, hogy sok bolygónak, például a Földnek is van gyűrűje. A gyűrű olyan bolygó körüli körpályáknál alakul ki, amelyek perturbációkkal szemben stabilitást mutatnak, és emiatt apró részecskék is hosszú ideig képesek a pályájukon maradni. A Szaturnusz azért egyedülálló a Naprendszerben, mert a gyűrűje nagy kiterjedésű és sűrűségű. A külső átmérője 282 ezer km. Ezzel szemben a vastagsága hihetetlenül kicsi, helyenként mindössze 30 méter (tehát a gyűrű arányait tekintve egy papírlapnál mintegy ezerszer vékonyabb). A kis vastagság miatt a Szaturnusz gyűrűje nem tartalmaz sok anyagot, egy kisebb méretű

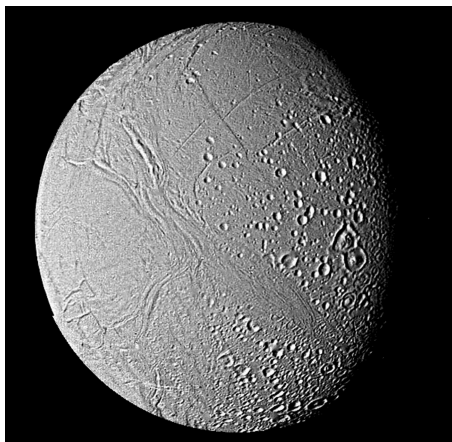
jeges hold felrobbanása képes lenne az anyagmennyiségét biztosítani. A gyűrű keletkezésének ez az elmélete valóban hihető, amelyet alátámaszt, hogy a gyűrű fő összetevője vízjég. Ide vonatkozó Cassini-eredmény, hogy a CAPS plazmadetektor vízmolekulák jelentős kipárolgását mutatta ki a gyűrű környezetében, s emiatt úgy tekinthető, hogy a gyűrűnek saját légköre is van.

A gyűrű anyaga nem egységes, a már említett Cassini-rés mellett más réseket is felfedeztek, így a Szaturnusz koncentrikusan elhelyezkedő több gyűrű veszi körül, amelyeket az ábécé betűivel jelölnek A-tól G-ig. A Voyager szondák nagy felbontású felvételei a gyűrűk fraktálszerkezetre utaló struktúráldását mutatták ki. Továbbá, a résekben keringő holdak gravitációs hatásuk révén a gyűrűkben hullámokat keltenek, ezek a hullámok jól látszanak a Cassini szonda felvételein (4. ábra).

A Cassini szonda több kisebb, néhány kilométer átmérőjű holdat fedezett fel, egy ilyen felfedezés az ún. Keeler-résben keringő holdacska is. A 4. ábrán látható a hold által keltett hullám a Keeler-rést határoló két gyűrűben. Érdeemes megfigyelni az aszimmetriát: a belső gyűrűben a hullámok balra, a külsőben jobbra helyezkednek el a holdtól. Ez a már említett differenciális rotáció miatt van, amely szerint a belső gyűrűk nagyobb szögsebességgel mozognak, mint a külsők. A holdhoz képest tehát a belső gyűrű balra, a külső jobbra mozog, ez magyarázza az aszimmetrikus hullámkeltést. Megjegyez-



4. ábra • A Szaturnusz gyűrűjében hullámokat keltő holdacska (NASA-JPL felvétele)



5. ábra • Az Enceladus hold a Voyager-2 űrszonda felvételén (NASA-JPL)

dő, hogy a hullámokból meghatározható a hold tömege, ezzel a hold anyagának átlagos sűrűsége is megbecsülhető.

#### *Az Enceladus szökőkútjai*

Az égitestek, különösen ha légkör nem védi őket, kisebb-nagyobb testek folyamatos bombázásának vannak kitéve, amelyek krátereket ütnek a felszínükön. Ha egy égitesten a kráterek száma alacsony (például a Föld esetében), az a felszínének jelentős, folyamatos átforgódására, erőzójára utal. Ebből a szempontból tűnt érdekes holdnak az Enceladus a Voyager szondák felvételein (5. ábra), amelyek szerint a hold egyik oldalán hiányoznak a kráterek. A megszokott, kráterekkel borított felszín helyett a kép bal oldala inkább jégtáblákra, rianásokra emlékeztet.

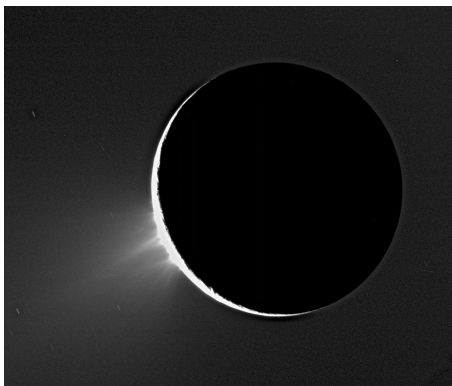
A mintegy 500 km átmérőjű Enceladus közel gömb alakja arra utal, hogy valaha az égitest olvadt állapotban volt, de geológiai aktivitást napjainkban már nem várunk tőle. Ezért volt meglepő, a Cassini űrszonda eddigi felfedezései között talán a legnagyobb, hogy az Enceladus déli sarkánál aktív kitorést figyeltek meg. A 6. ábra a felkelő Nap fényében szökőkutakra emlékeztető kisugárzásokat



mutat az Enceladusnál, a kiáramló anyag a hold átmérőjével összemérhető magasságig követhető a felvételen. Ezzel az Enceladus egy igen exkluzív társaság negyedik tagja lett. Ugyanis már négy olyan bolygótestről tudunk a Naprendszerben, amelyek anyagkilövelléssel járó aktivitást mutatnak. A Föld esetében közismert a vulkáni és gejzírtevékenység, amelyet a radioaktivitás keltette hő táplál energiával. A Jupiter Io holdján ként kilövellő vulkánok vannak, ott a hő forrása az óriásbolygó által keltett árapályfűtés. A Neptunusz Triton holdja is mutat gejzírzerű, néhány kilométer magasságig kiterjedő nitrogén- és porkilövelléseket. Az Enceladus most felfedezett „szökőkútjai” jégreszecskeket lövellnek ki. A jelenség magyarázata még nem ismert, de a lemezmozgások szerepet játszhatnak benne. Erre utal, hogy az infravörös felvételek szerint a lemezhatárok kb. 10 fokkal melegebbek a környezetüknél.

Az Enceladus aktivitásának felfedezése érdekes történet. A képalkotó kamerák helyett először egy másik műszer, a Cassini magnetométere jelezte gyenge légkör jelenlétét a hold környezetében. Az Enceladus 2005. január 16-i megközelítésekor a mágneses tér elhajlását észlelték, valamint olyan hullámokat detektáltak, amelyeket ionizált vízmolekulák idézhetnek elő. A felfedezést összefüggésbe hozták olyan Cassini-felvételekkel, amelyeken jégreszecskek kilövellésére utaló nyomokat találtak. A következő megközelítéskor már úgy irányították a kamerákat, és olyan expozíciós időket használtak, hogy a jelenség a legjobban észlelhető legyen.

A kilövellt jégzemcsék visszahullva az Enceladus felszínére folyamatosan friss „hóval” borítják be a holdat. Ez magyarázatot ad arra, miért az Enceladus a Naprendszer legnagyobb fényvisszaverő képességű égiteste (a napfény 90 %-át veri vissza). A szökőkutak felfedezése kapcsolódik a Szaturnusz E gyűrűje keletkezésének megértéséhez is. Az E gyűrű eltérő tulajdonságokat mutat a többi



6. ábra • Szökőkút az Enceladus déli sarkánál (NASA–JPL felvétele)

Szaturnusz-gyűrűhöz képest, mert nagyon apró porszemcséket és gázokat tartalmaz. A részecskék eredetére már korábban is számításba vették a gyűrű közelében keringő Enceladust mint forrást, ez a feltételezés most megerősítést nyert. Az E gyűrűt alkotó apró részecskék mozgásának modellezésében az RMKI munkatársa, Juhász Antal fontos eredményeket ért el.

#### *Összehasonlítás korábbi megfigyelésekkel*

A Cassini nem az első űrszonda, amely felkereste a Szaturnusz rendszerét. Érdeemes tehát elgondolkodnunk azon, hogy ez az új küldetés mennyiben nyújt jobb lehetőséget, előrelépést a korábbiakhoz képest.

A Cassini műszerparkja korszerűbb és jobb felbontást tesz lehetővé, mint a korábbi Pioneer-11 és Voyager-1, -2 szondáké. A Cassini szondán például radar is van. További előny, hogy a Cassini szondának alkalma adódik a tanulmányozott égitesteket közelebről is meglátogatni. Ebből a szempontból a legnagyobb előny a leszállás a Titánon. Továbbá a Szaturnusz körüli keringés lehetőséget kínál ismételt megfigyelésekre, ezzel időbeli változásokat tanulmányozhatunk, illetve megállapíthatjuk, mely események tekinthetők átlagosnak, tipikusnak és melyek a szokásostól jelentősen eltérőek. Az

időbeli változásoknál maradva azonban a korábbi megfigyelések is rendkívül hasznosak, az összehasonlítás velük nagyon fontos. A hosszú idejű változások oka közül kettő lehet érdekes: a naptevékenység tizenegy éves ciklusa, és a Szaturnusz harmincéves keringése. Az előbbi a napszél paramétereiben fontos, ami befolyásolhatja a Szaturnusz plazmakörnyezetét. Az utóbbi a gyűrűket

megvilágító napsugarak beesési szöge miatt lehet érdekes. Ahogy azt Christiaan Huygens már 350 évvel ezelőtt lerajzolta (1. ábra).

Visszatérve a jelenbe, bízhatunk benne, hogy a Cassini misszió tartogat még meglepetéseket számunkra.

---

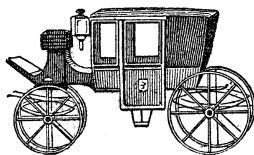
Kulcsszavak: *csillagászat, űrfizika, Szaturnusz, Titán*

---

#### IRODALOM

- Dougherty, Michele K. et al., incl. Erdős, G. (2005). Cassini Magnetometer Observations During Saturn Orbit Insertion. *Science*. **307**, 1266–1270.
- Szegő Károly–Bebesi Z(s). – Erdős G. – Földy L. et al. (2005). The Global Plasma Environment of Titan as Observed by Cassini Plasma Spec-

- trometer during the First Two Close Encounters with Titan. *Geophysical Research Letters*. **32**, DOI:10.1029/2005GL022646
- Young, David T. et al., incl. Bebesi Zsófia, Szegő Károly (2005). Composition and Dynamics of Plasma in Saturn's Magnetosphere. *Science*. **307**, 1262–1266.



# AZ ÜSTÖKÖSÖK FIZIKUS SZEMMEL

Szegő Károly

a fizikai tudomány doktora

KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet

szego@mki.kfki.hu

Az üstökösök látványos égi vándorok, az égbolt „politikusai”: parányok, a semmiből jönnek, fantasztikus látványt nyújtanak, amikor a Nap fényében sütkeznek; majd megint eltűnnek a semmibe. Persze a csillagászokat nagyon is érdekli, mi is az a semmi, amiből jönnek, hogyan, mikor keletkeztek, egyformák-e vagy különbözőek, hol raktározódnak, tényleg a Naprendszer őanyagát hordozzák-e, milyen anyagokból állnak és így tovább. (Nagyon jó ismertetés jelent meg ezekről Tóth Imre tollából [Tóth, 2005].) A fizikusok (köztük e sorok írója) leginkább arra szeretnének választ kapni, hogyan működnek. Miért és hogyan áramlik ki e testcskékből rengeteg anyag, megváltoztatva a szemmel látható, de a szemmel nem érzékelhető környezetét is, milyen a mozgásuk (forgásuk és haladásuk)? De ezekkel össz-szefüggésben számos más kérdés is válaszra vár, például az (amelyre itt nem térünk ki), hogy mennyiben hasonló/eltérő a Szaturnusz jeges gyűrűjéből az anyagkiáramlás mechanizmusa, és vannak-e további hasonló anyagkiáramlások a Naprendszerben.

Az üstökösök működésének talán a legfontosabb megnyilvánulása, hogy anyagot bocsátanak ki magukból. Egy átlagos üstökös esetében, amely a Napot legalább annyira megközelíti, mint amilyen messze a Föld van a Naptól, a felszín akár öt méterrel is lejjebb kerülhet a teljes pálya napközeli szakaszán való végighaladás során. Ez teszi feltűnővé az üstökösöket, a látványos *csóva*, a *magot*

eltakaráó kiterjedt *kóma*. Ennek szemmel láthatatlan részét a magból kiáramló *gáz*, a látható részét a magból kiáramló *por* alkotja. A por a napfény nyomásának hatására parabolapályára áll, és létrehozza az üstökös porcsóváját. A kóma az üstökös „légköre”, de mivel az üstökös kicsiny, a kóma részecskéinek sebessége legnagyobb részt túllépi a szökési sebességet. Fényessége sok esetben még szabad szemmel is szerkezetet mutat, ezt korábban úgy értelmezték, hogy az üstökösök felszínén kráterszerű aktív területek találhatók. De épp amiatt, hogy a mag a Földről nem vizsgálható, közelről kell megvizsgálni a felszíni anyag szerkezetét, az anyagkibocsátás és a felszíni struktúrák kapcsolatát, mintát kell venni az üstökös anyagából, és azt pontos analízisnek kell alávetni. (Illik pontosítani, hogy modern módszerekkel, a Föld körül keringő nagy űrteleszkópok segítségével a mag megfigyelhető, és rádiócsillagászati megfigyelésekből is vissza lehet következtetni a mag tulajdonságaira; e tekintetben ismét Tóth Imre fentebb említett cikkére utalunk.)

## *A Halley és társai közelről*

Az üstökösök vizsgálata űrszondák segítségével nem egyszerű; csak a múlt század nyolcvanas éveiben tette lehetővé a technika, hogy egy üstököshöz, a Halley-üstököshöz űrszondák induljanak. Akkor még csak azt lehetett biztosítani, hogy a szondák elszárgulldjanak a Halley magja mellett. E misszió

jelentőségét jól mutatja, hogy a világ csaknem valamennyi jelentős űrügynöksége (a NASA kivételével) űrszondát küldött a Halleyhez. A NASA ehelyett egy korábbi szondáját irányította ez idő tájt a Giacobini–Zinner-üstököshöz. 1986-ban találkozott a VEGA-1 és VEGA-2 Interkozmosz szonda, az Európai Űrügynökség Giotto nevű szondája és a Japán Űrügynökség Szakigake és Szuiszei szondái a látványos Halley-üstökössel. A Giotto szonda pályája azt is megengedte, hogy még a Grigg–Skjellerup-üstökös mellett is elhaladjon később. E kutatások megerősítették, hogy az üstökös alapjában véve egy „piszkos hógolyó”, zömmel jégbe fagyott porszemcsékből áll. Azt azonban nem várta senki, hogy alakja nagyon szabálytalan és a felszíne nagyon sötét. A világon az első képet a magról a magyar-orosz–francia együttműködésben készült televíziós rendszer közvetítette a Földre, ebben az akkori KFKI munkatársainak volt meghatározó szerepük, napokkal később a Giotto szonda is lefényképezte a magot. E szondák nagy távolságban száguldottak el a magtól, mintegy 75 km/s sebességgel. E missziók során megszerzett számos új ismeret újabb problémákat is felvetett, mert az üstökösök közeli képeiről szerzett adatokat nem mindig lehetett összeegyeztetni a korábbi földi megfigyelések alapján kialakított képpel.

Az üstökös kutatás jelentősége miatt került előtérbe a nagy űrügynökségek programjaiban, hogy további szondákat kell üstökösökhöz küldeni. A NASA 1998. október 28-án bocsátotta fel a Deep Space 1-et, amely 2001 szeptemberében nagyon részletes képet továbbított a Borrelly-üstökös magjáról. A Contour misszió több üstököst keresett volna fel, de egy műszaki hiba miatt a szonda elveszett. 1997. február 7-én állt pályára a Stardust szonda, amely 2004-ben lefényképezte a Wild-2 üstökösöt, és átrepülve az üstökös kómáján, anyagneműt gyűjtött, ezt 2006-ban hozta vissza a Földre. A Deep Impact nevű NASA szonda lövedé-

ket lőtt a Tempel-1 üstökösbe, hogy így a kikerülő anyag mennyiségét, tulajdonságait lehessen vizsgálni.

Az Európai Űrügynökség Rosetta missziója során fog az első ember készítette jármű leszállni egy üstökösre. A misszió célja eredetileg a Wirtanen-üstökös lett volna; az Ariane hordozórakéta hibája miatt azonban nem tudták a tervezett időpontban, 2002 januárjában felbocsátani. A késés miatt a Wirtanen már nem elérhető, ezért más céltárgyat kellett keresni. A választás a Csurjumov–Geraszimenko-üstökösre esett (egy magyar csillagász is részt vett ennek felkutatásában a Hubble-űrteleszkóp segítségével), de a randevű időpontja a 2004. februárra tervezett start ellenére kitolódott, a szonda csak 2014 augusztusában közelíti meg új célját, az eredetitől eltérő pályán, mintegy három csillagászati egység távolságra a Naptól. Az utazás során a szonda három alkalommal közelíti meg a Földet (2005-ben, 2007-ben és 2009-ben), minden alkalommal energiát nyerve a Föld gravitációs teréből, 2007-ben pedig a Mars mellett elrepülve kap energiát a vörös bolygótól. A tervek szerint az út során két aszteroidával is találkozni fog: a 2867 Steinnel 2008. szeptember 5-én és a 21 Lutetiával 2010. július 10-én.

#### *Megfigyelések, modellek, magyarázatok*

Visszatérve az anyagkibocsátás kérdésére, ennek megértéséhez számos elemet kell tisztázni. A kibocsátott anyag részben gáz, részben por. A port a gáz ragadja magával, de gázkibocsátást porkomponens nélkül is megfigyeltek. Ez azt jelentheti, hogy a felszín szerkezete és összetétele változó. Fontos megérteni, honnan van energia az anyagkibocsátáshoz, milyen lehet az a felszín, ami az üstökös folyamatos anyagvesztését lehetővé teszi. A *folyamatos* szón itt nagy hangsúly van, hiszen rövid idejű anyagkilövellést sokkal könnyebb modellezni. Az alábbiakban részletesen elemezzük az itt felsoroltakat.

Kezdjük az energiaháztartással. Az üstökösök aktivitása erős függvénye a Naptól való távolságnak, nyilvánvalóan az energia elsődleges forrása a Nap fénye. Megfigyeltek azonban aktivitást olyan távoli üstökösök esetében is, amelyeknél a napenergia nem elégséges a megfigyelt jelenség magyarázatához. Felmerült ezért másfajta energiaforrás lehetősége is. Az üstökösök túl kicsik ahhoz, hogy belsejük geológiailag aktív lehessen. Nem lehet azonban kizárni, hogy keletkezésük során radioaktív anyagok halmozódhattak fel az üstökösök belsejében, és ezek bomlása során energia szabadulhat fel; elsősorban az alumínium egyik izotópja került gyanúba. A részletesebb analízis szerint ennek a folyamatnak a valószínűsége elhanyagolható. Szabálytalan testek esetében egy nagyobb test melletti elhaladás során árapályhatás melegíthetné az üstököst. Ez valóban előfordulhat, de ilyen találkozás ritka, és a disszipálódott energia kicsi. Termelhet energiát például fázisátalakulás is (a jég egyik fázisából egy másikba való átmenet), ez egyelőre elvi lehetőség. Tény azonban, hogy a Naptól távol levő üstökösök időnkénti látványos aktivitása megfigyelhető, de az energia forrása nem ismert.

Szorítkozzunk továbbiakban annak vizsgálatára, mi történik a Naptól származó energiával. Egy része a felszín fényvisszaverő hatása miatt visszakerül a világűrbe. Az üstökösök esetében átlagosan 4 %-nyi energia verődik vissza. Mivel a Nap melegíti is a felszínt, a feketetest sugárzásának (Stefan–Boltzmann-) törvénye szerint a beérkező energia egy további része szintén kisugárzódik a világűrbe. Az egy adott felületelem által elnyelt hő melegíti a felszínt, hővezetés útján melegíti az üstökös belsejét és a szomszédos felszíni felületelemeket, valamint az üstökös szilárd anyagából valamilyen mechanizmus útján gázt és port szabadít fel. (A gáz és a por kinetikus energiájára másodpercenként a beérkező napfény energiájának néhány

százalékát kell fordítani.) Ahhoz, hogy mindezt kvantitatíve is vizsgálni tudjuk, ismernünk kellene a felszín anyagát, pontosabban, valamennyi számítás a felszínről kialakított modellel kezdődik. A felszínről viszont alig rendelkezünk ismeretekkel, ezért a modelleknek igen széles köre található az irodalomban.

A csillagászati megfigyelések azt valószínűsítik, hogy az üstökös felszínét szilárd anyagszemcsékkel kevert fagyott gázok borítják; a fagyott gázok a napfény hatására szublimálnak, magukkal ragadva porszemcséket. Ezt az elképzelést Fred L. Whipple (1906–2004) amerikai csillagász dolgozta ki a múlt század ötvenes éveiben, ezért hívják az üstökösöket szemléletesen „piszkos hógolyóknak”. A földi megfigyelések azt is mutatták, hogy az üstökösök kómájának fénye egyenetlen. Ezt a korai elképzelések azzal magyarázták, hogy a nagyjából gömb-szerű üstökösök felszínének összetétele változó, helyenként több, más helyeken kevesebb jég található (vagy egyáltalán nincs jég), ezért változó mennyiségű anyag áramlik ki a különböző helyekről. E kép szerint a felszín egyes részei csak egy ideig képesek gáz kibocsátásra, mert elfogy a jég; de az anyagvesztés miatt a kigázósodott felszín beszakad, és kezdődik minden előlről.

Ezt az egyszerű, kvalitatív képet azonban a részletes számítások nem támasztják alá. Először is, nem csak egyfajta gáz távozik el az üstökösökből, a legnagyobb mennyiségben található víz mellett a szén-monoxid kibocsátása is jelentős, főképp a Naptól távol és az éjszakai oldalon. E kétfajta jég szublimálási hőmérséklete eltérő, ezért e kétfajta gáz csak akkor modellezhető, ha a szén-monoxid mélyebb rétegekben található. De ekkor már valamiféle porózus felszíni anyagot kell feltételezni, meglehetősen bonyolult hővezetési mechanizmusokkal. Felmerült az a gondolat is, hogy a felszínt jég borítja, és a napfény a jégen áthaladva, a mélyebb rétegekben nyelődik el, kicsit hasonlóan

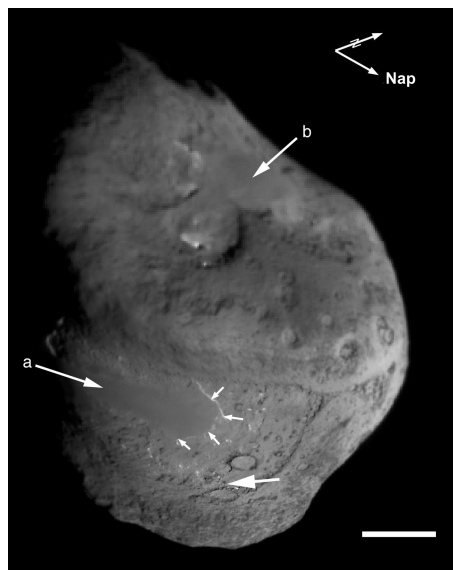
ahhoz, ami a gleccsereknél lezajlik. Ez a modell némileg másfajta anyagkibocsátást eredményez, de ennek további részleteivel itt nem foglalkozunk.

Még ha a legegyszerűbb felszíni modellt is vesszük: jégbe fagyott porszemcséket, akkor az aktivitást a következőképp modellezik: a jég a napfény hatására szublimál, kiáramlik és magával ragadja azokat a porszemcséket, amiket tud. De mi történik a nagyobb porszemcsékkel? Egy ilyen modell esetében a felszín hamar kigázosodik, és egy nagyszemcséjű, porral borított, inaktív felszíni réteg alakul ki. A folyamatos működéshez valamit még fel kell tételezni, például azt, hogy a por igen törekeny. Ezt a képet magyar kutatók dolgozták ki, és egyszerűsége ellenére jól modellezi az üstökösök hosszú időskálájú fényességváltozásait is. Van persze erre más magyarázat is.

Meglepő volt azonban, hogy az üstökösöket közről fényképező űrszondák képein ritkán van nyomuk a felszíni anyagkitöréseknek. A Halley-üstökös esetében a Giotto közeli képei esetében a legfényesebb pont a felszíntől távolabb volt. Sok üstökös esetében a kóma nagyléptékben elég egyforma, fényesebb struktúrákat csak specifikus képfeldolgozási eljárásokkal lehet feltámi. Ez azt valószínűsíti, hogy az üstökösök aktivitása talán a felszín minden darabkáján alapján véve egyforma (eltérést csak a napfény be-esési iránya okoz).

A numerikus módszerek fejlődése egy másik meglepetést eredményezett. Már 1986-ban kimutatta egy japán kutató, hogy ha az üstökös felszínén egymás közelében két anyagforrás lenne, akkor a por nem a két kilövellés tartományában a legsűrűbb, hanem a két kilövellés között, ahol egyébként gázkiáramlás nincs is. Ezt a későbbi számítások is megerősítették. Ez arra irányította a figyelmet, hogy a porsűrűsödések nem a gáz mozgását követik, hanem a gázok mozgása során kialakuló egyenetlenségeket, azaz a

porsűrűsödések nem a gázkitörések helyének indikátorai. Jól ismert az a tény is, hogy amikor szélcsatornában vizsgálják autók, repülőgépek körül kialakuló áramlás szerkezetét, akkor ezt elsősorban a testek alakja határozza meg. Ennek analógiájára merült fel az a gondolat, hogy az üstökösök környezetében megfigyelt porstruktúrákat is a mag szabálytalan alakja okozza. Kipróbálták ezt egy háromdimenziós gázdinamikai modellel a Halley-üstökös esetében, felhasználva azt a magmodellt, amit a VEGA szondák képe alapján számítottak ki (e munkákban e sorok írója is részt vett), azt feltételezve, hogy a felszín aktivitása egyébként egyforma. Meglepő módon a számítások jól reprodukálták az űrszondák által megfigyelt porszerkezetet. Azaz az üstökösökből kiáramló gáz



1. ábra • A Tempel-1 üstökös képe, 5 m-es felbontásban a Deep Impact felvételei alapján. (Az a és b nyilak két nagy, sima tartományt mutatnak. A fehér vonal hossza a kép alján 1 km. A harmadik nyíl a becsapódás helye.) A kép a NASA [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/deepimpact/multimedia/addscolor90605.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/deepimpact/multimedia/addscolor90605.html) webhelyéről származik.

teljesen meglepő, nem várt helyeken is eredményezhet porsűrűsödéseket.

A kiáramló anyag a rakétaelv szerint kimozdítja az üstökösöket gravitációs pályájukról, és elvben modellezhetőek az üstökösre ható nem-gravitációs erők is. Kihatnak ezek természetesen a forgó mozgásra is. E számításokat azonban mérésekkel még nem sikerült egybevetni.

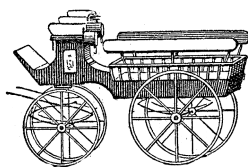
Az üstökösből kiáramló anyag mozgását sem egyszerű vizsgálni. A felszínről leváló porszemcsék feltehetően még jeget tartalmaznak, ezért kis rakétákhoz hasonlóan mozognak. A por és a gáz kölcsönhatása sem feltétlenül követi a rugalmas ütközések egyszerű mechanikáját, a gáz nyilvánvalóan forgatja is a porszemcséket, és az ütközés könnyen lehet rugalmatlan. A kiáramló gáz lehűl, előfordulhat tehát, hogy jégzemcsék keletkeznek, majd ezek később elpárolognak. A kiáramló porszemcsék porlódhatnak, ezek a variációk a részletek tekintetében nagyon eltérő mozgásokat eredményeznek.

Nem említettük még a felszín esetleges hőtehetetlenségét. Egy adott felszínről „délben” vagy kicsit később áramlik-e ki a legtöbb anyag? Van-e kiáramlás az éjszakai oldalon? Ez utóbbira igenlő a válasz, csak ekkor nem a felszíni, hanem a felszín alatti gázok szublimációja a meghatározó, de ezek mennyisége nem feltétlenül képes port felemelni a felszínről. Megannyi kérdés, amelyekre ma még nincs pontos válasz.

A felszín működésének eltérő modelljei között a Deep Impact misszió eredményei talán kiválasztják a legjobbat (legjobbakat). E misszió során kaptuk a legrészletesebb képet a felszínről, és az üstökösbe fűrődött lövedék keltette anyagkilövellés is sokat el fog árulni az üstökösök működéséről (1. ábra). Az adatfeldolgozás azonban még tart, noha az első eredményeket 2005 elején publikálták, a részletes eredményekre még vámi kell.

Kulcsszavak: *kóma, szublimáció, üstökös, üstökösaktivitás, üstökösrag, üstökösszonda*

**IRODALOM** • Tóth Imre (2005): Mekkora az üstökösragok? Fizikai Szemle. 12, 433–441.



# EXOBOLYGÓK

Szatmáry Károly

a fizikai tudomány kandidátusa, habil. egyetemi docens,  
Szegedi Tudományegyetem Kísérleti Fizika Tanszék  
k.szatmary@physx.u-szeged.hu

1995-ben fedezték fel el az első, Napunkhoz hasonló csillag (51 Pegasi) körül keringő bolygót. Az ismert exobolygók, más néven extraszoláris bolygók száma rohamosan növekszik, 2006 közepén már 194 volt. 166 csillag körül található, 20 csillagnak több bolygója is van (Schneider, 2006). A korábbi eredményekről számos magyar nyelvű cikk is született (Szatmáry, 1997, 2006).

Ez a szakterület a csillagászati kutatások élvonalába tartozik, és nagyon gyorsan fejlődik. Százával jelennek meg publikációk, melyekben nemcsak a bolygók keresésének módszereiről, eredményeiről, hanem az idegen bolygók keringésének, pályastabilitásának, esetleges holdjainak égi mechanikai elemzéséről, feltételezett légkörük összetételéről, az ottani időjárásról, sőt az élet kialakulásának lehetőségéről is olvashatunk.

Az exobolygók felfedezésének hatására a csillagok és bolygórendszerek kialakulásának és fejlődésének tanulmányozása új lendületet vett. Sok meglepő eredmény született. Korábban úgy gondoltuk, hogy Naprendszerünk tipikus szerkezetű, de kiderült, hogy a bolygórendszerek sokfélék lehetnek. Közeliről – sajnos – még sokáig nem tanulmányozhatjuk őket, de a legújabb megfigyelések sok információval szolgálnak róluk.

## *Barna törpék és óriásbolygók*

Nehéz éles vonalat húzni a törpecsillagok és a nagy bolygók között. Az égitestek belsejére vonatkozó elméleti modellek szerint a magjukban hidrogénfúzióval energiát ter-

melő csillagok alsó tömeghatára (vörös törpék)  $0,075\text{--}0,080 M_{\odot}$  (Nap-tömeg) azaz  $75\text{--}80$  Jupiter-tömeg. E határ alatt találjuk a barna (infravörös) törpéket, amelyek közül a nagyobb és fiatalabb égitestekben még lehetséges a deutériumfúzió, de a kisebbekben nem, mert alacsony a magbeli hőmérsékletük. Óriásbolygóknak csak a  $13$  (néha  $15\text{--}17$ ) Jupiter-tömeg alatti égitesteket tekintik. Ezek mérete nem nagyobb, mint  $0,2$  napátmérő, vagyis a Jupiter kétszerese.

Barna törpét már sokat találtak. Lehetséges, hogy a ma bolygóként nyilvántartott égitestek egy része is valójában barna törpe, ugyanis tömegüknek csak az alsó határértékét tudjuk meghatározni, ha nem ismerjük keringési pályájuk térbeli helyzetét.

## *Az exobolygók felfedezésének módszerei*

Igazi kihívás egy távoli csillag körül egy nála sokkal kisebb és halványabb égitest jelenlétét kimutatni. A csillagászoknak igencsak tönni kell a fejüket, hogy milyen lehetőségeket kínál erre a jelenlegi megfigyelési technika. Az a tény, hogy már majdnem kétszáz bolygót sikerült találni, nagyrészt annak köszönhető, hogy az utóbbi években számos speciális eljárást fejlesztettek ki erre a célra. A módszereket többféle módon csoportosíthatjuk. A bolygó észlelése történhet közvetlen megfigyeléssel vagy a bolygó jelenlétére utaló közvetett méréssel.

### *Közvetlen módszerek*

- Látszik a bolygó a csillag mellett: pl. úrtávcsöves felvételeken, főleg infravörösben.



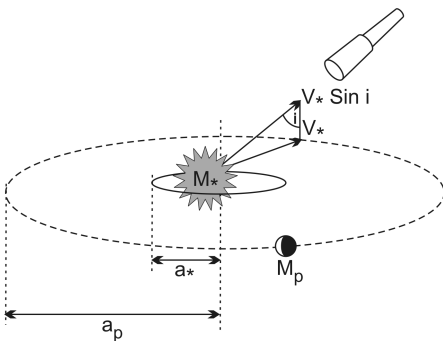
- Infravörös többletsugárzás: a bolygó hőmérsékleti sugárzása hozzáadódik a csillagéhoz.

*Közvetett módszerek:*

- *Spektroszkópia – radiális sebesség:* a keringő bolygó gravitációs hatására a csillag színképvonalai Doppler-eltolódást mutatnak (1. ábra).
- *Asztrometria:* a keringő bolygó gravitációs hatására a csillag sajátmozgása hullám-szerű az éggömbön.
- *Fotometria – átvonulás (tranzit):* a csillag fényessége lecsökken, ha a bolygója áthalad előtte és részben elfedi.
- *Pulzárjelek modulációja:* a keringő bolygó gravitációs hatására a pulzárjelek frekvenciája periodikusan változik.
- *Gravitációs lencse-hatás:* a csillag és bolygója kettős lencseként viselkedik.
- *Gravitációs perturbáló hatás:* a bolygó gravitációs hatása kimutatható a csillag körüli anyagkorongban.
- *Spektroszkópia – Doppler-leképezés:* a csillag színképvonalainak alakja megváltozik, ha a bolygó elfedi felszínének egy részét.

Egy másik osztályozás a bolygó kimutatható gravitációs hatása vagy a központi csillagról érkező fény fizikai jellemzőit megváltoztató (fotonikai) hatása szerint csoportosít.

*Gravitációs hatáson alapuló módszerek:*



1. ábra • Egy csillag látóirányú (radiális) sebessége változik, ha van bolygója.

- *Radiális sebesség változása:* A bolygó és a csillag a rendszer közös tömegközéppontja körül kering, ezért a csillag látóirányú sebessége változik, így a Doppler-effektusnak megfelelően a színképvonalak hullámhossza periodikusan eltolódik, közeledéskor a kék, távolodáskor a vörös irányba (1. ábra). A mai méréstechnikával már egészen kis hullámhosszváltozásokat ki lehet mutatni: a sebességmérés pontossága 3–10 m/s, ez még kb. 1 m/s-ig javítható. A Naptömegközéppontjának mozgásában a Jupiter 12,5 m/s, a Föld 0,1 m/s sebesség-ingadozást okoz.

- *Asztrometria:* A csillagnak a bolygója miatti elmozdulása az égbolton esetleg mérhető a háttércsillagokhoz képest. Ha a Napunkat a bolygók pályasíkjára merőleges irányból, 10 parszek (33 fényév) távolságból néznénk, a Jupiter mintegy 100 milliomod, a Föld csak 0,3 milliomod ívmásodperc elmozdulást okozna. A Hipparcos műhold mérési pontossága kb. ezred ívmásodperc volt, ezért nem tudott Jupiter-szerű bolygók felfedezni. A jövő milliomod ívmásodperc pontosságú asztrometriai űrmisszióinak (GAIA, SIM) segítségével már sokkal nagyobb lesz az esély akár Föld típusú bolygók kimutatására is.

- *Átvonulás (tranzit):* Ha egy csillag bolygójának pályasíkjá látóirányunkhoz közeli, keringése során részleges „csillagfogyatkozás” figyelhető meg, amikor a csillag fénye periodikusan kissé elhalványodik (2. ábra).

- *Pulzárjelek modulációja:* A pulzárak atomóra pontossággal egyenlő időközönként (0,01–1 s periódussal) rádióimpulzusokat sugároznak ki. Ha a pulzár hozzánk képest mozog, kering a bolygóval közös tömegközéppont körül, az impulzusok közötti időtartam – látszólag – periodikusan változik. Vol-

taképpen ez is Doppler-hatás, hiszen az impulzusok forrása felváltva közeledik, majd távolodik. Pulzárak jeleinek ilyen típusú modulációjából eddig két esetben következtek aránylag kicsi, néhány Föld-tömegű, sőt még kisebb bolygó léte. A PSR 1257+12 esetében három (esetleg négy) bolygó; a PSR B1620-26 esetében egy bolygó valószínűsíthető.

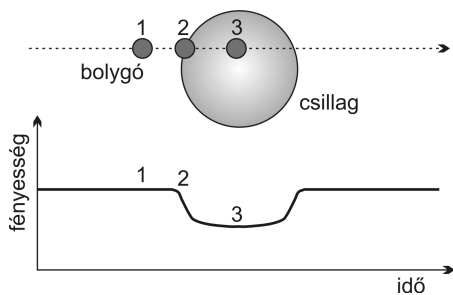
- *Gravitációs lencse-hatás:* Ha egy bolygó térbeli mozgása során a Földről nézve egy távoli csillag elé kerül, akkor tömegétől függően eltéríti, lencseként felerősíti ennek a háttércsillagnak fényét.
- *Anyagkorong deformációja:* Számos csillag körül olyan por- és gázkorongot sikerült kimutatni (főleg infravörösben), amelyből bolygórendszer születhet. Ha a korongban már kialakult egy nagyobb égitest, akkor annak gravitációs perturbáló hatása miatt a korong egyenetlen sűrűségeeloszlásúvá, aszimmetrikussá válhat. Ha a bolygó pályasíkjá és a korong síkja nem esik egybe, a korong eltorzul, a bolygó közelében a fősíkjától eltérül.

*Fotonikai hatáson alapuló módszerek:*

- *A látható és az infravörös fénycentrum elérése:* Ha egy csillag és bolygója fényét egybeolvadtan látjuk, a fényfolt legnagyobb intenzitású helye máshová esik a látható és az infravörös tartományban. A csillagnak ugyanis sokkal magasabb a

felszíni hőmérséklete, intenzitásmaximuma a látható fénybe esik, míg a hidegebb bolygó legerősebben az infravörösben sugároz. Persze ennek kimutatásához rendkívül jó felbontás kell, a földi 10 m-es Keck-teleszkópok (Hawaii), a VLT (Very Large Telescope, Chile) interferométere, illetve a Spitzer-űrteleszkóp hozhat megfelelő eredményeket.

- *Visszavert (reflektált) fény:* Egy csillag fénye a közelében keringő óriásbolygóról visszaverődhet, amit esetleg akkor is ki lehet mutatni, ha a két égitest térben nem látjuk különállónak.
- *Légkörön áthaladó fény:* Ha egy bolygó elhalad a csillaga előtt, akkor a bolygóléggör anyagának elnyelési színképvonalai ráakódnak a csillag színképére. Mivel a két spektrum eltérő jellegű, ebből a bolygó léteire lehet következtetni.
- *Sarki fény:* A sarki fény jelenségét a Naprendszerben a Jupiteren és a Szaturnuszon is megfigyelték. A sarki fény nem hőmérsékleti sugárzás, jellegzetes színképet mutató fényét a bolygó légkörének molekulái bocsátják ki. A molekulákat a központi csillagból kilövellt és a bolygó mágneses tere által a pólusok felé eltérített részecskék gerjesztik fénylésre. Az exobolygóknál ezt a fényt kis intenzitása miatt szinte reménytelen megfigyelni.
- *Rádiósugárzás:* A Jupiter és Io nevű holdja között az erős mágneses kölcsönhatás rádióhullámokat kelt. Hasonló jelenség exobolygóknál is elképzelhető, de a kis sugárzási intenzitás korlátokat szab a módszer alkalmazhatóságának.
- *Antropogén (civilizációs) hatások:* Elméletileg kimutatták, hogy a Földről a Napra lőtt nagyon erős lézerrimpulzus csillagunk rövid ideig tartó, enyhe kifényesedését okozhatja, ami más csillagokról is megfigyelhető lenne. Az emberiség küldött már irányított, kódolt rádióüzeneteket néhány csillaghalmaz felé. A rádió- és



2. ábra • Egy csillag fényességsökkenése a bolygó átvonulása során

tévémsorok által okozott „elektromágneses zaj” is kiszóródik a világűrbe. Ilyen hatások más civilizációk esetében is előfordulhatnak, így talán egyszer ezek alapján is felfedezhetünk egy bolygót.

- *Képalkotás koronográffal:* Egy csillagától aránylag távol elhelyezkedő óriásbolygó a látható fény tartományában működő úrtávcsövek képein észrevehető, ha a műszerben egy kis koronggal a csillag fényét sikerül kitakarni.
- *Interferometrikus képalkotás:* A világűrbe telepített infravörös interferométerek a tervek szerint akár Föld típusú bolygókat is kimutathatnak.

Az úrtávcsövektől azt várják, hogy az exobolygók spektrumát is rögzítve hamarosan a légkörük összetételére, az ottani időjárási viszonyokra is sikerül következtetni. Egész modellsorozatot készítettek arra vonatkozóan, hogy milyennek látnánk egy eljegesedett Föld, egy felforrósodott Föld, egy jelenlegi Föld, egy Vénusz vagy egy Mars típusú bolygó légkörének színeképét. A különféle molekulák elnyelési sávjainak felismerése az exobolygó-atmoszféra meghatározását is lehetővé tenné. Az esetleges élet feltételezéséhez indokot adhat, ha a Föld típusú exobolygó légkörében sok oxigént találunk, ugyanis a Földön az oxigénben gazdag (21 %) légkör kialakulása a fotoszintetizáló növények megjelenésének következménye volt.

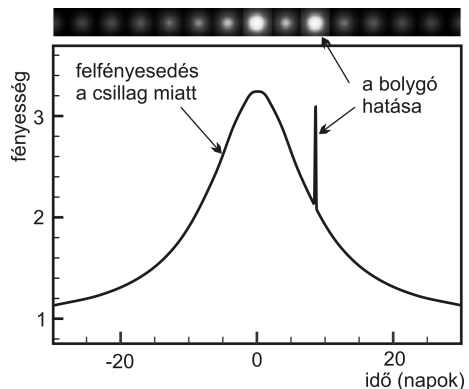
Bolygórendszerek keresésére az eddigi legsikeresebben alkalmazott módszer a csillagok színeképvonalainak vizsgálata, a radiális sebesség változásának mérése. Ilyen spektroszkópiai módszerrel gyakorlatilag folyamatosan figyelik a Naphoz hasonló, száz fényévnél közelebbi – mintegy 1200 – csillagot. A bolygórendszerrel körülvevő csillagok gyakorisága a becslések szerint 3–7 % lehet.

Újabban a Doppler-módszer mellett egyre fontosabb és sikeresebb az átvonulások figyelésén, illetve a gravitációs-lencse-hatáson alapuló keresési módszer.

### Fotometriai módszerek

A gravitációs mikrolencsét kereső programok a csillagokban gazdag égi területekről CCD-kamerával képeket készítenek, és azokat automatizált módon, számítógéppel feldolgozzák. A csillagok fényességét megméri, és keresik az időben változó fényességűeket. Ezek a programok kettős szerepet játszanak az exobolygók felfedezésében.

Az egyik a bolygók által okozott mikrolencse-jelenségek kutatása. Egy csillag fényessége látszólag megnövekedhet, ha látóirányához nagyon közel egy másik égitest halad el előtte. Az utóbbi, úgynevezett lencseobjektum – mivel tömege megváltoztatja a tér geometriáját – kissé elgörbíti a háttércsillagról érkező fénysugarakat, így arról több fény érkezik hozzánk. Ha a lencseobjektum olyan csillag, amely körül bolygó kering, akkor a csillag által okozott felfényesedés előtt vagy után a bolygó ugyanezen hatását is megfigyelhetjük, csak az a kisebb tömeg miatt rövidebb ideig tart (3. ábra). Gravitációs mikrolencseként viselkedve elvileg akár Föld típusú bolygók is felfedezhetők! Eddig azonban csupán négy esetben gyanítják, hogy megfigyelt többcsúcsú fényváltozásban bolygó is szerepet játszott (érdekes, hogy egyetlen bolygó több



3. ábra • Egy háttércsillag felfényesedése, ha elhalad közöttünk egy bolygós csillag.

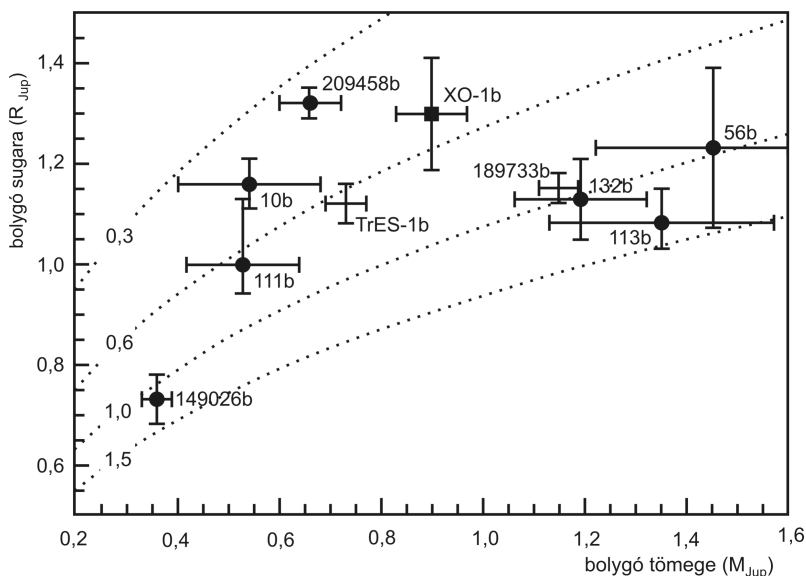
keskeny felfényesedést is okozhat). Ezek a következők: az OGLE235-MOA53b, egy 2,6 Jupiter-tömegű, az OGLE-05-0711b, egy 0,9 Jupiter-tömegű, az OGLE-05-1691b, egy 0,04 Jupiter-tömegű bolygó, a legkisebb pedig az OGLE-05-3901b, amelynek tömege csupán 3 és 11 Föld-tömeg közötti, legvalószínűbben 5,5 Föld-tömeg. Ez a planéta mintegy 2,1 CsE (csillagászati egység, azaz Nap–Föld középtávolság, 1 CsE=149,6 millió km) sugarú pályán, kb. tízéves periódussal kerül meg a vörös törpe anyacsillagát. A bolygón a becsült hőmérséklet  $-220^{\circ}\text{C}$ , azaz egy jeges, nagy, Föld típusú égitest lehet, az egyik legkisebb eddig ismert exobolygó. A rendszer 20 000 fényévre van tőlünk, a Tejútrendszer centruma közelében.

E megfigyelési programok másik fontos eredménye, hogy a rengeteg csillag fényességváltozásának mérésekor olyanokra bukkanhatnak, amelyeknek egy időre lecsökkenhet a fényessége. Ezt a jelenséget – a fedési kettőscsillagokhoz hasonlóan – az is okozhatja, hogy a csillag előtt átvonul egy má-

sik égitest és részben eltakarja. Az átvonulás idején fellépő jellegzetes elhalványodásból a csillag feltételezett sugarának felhasználásával kiszámolható a bolygó mérete (4. ábra). Akkor mondhatjuk, hogy a fénycsökkenést bolygó okozza, ha a jelenség egyforma időközönként többször megismétlődik, és így az átvonulások között eltelt idő megadja a bolygó keringési periódusát. Az OGLE-TR-56 csillagnál már több mint háromszázszor mutattak ki 1,2119 naponként bekövetkező, 0,014 magnitúdó nagyságú elhalványodást. A csillag hasonló a Naphoz, a bolygó sugara pedig 1,2 Jupiter-sugár. Ezek alapján egy csillagához rendkívül közel keringő forró óriásbolygót találtak.

A fedés miatti fényességcsökkenés mértéke függ:

- a csillag és a bolygó méretének arányától: annál jelentősebb a fényességváltozás, minél nagyobb az  $R_{\text{bolygó}}/R_{\text{csillag}}$  hányados;
- a csillag felszíni hőmérsékletétől: adott méretarány mellett minél hidegebb a csillag, annál kisebb a fényváltozás (5. ábra).



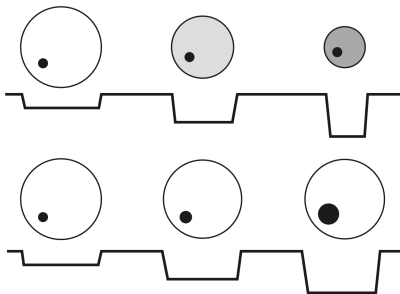
4. ábra • Transit-módszerrel felfedezett bolygók a tömeg–sugár-diagramon (a szaggatott vonalak az azonos átlagsűrűségeket jelzik  $\text{g}/\text{cm}^3$ -ben).

A változás általában csak néhány század vagy ezred magnitúdó, Föld típusú bolygók esetében pedig még kisebb, így az átvonulás-módszerrel kevés a remény arra, hogy Földünkhöz hasonló kísérőt találjunk. A fedés megfigyelhetőségének (geometriai) valószínűsége a csillag átmérőjének és a bolygó pálya méretének a hányadosával arányos.

A *másodlagos fedés* során a bolygó kerül a csillag mögé. Ilyenkor is csökken egy kicsit a rendszer összfényessége, különösen az infravörös tartományban, hiszen a bolygó főleg abban sugároz. A Spitzer-űrteleszkóppal sikerült kimutatni két, már korábban felfedezett *forró Jupiter típusú* exobolygó esetében ilyen fedést. Ezáltal pontosan meg lehetett határozni, hogy a bolygóknak mekkora a hőszugárzásuk, így a felszíni hőmérsékletük is jobban becsülhető.

A mikrolencsék kereső programok mellett világszerte (házánkban is) számos kisebb vagy közepes méretű távcsővel indítottak megfigyelési kampányokat az exobolygók fedéseinek kimutatására. Csillagokkal zsúfolt égitájakról készített CCD-felvételeken keresik a csillagok kismértékű elhalványodásait.

1999 júliusában a Hubble-űrtávcsővel 8 napon át vizsgálták a 47 Tucanae gömbhalmazt. Úgy becsülték, hogy a halmaz mintegy 34 000 fősorozati csillaga közül kb. 1 %-nak



5. ábra • A fedési fényváltozás időtartamának és mértékének függése a csillag típusától (fent) és a sugarak arányától (lent).

van rövid keringési periódusú bolygója, és ezek közül minden tizedik esetben a fedés a Földről is megfigyelhető. Így azt várták, hogy a megfigyelési időszakban ezer csillagonként legalább egy, azaz összesen 30–40 átvonulás lesz. Ezzel szemben egyetlen csillag fedési elhalványodását sem tapasztalták.

A 2400 fényév távolságra lévő NGC 2264 nyílthalmaz KH 15D jelű csillagánál 48,3 naponként fényességsökkenést találtak. A vizsgálatok szerint ennek az lehet az oka, hogy a csillag körül egy közel eléről látszó, törmelékkel álló anyagkorong van, és egy nagyobb darabokból (akár bolygókból) álló sűrűsödés rendszeresen elhalad a csillag előtt, lecsökkentve annak fényességét. Mivel a csillag becsült kora mindössze hárommillió év, kiváló objektum lehet a bolygórendszerek születésére vonatkozó elméletek ellenőrzéséhez. Számos más csillag körül is találtak hasonló anyagkorongot (például  $\beta$  Pictoris, Vega). Több esetben gyanítható, hogy a korongban már kering protobolygó, amely gravitációs hatásával eltorzítja a korong alakját.

Az *IRAS* infravörös űrtávcső 1983-ban végzett méréseiből is kiderült, hogy a Napnál forróbb zeta Leporis körül porban gazdag anyagkorong van. Az egyik Kecker-teleszkóppal végzett újabb vizsgálatok szerint a korong hőmérséklete magas: 350 K, és 2,5–6 CsE közötti távolságban helyezkedik el a csillag körül. A korongból folyamatosan portávozik, amit az elképzelések szerint az ottani kisbolygók ütközései során létrejövő törmelék pótol. Ilyen, Naprendszeren kívüli aszteroidaövezet már több csillag körül is találtak.

Az egyik legalaposabban tanulmányozott csillag, amelyhez bolygó is társul, a Naphoz hasonló, 153 fényévre lévő HD 209458 (bolygója már nevet is kapott: Osiris). Spektroszkópiai úton, a radiális sebesség méréseiből egy 0,69 Jupiter-tömegű bolygóra következtettek, amely majdnem körpályán, igen közel, 3,5 nap alatt kerül meg csillagát. Az ezután elvégzett fotometriai mérések is siker-

rel jártak, megerősítve a bolygó létét: a csillag fényességében 3,5 naponként bekövetkező, 0,017 magnitúdó nagyságú, háromórás időtartamú elhalványodást mértek, amely a bolygó átvonulásaival volt magyarázható. Sikertült a bolygó méretét is meghatározni (1,3 Jupiter-sugár), így az átlagsűrűsége csupán 0,4 g/cm<sup>3</sup>-nek adódott.

A bolygó felszíni hőmérsékletét a  $T = T^* (R^*/2a)^{1/2} (1-A)^{1/4}$  képlettel becsülhetjük meg, ahol  $T^*$  és  $R^*$  a csillag felszíni hőmérséklete és sugara,  $a$  a bolygópálya fél nagytengelye,  $A$  pedig a bolygó fényvisszaverő képessége, az albedó (a Jupiterre kb. 0,35). A HD 209458 bolygója mintegy 1100 fokos: micsoda felfűjódott forró, ritka gázgömb! A Hubble-űrtávcsővel egy ilyen átvonulás során felvették a rendszer színeképét. A csillag fénye ekkor áthalad a bolygó légkörén, és a két színekép összeadódik, így a bolygó légkör kémiai összetétele is tanulmányozható. Megállapították, hogy a vártnál kevesebb nátriumot tartalmaz.

A közelmúltban végre sikerült bolygót úgy felfedezni, hogy nem a közvetett hatásai alapján következtethettünk léteire, hanem közvetlenül, elkülönülten is látszik a csillaga mellett. A Hydra csillagképben, tőlünk mintegy 200 fényévre lévő *2M1207* jelű objektum fiatal barna törpe. A chilei VLT egyik 8 m-es távcsővével már 2004-ben azonosítottak a csillag mellett 0,78 ívmásodperc távolságra egy nála százszor halványabb égitestet. Azonban nem volt biztos, hogy valóban ösz-szetartoznak-e, vagy csak egy irányban látszó, de különböző távolságban elhelyezkedő két objektumról van szó. Az újabb pozíciómérések szerint együtt mozognak, így gravitációsan kötött rendszert alkotnak. A bolygó tömege a modellszámítások szerint 5 Jupiter-tömeg. A színképében vízmolekulák sávjai láthatók.

A *GQ Lupi* nagyon fiatal, alig kétmillió éves T Tauri típusú csillag, amely 400-500 fényév távolságra van tőlünk. Az előbbi

esethez hasonló módon sikerült kimutatni mellette 0,7 ívmásodperc, azaz kb. 100 CsE távolságban egy 6 magnitúdóval halványabb égitestet. Ez esetben is a két égitest együttes mozgása utalt arra, hogy összetartoznak, nem pedig csak látszólag, vetületben vannak egymáshoz közel. A kísérő a színeképe alapján kb. 2000 K hőmérsékletű, a víz és a szén-monoxid sávjait mutatja. Bár fizikai adatait még csak becsülni tudják, valószínűleg a bolygótömeg tartományba esik, és kétszer akkora átmérőjű lehet, mint a Jupiter. Keringési ideje legalább 1000 év. Hasonló technikával a 150 fényévre található fiatal csillag, az *AB Pictoris* mellett is felfedeztek egy kísérőt, amelynek tömege a becslések szerint 13-14 Jupiter-tömeg, azaz éppen az óriásbolygók és a barna törpék közötti határon van.

### Többes rendszerek

Különösen érdekes kérdések: hogyan alakulnak ki bolygók kettőscsillagok egyik komponense körül, illetve milyen hatást gyakorol a bolygók pályájára a kettős másik tagja? Másrészt a több bolygóból álló rendszereket összehasonlíthatjuk a Naprendszerrel: vajon mennyire általánosak a mi bolygórendszerünk tulajdonságai? A továbbiakban néhány ilyen különleges többes rendszert mutatunk be, amelyeket a Doppler-módszer segítségével fedeztek fel.

Az 51 fényévre lévő 47 UMa rendszere kissé hasonló a miénkhöz. Két bolygója 2,54 és 0,76 Jupiter-tömegű, ezek aránya 3,3, ami megegyezik a Jupiter–Szaturnusz tömegarányával. Csillaguktól 2,09, ill. 3,73 CsE távolságra keringenek, majdnem körpályán 3 és 7,1 éves periódussal. Elképzelhető, hogy további, Föld típusú bolygók is vannak a rendszerben, melyek kimutatásához az eddigi mérési pontosság nem volt elegendő. A rendszerben elméleti számítások szerint 1 és 1,9 CsE között egy közetbolygó pályája több milliárd éven át stabil lehet, annak ellenére, hogy az óriásokhoz közel keringene.

Az üpszilon Andromedae radiális sebességének változásából három bolygójára következtettek. A belső nagyon közel kering a csillagához, a második nagyjából a Vénusz és Föld közti távolságban, a harmadik a fő kisbolygóövezetnek megfelelő távolságban található. 1953-as, 1995-ös és 1998-as felvételek vizsgálatából kiderült, hogy az üpszilon And és a mellette lévő halvány vörös törpe együtt mozog, a környező csillagokhoz képest egyforma a sajátmozgásuk, így nagy valószínűséggel kettőscsillagot alkotnak.

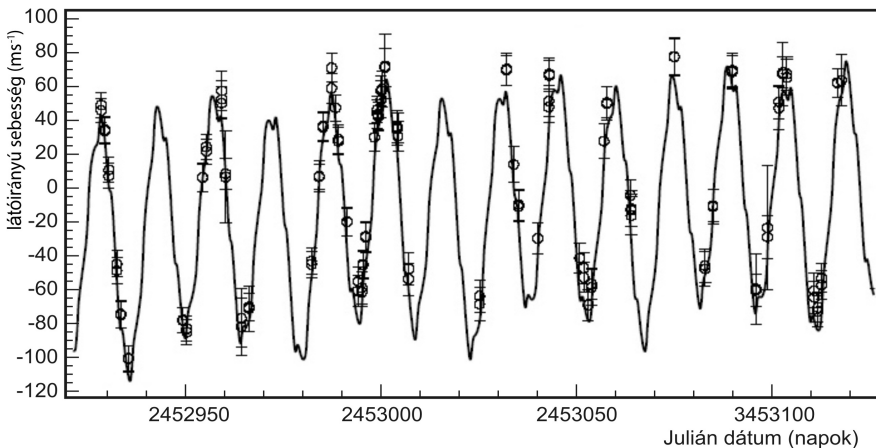
A HD 82943 két bolygója legalább 2 és 1,75 Jupiter-tömegű. Erősen elnyúlt, 0,75 és 1,19 CsE fél nagytengelyű pályán keringenek 219 és 441 nap periódussal. Mivel keringési idejük közel 1:2 rezonanciában van, az égi mechanika törvényei szerint erősen perturbálják egymást, azaz pályájuk hosszabb idő alatt jelentősen megváltozhat. A csillag színekéből kiderült, hogy légköre sok <sup>6</sup>Li-izotópot tartalmaz, ami szokatlan egy idős, Nap típusú csillagnál. Az egyik lehetséges magyarázat erre az lehet, hogy egy közeli, Jupiter típusú bolygóját már elnyelte, és annak anyagából került lítium a csillagra.

A HD 168443 csillagnak két hatalmas bolygója ismert: 7,2 és 17 Jupiter-tömegűek, 0,3 és 2,9 CsE fél nagytengelyű, elnyúlt ellipszispályán keringenek. A nagyobbikat tömege alapján a barna törpék közé is sorolhatjuk.

Az eddig felfedezettek közül a 41 fényévre lévő 55 Cancri rendszere hasonlít legjobban Naprendszerünkre. Négy bolygója rendre 0,045, 0,784, 0,217 és 3,92 Jupiter-tömegű, pályájuk fél nagytengelye 0,038, 0,115, 0,24 és 5,26 CsE, keringési idejük 2,81, 14,67, 43,93 és 4517 nap. Ez utóbbi a máig ismert legnagyobb exobolygó-pálya, mérete kissé meghaladja a Jupiterét is (6. ábra).

Sok kettőscsillagnál is fedeztek fel már bolygót. Ezek a rendszerek aránylag tágak, a két csillag egymástól távol kering a közös tömegközéppont körül, és a bolygók csak az egyikhez tartoznak. Kettőscsillag több bolygóval: 55 Cnc. Kettőscsillagok egy bolygóval: tau Boo, 16 Cyg B, 94 Cet, Gliese 86, HD 142, HD 80606, HD 89774, HD 114762, HD 178911B, HD 195019.

A McDonald Observatórium kutatócsoportja bolygót talált egy szoros kettőscsillagnál. A gamma Cephei fényes ( $V=3,2$  mag-



6. ábra • Az 55 Cnc csillag radiális sebességének változása.  
A folytonos vonal a négybolygós modell illesztése.

nitúdó), 45 fényévre lévő, a Napnál hidegebb csillag. Egy 1,59 Jupiter-tömegű bolygó 2,5 éves periódussal, 2 CsE távolságban kering körülötte. A kettőscsillag másik komponense valószínűleg egy vörös törpe, 74 éves periódusú, 25-30 CsE sugarú, igen lapult pályán, aránylag közel van hozzá.

Bakos Gáspár és munkatársai (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) kisméretű, automatizált távcsövekkel készítenek képeket az ég nagy részéről, exobolygófedések miatti fényváltozásokat keresve. A közelmúltban kimutatták, hogy az egyik ilyen csillag (HD 189733) valójában kettős rendszer. A közelében lévő vörös törpe csillag mintegy 3200 év alatt kerüli meg, a látóirányunkra majdnem merőleges síkban.

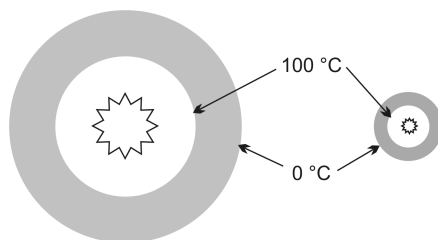
A HD 80606 radiális sebesség-görbéjének alakja nagyon eltér a szinusztól, fűrészfoghoz hasonló. Ebből arra következtettek, hogy a csillag (és egyben a bolygója is) rendkívül elnyúlt, 0,93 excentricitású pályán kering a közös tömegközéppont körül (Naprendszerünkben ez az üstökösökre jellemző). Idővel a relativisztikus pericentrum-vándorlás jelenségét is tanulmányozhatjuk ennél a bolygónál (a pálya tengelyének elfordulása annál nagyobb, minél kisebb a fél nagytengely és minél nagyobb az excentricitás).

Azióta Draconis nem Nap típusú, hanem a Napnál hidegebb óriáscsillag. A Dopplermódszerrel kimutatott, legalább 9 Jupiter-tömegű bolygója igen elnyúlt pályán, 1,5 éves periódussal kering körülötte. Az epsilon Eridani mindössze 10,5 fényévre van tőlünk, így Jupiter-tömegű bolygója az eddig talált legközelebbi exoplanéta. A bolygó 500 millió km-re kering csillagától, hétéves periódussal, igen excentrikus pályán. Talán úrtávcsövekkel hamarosan közvetlenül is észlelhető lesz.

A Gliese 876 (vagy GJ 876) jelű csillag 10 magnitúdó fényességű vörös törpe az Aquarius csillagképben, tőlünk 15,3 fényév távolságra. Tömege és mérete a Napénak harmada. Színképvonalainak periodikus eltolódásából álla-

pították meg 1998-ban, hogy egy legalább 2,1 Jupiter-tömegű bolygó kering körülötte, 61 napos periódussal. A sebességadatok számának gyarapodásával 2001-ben egy második, 0,56 Jupiter-tömegű bolygó hatását is sikerült kimutatni. Ennek keringési ideje majdnem pontosan a fele (30,3 nap) a nagyobbikénak. A két bolygó keringési ideje 2:1 arányú rezonanciában van, emiatt erősen befolyásolják, perturbálják egymás mozgását. Ennek vizsgálata során, 2005-ben fedezték fel, hogy a csillag sebességgörbéjét pontosabban lehet leírni, ha egy harmadik, kis amplitúdójú és rövid periódusú hullámot is hozzáadnak a két nagyobbhoz. A harmadik bolygó tömege 7,5 Föld-tömeg, becslült átmérője kétszerese a Földének. Ezáltal a legkisebb, bizonyosan Föld típusú bolygót sikerült felfedezni. Ilyen kis tömegű bolygókat eddig csak pulzárok körül találtak. A keringési ideje csupán 1,94 nap, a pálya sugara 3,15 millió km (0,021 CsE). Majdnem ötvenszer közelebb kering csillaga körül, mint a Föld a Nap körül, így nagyon forró lehet, a becslések szerint a felszínén 200-400 °C a hőmérséklet. A 2 és 10 Föld-tömeg közötti égitestek javasolt neve: *nagy Föld típusú bolygók* (Large Terrestrial Planets).

A vörös törpe mintegy hatszázszor kisebb fénytelsítményű, mint a Nap, ezért a körülötte lévő *élettér* vagy *lakható zóna* – ahol a víz folyékony állapotban megmaradhat – 0,06 és 0,22 CsE között van (7. ábra).



7. ábra • Egy forró, kék csillag és egy hidegebb, vörös törpe körüli élettér mérete.



Az új bolygó ennél beljebb kering, tehát túl forró a földi típusú élet számára. Amennyiben kötött a keringése, azaz mindig ugyanazt az oldalát fordítja a csillaga felé, a másik, éjszakai oldal viszont hideg, hacsak nincs számottevő légköre, amely valamelyest kiegyenlítheti a hőmérsékletet.

A Földhöz hasonló kőzetbolygók fém-ben gazdag csillagok körül fordulhatnak elő, hiszen a csillag és bolygói ugyanabból az ősi anyagfelhőből alakulnak ki. A Gliese 876 kis fénytartalmú (a csillagászatban fémnek nevezzük a héliumnál nehezebb kémiai elemeket), öreg csillag, korát 11 milliárd évre becsülik. Érdekes, hogy e vörös törpének mégis van legalább 3 bolygója. Ez a rendszer mintegy Naprendszerünk kicsinyített változata.

Az egyik kutatócsoport a Keck-teleszkópokkal 150 hasonló vörös törpe megfigyelését végzi. A tökéletesített szinképelemző készülékkel a korábbi 3 m/s helyett már 1 m/s pontossággal tudnak radiális sebességet mérni, így a közeljövőben több kis tömegű, Földhöz hasonló bolygót találhatnak.

### *Az exobolygók típusai*

A bolygókat sokféle szempont szerint osztályozzák. Az egyik lehetőség a csillaguk körüli pálya adatain, az ellipszis lapultságán (excentricitás), méretén és a keringési időn alapul. Egy csillag körül természetesen az itt felsoroltak közül egyidejűleg akár többféle típusú bolygó is keringhet.

1. *51 Pegasi típus* vagy *forró Jupiter*: majdnem kör alakú ( $e < 0,25$ ) kisméretű pálya, rövid keringési periódus ( $T < 88$  nap)
2. *HD 114762 típus*: nagy lapultságú ( $e > 0,25$ ) kisméretű pálya, rövid keringési periódus ( $T < 88$  nap)
3. *70 Virginis típus*: nagy lapultságú ( $e > 0,25$ ) nagyméretű pálya, hosszú keringési periódus ( $T > 88$  nap)
4. *Naprendszer típus*: majdnem kör alakú ( $e < 0,25$ ) nagyméretű pálya, hosszú keringési periódus ( $T > 88$  nap)

A csillagászok alaposan meglepődtek azon, hogy az exobolygók nagy része „forró Jupiter”, nagyon közel kering a csillagához. A legtöbb rendszer nem olyan felépítésű, mint Naprendszerünk (bár a Föld típusú bolygókat még nemigen tudjuk kimutatni). Újra kell gondolni a kialakulási elméleteket. A számítógépes szimulációk arra utalnak, hogy az óriásbolygók a csillaguktól távolabb jönnek létre, de az anyagkorongban keringve fékeződnek, és fokozatosan beljebb kerülnek (migráció). Vajon mi lesz a sorsuk? Stabilizálódik a pályájuk, vagy belezuhanak a csillagba? Van-e mód, hogy magát a becsapódást vagy következményét (például a csillag forgásában bekövetkező változást) kimutassuk?

Meg kell említenünk, hogy óriásbolygók nemcsak csillag körül jöhetnek létre, hanem csillagközi anyagban gazdag csillagképződési területeken, csillaghalmazokban közvetlenül, önmagukban is kialakulhatnak. A szigma Orionis közelében infravörös felvételeken tizennyolc magányos, bolygószerű égitestet fedeztek fel, melyek becsült tömege 5–15 Jupiter-tömeg, koruk pedig csak néhány millió év. Túl sokan vannak, így nem valószínű, hogy bolygórendszerekből szakadtak ki. Lehet, hogy Tejútrendszerünkben százmilliónyi hasonló égitest kóborol.

Az évek múlásával egyre hosszabb radiális sebesség-adatsorok állnak rendelkezésre. Akkor valószínűsíthető, hogy egy csillag sebessége a bolygójának hatására változik, ha legalább egy teljes ciklus, de inkább több látszik a sebességgörbén. Mivel a mérések csak 1995 körül kezdődtek, csak a közelmúltban vált lehetővé a hosszabb keringési periódusú, csillaguktól távolabbi, a mi Jupiterünkhöz hasonló bolygók kimutatása. Erre példa az 55 Cnc d, a 47 UMa c, illetve a Gliese 777A b.

Egy csillag bolygóit a csillag neve/katalógusszáma után *b*, *c*, *d* stb. kisbetűkkel jelölik, a keringési pálya növekvő mérete szerinti sorrendben. Ha a csillag kettős vagy

többes, maguk a csillagok gyakran az A, B, C stb. megjelölést kapják. Tehát a 16 Cyg B b a 16 Cyg kettőscsillag B komponensének a csillaghoz legközelebbi bolygója. A jelölérendszer körül még vitáznak, sok a javaslat, a végleges jelölés ettől eltérő is lehet.

### *Exoholdak*

Az óriási exobolygók körül keringő, akár Föld méretű holdakon is jelen lehet az élet. A holdak kimutatása azonban nagyon nehéz, eddig még egyet sem sikerült felfedezni. A *Szegedi Tudományegyetemen* csillagász oktatók és hallgatók egy csoportja vizsgálatokat kezdett arra vonatkozóan, hogy egy exobolygó esetleges holdját milyen hatásai alapján lehetne kimutatni (Szabó et al., 2006). Az egyik legesélyesebb módszer a fedések vizsgálata lenne. Egy eléggé nagy hold ugyanis modulációkat, hullámokat okozhat a bolygó átvonulása és másodlagos fedése során a fényességsökkenés görbéjén. Egy másik lehetőség azon alapul, hogy a bolygó és holdja közös tömegközéppont körül kering, és ennek a kettős rendszernek a tömegközéppontja mozog Kepler-pályán a csillag körül. A bolygó átvonulásainak és másodlagos fedéseinek az időpontja tehát kismértékben ingadozik, hiszen attól is függ, hogy a bolygó és a hold az adott időben éppen hogyan helyezkedik el egymáshoz képest. Ha egy exobolygó sugárzása közvetlenül is kimutatható, akkor a holdja által okozott esetleges fedések közvetlenül is mérhetők lennének.

Az itt felsorolt kicsiny hatások kimutatásához persze a csillag–bolygó–hold hármas rendszerek hosszabb időn át stabilnak kell lennie. Erre vonatkozó számításokat az *ELTE Csillagászati Tanszékének*égi mechanikával foglalkozó munkatársai is véghezvitték.

### *Űrcsillagászati eszközök*

Az ismert exobolygók számának ugrásszerű növekedését a közeljövőben felbocsátandó űrszondák méréseitől várhatjuk. A *COROT*

(*CONvection, ROTation and planetary Transits* – 2006) és a *Kepler* (2008) a fotometriai (tranzit) módszerrel keresi majd a csillaguk előtt átvonuló bolygókat. A 300 millió dolláros költségvetésű Kepler műhold a Földéhez hasonló pályára kerül a Nap körül. A Tejút csillagokban gazdag részén, a Cygnusban az égbolt nagy, 12 fok átmérőjű (nyújtott kézzel tenyérnyi) területét vizsgálja majd 95/140/140 cm-es Schmidt-távcsövével és hatalmas felületű, 42 db 2200×1024 képelemes (pixeles) CCD-t tartalmazó kamerájával. Négy éven át mintegy 100 000, 14 magnitúdónál fényesebb csillag fényességét méri meg 15 percenként, 0,0001 magnitúdós pontossággal.

Az amerikai tervek között szerepel a 2013-ban indítandó *JWST* (James Webb Space Telescope) 6,6 m tükörátmérőjű óriás űrtávcső, amely fontos szerepet kap az exobolygók kutatásában is.

A *GALIA* és a *SIM* misszió várhatóan nagy pontosságú asztrometriai pozícióméréseit már említettük. A *TPF-C* (Terrestrial Planet Finder Coronagraph) egyetlen nagy űrtávcső lesz, egy látható fényben működő koronagráf, ami a csillag kitakarásának módszerével működik majd. A *TPF-I* (NASA) és a *Darwin* (ESA) több 3–4 méteres teleszkópból álló rendszere az infravörös interferometriai képalkotás módszerével már Föld típusú bolygók felfedezését is lehetővé teszi majd.

Feltűnő, hogy az exobolygók nagy része a forró Jupiterek közé tartozik, a több bolygós rendszerek sem hasonlítanak a mi Naprendszerünkhöz. Azonban ez valószínűleg csak annak a következménye, hogy mai módszerek a csillagukhoz közeli óriásbolygók felfedezésére a legalkalmasabbak. Mivel a Doppler-módszer esetén legalább egy teljes keringési ciklus, a fedési módszernél legalább két átvonulás megfigyelése kell, a hosszabb periódusú bolygók kimutatásához több idő szükséges. A naprendszerbeli óriásokhoz hasonló, néhány évtizedes keringési

idejű kísérők megtalálásához hosszú évekig kell gyűjteni az adatokat. Ráadásul az ilyen, csillaguktól távolabb lévő bolygók felfedezése azért is nehezebb, mert az általuk okozott hatás kisebb mértékű.

Az igazán izgalmas eredmény a Föld típusú bolygók megtalálása lesz, hiszen az élet kialakulása, a civilizáció létrejötte az ilyen égitesteken valószínűbb. Számos elméleti vizsgálatot végeztek arra, hogy egy adott típusú csillag körül hol van az a lakható zóna (angolul: *habitable zone*), ahol a bolygón a víz folyékony állapotban lehet. Ez a zóna egy vörös törpe körül a csillaghoz közel helyezkedik el és keskeny, a forróbb csillagok körül pedig távolabbi és szélesebb. Persze egy bolygón az élet kialakulásának esélyeit nemcsak a csillagtól való távolság határozza meg, hanem sok más körülmény is. Az éghajlatot befolyásolja a bolygó légkörének vastagsága, összetétele, fényvisszaverő képessége; a pálya lapultsága, a forgástengely helyzete stb. is. A csillagról érkező fény mellett hőforrás lehet a bolygó anyagában végbemenő radioaktív bomlás vagy egy másik közeli égitest (például nagy hold) által okozott árapályfűtés.

Az infravörös tartományban érzékelő Spitzer-űrtávcsővel a közelmúltban acetilén- és ciánhidrogén-molekulák nyomaira bukkantak egy fiatal csillag körüli anyagkorongban, a Föld típusú bolygók keletkezési zónájában. Vizes környezetben ezekből kémiai

reakciók során a fehérjék és a DNS alapvető építőkövei jöhetnek létre!

A Spitzer legújabb mérései szerint bolygók kialakulására alkalmas anyagkorongok szinte minden csillagtípusnál előfordulnak. Mini- és mega-bolygórendszerek is létezhetnek. Egy piciny, csupán 8 Jupiter-tömegű, azaz bolygó méretű – ám csillagokhoz hasonlóan, önállóan létrejött – barna törpe körüli anyagkorongban jelenleg égitestek formálódhatnak. Ezeket inkább holdaknak tekinthetjük. A másik véglet: két nagy tömegű, forró hiperóriás csillag körül is porkorong található, melyben az infravörös színek alapján már bolygócsírák nyomaira leltek. Az R 66 és az R 126 a Nagy Magellán-felhőben van, 30 és 70 Nap-tömegűek, ezért néhány millió éves rövid életük végén szupernóvaként felrobbannak. Ha létre is jönnek bolygók körülöttük, nem sok idejük marad a fejlődésre, rajtuk egy esetleges élet evolúciójára.

Az exobolygók izgalmas témaköre kiváló lehetőséget ad a csillagászat oktatásában a komplex szemlélet fejlesztésére, hiszen a csillagászat szinte minden ágát alkalmazza, az égi mechanikától az asztrofizikáig. A bolygók, illetve az élet kialakulási esélyeinek vizsgálatához pedig planetológiai, geológiai, meteorológiai, fizikai, kémiai, biológiai vonatkozásokat is fel kell használni.

Kulcsszavak: *csillagászat, csillagok, bolygórendszerek, exobolygók, űrtávcsövek*

## IRODALOM

- Schneider, Jean (2006): The Extrasolar Planets Encyclopaedia, <http://exoplanet.eu>  
 Szabó M. Gy. – Szatmáry K. – Divéki Zs. – Simon A. (2006): Possibility of a Photometric Detection of "Exo-moons". *Astronomy and Astrophysics*. 450, 395–398.

- Szatmáry Károly (1997): Más bolygórendszerek, *Magyar Tudomány*. 3, 296–302.  
 Szatmáry Károly (2006): <http://astro.u-szeged.hu/ismeret/exo/extrasol.html>

## Tanulmány

# HUME *DIALÓGUS*-AINAK IDŐSZERŰSÉGE

Szalai Miklós

PhD, tudományos munkatárs, MTA Történettudományi Intézet  
szalaim@hotmail.com

Több mint kétszáz évvel születése után, idén végre – az Atlantisz Kiadó gondozásában – magyar nyelven is megjelenik David Hume híres posztumusz műve: a *Dialógusok a természetes vallásról*. A *Dialógusok* egyik mai kommentátora megkockáztatja azt az állítást, hogy Hume műve a *legfontosabb* könyv a vallásfilozófia történetében. Egy másik szakértő szerint pedig a leginkább végérvényes és legvilágosabb filozófiai kritika, amelyet valaha írtak. (O'Connor, 2001; Hurlbutt, 1965)

Ha ezek a megállapítások talán túlzottak is, a *Dialógusok* jelentőségének fényében mindenesetre érthetőek.

Hume legfontosabb hozzájárulása a filozófiához persze valószínűleg *nem* vallásfilozófiája, hanem ismeretelmélete. S vallásfilozófiai munkássága sem merül ki a *Dialógusok*-ban, hiszen kifejezetten vallásfilozófiai problémákról szól a *Vizsgálódás az emberi értelemről* XI. fejezete és a *The Natural History of Religion*, valamint a lélek halhatatlanságáról szóló esszé, s érintenek vallásfilozófiai problémákat az *Értekezés az emberi értelemről*, valamint a *History of England* is. Ennek ellenére a *Dialógusok*-nak az európai filozófiai gondolkodás fejlődésében betöltött döntő szerepe kétszébevonhatatlan.

Kantnak az istenbizonyítékokon és általában a spekulatív metafizikán gyakorolt bí-

rálata mellett a *Dialógusok* érvelésének volt a legdöntőbb szerepe abban, hogy a tizen-nyolcadik század óta az európai gondolkodásban – valószínűleg visszafordíthatatlan – változás ment végbe a vallással kapcsolatban. Hume és Immanuel Kant munkássága nyomán az európai gondolkodásban megrendült az a – Platónig és Arisztotelészig visszanyúló, de legalábbis az i. sz. IV. század óta csaknem általános – konszenzus, amelyet a „racionális” vagy „természetes” teizmus, illetve teológia konszenzusának” nevezhetnénk. Megrendült az az általános vélekedés, hogy amíg az egyes történeti vallások igazságtartalma esetleg vitatható, addig a vallás *végző* alaptétele, egy mindenható, mindentudó, a világot kormányzó és teremtő, jószágos és gondviselő Isten létezése bizonyítható, vagy legalábbis az ésszerűség határáig valószínűsíthető.

A *Dialógusok* természetesen nem irányult, nem irányulhatott a természeti teológia *minden* lehetséges formája ellen, hiszen a természeti teológia egy komplex filozófiai hagyomány, amely együtt fejlődött az európai gondolkodással, s mindig az adott korszak természettudományos-filozófiai előfeltevéseinek megfelelő formát öltött. A *Dialógusok* kritikájának *elsődleges* tárgya tehát a természetes teológia, illetve „természetes vallás”

ama formája, amely Hume Angliájában a XVIII. században határozta meg a művelt közvélemény gondolkodásmódját.

Ez pedig az a fajta – a műben a Cleanthes nevű szereplő szájába adott – felvilágosult-empirista deizmus, amely az új természettudomány sikerei, az általa megteremtett új világkép és John Locke empirista filozófiája hatása alatt elvetett mindenfajta *a priori* metafizikát, a deisták érvei hatására kételkedő vagy kifejezetten tagadó álláspontot foglalt el a keresztény kinyilatkoztatással és a kereszténység nagy misztériumaival kapcsolatban, ámde ugyanakkor azt hirdette, hogy a természetnek a newtoni fizika által feltárt mechanikus rendje, valamint az élő szervezetek funkcionálisan célszerű felépítése egyértelmű tapasztalati igazolást nyújt a hagyományos értelemben vett Isten létezésére. Tehát – jöllehet a *Dialógusok*-ban, a XI. részben megtaláljuk egy apriorisztikus jellegű kozmológiai érv bemutatását is – a *Dialógusok* kritikájának legfőbb tárgya a tervezési érv (argument from design) Isten létezése mellett.

Mindazonáltal a *Dialógusok* kritikája nem korlátozódik erre a fajta „newtoniánus” teizmusra, természet-teleológiára, hanem kiterjed a tervezési érv korábbi – ókori és középkori – formáira is. Ezért jelenthetett mérföldkövet a filozófia történetében.

#### A *Dialógusok* keletkezése

Röviddel halála előtt készült önéletrrásában Hume valamennyi írását megemlíti, kivéve a *Dialógusokat*. Azonban levelezésének tanúsága segítségünkre jön ezen a ponton, s ebből nagyfokú bizonyossággal megállapíthatjuk, hogy legalábbis a munka első négy része, de talán az egész, a XII. rész kivételével, már 1751 elejére elkészült. Az 1750-es években a munkát már Hume odaadta baráti köre több – persze megválogatott – tagjának, akik azonban azt tanácsolták neki, hogy ne publikálja azt, mert a természetes vallással

szemben megfogalmazott kritikája adut adna azok kezébe, akik már ekkor is úgy tekintették, mint veszedelmes hitetlent. A kézirat szövegét Hume több apró részletében 1761-ben megváltoztatta, majd 1776-ban, amikor már tudta, hogy halála közeleg, újabb revíziókat hajtott végre rajta.

Végakaratóból és levelezéséből úgy tűnik, hogy Hume élete utolsó évében komoly előkészületeket tett a *Dialógusok* poszthumusz publikálására. Két jó minőségű másolatot készített a kéziratról. Végrendeletében (amely 1776. január 4-én született), valamennyi kéziratát Adam Smithre hagyta, azt kívánva, hogy jelentesse meg a *Dialógusokat*. Egy 1776. május 3-án keltezett levélben azt írja, hogy ha néhány évvel tovább élne, maga publikálná a kéziratot. Azonban szemmel láthatóan aggódott amiatt, hogy a megjelenítés esetleg – saját társadalmi helyzete, a közvélemény várható reakciói miatt – Adam Smithnek is gondot fog okozni, ezért alig több mint két héttel halála előtt, 1776. augusztus 7-én végrendeletét kiegészítette egy olyan záradékkal, amely szerint amennyiben a kézirat halála után két és fél évig nem jelenne meg, akkor fiatal unokaöccsére, David Hume-ra hárul a kiadatás kötelezettsége. Miután Adam Smithnek csakugyan aggályai voltak a kézirat megjelenítésével kapcsolatban, Hume unokaöccse 1779-ben teljesítette nagybátyja végakarátát, s ez a kiadás nem tartalmaz sem kommentárt, sem méltatást a műről, azonban teljes hűséggel követi a Hume által letisztázott kézirat végső változatát (Gaskin, 1993).

Hume tehát huszonöt esztendeig rejtgetett a nagyközönség elől egy olyan kéziratot, amely barátai szerint – mint egyik utolsó levelében írja – a *legjobb* írása volt. Nyilvánvalóan és saját bevallása szerint is erre az volt a legfőbb indoka, hogy nyugodtan akart élni, saját szavaival: „távol minden lármától”. Valószínűleg Hume, miután a hitre és az erkölcsre veszélyesnek tartott nézetei, a klérus ellenállása miatt 1745-ben nem

kapta meg az edinburghi egyetemen az erkölcsfilozófia, majd 1752-ben a Glasgow-i egyetemen a logika katedráját, érettebb éveiben már óvatossággal kívánt eljárni, nem akarta a *Dialógusok*-kal a vallásos érzületű közvéleményt újból maga ellen hangolni. (A skót egyházi hatóságok 1755-57 között így is kezdeményezték Hume kiközösítését, s a félhivatalos nyomás akadályozta meg az öngyilkosságról és a lélek halhatatlanságáról szóló esszéinek publikálását is.)

A *Dialógusokkal* – Hume leveleinek tanúsága szerint – nagyjából egy időben, 1749 és 1752 között keletkezett a vele rokon témájú *The Natural History of Religion* (A vallás természetes története). Ez a mű azonban már 1757-ben megjelent. A két vallásfilozófiai munka témája szervesen összefügg. Amíg a *Dialógusok* azt a kérdést feszegeti, milyen racionális *alapjai* vannak a vallásos hitnek, addig a *The Natural History* azzal foglalkozik, hogy függetlenül a vallási hiedelmek igazolhatóságától, mi az *oka* annak, hogy az emberek hisznek bennük, és milyen következményekkel jár ez az egyéni és társadalmi életben. A *The Natural History* szerint az emberek vallási meggyőződése a teizmus melletti érvektől függetlenül, az élet nehézségeire, kiszámíthatatlan eseményeire való *érzelmi* reakciókból, félelmekből és reményekből alakultak ki, és éppen ezért nagyon sokáig nem a monoteizmus által feltételezett egységes világrendre, hanem a legkülönbözőbb mitikus hatalmakra irányultak. A monoteizmus kialakulása a politeizmus és a bálványimádás számos formájából szintén nem valamilyen racionális processzusnak, hanem véletlenszerű eseményeknek (egy-egy emberi közösség kiválasztott egy specifikusan fölötté gyámkodó istent a panteonból, s annak különleges tiszteletet adott), illetve a monarchikus államformának, az *egyetlen* uralkodó alakja az istenekre való kivetítésének köszönhető, s ez a folyamat még bármikor visszajára fordulhat:

a monoteista népek is visszasüllyedhetnek a bálványimádásba.

Csakhogya mindamellett, hogy a *Natural History* szerint mind a vallás kialakulása, mind monoteisztikus irányú fejlődése teljesen független a teizmus mellett szóló érvektől, ugyanakkor a *Natural History* bevezetője szerint ilyen érvek a teizmus mellett igenis *vannak és meggyőzőek*: „A természet egész rendszere egy értelmes Alkotóról beszél, és egyetlen racionálisan vizsgálódó ember sem – ha komolyan gondolkodott a kérdéssről – hagyhatja függőben hitét egy pillanatra sem az igazi teizmus és vallás alapvető tanítását illetően.”

A *Natural History* tehát *elismeri* azt, amit a *Dialógusok* egész gondolatmenete cáfol. Együtt azzal, hogy a *Dialógusok* utolsó, XII. részében a dialógusok főszereplője, Philo – egész korábbi érvelésének komolyságát tagadva – mégiscsak elismeri a természetes vallás racionalitását, ez az „engedmény” komoly fejtörésre adott okot Hume interpretálóinak.

A lehetséges értelmezések egyik véglete az, hogy Hume még a posztumusz publikált műben is – és persze még inkább abban, amelyet életében megjelentetett – elrejtette valódi vélekedéseit, illetve nyitva akarta hagyni azok egy olyan értelmezési lehetőséget, amely kevésbé bántó a vallásos érzésre nézve, mint a két mű fő gondolatmenetei. A másik végletes értelmezés pedig az, hogy Hume végül is elfogadta, hogy racionálisan belátható *valamilyen* isten létezése – csak hogy szerinte ennek az Istennek a természetéről és szándékairól nem tudhatunk semmit. Ezt alátámasztani látszik Hume egy korai, 1743-as levele, amelyben azt írja, hogy kritikus „mindennel szemben, amit általában vallásnak nevezünk, kivéve az erkölcsiség gyakorlását és az értelem általi elfogadását annak a kijelentésnek, *hogy Isten létezik*.” (Idézi: Gaskin, 1993, xxiv.)

*A Dialógusok felépítése és szereplői*

A *Dialógusok*ban öt szereplő jelenik meg: Pamphilus, az a fiatalember, aki végighallgatja a párbeszédet és beszámol róluk, Hermippus, akihez intézi beszámolóját, és a három vitatkozó: Cleanthes, Demea és Philo. Cleanthes a természet rendjéből vett *a posteriori* érv védelmezője, Demea elutasítja ezt az érvelést, Isten természetének tapasztalatfeletti, titokzatos jellegére hivatkozva, viszont kifejti egy *a priori* kozmológiai istenérvet. Philo pedig szkeptikus – egy darabig látszólag Demea miszticizmusával tart Cleanthes racionális teizmusa ellenében, valójában azonban – mint arra Demea kénytelen ráébredni – kritikus mind a természetes, mind a kinyilatkoztatott vallással szemben.

Nyilvánvaló, hogy a *Dialógusok* formája sokat köszönhet Cicero *De Natura Deorum* című, az istenek természetéről szóló dialógusának, amelyben Cicero szereplői az egyes filozófiai iskolákat, az epikureizmust, a sztoicizmust és az akadémiai szkepticizmust reprezentálják, és az ebben a dialógusban szereplő érvek némelyike is visszaköszön Hume szereplőinél. Cicero művében is három szereplő van: Velleius, az epikureus, Balbus, a sztoikus és Cotta (aki nem fiktív, hanem valós személy volt, és Cicero barátja), aki az akadémiai szkepszis szószólója. Hume-nál is, miként Cicerónál két – igazságosan, alaposan bemutatni kívánt – *pozitív* filozófiai álláspontot és a mellettük szóló érveket ütköztet a dialógus, míg a harmadik, a szkeptikus szereplő mindkettejük kritikusa. S a dialógusok kezdetének és lezárásának módját is nyilván Cicerótól kölcsönözte Hume.

Azonban Hume dialógusainak szereplői semmilyen értelemben sem reprezentálják ugyanazokat az iskolákat, amelyeket Cicerói. Úgyszintén nincs sok közük a szereplőknek azokhoz az antik gondolkodókhoz, akiknek a nevét viselik. A *Dialógusok* Cleanthesének érvei nem azonosak a korai sztoikus gondol-

kodó Cleanthes nevéhez kapcsolt érvekkel, s Philoéi sem Philón, a judaizmus és a görög filozófia szintézisére törekvő alexandriai zsidó filozófus gondolataival. Demea nevű filozófusról pedig egyáltalán nem tudunk az ókorban. Könnyen lehetséges, hogy Hume teljesen véletlenszerűen választotta a neveket, vagy pusztán azért, mert együtt szerepeltek kedvelt klasszikus szerzői valamelyikében. (Lukianos *Hetérrák párbeszédei*-ben három fiktív személy, Pamphilus, „egy fiatalember”, Philo, „egy hajótulajdonos” és Demea, „egy tábornok” szerepel egy oldalon.)

Azonban mind Cotta, mind Cicero az Új Akadémia szkeptikus fejének, a larissai Philónak a tanítványai voltak, s ezért teljesen elképzelhető, hogy Hume saját szkeptikusának nevét az akadémiai szkepszis örökségére való utalásként választotta. Van bizonyos kapcsolat Cicerón keresztül Hume Cleanthese és a valódi, a sztoikus Cleanthes között is, mert Hume *Dialógusai*-ban a szkeptikus Cotta által támadott sztoikus Balbus egyik eszményképe éppen a sztoikus Cleanthes. A valódi Cleanthes is és Hume figurája is pozitív téziseket, tehát Hume szemében „dogmatikus” álláspontot védelmeznek az istenhittel kapcsolatban.

Amint azt filozófiatörténészek kimutatták, a két mű közötti hasonlóság több mint formai, mert Hume „természetes józan ész-szel” mérsékelt szkepticizmusának egyik forrása is Cicero akadémiai szkepticizmusa. Sőt, Hume nyilvánvalóan átvette és továbbfejlesztette Cicerónak a pürrhóni szkepticizmus ellen felhozott érveit is, amikor kialakította a maga ismeretes felfogását, amely szerint természetes életösztönünk az, ami miatt végső soron értelmünk immunis a filozófiai szkepszissel szemben: a meggyőző érvek ellenére sem tudjuk sohasem elfogadni.

Mennyire feleltethetőek meg a *Dialógusok* szereplői Hume kortársainak, s melyikük véleménye fejezi ki magának Hume-nak az álláspontját? Hume szószólója a vitában

valószínűleg Philo; ezt nemcsak az mutatja, hogy a *Dialógusok*-ról első olvasásra általában mindenkinek ez a benyomása, és Philo nézetei megegyeznek azzal, amit Hume más műveiben ír a vallásról, hanem maga Hume egy levelében expliciten vállalja is. Ennek ellenére vannak szakemberek, akik ezt kétségbe vonják; de ők sem Cleanthesével – és végképpen nem Demeáéval – azonosítják Hume álláspontját, hanem úgy vélik: a *Dialógusok*-ban Hume – Ciceróhoz hasonlóan – egyszerűen egymással szembe-  
síti a különböző álláspontokat, s a mellettük felhozható lehetséges érveket, anélkül, hogy végleg dönteni akarna közöttük.

Miközben Hume véleményének valószínűleg a leginkább Philóé felel meg a *Dialógusok*-ban, teljesen nyilvánvaló, hogy azok a „kegyes” szólamok, amelyek időnként elhangzanak Philo szájából, például amikor a mű végén – némileg Demea korábbi érveléséhez hasonló módon – a természetes vallással kapcsolatos szkepszist arra hivatkozva javasolja, hogy az a legmegfelelőbb alap a kinyilatkoztatott vallás hívó lélekkel való befogadásához, *nem* Hume valódi nézetei. Hume, úgy tűnik, a poszthumusz megjelenettni kívánt munkában is egyértelműen ügyelni akart arra, hogy ne kerüljön szembe túlságosan az intézményes vallással.

Ki Cleanthes? Jóllehet Isaac Newton, Locke és a deisták egyaránt jelentős mértékben hozzájárultak annak a konszenzusnak a kialakításához, amelyet Cleanthes reprezentál, egyikük sem lehet Cleanthes modellje, mert bár a kinyilatkoztatott vallással és a kereszténység nagy misztériumaival szemben mindannyian bizonyos mértékig (a legkevésbé Locke) kritikusak voltak, a maguk racionális teizmusát egyikük sem olyan *kizárólagos* módon a tervezési érveléssel támasztotta alá, mint ahogy Cleanthes a *Dialógusok*-ban.

Joseph Butler püspök szilárdan az empirizmus tradícióján belül elhelyezkedő racionális teizmusa sok tekintetben közel áll Cle-

anthes világképéhez. Továbbá kétségtelenül Butler volt az egyetlen olyan kortárs vallásos gondolkodó, akit Hume nagyra becsült, és akinek *Analogy of Religion*-ja volt az *egyetlen* olyan kortárs teológiai mű, melyet Hume igazán fontosnak, s tanulmányozásra érdemesnek tartott. Ez visszatükröződhet abban a – a kritika ellenére is jóindulatú – ábrázolásban, ahogyan Hume Cleanthes és az ő empirikus-experimentális teizmusát bemutatja.

Ezért például Ernest Campbell Mossner – Hume egyik legalaposabb életrajzírója – és sokan mások is Cleanthes Butlerrel azonosítják. De más szakemberek szerint Mossner eltúlozza a hasonlóságokat Butler és Cleanthes érvelése között. A legalapvetőbb különbség az, hogy Butler – a deistákkal polemizálva a kereszténység védelmében – a maga érvelését egy magától értetődőnek, a vitában mindkét fél által elfogadottnak tekintett teizmusra építi, amely mellett nem érvel olyan explicit módon, ahogyan Cleanthes a *Dialógusok*-ban.

Norman Kemp-Smith, aki a *Dialógusok* mérvadónak tekintett szövegkritikai kiadását készítette, valamint Robert Hurlbutt és Anders Jeffner azonban meggyőző érveket, szövegpárhuzamokat hoztak fel amellett, hogy Cleanthes érvelésével Hume elsősorban néhány, a newtoni hagyományon belül működő természettudósnak, mindenekelőtt George Cheyne-nek és Colin Maclaurinnak, a Royal Society ismert tagjainak a teleológiai gondolatmeneteit akarta bemutatni. De ez az igen valószínű értelmezés *nem* teszi egyértelműen hamissá, tévessé a többi értelmezéseket sem, hiszen – mint mondtunk – Cleanthes érveiben mindenekelőtt a korabeli filozófiai *konszenzus* jelenik meg, amelyet a különböző fentebb említett gondolkodók munkássága és vitái együttesen formáltak ki. (Jeffner, 1966, 18–21, 131.).

Ami végül Demeát illeti, az ő IX. fejezetben előadott *a priori* kozmológiai istenérve pontosan megegyezik Samuel Clarke, a XVII. század



neves anglikán teológusának és filozófusának Isten létezése mellett kifejtett érvelésével. Clarke továbbá – Demeához hasonló módon – úgy vélekedett, hogy Isten tulajdonságai – végtelensége miatt – felfoghatatlanok a mi számunkra.

Hume olvasta fiatal korában Clarke-ot, lekicsinylő véleménye volt róla, és teológiai írásai jelentős szerepet játszottak a vallással való szakításában. Mossner szerint tehát Hume egyszerűen Clarke nézeteit gúnyolja ki, amikor Demea szájába adja őket.

Azonban Clarke Demeával való azonosítása ellen szól az, hogy ő korántsem volt az a fajta, a tudományt és a filozófiát a hit nevében leszóló vallásos szkeptikus, amilyen Hume szereplője. Éppen Clarke védelmezte a híres Leibniz-Clarke levelezésben Newtont az istentelenség vádjával szemben. Demeát továbbá a fiatal Pamphilus, a *Dialógusok* narrátora mereven, hajlíthatatlanul ortodox hívóként jellemzi. Clarke nézetei azonban – bár polemizált a deistákkal – nem tekinthetők ortodoxnak; mi több, emiatt nemegyszer összeütközésbe is került az anglikán államegyházzal.

Mások szerint azonban Demea véleményei – a IX. fejezet istenértéktől eltekintve – nem Clarke-éinak, hanem anglikán teológusok egy csoportja – Peter Brown corki püspök, William King dublini érsek és William Law – nézeteinek felelnek meg. E teológusok az 1690-es és 1730-as évek között írott munkáikban a deisták ellenében – akik szerint a kereszténység nem taníthat semmiféle misztériumot, értelmünket meghaladó igazságot – azt állították, hogy Isten természete számunkra teljesen felfoghatatlan. Isten természete csakis egy olyan, a tapasztalatból ismert dolgokból vett analógia révén írható le, amelynél egyáltalán nem tudjuk: milyen mértékben feleltethetőek meg Isten tulajdonságai (például a bölcsesség) azoknak a tulajdonságoknak, amelyeket a természeti dolgok megismerése nyomán neki – mint a

tapasztalatból ismert dolgok végső okának – tulajdonítunk. Érvelésük az analógia-fogalom alkalmazásánál bizonyos hasonlóságot mutat Aquinói Szt. Tamáséval. Amíg azonban Aquinói Tamás egyrészt ismerni vélte a teremtett dolgok és a Teremtő közötti oksági relációk mibenlétét, másrészt pedig kezében volt a Lét fokozatairól, illetve teljességéről szóló metafizikai elmélet (az ún. *analogia entis*), ezért analogikus, ámde mégis értelmezhető leírást tudott adni Isten mibenlétéről, addig e teológusok analógiafogalma alapján ez nem volt lehetséges. Ezért felfogásuk ugyanazt a kritikát váltotta ki kortársaikból, amelyet Hume Demeájáé Cleanthesből, a *Dialógusok* IV. részének elején: egy olyan Isten gondolata, amelynek a lényegéről ennyire nem tudunk semmi megragadhatót, voltaképpen üres, és az ilyen Isten feltételezése nem különbözik az ateizmustól. (Jeffner, 1966)

Bármik is legyenek a dialógusok szereplői, Hume munkája – sok, a filozófiatörténetben egyébként jelentős szerepet betöltő, szintén dialógusformában megírt művel ellentétben – *valódi* dialógus: kidolgozott álláspontok és érvek olyan szembeállításai egymással, amely nem akar egyértelműen az olvasót „szájába rágni” valamit, hanem rábízta saját véleményének kialakítását. Szaz olvasónak a bemutatott érvek mérlegelése, a gondolkodás erőfeszítése mellett külön örömet szerez Hume írói stílusának kidolgozottsága, formai szépsége is.

#### *A Dialógusok konklúziója és utóélete*

Habár a *Dialógusok* értelmezése számos problémát és vitát vetett és vet fel ma is, ámde a mű végkövetkeztetése a tervezési érvet illetően egyértelműen megállapítható. E végkövetkeztetés *kettős* értelemben is negatív.

Egyrészt, a világ rendjéből nem következtethetünk egy hagyományos értelemben vett (végtelen, mindenható, mindentudó, jószágos, gondviselő) Isten létezésére, legfeljebb – és erre is csak valamiféle sejtés

vagy analógia erejével – *valamilyen* értelmes teremtetőre. Ez az analógia alapvetően különbözik attól, amikor a természettudomány hasonló okozatoknak hasonló okokat tulajdonít, kísérletileg nem ellenőrizhető, s éppen ezért ereje, bizonyossága is sokkal gyengébb a természettudományos következtetéseknél. Továbbá: ha és amennyiben az analógia érvényes, akkor sem tudjuk belőle kikövetkeztetni, hogy a tapasztalati világ rendjének a létrehozója egy vagy több lény, és milyen természettel vagy sajátosságokkal rendelkezik.

Másrészt pedig a világról szerzett ismereteink nemcsak nem támasztják alá a vallás Istenének létezését, hanem – a rossz problémája miatt – jó alapjaink vannak arra a meggyőződésre is, hogy *ha* a természet rendje valamilyen értelmes lény alkotása, akkor ez a lény nem olyan, mint amilyennek a vallás állítja.

Ezt a kettős végkövetkeztetést Hume olyan világosan és olyan átfogó módon védelmezi, hogy kritikájáról még ellenfelei is elismerik, hogy az *minden* lehetséges tervezési érv és természetes teológia kritikája, tehát független a tizenhetedik század szellemi kontextusától, attól, ahogyan a tervezési érvt ebben a korban megfogalmazták képviselői. (Swinburne, 1968, 1979)

A természeti teológia érvényességére vonatkozó említett konszenzus vagy csaknem konszenzus az európai kultúrában – döntően Hume és Kant hatására – átadta a helyét egy olyan, másfajta konszenzusnak, amely szerint a természeti teológia állításai az elfogulatlan értelem fényében a legjobb esetben is kétségesek, ha ugyan nem valószínűtlenek, éppen ezért a vallás alapvetően hit kérdése, és mint ilyen, az egyén magánügye.

Természetesen Hume és Kant kora óta egyes filozófusok, természettudósok, sőt, egész filozófiai *irányzatok* (például az 1870-es évektől az 1950-es évekig a katolikus egyház hivatalos filozófiájának számító neotomizmus) részéről is történtek erőfeszítések a változás visszafordítására, a természeti

teológia rehabilitálására. Ma is akadnak ilyen, sokszor a legmodernebb logikai és természettudományos eszközöket-módszereket alkalmazó kísérletek, például Richard Swinburne-nek a konfirmációelmélet és a valószínűségelmélet (a Bayes-tétel) eszközeit alkalmazó apologetikája, az „antropikus elv”-ből, a Világegyetemnek az élet és az emberiség létrejöttét elősegítő specifikus fizikai-kozmológiai adottságaiból vett isten-érvek, vagy a kreacionizmust tudományos és filozófiai eszközökkel korszerűsíteni próbáló, s napjainkban az amerikai oktatásban is magának helyet követelő „értelmes tervezettség” (intelligent design) elmélete.

E kísérletek eredménytelenségét azonban nemcsak az a kritika igazolja, amellyel a szakfilozófia köreiből változatlanul erős ateista-agnosztikus álláspont részéről találkozunk, hanem az is, hogy a *vallás* oldaláról is kevés visszhangot váltanak ki. A XX. század protestáns teológiája teljes egészében, a katolikus teológia pedig a II. Vatikáni Zsinat óta egyre inkább a fideizmus, az irracionalizmus, az egzisztencializmus különböző változataira támaszkodik, nem a természeti teológiára, a hetvenes évek óta egész kultúránkban (házunkban is) tapasztalható vallási újjáéledés pedig kifejezetten antiintellektuális, sokszor karizmatikus, illetve fundamentalista színezetű mozgalom.

Némileg talán különösnek tűnik a fentebb mondottak fényében, de a *Dialógusok* sokáig nem vagy alig gyakorolt hatást a szellemi élet jelentős részére és a vallásos gondolkodásra. Jóllehet például Kant ismerte és alkalmazta a *Dialógusok* érvelését, William Paley, a tizenkilencedik század legismertebb és legnépszerűbb angol keresztény hitvédője úgy írta meg a maga műveit (*Natural Theology*, 1794; *Evidences of Christianity*, 1802), mintha érveinek a *Dialógusok*ban elővetelezett kritikája egyáltalán meg sem született volna. Mi több, a *Dialógusok*-ban kritizált érvek leggyengébb

formáit alkalmazta, mert még csak nem is az élő szervezet felépítésének az alkalmazkodást szolgáló funkcionális racionalitására, hanem az élő szervezet *egyres részeinek* az organizmus egésze adaptációs céljaihoz való illeszkedésére hivatkozott. Ennek ellenére Paley érvelése mély hatást gyakorolt sok kortárs angol értelmiségire, s John Stuart Mill is fontosnak érezte, hogy a vallásról szóló munkáiban részletekbe menően vitatkozzon vele. A célszerűségi, tervezési érvek tehát megőrizték vonzóerejüket a tizenkilencedik század első felében is, mind az egyház és az egyszerű hívők tömegei, mind számos teológus és filozófus szemében.

A modern nyugati társadalmak szellemi elitjét jellemző ateista-agnosztikus attitűd csak a XIX. sz. végére szilárdult meg, egy sor különböző érvelés és szellemi mozgalom hatására. A legfontosabb ezek közül Charles Darwin és az evolúció elmélete volt, amely megmutatta, hogy az élet és az élőlények létezését és környezetükhöz való alkalmazkodását nem kell transzcendens okokkal magyaráznunk. De csaknem ugyanilyen fontos szerepet játszott a természettudomány módszereinek pozitívista elemzése és a metafizikától való világos elhatárolása Comte és Mill munkásságában, az utilitaristák, mindenekelőtt Jeremy Bentham, majd a szocialisták érvelése a vallás társadalmilag kártékony hatásairól, a bibliakritika felismerései a zsidó–keresztény vallási hagyomány történelmi-társadalmi meghatározottságáról, Ludwig Feuerbach és Karl Marx felfogása a vallás projekció voltáról, valamint a néprajz és az összehasonlító vallástudomány kutatásai, amelyek a zsidó–keresztény hagyomány és a primitív (a keresztények által pogányként lenézett) kultúrák vallásos hiedelmei és gyakorlata közötti rokonságot mutatták meg.

Ámde a XIX. századi nagy szekularizációs hullám *valamennyi* nagy szellemi irányzata és érvelése gyökereit tekintve visszavezethető a hume-i *Dialógusok*-ra. (A *Dialógusok*-

ban Philo bizonyos spekulációi az evolúció elméletét is anticipálják, noha természetesen Hume idejében annak még semmiféle tudományos bizonyítéka nem volt.) Ezért írhatta Hurlbutt, Hume vallásfilozófiájának egyik, már többször idézett szakértője még 1965-ben is: „a természetes vallást, a tervezési érvet és általában a teológiát illetően a mai filozófusok nem tesznek többet, mint Hume érveit ismételtetik”.

Más kérdés, hogy ez egyáltalán nem vezetett Hume művének ismertebbé válásához; egyszerűen azért nem, mert a kérdéses gondolkodók nem mindig voltak tudatában érveik, álláspontjuk hume-i gyökereinek. J. S. Mill például gyakorlatilag alig tudott valamit Hume-ről. Bárhogyan is, a *Dialógusok* 1935-ig, a Kemp-Smith-féle kritikai kiadás születéséig nem keltettek különösebb érdeklődést. De még ekkoriban is akadt olyan filozófusi vélemény, amely a *Dialógusok*-at irrelevánsnak, elavultnak minősítette.

Ámde – nem kis részben az éppen Hume eszméiben gyökerező logikai pozitivizmus és az analitikus filozófia hatására – mára ez a közhangulat megváltozott, s a *Dialógusok* iránt eleven érdeklődés tapasztalható. Ez megmutatkozik részben a Hume vallásfilozófiájával és konkrétan a *Dialógusok*kal foglalkozó filozófiatörténeti munkák szaporodásában, részben pedig a *Dialógusok* bizonyos érveiről és témáiról folyó mai filozófiai diszkusszióban.

#### *A Dialógusok érvei a mai analitikus vallásfilozófiában*

A logikai pozitivizmus a teológiai-metafizikai kijelentéseket eleve értelmetlennek, s így minden, a vallással kapcsolatos filozófiai vitát feleslegesnek minősített, ezért amíg az analitikus filozófia meghatározó irányzata a logikai pozitivizmus volt, addig – bámmennyire is megnövekedett az érdeklődés *általában* Hume filozófiája iránt – nem kerülhetett sor vallásfilozófiai problémák diszkutálására; s így a *Dialógusok* kér-

désfeltevéseinek és érveinek újragondolására sem. Ez a helyzet azonban az ötvenes évek végétől megváltozott, s létrejött egy sokszínű analitikus vallásfilozófia, amelynek képviselői legalább három irányban gondolják újra a *Dialógusok* érveit.

Egyrészt történtek kísérletek arra, mindekelőtt Richard Swinburne-é (Swinburne 1968), hogy újraélesszék a tervezési érvet valamilyen olyan formában, amely egyrészt számításba veszi a természettudományok Hume kora óta bekövetkezett fejlődését, másrészt „ellenállóbb” a *Dialógusok* ellenvetéseivel szemben, mint az érv Hume által ismert formái. Swinburne tervezési érve éppen ezért elvonatkoztat az élő szervezetek „célszerű” felépítésének kérdéskörétől, amely korában a legtöbb teleologikus érv kiindulópontja volt, és teljes egészében a természettörvények létezésére, a jelenségek szabályos egymásra következésére összpontosít. Álláspontja szerint a természettudomány Hume kora óta bekövetkezett fejlődése – az evolúciós mechanizmus felfedezésével, és azzal, hogy ráébredtünk: az Univerzumban az élet milyen ritka, kivételes jelenség – csakugyan „kihúzta a talajt” az *előszervezetektől* kiinduló tervezési érvek alól. Másfelől viszont azáltal, hogy – mindekelőtt a periódusos rendszer felfedezése, majd a modern atomfizika eredményei révén – feltárta, hogy minden fizikai test az Univerzumban azonos alaptulajdonságokkal rendelkező és azonos módokon egymáshoz kapcsolódó elemi részecskékből épül fel, még inkább megerősítette azt az intuíciónkat, hogy a Világmindenség valamilyen egységes gondolat, terv alapján épül fel. Az érvelés szerint egy ilyen, uniform törvényszerűségek által irányított Univerzum *a priori* valószínűsége igen csekély, és ezért létezésének legegyszerűbb magyarázata az a hipotézis, hogy egy mindenható, mindentudó és testetlen szellem teremtette az Univerzumot. Egy ilyen lénynek jó indokai lettek volna arra,

hogy egy rendezett, nem pedig egy kaotikus Univerzumot teremtsen. Az, hogy az Univerzum jelenlegi rendje talán csak egy véletlenszerű elrendeződése a végtelen idő óta létező anyagnak, egy logikailag lehetséges, ámde önkényes feltételezés, az pedig, hogy az Univerzum rendjét (amint azt Philo felveti a *Dialógusok*-ban) több Teremtő, egy tökéletlen és korlátozott hatalmú Teremtő vagy egy testtel rendelkező Teremtő (egy óriási ember) hozta volna létre, fölöslegesen komplikálja a hipotézist.

Swinburne kritikussai bírálták egyrészt az *a priori* valószínűség fogalmát, illetve azt az előfeltevést, hogy a természettörvények uniformitásának *a priori* valószínűsége csekély volna, másrészt azt az elképzelést, hogy egy tudatos lénynek mindenképpen indoka volna egy uniform törvények által szabályozott világmindenséget teremteni, és vitatták azt is, hogy csakugyan nyerünk-e valamit az Univerzum rendje magyarázatának egyszerűségét illetően, ha a természettörvények létezésének mint végső, tovább nem magyarázható ténynek az elfogadása helyett posztulálunk egy tervező szellemet, aki e törvényeket megtervezte. Más kritikusok védelmezik Philo testtel rendelkező teremtőt vagy több teremtőt feltételező ellenvetéseit, megint mások azt vitatják, hogy vajon az okok és okozatok arányosságának elvét nem sérti-e Swinburne érvelése éppen úgy, mint a Hume által támadott tervezési érvek. (Az első kritikát illetően lásd: Mackie, 1982; Swinburne, 1990, a másodikról: Olding, 1971)

Más filozófusok – köztük Wesley Salmon, a híres amerikai tudományfilozófus – nemcsak azt tagadták, hogy Swinburne érdemben megválaszolta volna Philo ellenvetéseit a tervezési érveléssel szemben, hanem azt is állítják, hogy Philónak az Univerzum és az ember által létrehozott dolgok közötti analógiára vonatkozó kritikája felhasználható egy *ateista* érv felépítésére is, amely visszajára fordítja a tervezési érvet. (Salmon, 1978) Az

érvelés szerint mivel a legtöbb dolgot világunkban tapasztalatunk szerint *nem* tudatos teremtettség hozta létre, ezért nagyon valószínű, hogy az Univerzum sem teremtettség révén jött létre, továbbá mivel minden olyan dolgot (tudniillik az emberi tevékenység alkotásait), ami létezését valamiféle teremtettség tevékenységnek köszönheti, testtel bíró értelmes lények hozták létre, ezért valószínű, hogy amennyiben az Univerzumnak mégis volt teremtettség, akkor ez *nem* egy, a keresztény Istenhez hasonló lény volt.

Végül a *Dialógusok*-ban szereplő érvekhez hasonló ateista érvek fontos szerepet játszanak a „rossz problémájának” mai diszkutálásában is. Amennyiben a rossz létezése érv lehet Isten létezése ellen, akkor ugyanis lehetséges egy olyan megközelítés, amely abból indul ki, hogy valószínűleg az általunk a világban tapasztalt rossz dolgoknak nincs semmiféle olyan pozitív céljuk, amelyek eléréséhez megengedésük logikailag szükségességével hozzá tartozna. Mivel pedig Isten – jóságából következően – csakis akkor engedné meg a rosszat (különösen annak bizonyos kirívó eseteit), ha ilyen pozitív célok eszköze lenne, ezért Isten valószínűleg nem létezik. Ámde ennek a fajta ateista érvelésnek erejét jócskán meggyengítette az ún. „defenzív szkeptikus” teista (illetve keresztény) filozófusok azon ellenvetése, amely szerint – mivel egyáltalán semmiféle rálátásunk sincs egy mindentudó és mindenható lény lehetséges indokaira – abból, hogy mi nem látjuk a rossz céljait, egyáltalán nem következtethetünk arra, hogy nincsenek is ilyen célok Isten világtervében. Éppen ezért Paul Draper amerikai agnosztikus filozófus egy másfajta érvelési stratégiát dolgozott ki, amely kifejezetten Philónak a *Dialógusok* XI. részében kifejtett érvelésére hivatkozik, és azt kívánja továbbfejleszteni. (Draper, 1995)

Lényege, hogy bár azt nem tudjuk megállapítani, mekkora a valószínűsége a rossz létezésének a teizmus alapján, de mindenestre az a hipotézis, hogy az Univerzum rendjének vagy nincs Teremtetője, vagy ha mégis, akkor ez a Teremtető közömbös az érző lények, emberek és állatok fájdalmaival és örömeivel szemben, a rossz tényének egy jobb magyarázata, mint a teizmus. Az állatvilág az emberiség létrejöttét megelőzően lezajlott hosszú és számos állatfaj szenvedésével és kihalásával járó evolúciójának története – amelyről Hume még nem tudott – további súlyt ad ennek a megfontolásnak.

A *Dialógusok* tehát ma is élő mű, problémái és érvei felett nem járt el az idő. A mai szkeptikus-ateista felfogású analitikus filozófusok szakfolyóirata, a *Philo* nem véletlenül választotta címét a *Dialógusok* szkeptikus főszereplőjének nevét. S nem csak azért aktuális a *Dialógusok* mondanivalója, mert ma is akadnak kísérletek a természeti teológia újraélesztésére – ezek, mint már utaltunk rá, minden logikai leleményük ellenére is valószínűleg eredménytelenek maradnak.

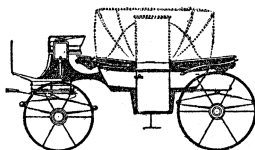
A *Dialógusok*-nak a vallással kapcsolatos szkeptikus üzenete elsősorban azért időszerű korunkban, mert a posztmodern kor érték- válságának légkörében, amelyet meghatároz a (jöllehet alaptalanul, de) a „tudományosság”, a felvilágosodás szellemi örökségére hivatkozó kommunizmus összeomlásának élménye is, nő a vonzereje a különböző vallási fundamentalizmusoknak, az emberiség mai válságaiból irracionális kiutat kínáló mozgalmaknak. A *Dialógusok* szkeptikus-racionalista örökségének megőrzése, továbbgondolása ezért ma is a gondolkodó emberek, az írástudók sürgető feladata.

---

Kulcsszavak: *ateizmus, deizmus, evolúció, Hume, természetes teológia, tervezési érv*

**IRODALOM**

- Cicero, Marcus Tullius (1985): *Az istenek természetéről*. Helikon, Budapest
- Draper, Paul (1995): The Skeptical Theist. In: Howard-Snyder, Daniel (ed.): *The Evidential Argument from Evil*. Indiana University Press, Bloomington
- Gaskin John Charles A. (1993): Introduction. In: David Hume: *Dialogues Concerning Natural Religion and the Natural History of Religion*. Oxford University Press, Oxford
- Hurlbutt, Robert H. (1965): *Hume, Newton and the Design Argument*, University of Nebraska Press, Lincoln
- Jeffner, Anders (1966): *Hume and Butler on Religion. A Comparative Analysis*, Diakonistyrrelsesns Bokförlag, Stockholm
- Mackie, John L. (1982): *The Miracle of Theism*. Clarendon Press, Oxford
- O'Connor, David (2001): *Hume on Religion*. Routledge, London–New York
- Olding, Alan (1971): The Argument from Design – A Reply to R. G. Swinburne. *Religious Studies*. 7, 370–381.
- Salmon, Wesley C. (1978): Religion and Science. A New Look at Hume's *Dialogues*. *Philosophical Studies*. 143–176.
- Swinburne, Richard G. (1968): The Argument from Design. *Philosophy*. 43, 206–228.
- Swinburne, Richard G. (1979, 1990): *The Existence of God*. Oxford University Press, Oxford



## EGY ÖRÖKMOZGÓ FIZIKUS

Hargittai Magdolna

az MTA levelező tagja, MTA–ELTE Szerkezeti Kémiai Kutatócsoport, Budapest  
hargitta@chem.elte.hu

Ez év április 8-án elhunyt Telegdi Bálint, az MTA tiszteleti tagja. Halálával a 20. század kiemelkedő fizikusa távozott közülünk. Telegdi Bálint a Chicagói Egyetem Enrico Fermi Distinguished Professzora volt, emeritus professzora a Zürichi Műegyetemnek (ETH), és élete utolsó éveit a CERN és a Kaliforniai Műegyetem (Caltech) között megosztva töltötte. Tagja volt az USA Nemzeti Tudományos Akadémiájának, a londoni Royal Societynek, az Academia Europaeának, a Királyi Svéd Tudományos Akadémiának, az Orosz Tudományos Akadémiának és más tudományos akadémiáknak. Több egyetem választotta díszdoktorává. Maurice Goldhaberrel megosztva kapta meg a Wolf-díjat (Izrael) 1991-ben.

Budapesten született 1922. január 11-én. Szülei mindketten magyarok voltak, de ő egész életéből mindössze csak két évet élt Magyarországon, elemi iskolás korában. Ehhez képest megrendítően szépen, gazdag szókincssel beszélt magyarul, és külön sportot űzött abból, hogy különleges kifejezéseket is használjon. Még élete utolsó hónapjaiban is sokat elégedetlenkedett velem, amiért nem sikerült megszereznem neki a magyar etimológiai szótár egyik, a könyvtárából hiányzó kötetét.

Sajnálatomra, csak néhány éve ismerkedtem meg Bálinttal, viszont egyből összebarátkoztunk, azóta kisebb-nagyobb rendszerességgel leveleztünk, és néhányszor személyesen is találkoztunk. Nevét már régóta ismertem, és amikor férjemmel közös könyvsorozatunkban (*Candid Science* I–VI, 2000–

2006) a fizikusokról szóló kötetet készítettük elő, természetes volt, hogy megkeressem. Többektől hallottam, hogy nem igazán „könnyű eset”, ezért segítséget kértem a megismerkedéshez, és egy másik jó barátom, a holland Nobel-díjas Martin Veltman mutatott be neki. Ezek után viszonylag könnyen rá tudtam venni Telegdit az interjúra. Ezzel kezdődött a barátságunk.

Kevés olyan széles látókörű és nagy tudású embert ismertem, mint ő. Ugyanakkor, mindenről kialakult és sokszor eléggé különleges véleménye volt, amit meglehetősen sarkosan fogalmazott meg, ahogy ezt a továbbiakban meg is próbálom érzékeltetni. Hozzá kell tennem: az emberekről kialakult negatív véleményét nemcsak a hátuk mögött, hanem szembe is mindig kifejezte.

Noha Budapesten született, gyerekkorát több ország között „ingázva” töltötte. Apja nyelveket szerető ember volt, akire nagy hatással volt a *Nyugat* köre, és Ignotus programadó cikkéből, a *Kelet népe* című írásból magára vette a következő sorokat: „A nap s az emberiség s a történelem keletről nyugatra tart...” (Ignotus, 1908). Franciaországba ment 1914-ben, ahol aztán hamarosan internálták egy normandiai szigetre, ahonnan csak az első világháború után engedték el (Kuncz, 1975). Akkor visszatért Magyarországra, majd néhány év után – már feleséggel és egy kisgyerekekkel – Bulgáriába költözött. Telegdi Bálint itt töltötte kiskorát, ezután Románia következett, majd kisiskolás korában két évig Budapest. Apját hamarosan Bécsbe helyezték, és így ott folytatta iskoláit, ahon-

nan az Anschluss után, 1938-ban Milánóba ment (szülei addigra már ott laktak), majd egy évvel később apja Belgiumba küldte, és ott tanult, vegyészmérnöki szakon. Érdekes végiggondolni, hogy mindezekben a helyeken a fiatal Bálintnak meg kellett tanulnia az ország nyelvét! Közben már folyt a második világháború, és amikor a németek elfoglalták Belgiumot, visszatért Milánóba az édesanyjához (apja közben Lausanneba költözött), ahol technikai szövegek fordításából tartotta el magát. Hamarosan újra utolérte a történelem, így amikor 1943 októberében a németek elfoglalták Észak-Olaszországot, édesanyjával Svájcba menekült, s végül a Lausanne-i Műegyetemen fejezte be tanulmányait. PhD-munkáját az ETH fizikaitanszékén készítette magfizikai témából.

Még az ETH-n dolgozott, amikor Victor Weisskopf, az MIT híres fizikusa odalátogatott. Telegdi megkérdezte tőle, nem tudna-e neki állást találni az MIT-n. Weisskopf megígérte, hogy utánanéző, majd néhány hónappal később a következőt írta Telegdinek: sajnos nincs hely az MIT-n, de ehelyett beajánlotta Ferminek a Chicagói Egyetemen. Így került a University of Chicagóra, ami abban az időben, röviddel a háború után, valószínűleg fizikában a legkiválóbb helynek számított a világon olyan nagyságokkal, mint Enrico Fermi, Teller Ede, Szilárd Leó, Murray Gell-Mann, Richard Feynman és sokan mások. Telegdi a „fizika Mekkájának” nevezte Chicagót.

Itt jutott Telegdi is a fizika élvonalába. Röviddel a megérkezése előtt készült el ott az új

ciklotron, amellyel Ferminek és kollégáinak az volt a fő céljuk, hogy a pionokat vizsgálják [a pion a „pi-mezon” rövidítése, ami pedig a  $p^+$ ,  $p^-$  és a  $p^0$  szubatomi részecskék összefoglaló neve]. A pionok képződése közben, mintegy melléktermékként, ún. müonok is képződtek az akceleratorban, de ezek senkit nem érdekeltek [a müon a leptonok családjába tartozó

elemi részecske, negatív töltéssel és  $\frac{1}{2}$  spinnel és az elektronnál kb. kétszázszor nagyobb tömeggel]. Telegdi úgy döntött, hogy ezekkel a feleslegesnek tekintett részecskékkel fog foglalkozni, és valóban ezt tette az elkövetkező tizenöt évben. Ahogy ő maga mesélte, sokan egyszerűen csak „Mr. Müonnak” nevezték. Éppen a müonokkal végzett egyik kísérletével bizonyította elsőként együtt egy kollégájával, Jerome Friedmannel, a paritásértést (Friedman – Telegdi, 1957).

Ez az a téma, amellyel kapcsolatban, ha felmerül,

Telegdi mindig nagyon hevesen fejt ki véleményét – ami pedig meglehetősen eltér az általánosan hangoztatottól. A paritásértés lehetőségét a gyenge kölcsönhatásban, mint jól ismert, két elméleti fizikus, Lee és Yang vetette fel 1956-ban (Lee – Yang, 1956). A paritásmegmaradás érvényes az elektromágneses és az erős kölcsönhatásban, valamint a gravitációban, de a gyenge kölcsönhatásban csak feltételezték ezt, és épp Tsung-Dao Lee és Chen Ning Yang vetették fel, hogy ezt még senki nem bizonyította, ezért érdemes lenne kísérletekkel ellenőrizni, valóban érvényes-e ott is. Több kísérletet is javasoltak, amelyek közül legjobban ismert a cobalt-60 atom béta bomlásának vizsgálata, amit Chien-Shiung



Telegdi Bálint, Budapest, © 2002, Hargittai Magdolna felvétele



Wu és kollégái végeztek el (Wu et al., 1957). Ez az a kísérlet, amelyre mindenki úgy hivatkozik, mint a „Wu-kísérlet”, és ennek kapcsán érdemes idézni Telegdi szavait (Hargittai, 2004):

„Ahhoz, hogy ezt a kísérletet el lehessen végezni, párhuzamosan kell beállítani a magokat, ami 1956-ban igazi művészet volt és a világon csak néhány ember volt képes erre. Egyikük volt Amber, akit, kollégáival együtt, éppen azért hívtak el a National Bureau of Standards Oxfordból, mert ez a monopólium a kezükben volt. Ms. Wunak szüksége volt valakire, aki tudta, hogy állítsa sorba a magokat; az ő specialitása a radioaktivitás volt, tudta, hogyan számolja meg azokat a béta részecskéket, amelyek kijönnek a kísérlet végén, de a magok párhuzamos beállításáról, ami a kísérlet döntő része, semmit nem tudott. Ezért az, hogy neki egyedül tulajdonítják a kísérlet sikerét, egyszerűen disznóság!”

Telegdinek további problémái is voltak a paritásértéssel kapcsolatos kísérletekkel. A másik kísérlet, amire általában hivatkoznak ezzel kapcsolatban, Richard Garwin és Leon Lederman híres, ún. „hétvégi kísérlete”, amellyel a müon bomlásában mutatták ki a jelenséget. Ugyanezt a kísérletet végezte el Telegdi és Friedmann is, de amíg Ledermanék elektronikus úton végezték a regisztrálást, addig Telegdiék fotoemulziókban. A müonbomlás mint a paritásértés lehetséges bizonyítéka szintén szerepelt a Lee és Yang által javasolt kísérletek között, és Telegdiék jóval előbb kezdték el ezeket a kísérleteket, mint Ledermanék. Sajnos Telegdinek édesapja halála miatt Európába kellett utaznia a legkritikusabb pillanatban, és ezért a kísérlet kicsit később, és a cikkük csak néhány nappal később jutott a folyóirathoz, mint Garwin és Lederman cikke (Garwin et al., 1957). Telegdi nagyon kritikusán beszélt Ledermanról, aki szerinte az ő kísérletüket becsmérelte azzal a híreszteléssel, hogy csak kitalálták az eredményeket, azok nem is valódiak! Ugyan-

csak negatívan beszél Lederman könyvéről, a *God Particle* című kötetről (Lederman, 1993), aminek olvasása után a következőt írta Ledermannak: „Ez a könyv annyi félremagyarázást tartalmaz, amit még egy iraki diplomatától sem várnánk.”

Kérdeztem Telegdit, hogy a paritásértéssel kapcsolatos müonbomlás-kísérlet tartja-e a legfontosabbnak a gyenge kölcsönhatások területén végzett kísérletei közül, és erre igennel válaszolt. Egy másik, szintén fontos – és elegáns – kísérletét a CERN-ben végezte, Richard Garwinnal együtt; ez volt az ún. „g-2” kísérlet. Ebben nagy pontossággal meghatározták a müon mágneses tulajdonságait, és véglegesen bebizonyították, hogy a müon egy nehéz elektron – és ez fontos volt. További fontos eredményük volt chicagói csoportjával a müon más tulajdonságainak meghatározása. Ugyanakkor arra a kérdésre válaszolva, hogy mely munkáira emlékszik legszívesebben, a paritásértéssel kapcsolatos kísérlet egyértelműen nem szerepelt köztük. Ez a kísérlet nyilvánvaló volt; ha ők nem végezték volna el, más megcsinálta volna. Telegdi azokat a kísérleteket szerette, amelyekhez kellett valami ügyesség, egy jó ötlet, különleges megoldás. Ilyen szempontból más eredményeit említette: a neutronbomlással kapcsolatos munkáját, a müon-neutrínó helicitásával kapcsolatosat, valamint a müonbefogás spin-függését. Végül egy tisztán elméleti cikket is említett, a spin mozgásáról elektromágneses térben.

Beszélggettünk a részecskefizika jövőjéről is, kérdeztem tőle, miben lát nagyobb fantáziát, az egyre nagyobb (és drágább) gyorsítóokban vagy a föld alatti detektorokkal végzett vizsgálatokban. Szerinte mindkettőre van igény, és mindkettőt folytatni kell. Ugyanakkor azt is kifejtette, hogy a gyorsítókkal végzett kísérletek, a szükségszerűen óriási számú résztvevő miatt, lehetetlenné teszik a kiugró egyéni teljesítményt – és ez sok fiatal számára nem lehet vonzó.

Mindig érdekes volt hallgatni, amikor Te-

legdi az általa ismert híres fizikusokról beszélt. Rendkívül szerencsésnek érezte magát, mert lehetősége volt megismerni kora nagy elméit. Jó barátságban volt Murray Gell-Mannal és Richard Feynmannel, igen sokra tartotta Fermi és Wolfgang Paulit. Fermi számára az életet a fizika jelentette, és bár jó férj és családapa volt, az emberi kapcsolatok valójában nem igazán érdekelték. Ilyen értelemben Telegdi többre becsülte, érdekesebbnek találta Paulit. Fermivel minden fizikával kapcsolatos dologról lehetett beszélni, legyen az geomagnetizmus vagy részecskefizika, de azonkívül nem lehetett vele igazán beszélgetni. Ebben olyan volt, mint Szilárd, ő is egyből odavágta, hogy „nem érdekel”, ha a téma nem volt éppen az érdeklődése középpontjában. Szilárdot jól ismerte, és Telegdi felesége jó ideig Szilárd titkáraként dolgozott. Nagyon becsülték Szilárdban a széleslátókörűségét, ami messze túlment a fizikán – ebben viszont Szilárd éppen Fermi ellentéte volt. Telegdi szerint Szilárd öntörvényű volt, és egyáltalán nem értette meg az embereket. Tele volt ötletekkel, jobbnál jobb ötletekkel, és állandóan mozgásban volt, az ország legkülönbözőbb helyein bukkant fel és sokszor váratlanul. Mindenféle kísérleteket javasolt mindenkinek, akivel csak a laboratóriumban találkozott, és nem értette meg azt, hogy a legtöbb ember szívesebben dolgozik a saját, esetleg nem túl okos ötletén, mint Szilárd briliáns ötletein.

Telegdi szerint Tellernek és Szilárdnak ugyanaz volt a céljuk: nem kevesebb, mint hogy megmentse a világot, de arról, hogy ezt hogyan is lehetne megvalósítani, ellenkező eredményre jutottak. Úgy vélte, hogy Teller attól a betegségtől szenvedett, hogy messiásnak képzelte magát, és azt gondolta, hogy személyesen ő, Teller Ede fogja megváltani a világot. Szilárd soha nem volt ilyen.

Amikor megkérdeztem tőle, vannak-e példaképei, a következőt válaszolta: „Tudja,

hogy nyilvánosan is kijelentettem már egyszer, hogy a tudósok igazi vallása a sintoizmus kellene hogy legyen? Ennek a vallásnak két alapelve van; az egyik az elődök tisztelete, itt Newtonra, Einsteinre és néhány más tudósra gondolok. A másik elvük a természet tisztelete. Ez a két elv teszi a sintoizmust tudósok számára alkalmas vallássá.” Ő maga nem volt vallásos, de nem volt vallásellenes, csak a szervezett vallást ellenezte. Szerinte a vallás nagyon személyes dolog, vagy legalábbis annak kellene lennie. Apjának az volt az elve, hogy bűn lenne egy gyereket vallásórákra járatni, mielőtt bizonyos kort, mondjuk tizenégy vagy tizenöt éves kort elér, akkor aztán választhatna magának. Ebben az elvben nevelte őt is. Telegdi szerint viszont, ha valakit így nevelnek, mire tizenégy vagy tizenöt éves lesz, már teljesen elveszett a vallás számára.

Talán a következő történet jól megvilágítja, milyen szokatlan személyiség is volt Telegdi Bálint. Manapság egy gyakran felmerülő téma a nők szerepe a tudományban. Legtöbbszörben, ha nem tudnak vagy akarnak pozitívan nyilatkozni a témáról, inkább hallgatnak. De nem Telegdi. Egyszer részt vett egy feminista összejövetelen, ahol – bizonyos fókig provokálás céljából – a következőt mondta: „Ha én lettem volna Pierre Curie házastársa, belőlem is Madame Curie vált volna.” El tudjuk képzelni, mekkora felháborodást váltott ki. Szerinte Marie Curie nagy tudós volt, de nem volt különleges elme, míg a férje mindkettő volt. Telegdi szerint ugyanakkor nem kell nagy koponyának lenni ahhoz, hogy valaki sikeres tudományt csináljon, mint ahogy a Nobel-díjasok közül is csak kevesen különlegesen ilyen szempontból. Egyébként, visszatérve a fenti feminista összejövetelre, annak témája épp a példaadás volt, az, hogy hogyan lehet kiváló modellekkel lelkesíteni a fiatalok lányokat. Szerinte ha egy híres színész eljátsza egy filmben Marie Curie szerepét, ennek hatására egy lány utána

talán egy egész hétig valóban Madame Curie akar lenni, de ez az érzése gyorsan elmúlik. Ugyanakkor, ha van egy jó és lelkesítő fizika- vagy kémia tanára, különösen ha az nő, annak sokkal maradandóbb a hatása.

Különösen érdekes volt, ahogy kortársairól és kollégáiról beszélt. Két évvel ezelőtt segített nekem megszervezni egy rövid CERN-béli látogatásom alkalmából azt, hogy két nap alatt négy ottani Nobel-díjas tudóssal találkozhassak; mindegyikükkel jó barátságban volt. Ugyanakkor, kereken megtagadta, hogy közreműködjön egy olyan interjú megszervezésében, amelynek alanyát nem tartotta nagyra (szerényen fogalmazva). A következőt írta: „Ami ...-t illeti, nem vagyok hajlandó közbenjárni. Én nem akarom az önhittségét fokozni. Baráti szeretettel, pimasz ügynőke, Bálint.” Külön élmény volt, ahogy próbált segíteni a felkészülésben, mindegyikükről részletesen kifejtve véleményét. Nem kétséges, hogy ő maga is korunk egyik különleges tehetsége volt. Olyan fizikus, aki bár kísérleti fizikusnak számított, az elméletet is nagyra

tartotta, és büszke volt elméleti cikkeire. Nehéz természete biztosan nem segítette a kapcsolattartást. Nem tudom, hányan tartották közeli barátjuknak, de azt tudom, hogy ő maga nagyon sokra tartotta a barátságot. Legjobb, ha a saját szavaival fejezem be ezt a rövid megemlékezést:

„Visszagondolva az életemre, mindig úgy tartottam, hogy egy kísérleti fizikusnak az a feladata, hogy a legpontosabb eredményeket érje el a legegyszerűbb és legolcsóbb módon. Nem szeretek ágyúval lőni verébre, még ha sokan ezt elegánsnak is tartják. Amikor negyvenéves voltam, azt mondtam a feleségemnek: az életem fő célja az volt, hogy tiszteljenek azok, akiket én is tisztelek. Ezt a célt elértem és boldog vagyok. Sokan érzik, hogy nem kaptak elég elismerést a világtól s ezért keserűek. Én úgy érzem, hogy a világ több elismerést adott nekem, mint amennyit megérdemeltem, bennem nincs semmi keserűség. Elégedett vagyok az életemmel.”

Kulcsszavak: *Telegdi Bálint, mion, paritás-sértés, részecskefizika, híres fizikusok*

## IRODALOM

- Friedman, Jerome I. – Telegdi Valentine L. (1957): Nuclear Emulsion Evidence for Parity Nonconservation in the Decay Chain  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ . *Physical Review*. 105, 1681–1682.
- Garwin, Richard L. – Lederman, L. – Weinrich, M. (1957): Observations of the Failure of Conservation of Parity and Charge Conjugation in Meson Decays: the Magnetic Moment of the Free Muon. *Physical Review*. 105, 1415–1417.
- Hargittai István – Hargittai Magdolna (2000–2006): *Candid Science*. I–VI. Imperial College Press, London
- Hargittai Magdolna (2004): Valentine Telegdi. In: Hargittai Magdolna – Hargittai István: *Candid Science IV: Conversations with Famous Physicists*. Imperial College Press, London
- Ignotus (1908): *Kelet népe*. Nyugat. 1. (lásd: <http://epa.oszk.hu/00000/00022/nyugat.htm>).
- Kuncz Aladár (1975): *Fekete Kolostor: Feljegyzések a francia internáltságból*. (Magyar elbeszélők sorozat) Szépirodalmi, Budapest
- Lederman, Leon (with Teresi, Dick) (1993): *The God Particle: If the Universe Is the Answer, What is the Question?* Delta, New York
- Lee, Tsung-Dao – Yang, Chen Ning (1956): Question of Parity Conservation in Weak Interactions. *Physical Review*. 104, 254–258.
- Wu, Chien-Shiung – Ambler, E. – Hayward, R. W. – Hoppes, D. D. – Hudson, R. P. (1957): Experimental Test of Parity Conservation in Beta Decay. *Physical Review*. 105, 1413–1415.

## Vélemény, vita

### TUDOMÁNY, AKADÉMIA ÉS A PIAC<sup>1</sup>

Róna-Tas András

az MTA rendes tagja

aronatas2@axelero.hu

#### *A tudomány és a piac*

A tudomány kapcsolata a felhasználóval egyesek számára igen egyszerű. A felhasználó megmondja, mire van szüksége, s a tudomány ezt „legyártja”. A probléma azonban ott kezdődik, hogy „a” felhasználó nem létezik. Az autóvásárlók nagy többsége kényelmes, jól gyorsuló, mindenextrával felszerelt, csinos külsejű kocsit akar, lehetőleg a maga kategóriájában minél olcsóbban. Kis részük még néhány technikai igényt is bejelent, rendszerint az ismerősök vagy valamelyik autós újság ajánlata alapján. Az autóvásárló azonban nem tudja, hogyan készül és részleteiben hogyan működik a kocsí, nem is igényli, hogy abba beleszóljon. S hogy végül melyik és milyen lesz a sikeres autó – az „év autója” –, azt reklámmal, szakújságírók utaztatásával és sok más marketingfogással lehet elérni, amiben természetesen ismét benne van a „piac”. Az autóvásárlók többsége egyszerűen bízik a gyárban, a márkában, a márkakereskedőben. Vagy vegyünk egy másik példát. A kórteremben csupa vesebe-

teg fekszik. A betegnek egyetlen igénye van, hogy oldják a szorongását, hogy meggyógyuljon, az élete a jövőben kellemes vagy legalább elfogadható legyen. Nem érti, de nem is érdekli, hogy milyen kémiai, biológiai, orvosi szempontok összessége alapján fogják úgy operálni, ahogy fogják. Nem is kíván ezekbe beleszólni. S az sem keresztülvihető, hogy a kórterem betegei minden nap szavazással döntsék el, kit ki és mikor fog operálni. Mikor befekszik a kórházba, bizalommal van az orvosok iránt.

A huszadik század közepéig a tudomány és a piac között bízalmi viszony állt fenn. A tizenkilencedik században és a huszadik század elején a tudományok: a fizika, a kémia, majd a biológia, valamint a közgazdaságtan, a szociológia óriási eredményeket értek el, amelyek alapvetően megváltoztatták a fejlett államok lakosainak életminőségét. Nemcsak a tudomány eredményei (közlekedés, táplálkozás, egészségügy, a rádió, a tévé mindig újabb piaci áruvá váló fejlesztései), hanem a tudomány művelése is demokratizálódott. Egyre többen akartak és tudtak részt venni a tudományos kutatásokban, a tudós rangja előbbre való volt a polgár vagyonánál. A vagyonosak nem követeltek a tudománytól, hanem nagy összegekkel támogatták azt, s nemcsak a Nobel-díj született, hanem ren-

---

<sup>1</sup> Az alábbiak az MTA egyik tagja által megfogalmazott egyéni véleményt tükröznék. A szerző tudja, hogy számos esetben igazságtalanul élesen fogalmazott, s a valóság mindig színesebb, bonyolultabb. Vitát kíván provokálni és nem kinyilatkoztatni akar.

geteg nagyvonalú alapítvánnyal volt tele a világ fejlett része. S ennek a fonákja: míg a 19. századig zavaros eszméket főleg vallási köntösben lehetett megjeleníteni, addig a 19. századtól erre az áltudományok szolgálnak.

A tudomány és a piac közötti bizalom azonban a második világháború után megrendült. Ennek több okát is sorolhatjuk. Egyrészt mind a tudósok, mind a polgárok megijedtek attól, hogy látták annak a következményeit, amint a tudomány óriási fejlődése nemcsak az életminőség javítását eredményezheti, hanem az emberek tömeges elpusztítását is. Látták, hogy a tudomány eredményei nemcsak, sőt nem elsősorban a piacon keresik leendő gazdájukat, hanem a katonák és a politikusok kezébe kerülve egy esztelen fegyverkezési versenyt szolgálnak.

A magántőke továbbra is támogatta a tudományt, de előnyben részesítette azokat a kutatásokat, amelyek őt profithoz segítették. Az állam egyre nagyobb részt vállalt a kutatások finanszírozásában, de cserébe függővé tette a tudósok nagy részét. A köztisztviseltek álló tudós helyébe a havibéért dolgozó kutató került. A függő viszony pedig fogyasztotta a bizalmat.

Világossá vált, hogy a tudomány hasznosításából származó haladásnak gátjai és korlátai vannak, a növekedés mindenekfelettsége helyébe a fenntartható növekedés, sőt a nulla növekedés javaslata is szóba került (lásd Római Klub). A környezet és a források felélése olyan veszélyt jelzett, amely szükségessé tette a hosszú távú fejlesztési koncepciók kidolgozását. Ezek azonban rendre ütköztek a piaccal, és a mai napig defenzívában vannak. Létrejött a hosszú távra tekintő alapkutatások és a rövid távra termelő fejlesztések ellentéte.

Közben a tudományos világ robbanásszerűen terjeszkedett. Egyre többen kutattak egyre drágább műszerekkel és más infrastrukturális segítséggel (mint laboratóriumok, könyvtárak, publikációk, folyóiratok,

menedzsment stb.). Az eredmény a pénz és a szürkeállomány szorzatának függvényévé vált. Ekkor derült ki, hogy mindkettő igencsak korlátos. S kiderült az is, hogy átmenetileg akár eredményes is lehet a bizalomhiányos, függő viszonyban létrejövő tudományos tevékenység, mégis az alkotó tudomány feltétele az autonómia.

A másik oldalon megszületett a követelmény, hogy a korlátos pénzforrásokat hatékonyabban használják fel, azokat csak a kiválóknak, a minőségnek juttassák. Ennek nyomában megszülettek a tudomány, illetve a tudományos teljesítmények értékelésének rendszerei. Bár ezek a rendszerek külön-külön alig használhatóak, kellő körültekintéssel alkalmazott kombinációik és a *peer*-ek, a kollégák, a tudományos közvélemény ítélete együttesen használhatóak a célra.

A huszadik század második felében a piac és a tudomány megkísérelt megállapodni. A „külvilág” s a társadalom nevében a kormányok nagyobb autonómiát ajánlottak abban az esetben, ha a tudomány nagyobb felelősséget, elszámoltathatóságot és a kapott pénzek el- és felhasználásának nagyobb átláthatóságát biztosít. Az autonómiáért cserébe a minőséget kérték. S ennek megállapítása nem a tudós, a tudományos műhely nyilatkozatától, hanem külső, ha tetszik „társadalmi” ellenőrzésétől függ. Itt egy újabb bizalmi kérdés jelentkezett. Honnan tudja a „külső”, a vevő, a felhasználó, hogy mi a minőség. A reklamációs jogot persze szabályozzák, de a vevő jobban szereti, ha előre tudja, milyen az áru minősége. Tehát a minősítést rábízta a szakértőkre. Csakhogy a szakértő függetlensége is bizalmon alapul. A szakértő vagy a tudomány, vagy a közösség által van megfizetve. Ha a tudománytól, illetve annak intézményeitől függ a jövedelme, nem független tőle. Ha az államtól függ a jövedelme, a politika függvényévé válhat. A huszadik század végén fokozatosan jönnek létre a független minősítő testületek és

ügynökségek. Ezek függetlenségét most már az Európai Unió vezető testületei is megkövetelik, és az erre szolgáló feltételeket és eljárásokat is elfogadták az EU miniszterei és parlamentje. A követelmények megvalósítása természetesen nem megy máról holnapra, de biztatóan halad.

A rendszerváltás utáni új alkotmány megkísérelte helyreállítani a társadalom és a tudomány közötti bizalmat. A korábbi, egy párt és ideológiája által irányított tudomány helyett kimondja: 70/G. § (1) *A Magyar Köztársaság tiszteletben tartja és támogatja a tudományos és művészeti élet szabadságát, a tanszabadságot és a tanítás szabadságát. (2) Tudományos igazságok kérdésében dönteni, tudományos értékeket megállapítani kizárólag a tudomány művelői jogosultak.* Ezt az alkotmányi helyet az utóbbi időben többen is támadták. Ugyanakkor mások nem vették figyelembe az Alkotmány 35. § (1) f pontját, amely kimondja: *A kormány meghatározza a tudományos és kulturális fejlesztés állami feladatait, és biztosítja az ezek megvalósulásához szükséges feltételeket.* Ez ugyanis világos munka- és kompetenciamegosztást ír elő. Leegyszerűsítve: a tudomány autonóm, a fejlesztés állami irányítású. S hozzátesszem: az egész csak akkor működik, ha köztük bizalmon alapuló együttműködés áll fenn. Ezelőtt a megváltozott háttér előtt szeretném nagyító alá venni az Akadémia helyzetét.

#### *A Magyar Tudományos Akadémia és a tudomány a múltban*

Hogy a Magyar Tudományos Akadémia és a társadalmi-gazdasági környezet sajátos, mondhatni a világon egyedülálló viszonyát megértjük, kissé vissza kell mennünk a múltba. Az 1825-ben Széchenyi István által alapított tudós társaság már alapításakor eltért az európai akadémiáktól. Az egyetlen olyan európai akadémia, amely nem „királyi”, vagyis nem a felvilágosult uralkodó, hanem egy magára ébredő nemzet főúranak kez-

deményezésére alakult. Kezdetől fogva a „legjobbak és legnemesebbek”, a kiválasztottak közössége volt, amely a nemzet aktuális céljainak megvalósításában tudásával vett részt. Ugyanakkor az Akadémia hosszú ideig magán viselte a magyar társadalom árnyékát. Kiváló tudósok és műkedvelő főurak voltak a tagjai. De a beválasztott előkelőségek egyik feladata az volt, hogy védőemőlt tartsanak a tudósok és a tudomány fölé, ugyanakkor biztosítsák az Akadémia működésének anyagi feltételeit.

A magyar tudomány legfontosabb intézményét sokan támogatták. Például 1928-ban megkapta a Vigyázó-örökséget, amely többek között 25 000 hold földet, négy kastélyt, két budapesti bérházat, több millió pengő értékű készpénzt és értékpapírt tartalmazott. Ezt ugyan az örökösök megtámadták, de a pereskedés végére az Akadémia a teljes örökség háromnegyedét megkapta. Ezt és több kisebb adományt egészítette ki az egyre csökkenő államszegély.

Az Akadémia működésének fő iránya a pályadíjak kifizése volt. E mellett támogatták a kutatómunkát, például az akkor már komoly teljesítményt felmutató Bartók Béla és Kodály Zoltán népdalgyűjtéseit, az Alföld akácosítását, geodéziai és geofizikai vagy az onkológiai célú sebészeti kutatásokat.

Ugyanakkor az Akadémia állandó külső nyomás alatt állt. Csak egy példa: A politika és a sajtó nagy részének támogatásával 1933-ban egy Magyar Fajbiológiai Intézet felállítása került napirendre. A mellette agitálók szerint arra kell törekedni, hogy „a nyugati országokban máris diadalmasan bontakozó faji eszme tiszta foglalatát, s annak a nemzeti létre gyakorolt hatását az Akadémia falai közt is tudatossá tegye” (idézi Tilkovszky, 1975, 291.). Kétségtelen, hogy ez a terv akkor könnyen eladható lett volna. Az Akadémia azonban e helyett a tihanyi biológiai kutatóintézet hosszú távú alapkutatásait támogatta. Ekkor a politika és a sajtó nagy része olyan

össztűzet nyitott az Akadémiára, amely azt közvetlen válságba sodorta. Az Akadémia vezetői, különböző okokra hivatkozva lemondtak, s a kialakuló súlyos helyzetben az Akadémia József királyi főherceg elnökké választásában látta a kiutat, amely megvédi a tudományt a külvilág befolyásától. Ez az akkori helyzetben bizonyos szempontból érthető, azonban az ezt követő események fényében teljesen elhibázott lépésnek bizonyult. Nincs itt helyünk arra, hogy az Akadémia II. világháború előtti helyes, helytelen, de a körülmények között érthető, illetve téves döntéseit elemezzük. Volt ilyen is, olyan is.

A második világháború után az Akadémia kétféle megújítási javaslata került napirendre. A fontolva haladók és a radikális megújítók között ugyan átmenetileg elmérgesedett a viszony, de az Akadémia újból magára talált, és Kodály Zoltán elnöksége alatt sikerült egy minden oldal számára elfogadható megújulási programot és az ehhez szükséges szervezeti és személyi változásokat elfogadni. Közben azonban a környezet jelentősen átalakult. Az Akadémia a vagyonának egy részét jelentő ingatlanvagyonát államosították, helyette ennek jóváteteleként állandó támogatást kapott, amely azonban aránytalanul alacsony volt. Az Akadémia egyéb vagyona elpusztult, elértéktelenedett. Az anyagi ellehetetlenülés és a fenyegető politikai nyomás arra készítette Kodály Zoltánt, hogy 1948-ban drámai hangon szólaljon meg a magyar tudományt fenyegető veszélyekről, arról, hogy a tehetségek elhagyják az országot, s az otthonmaradókat megfosztják kutatásaik lehetőségétől.

Még ebben az évben, tehát 1948-ban fogadta el az Országgyűlés a Magyar Tudományos Tanács felállításáról szóló törvényt. A tanács mint a tudomány legfelsőbb irányító szerve működött, elnöke Gerő Ernő, a kommunista párt egyik erős embere lett. A tanács céljai között szerepelt a kutatásszervezés és a tudománynak „a gyakorlati élettel való

*kapcsolatának*” megteremtése. Bár a szavak szintjén elhangzott, hogy a Magyar Tudományos Akadémia megmaradhat, azonban akkor már elhatározott dolog volt, hogy a tanács előbb vagy utóbb felváltja a megszűnésre ítélt Akadémiát. A tanácsnak szakosztályai, annak tagjai voltak, munkájukat titkárság „segítette” (a részletekről lásd Huszár, 1995).

E kérdésben, 1949-ben azonban fordulat állt be. A fordulat minden okának feltárása még nem fejeződött be. Szerepe volt ebben a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának, és oka volt a kommunista párt vezető értelmiségi személyeinek ellentéte is. Előbb az Akadémia beolvasztására, majd a Magyar Tudományos Tanács és az Akadémia összeolvasztására születtek javaslatok. Végül Gerő a következőkben foglalta össze a helyzetet: „... mert bár az Akadémia elhalatására vettünk irányt, az Akadémia halódva ugyan, de mégis létezik és esetenként bizonyos aktivitást fejt ki, amit kívülről nehéz irányítani” (Huszár, 1995, 107.). Ezután, 1949 végén, következett be a Magyar Tudományos Akadémia államosítása. Az új Akadémiába a Tudományos Tanács irányítása alá tartozó intézetek nagy része átkerült. S bár könnyű ebből a korból idézni a szovjet mintára való hivatkozásokat (ez a legriválisabb esetekben is kötelező volt), a valóságban számos intézet vagy már korábban létezett, vagy a Tudományos Tanács szervezte meg. Korabeli feljegyzések szerint a Tanács 26 intézetet szervezett át vagy állított fel (Kónya, 1975, 381.).

A kommunista diktatúra idején az Akadémia tagjainak jelölését az egyes osztályok párttagjaiból álló „aktíva” indította el. A listák persze sokszor fentről érkeztek, majd újra vizsgakerültek az illetékes párt- és belügyi fórumokhoz. A sokszorosan át- és megszürt listák azután az Akadémia osztályai elé kerültek. Itt különösebb vita nélkül, titkos szavazással a beterjesztett listát megszavazták. Ha egy javasolt személy mégis kevesebb szavazatot kapott, mint az Osztály jelen volt párttagjai-

nak száma, akkor megindult a párt fegyelmi gépezete. Kétségtelen, hogy ezekben az években több olyan személy is bekerült az Akadémiára, akire ráillett a korabeli mondás: „Ha nem elég a tehetséged, told meg egy pártbelépéssel”. Voltak olyan párttámogatottak, akik az Akadémiába való bekerülésük után sem alkottak jelentőset. De voltak, s nem is kevesen, akik bár megválasztásuk idején messze voltak egy nemzetközi mércétől, behozták lemaradásukat, s jelentős tudományos eredményeket értek el. Ebben az időben, ha kisebb számban is, de választottak pártönkívvülieket is akadémikusnak. A feltétel a magas szakmai teljesítmény mellett az volt, hogy az illető legalább ne legyen „ellenség”, munkásságában, megnyilatkozásaiban ne legyen semmi, ami a vezető ideológia és a párt szemszögéből kivetnivaló. Ez persze a társadalom- és bölcsészettudományoknál szinte lehetetlen volt, a természettudományok és a műszaki tudományok területén azonban az idő haladtával egyre könnyebb.

1969-ben a kommunista párt központi bizottsága újabb határozatot hozott a Magyar Tudományos Akadémia átszervezéséről. Refombbizottság alakult, majd 1969 októberében az Akadémia elfogadta az új szervezeti rendszer alapelveit, 1970-ben az ennek megfelelő új alapszabályokat. A vita arról folyt, hogy a testületi döntéseket a testület(ek) hajtsák-e végre, vagy a tudományirányítást a kormánynak felelős személyek végezzék-e. Az új rendszer szerint a testület, tehát az Akadémia elnökét az akadémikusok választották, és tisztségében az Elnöki Tanács *erősítette meg*, addig a tudományirányításért felelős főtitkárt és helyetteseit a közgyűlés ajánlása alapján a *kormány nevezte ki*. Ez a rendszer természetesen csak jogilag nézett így ki. Az Akadémia elnökére és főtitkárára tett javaslatot a pártaktívák bevonásával a pártközpont jelölte ki, személyükről a kommunista párt politikai bizottsága döntött, majd a kész listát a közgyűlés titkos szavazással fogadta el.

Mindeközben az Akadémiát visszavisszatérő rendszerességgel hol azért bírálták, mert nem gondoskodott eléggé az alaptudományok fejlesztéséről, hol meg (ugyanazok, s nagyjából ugyanakkor) azért, mert nem tett eleget a tudomány és gyakorlat kapcsolatának erősítéséért. A magyar tudósok pedig, miközben igyekeztek a hangadókkal a konfliktusokat kerülni, egyre intenzívebben vettek részt a nemzetközi tudományos életben, hozták haza nemcsak a tudományos eredményeket, hanem a tudományszervezési tapasztalatokat is. A kutatóintézetekben és az egyetemeken kiváló fiatalok és idősebbek kiemelkedő eredményeket értek el. Az egyedi teljesítményeket a legtöbb helyen felváltotta a csapatmunka.

Már a hetvenes években felmerült a feladat- és az intézményfinanszírozás kettősségének kérdése, viták folytak a helyes arányokról. A nyolcvanas években nagyobb súlyt kaptak a pályázati rendszerek és a feladatfinanszírozás.

Ebben a helyzetben érte az Akadémiát a rendszerváltás. 1990-ben a Magyar Tudományos Akadémia tagjainak túlnyomó többsége nemzetközileg magasan elismert tudósokból állt. Ezt nemzetközi díjak, nemzetközi szervezetek és testületek rendes és tiszteleti tagsága, külföldön elért tudományos teljesítmények, könyvek, publikációk és magas idézettség bizonyították. Ugyanakkor ha csökkenő számban is, de voltak az Akadémiának olyan tagjai is, akik pártérdemeikért, az ideológiai munkában szerzett érdemeikért, vagy egyszerűen az Akadémia párt- és partvonalon tartásáért többet tettek, mint a tudomány fejlődéséért.

Az Akadémia 1990-ben választott új vezetősege és elnöke három fontos lépést tett. Felkérte a régi rendszer vezető akadémikusait, hogy önkéntesen vonuljanak vissza, olyan új tagokat javasoltak, akiket kiemelkedő tudományos eredményeik ellenére, addig, főleg politikai okokból, nem választottak



be az Akadémiába, és elindította az Akadémiára vonatkozó joganyag átalakításának folyamatát. Mindhárom lépés célkitűzése személyes véleményem szerint helyes volt, megvalósításuk kompromisszumokon keresztül történt. Legrosszabbul az Akadémiára vonatkozó törvény és az azt megvalósító alapszabály sikerült.

### *A Magyar Tudományos Akadémia és a tudomány a jelenben*

A jelen helyzet megértéséhez néhány dolgot előre kell bocsátanom. Az első az, hogy a rendszerváltáskor az új magyar politikai elit az Akadémiával kapcsolatban igen megosztott volt. A rendszerváltó pártok vezető értelmisége kevés kivétellel szemben állt az Akadémiával. Ennek okait itt nincs helyem elemezni. Számos ellenzéki értelmiségit az Akadémia korábban, pártutasításra, kizárt a kutatóintézetekből, másokat viszont éppen az akadémiai intézetek fogadtak be, és biztosítottak nekik szerény megélhetést. Az új minisztériumok apparátusában sok olyan személy dolgozott, akik régi beidegződéseiktől nem tudtak szabadulni, és érdekeltek voltak a felsőoktatás és az Akadémia szembeállításában. Nem volt véletlen, hogy a felsőoktatás egyik új szerveként megalakuló Felsőoktatási és Tudományos Tanács nevébe belekerült a „tudományos” szó. Az eredeti elképzelés szerint ennek kellett volna a tudomány irányító szerepét betöltenie. Az Akadémia és a felsőoktatás szembeállításának ellensúlyozására alakította meg az Akadémia elnöke, Kosáry Domokos az Athenaeum Bizottságot, amely az Akadémia és a rektori konferencia küldötteiből állt.

Az Akadémiával szemben állók elsősorban az Akadémia elit jellegét nehezményezték, s hiányolták annak demokratizmusát. Ezért azt vetették fel, hogy vagy minden tudós tagja lehet az Akadémiának, vagy az Akadémia megszűnik mint a köz által támogatott testület. A minden magyarországi tudóst

magába foglaló Akadémia természetesen működésképtelen látszatszerkezet lett volna. A kompromisszumként létrejött Akadémiai Törvény (ATV) szövege így szól:

„1.§.(1) *A Magyar Tudományos Akadémia (a továbbiakban Akadémia) önkormányzati elven alapuló, jogi személyként működő köztestület. Köztestületként a tudomány művelésével, támogatásával és képviselésével kapcsolatos közfeladatokat látja el. (2) E köztestületet a 9. § szerinti akadémikusok, valamint a tudomány olyan más képviselői alkotják, akik tudományos fokozattal rendelkeznek, és tudományos tevékenységükkel a magyar tudomány feladatainak megoldásában részt vesznek. A köztestület nem akadémikus tagjai jogait – a jelen törvényben és az Akadémia Alapszabályában meghatározott módon – képviselő útján gyakorolják.*” (1994. évi XI. törvény). Az ATV 10. §. (2) bekezdése szerint az Akadémia legfelsőbb döntéshozó szervét a Közgügyi 200 70 év alatti akadémikus mellett 200 doktorképviselő alkotja. Bár az akadémikusok száma a szavazati joggal rendelkező 70 év felettiekkel együtt meghaladja a doktor képviselők számát, látható a törvényalkotói szándék.

Míg az Akadémia választott elnökét a köztársasági elnök megerősíti, addig a főtitkár, akit szintén a közgyűlés választ „... tevékenységéért a közgyűlésnek felelős” (ATV 18. §. (2), vagyis megszűnt a főtitkár függése a kormánytól. Ezzel és néhány más, kisebb jelentőségű jogszabállyal helyreállt a Magyar Tudományos Akadémia autonómiája.

Az Akadémia által használt állami tulajdonú ingatlanok az Akadémia tulajdonába kerültek (törzsvagyon), egyéb, például intézeti ingatlanok kincstári vagyonkezelésbe kerültek, és bár az Akadémia ezeket használhatta, elidegenítésüket a kincstári vagyonra vonatkozó szabályok szerint lehetett. Az Akadémia az állami költségvetésben külön fejezetet kapott. Ugyanakkor utalás sem történt az Akadémia

korábban államosított vagyonáról.

Az Akadémia működése szempontjából egy szervezeti és egy szerkezeti szempontot kell még figyelembe venni.

Az akadémiai intézetek és kutatóhelyek felett az Akadémiai Kutatóhelyek Tanácsa (AKT) áll. A harminctagú testület felét a közgyűlés, felét a kutatóintézetek választják. Ennek a testületnek azonban nem lehet tagja akadémiai intézet igazgatója. Vagyis a tényleges irányítást és felelősséget hordozó igazgatók fölött egy heterogén érdekeket képviselő testület gyakorolja a hatalmat, amely azonban az Akadémián belülről jön, tehát egészen az Akadémia (szakmai és rész-) érdekeit képviseli. Az AKT elnöke a főtitkár, az AKT-nak a három nagy tudományterületnek megfelelő kuratóriuma van. Ez a bonyolult, súlyokat és ellensúlyokat, egyéni és testületi felelősséget tartalmazó, de azokat el is mosó rendszer persze elvben még akár jól is működhetne, ha megvolna a működés két feltétele – a pénz és a bizalom. Azonban a hiányos pénzforrások elosztásának feladata nem a jó kezdeményezések támogatása, hanem a mindenkitől egyformán vegyünk el/mindenkinek arányosan adjunk módszerrel folyik. A bizalmat pedig csak úgy lehet megtartani, ha mindenki kap egy kicsit, vagy mindenkitől egyformán vesznek el. A végeredmény, hogy az intézeti eredmények, s köztük a kiemelkedően jó eredmények, szinte kizárólag az ott kutatók ambícióinak, tehetségének függvénye. *Ezért az akadémiai intézetek irányítási rendszere mindenképpen reformra szorul.*

Az Akadémia szerkezeti sajátossága, hogy a kétszáz 70 év alatti tag mellett teljes joggal rendelkeznek a 70 év feletti tagok. Hogy ez ne legyen felfelé nyitott és finanszírozhatatlan, megállapodás született, hogy a teljes Akadémiának, beleértve a kétszáz 70 év alatti is, 365 tagja lehet. Könnyen belátható, hogy amint a 70 év felettiiek elérik a 165-ös létszámot (és ez 2007-ben minden valószí-

nűség szerint megtörténik), a kétszáz 70 év alatti száma és aránya az Akadémián belül csökken. Ezután két dolog történik: az Akadémia folyamatosan elöregszik, s egyre kevesebben kerülhetnek be az Akadémiába. Le kell szögezni, hogy 70 év felett is lehet valaki kiváló és folyamatosan alkotó tudós (erre sok példa van), továbbá erre 70 év alatt sincs biztosíték. Mégis a kor előrehaladtával az alkotóképesség megőrzésének valószínűsége csökken. *Ezért az Akadémia testületi rendszere mindenképpen reformra szorul.*

Mielőtt a javasolt reformokra rátérnénk, még néhány lényeges kérdést kell érinteni. Az akadémiai intézetek kutatóinak jelentős hányada közalkalmazott. Alkalmatlanságuk esetén gyakorlatilag nem lehet tőlük megválni. Az akadémiai intézetek természetesen pályázati pénzekkel is működnek, s ezeken csak szerződéses munkatársakat lehet dolgoztatni, mégis még mindig kísért a „tiszviselő kutató”. Az igazság kedvéért persze itt is el kell mondani, hogy a viszonylag alacsony kutatói fizetéseket némileg kompenzálja az állás biztonsága. Minden szempontot figyelembe véve azonban, *a kutatói állomány jogi helyzetén sürgősen változtatni kell, a tiszviselő kutató helyett a teljesítményével versengő tudós pályarajzát kell megteremteni.*

Az akadémiai intézetek tematikái és bevételei egy sor keresztfinanszírozást tesznek szükségessé. A pályázati és a gazdasági piacon „eladható” vagy ténylegesen eladható kutatásfejlesztések és a központi támogatások együttesen fedezik a be sem árazható alapkutatások költségeit. Ez a rendszer sem rossz önmagában, jó lehet például, ha az eladható szabadalom vagy termék bevételei fedezik a termékhez vezető alapkutatást. Csakhogy ez sem időben, sem költségben nem így történik. *Ezért a nem beárazható alapkutatások finanszírozását, mindenekelőtt finanszírozási technikáját meg kell reformálni.*

Az alapkutatások és az „eladható” tudományos fejlesztések (R/D) közötti összefüggések körül súlyos viták vannak. A kettő ugyanis szakmailag szorosan összefügg (s ezeket az összefüggéseket csak a legjobb tudósok értik), ugyanakkor, bár rengeteg átmenet van a két kategória között, finanszírozásukat teljesen más alapokra kell helyezni, s ez menedzseri ismereteket és képességeket, valamint tudománypolitikai döntéseket igényel.

Nem kerülhető meg a társadalom és humán tudományok kérdése. Azt a kérdést is fel kell tennünk, hogy egyáltalán tudományok-e ezek. Persze itt nincs helyünk tudományelméleti fejtegetésekre. Inkább utalunk a közfelfogásra, amely megköveteli, hogy a tudományos eredmény lényeges, vagyis az összefüggések csomópontjában és nem perifériáján elhelyezkedő, indokolható, vagyis oksági rendszerben magyarázható, előző ismeretekből levezethető, de azokhoz képest újat hozó, önmagánál nagyobb összefüggésbe ágyazható, modellálható, elméleti keretbe illeszthető, vagy új elméleti keretet teremtő legyen. Felvethető az előre megmondható, a jövőben megtörténő események meghatározásának igénye, vagy a modellálhatóság matematikai apparátusának szigorúsága. Ha mindezeket, s lehet még más, követelményeket szembe-sítünk bármely tudománnyal vagy annak eredményeivel, akkor azt tapasztaljuk, hogy különbség egyfelől a természet és mérnöki tudományok, másfelől a társadalom és bölcsészettudományok között ebben a vonatkozásban lényegtelen. Teljesen sehol nem érvényesíthetők a kritériumok. Ezek tudományágakként változó mértékben, de csak megközelíthetők. A multi- és interdiszciplináris kutatások újabb eredményei (történeti genetika, kognitív pszichológia, gazdasági matematika, informatikai nyelvészet stb., stb.) éppen a tudományok közötti egykori határok elmosódását, a

különböző tudományos megközelítések kölcsönös felhasználhatóságát bizonyítják. *Meg kell tehát szüntetni a „puha” és „kemény” tudományok megkülönböztetését, és egységes mércét kell alkalmazni mindkettő megítélésében.*

Itt kell említenünk a „nemzeti” és a „nemzetközi” tudományok kérdését is. Elsősorban minden tudományos eredmény valamilyen nemzeti kultúra közegében születik, még akkor is, ha eredményének nincs nemzeti vonatkozása. Azok nemzeti hovatartozása, akik kiemelkedő tudományos eredményeket értek el, mindig fontos volt, gondoljuk csak a Nobel-díjasokra. Ugyanakkor ezek a nemzeti, történeti keretek változnak, meghatározásuk sokszor vitatható, s jelentőségük a jövőben csökkenni fog. Más a helyzet a nemzeti tárgyú kutatásokkal. Az önismeret, a jelenismeret és az értékismeret nélkülözhetetlen az egyén és a közösség szellemi és lelki egészsége szempontjából. *A psziché és a szóma kölcsönhatását ma már nem lehet tagadni. A nemzeti tudományok művelése nemzeti felelősség, s ez vonatkozik a magyar föld, a magyar éghajlat, a magyar történelem, társadalom, művészet, a tágabb értelemben vett kultúra bármely részletére. A nemzeti önismeret torzulásai súlyos társadalmi konfliktusokhoz vezethetnek. Ugyanakkor le kell mondani arról a téves felfogásról, hogy a magyar tárgyú kutatások nem illeszthetők be a nemzetközi kutatásokba, s azok művelői által nem ítélték meg.*

Tegyük fel brutálisan a kérdést: Mi a piaci értéke egy társadalom- vagy bölcsészettudományi kutatás eredményének? Kétségtelen, hogy a társadalom sokkal nagyobb részét érdekli, mint a természet- és mérnöki tudományok legújabb eredményei. A társadalom- és humán tudományok szükségesek a társadalom mindennapjának működtetéséhez. Valós eredményeinek felhasználói ugyanazok, mint akik a természettudományok eredményeit felhasználják.

Míg azonban a természettudományos kutatások önmagukban értéksemlegesek, addig a társadalom- és humán tudományok értékeket hordoznak vagy értékeket tagadnak. Az atomenergia önmagában nem köthető értékhez, felhasználásának módja azonban igen. S ez esetben a felhasználás módját a felhasználónak az értékekhez való viszonya határozza meg. A genetika, a természetvédelem mind-mind olyan kérdések, ahol dönteni kell, és a döntés értékfüggő, az érték pedig a társadalom kultúrájának függvénye. S hogy világosan beszéljünk, értéknek az emberi életet, annak méltóságát és minőségét tekintjük, elismerve, hogy más értékek is létezhetnek. A kés felhasználása gyilkosságra, evésre vagy sebészeti beavatkozásra nem természettudományi kérdés. Mivel a piac az emberek gazdasági viszonyainak egy fajtája, az meg sem érthető a társadalomtudományok nélkül. A társadalom- és humán tudományok esetében a vevőt bizonyos viszonylatokban a választott kormány képviseli. Ezért piaci értékről persze nem lehet beszélni. *A felhasználó szempontú tudományszemlélet éppen a felhasználó ismeretének szükségességét kérdőjelezi meg akkor, amikor a társadalom- és humán tudományok jelentőségét tagadja.*

## A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKA- DÉMIA JÖVŐJE. JAVASLATOK

### *A testület*

2007-ben betölthető a Magyar Tudományos Akadémia 365 helye. Ezzel a testület története fordulóponthoz érkezett. Meg kell szüntetni a levelező és rendes tagok közötti még fennálló különbségeket. A megszüntetés menetére több változat is kidolgozható, ha a célban egyetértés van. Ugyanakkor az Akadémia megújulását elősegítendő ötvenöt olyan tagot kell választani (osztályonként ötöt), akik már nem fognak akadémikusi

honoráriumot kapni, azonban egyéb jogaik a többi akadémikusokéval azonos. Ha a következőkben őket nevezzük az Akadémia levelező tagjainak, akkor a hagyományok körében maradunk. Az Akadémia új típusú levelező tagjainak számát limitálni kell a minőség érdekében. Ha ezt, mondjuk, 110-re limitáljuk, akkor egy idő múlva szervesen és önmagától létrejön egy olyan Magyar Tudományos Akadémia, amely létezési módjában sem különbözik az európai nagy múltú akadémiáktól. Ezt az átalakulást nem szabad siettetni, ugyanakkor az ütemezésben konszenzusnak kell lennie.

Mindennek azonban több feltétele van. Az egyik az, hogy a tudósok minőségérzékeny bérezése legalább a GDP-hez viszonyítva azonos legyen az európai átlaggal. Ennek egyik eszköze lehet a *Széchenyi professzori ösztöndíj* újra történő bevezetése. Ha ezt évente ötszáz professzor kapja meg szigorú feltételekkel (három év, ami hossz-szabbbítható, csak egy állás, nemzetközi bírálat stb.), olyan bázist lehet teremteni, amely biztosíthatja a legjobbak kiválasztását az új típusú akadémiai levelező tagok közé. ugyanakkor anyagi ösztönzést is jelentene.

A második feltétele a rendszernek a *nyugdíjak degresszívításának megszüntetése*. Ez különösen sújtja a tudósokat, akik képességeiket nem vagyon felhalmozására, hanem a tudományos eredményekre összpontosították. Ha a tudósoknak Magyarországon nincs világos és megbízható jövőképük, akkor itt fogják hagyni az országot.

A harmadik feltétele a rendszernek, hogy egyértelműen *nemzetközi normák alapján történjék a tudósok előmenetelének értékelése*. Ennek része a nemzetközi elismerés és a nemzetközi véleményezés. Ezek feltételei ma már megteremthetők. Ugyanakkor bevezetése nagy körültekintést igényel.

A negyedik de nem utolsó feltétele az átalakulásnak, hogy *szerzett jogokat nem érinthet*.

Mindezek a Magyar Tudományos Akadémia testületi rendszerének csak alapjait érintik. Számos ezen belüli kérdés, például az osztályszerkezet, a működés, a külföldi tagok rendszere és szerepe is újragondolást igényel. Ezek akkor válhatnak vita tárgyává, ha a fentiekben megegyezés születik.

Mivel az átalakuló, majd az új testületnek legtöbb jogosítványa változatlan maradna, ezekre most nem kell kitérni.

Érinteni kell azonban a *doktorképviselők* kérdését. Mint fentebb láttuk, jelenlegi jogi helyzet az, hogy a Magyar Tudományos Akadémia olyan köztestület, amelyet az akadémikusok és a tudományos fokozattal rendelkezők alkotnak. S bár a nem akadémikusok jogait képviselőik útján gyakorolhatják, végeredményben minden PhD-t megszerző személy, ha tudományos tevékenységével a magyar tudomány feladatainak megoldásában részt vesz, ugyanúgy tagja a köztestületnek, mint az akadémikusok. Ebben a meghatározásban már a „magyar tudomány” is többféleképpen magyarázható. De ez a probléma még megoldható. Ugyanakkor a Magyar Köztársaságban, mint más országokban, csak egy tudományos fokozat van: a PhD. Az akadémiai doktor, az akadémiai levelező és a rendes tag nem tudományos fokozat, csak cím. Ezért csak két út van. Az akadémiai doktor vagy tudományos fokozat lesz, vagy értelmét veszti. Ez utóbbi, középtávon, nagyon káros lenne, mert minősége eddig – szemben a habilitációval – kiváló garancia volt. Vagyis *az akadémiai doktori címet tudományos fokozattá kell változtatni*.

Ezzel megoldódna a doktorképviselők kérdése is. A doktorképviselők az akadémiai doktorokat képviselnék, ahogyan ez gyakorlatilag működik. A PhD-t szerzők viszonyát az Akadémiával többféleképpen lehet szabályozni. Ennek részleteit azonban csak akkor érdemes kidolgozni, ha a fentiekben konszenzus van.

### *A kutatóintézeti hálózat*

A jelenlegi kutatóintézeti hálózat olyan nemzeti és nemzetközi értéket képvisel, hogy annak szétverése helyrehozhatatlan kárt okozna. Ugyanakkor a rendszer átalakítása elkerülhetetlen. Az intézetekben általában elkülönül a „kutató” és az „üzemeltető” funkció. Az utóbbi az igazgató, az osztályvezető, a laboráns, technikus, informatikus stb. funkció. Ezzel egyidőben sok helyen rossz az arány a tudományos kutató és a tudományos segédszemélyzet között. Magyarország a százezer lakosra jutó kutatók számát tekintve az európai sor végén kullog.

A kutatókat megfelelő bérezés mellett szerződéses helyekre kell „átcsábítani”. A cél: egy átmeneti korszak után *az érdemi kutatómunkát végzők határidős szerződésekkel legyenek projektekhez kötve*. Az „üzemeltetők” viszont az intézetekben az állandóságot képviselik. Nem (ál)pályázatok alapján kell őket kinevezni, hanem alkalmasság alapján, határidővel, felelősséggel, elszámoltathatósággal, önállósággal és kompetenciákkal. *Az intézetek* váljanak olyan „anyahajókká”, amelyek *projektfelelősökkel szerződve azok projektjeinek magas színvonalú teljesítését segítik*. Ez nem zárja ki, hogy az intézeteknek lehessenek állandó kutatási témáik. Ezt azonban a nemzetközileg elfogadott kiválóság igazolhatja csak.

Meg kell változtatni a kutatóintézetekben és az egyetemi kutatócsoportokban működő tudósok arányát, az utóbbiakban lévő kutatók létszámát fokozatosan, és ésszerűen növelni kell. Ugyanakkor *kutatócsoportokat csak a kutatóegyetemekre szabad telepíteni*. Ez természetesen igényli a kutatóegyetemre nyilvánítás feltételrendszerének kidolgozását és elfogadását, amiben a Magyar Tudományos Akadémiának jelentős szerepet kell játszania.

*Kutatásirányítás és munkamegosztás*

Az országos kutatás és fejlesztés ügyét több szempontból érdemes újragondolni és újragombolni. Elvileg nehéz a kutatások tervezése. Hiszen a felfedezéseket, az igazán nagy paradigmaváltásokat nem lehet tervezni, csak utólag magyarázni. Trendeket, témákat természetesen lehet vizsgálni. Erre azonban jelenleg semmilyen intézmény nem működik, illetve a meglévők erre nem alkalmasak. Vannak statisztikai, gazdaságtudató és demográfiai intézetek. A tudománytervezés nagy nemzetközi tapasztalatot igénylő tudományos munka, amelyhez függetlenségre és teljes odaadásra van szükség, nem végezheti egy *ad hoc* csoport. *Ki kell jelölni a tudománytervezési kutatócsoportot.* Ez megrendelésre prognózisokat dolgozna ki.

A hosszú, közép- és rövid távú (3-5 éves) kutatásokat másképpen kell irányítani. Mint ahogy másként kell irányítani az alapkutatásokat és a fejlesztéseket, a társadalom- és humán tudományokat, illetve a természettudományokat.

Az *OTKA* jelenlegi formájában alkalmas a társadalom- és humán tudományok területén rövid távú kutatások finanszírozására. A természet- és mérnöki tudományok rövid távú kutatási tematikája igen vegyes. Egy részük megírandó PhD-témákhoz kapcsolódik, más részük az iparban és szolgáltatásként fejlesztési téma, a harmadik részük jelentős részkutatása egy nagyobb kutatásnak, s természetesen akad olyan is, amely egy kutató érdeklődése, de nem sorolható sehova. A különböző témátípusok különböző irányítási és finanszírozási rendszert igényelnek. Ha ezek a kutatások jól haladnak (s többségük jól halad), akkor az nem a szervezeten és a finanszírozási rendszeren, hanem a kuratóriumok, szakbizottságok jó munkáján múlt.

*A középtávú kutatások helye* az egyetem, illetve illeszkedve a jelenlegi koncepciókhoz, a kutatóegyetem. *A kutatóegyetem* vá-

*láshoz* sok feltételnek kell teljesülnie. Kell legyenek vezető oktatói és vezető kutatók is, van külön kutatási terve és kapacitása, szorosan együttműködik más hazai és nemzetközi intézményekkel. A kutatóegyetemi kutatások egy része már fejlesztést is tartalmaz, s ezeknek a helyszíne az egyetemek mellett létesült iparfejlesztési park. Fel kell tömni az egyetemek merev szervezetét, és lehetőséget kell adni, hogy az egyetemen belül rugalmas egyetemi kutatócsoportok létesüljenek, amelyekben több kar, több intézet és több tanszék egyes munkatársai vesznek részt. Ezzel a módszerrel el lehetne kerülni, hogy egy-egy szakember távozásával projektek omoljanak össze. Ugyanakkor a projektekbe bevonhatók lennének az egyetemeken működő akadémiai kutatócsoportok. Az utánpótlást ugyanis a szakmailag illetékes tanszék és/vagy kutatócsoport vállalhatná. Természetesen a középtávú kutatások elhatárolása igen nehéz, de nem is biztos, hogy minden esetben szükséges.

*A hosszú távú alapkutatások* helyei a jelenlegi akadémiai kutatóintézetek. Támogatásuk állami feladat, de ennek több módja van. Az egyik a szerződéses forma, amely szerződésileg biztosítja a feltételeket, de a szerződések betartását évenként, két évenként szigorúan ellenőrzi.

Meg lehet fontolni, hogy célszerű-e külön *fejlesztési intézetek* fenntartása, ill. felállítása. Itt gondolni lehetne egy agrárfejlesztési, egy iparfejlesztési és egy informatikafejlesztési kutatóintézetre. Ezek függetlenek (lehetnének) az Akadémiától, ugyanakkor annak intézeteivel szoros kapcsolatban, együttműködésben és munkamegosztásban dolgozhat(ná)nak.

*A tudomány testületi irányítását meg kell szüntetni.* A testület (akadémiai osztály, közgyűlés, elnökség, intézeti tanács, egyetemi szenátus stb.) ellenőrizzen, szükség esetén vonjon felelősségre, adjon tanácsot, kísérelje figyelemmel a tudományos munkát és annak

irányítását. A tudomány irányítása egyszemélyi felelősség, amely kívülről ellenőrzött. Jelenleg a testületek szerepe nem tisztázott. Megakadályozni bizonyos dolgokat tudnak, azonban jellegüknél fogva nem képesek irányítani. Több esetben az érdekegyensúly fenntartása fontosabb, mint a kiemelkedő új támogatása.

### Finanszírozás

A kutatás és fejlesztés támogatásának összege a következő négy év alatt el kell hogy érje a nemzeti jövedelem 2,5-2,7 %-át. (A végcél 3 % felett kell, hogy legyen). Ebből 1,5 % állami forrásokból, 1-1,2 % a felhasználók, a piac megrendeléseiből kell, hogy származzon. Az állami tudománytámogatásnak egyértelműen az alapkutatásokra kell koncentrálnia, vagyis a hosszú és közép távú kutatások finanszírozására.

A finanszírozás elvi alapjait egy *tudományfejlesztési fehérvirág* kell megteremteni. A magyar tudomány fejlesztési irányait, ezen belül az Akadémia, az OTKA, az NKTH és az egyetemek stratégiáit egy egységes és világos fejlesztési koncepció kell hogy irányítsa. Ezt néhány alapvető lefektetése után egy kis szakemberi körnek kell megfogalmaznia, és az illetékes intézmények képviselőinek minél szűkebb körben megvitatnia, és az egész magyar tudományos közéletnek ismernie és elismernie. Ennek tartalmaznia kell a következő évtizedek tudományfejlesztési prioritásait, a tudomány működésének és működtetésének formáit és az utánpótlás biztosításának módjait. Támaszkodva a nemzetközi egyezményekre, együttműködésekre és a 7. európai Kutatási Keretprogram prioritásaira és működésére,

biztosítani kell a magyar tudomány versenyképességét ott, ahol erre a feltételek megvannak. Emellett meg kell állapítani a hazai, magyar prioritásokat. A jelenlegi tudománytámogatás a mindenhová egy kicsit elve alapján működik. Valójában két kategóriára van szükség, a *kiemelkedő és a fenntartandó kutatásokra* (ezeken belül természetesen lehet differenciálni).

### Utánpótlás

A tudósutánpótlás helye a doktori képzés, amely szintén reformra szorul. Ennek irányelveit a képzésben illetékes szervek és testületek 2006 első fél évében már elfogadták. Kormányzati cselekvésre való átfordítása folyamatban van.

### Summa

A magyar tudománynak a környezet változásait követő átalakulása elkerülhetetlen. Ez azonban nem fog olyan helyzetet eredményezni, amelyben a tudomány mozgását egyedül a piac irányítja. Az innovatív gondolkodást, a tudományos alkotást nem a piac célképzete, hanem az örök emberi kíváncsiság és a felfedezés öröme ösztönzi. Azonban a tudomány olyan szellemi energia, amelynek értelmes és a társadalom által elfogadott célokra kell szolgálnia. Ehhez az állam csak a kereteket és az ösztönzőket biztosíthatja. Ha ennél többet vagy kevesebbet tesz, az eredményt hiúsítja meg. Ha ezt megérti, helyreállhat a bizalom. Javul a piaccal való kapcsolat és az emberek életminősége.

Kulcsszavak: *tudomány, piac, Magyar Tudományos Akadémia, kutatóintézet, tudománypolitika, alapkutatás, fejlesztés*

### IRODALOM

- Huszár Tibor (1995): *A hatalom rejtett dimenziói. A Magyar Tudományos Tanács 1948–1949.* Akadémiai, Budapest  
Kónya Sándor (1975): Az Akadémia újjáalakulása és működése 1957-ig. In: Pach Zsigmond Pál (szerk.):

*A Magyar Tudományos Akadémia másfél évszázada.* Akadémiai, Budapest, 361–388.

Tilkovszky Lóránd (1975): A Magyar Tudományos Akadémia az ellenforradalmi korszakban 1919–1945. In: Pach Zsigmond Pál (szerk.): *Az MTA másfél évszázada.* Akadémiai, Budapest, 265–307.

## A TUDOMÁNY SZABADSÁGA KINEK A SZABADSÁGA?

Bencze Gyula

tudományos tanácsadó, KFKI Rézszecke és Magfizikai Kutató Intézet  
gbencze@rmki.kfki.hu

Boda Miklós *A tudomány szabadsága nem a tudósok szabadsága* című cikkében (*Élet és Irodalom*. 2006. június 2.) igen érdekes és nagyvonalú módon értelmezte a tudomány művelője fogalmát: „Kik a tudomány művelői? Pléh Csaba szerint a tudományos fokozattal rendelkező kutatók, míg szerintem és a modernebb társadalmakban mindazok, akik a tudománnyal valamilyen módon foglalkoznak, pl. diákok, felnőtt hallgatók, oktatók, kutatók.”

Boda Miklós véleménye érdekes módon egybeesik Paul Feyerabend, „*a tudomány fenegyereke*” szavaival (Feyerabend, 1984): „A tudomány nem hétepcsétes titok, amelyet csak többéves felkészülés után lehet felnyitni és megérteni, hanem olyan értelmiségi szakma, amelyet bárki, akiben megvan az érdeklődés hozzá, megvizsgálhat és megkritizálhat, s amely csak azért tűnik nehéznek és mélynek, mert tudósok hada folytat szisztematikus ködösítő kampányt azért, hogy ilyennek tűnjön. (Igaz, nem minden tudós és tudomány vesz részt ebben a kampányban. A tekintélyre áhítozó társadalomtudományok sokkal sárosabbak ebben, mint a természettudományok.) Az állami szervezeteknek habozás nélkül el kell utasítaniuk a tudósok véleményét, valahányszor okuk van erre. Minél több Liszenko-ügy, annál jobb... Háromszoros hurrá tehát a kaliforniai fundamentalistáknak, akik elérték, hogy a tankönyvekből egy ideig kimaradjon az evolu-

cionista elmélet dogmatikus megfogalmazása, s helyére a Teremtés Könyvének ismertetése kerüljön”.

Mielőtt elgondolkodnánk a tudományról, nem árt tisztázni, mit is értünk rajta. A hétköznapi ember precíz definíció nélkül is foglalat tud magának alkotni a tudományról, e fontos emberi tevékenységről. A dolgot jelentősen leegyszerűsítve, a tudomány a bennünket körülvevő természetre – beleértve saját magunkat és az emberi társadalmat is – vonatkozó megfigyelések, tapasztalatok és ismeretek rendszere. Fontos hangsúlyozni, hogy ez a tudásanyag állandóan kiegészül, átalakul, más szóval *fejlődik*, másrészt az egymást követő generációk öröklik ezt a szellemi kincset.

Talán nem haszontalan kezdetnek néhány kiemelkedő tudóst is idézni ezzel kapcsolatban, akik a maguk területén (a „*tudomány művelésében*”) „*voltak valakik*”.

A tudomány lényegét tökéletesen fogalmazta meg Nicholas C. Metropolis, a Manhattan projekt egyik veteránja. Egy kutatócsoport vezetőjeként Los Alamosban ő tervezte és építette meg a MANIAC (Mathematical Analyzer, Numerical Integrator and Computer) becenevű, első nagyteljesítményű elektronikus számítógépet 1952-ben, majd annak utódját, a MANIAC II-t is. Az ő nevéhez fűződik továbbá a Monte Carlo-módszer néven ismert és széles körben használt numerikus



eljárás elméleti alapjainak kidolgozása. A természettudomány és matematika szinte minden területén maradandót alkotott. Sikerekben gazdag, de csak a szakmai körök előtt ismert életében jelentős szerep jutott a magyar tudósoknak is, akik közül különösen Neumann Jánossal alakított ki szoros munkakapcsolatot, majd életre szóló barátságot. A számítástudomány e kiemelkedő kutatója 1999 októberében, 84 éves korában hunyt el teljes szellemi frissességben Los Alamosban. (A teljesség kedvéért hozzá kell tenni, hogy a mai számítógépkorszak nem jöhetett volna létre Neumann János és Nick Metropolis nélkül, mégis Bill Gates lett belőle milliárdos!)

A Los Alamos Nemzeti Laboratórium megalapításának 50. évfordulója alkalmából rendezett ülésszakon tartott ünnepi előadásában Nick Metropolis a tudományról szólva a következőket mondta (Hecker – Rota, 2000): *„A tudományos kutatás civilizációnk egyik mozgató ereje. A Kozmosz kutatása, a végtelenül kicsi csodái, az emberi agy működésének rejtélyei, a fizika törvényeinek egyetemesítésére irányuló kutatások, az élet eredetének kiolvasása a DNS-láncokból, a tér és idő szimmetriáinak megértése csupán néhány a ma tudományának nagy feladatai közül. Olyan feladatok, amelyek tűzbe hozzák és inspirálják a fiatal értelmet. A tudományos kutatás a civilizáció szinonimája. [...] A tudományos kutatás soha nem volt önellátó. Pontosabban szólva, ha a tudósok minden felfedezésük közvetett alkalmazásáért jogdíjat vehettek volna fel, ők lennének ma a világ leggazdagabb emberei. Sajnos jogdíjat csak egy ötlet közvetlen alkalmazásáért adnak. Ez ügyben nincs mit tenni, és ez egyben civilizációnk egyik gyenge pontja, amióta Platón megalapította az első Akadémiát Görögországban...”*

Talán érdemes ennek kapcsán arra is emlékeztetni, hogy az atomreaktor megszületése alapvetően Enrico Fermi, Wigner Jenő és

Szilárd Leó munkásságának köszönhető – na de ki gazdagodott meg belőle?

Az alapkutatást néha sajnálatosan összekeverik a célorientált, vagy korábban használt kifejezéssel, alkalmazott kutatással, illetve fejlesztéssel. A kettő közötti különbséget igen frappánsan fogalmazta meg negyedszázaddal ezelőtt az akkori brit állapotokra vonatkoztatva William Richard Shaboe Doll neves brit kutató (Mackay, 1992): „Az alapkutatás nem azonos a fejlesztéssel. Míg az utóbbinál a gyorsított programok sikerhez vezethetnek, az alapkutatásnál ez olyan, mintha kilenc nő egyidejű teherbe ejtésével kívánnánk elérni, hogy a gyermek egy hónap alatt szülessen meg!”

Tarján Imre akadémikus, a SOTE Biofizikai Intézetének alapítója, az MTA Fizikai Tudományok Osztálya volt elnöke véleménye szerint (Tarján, 1996, 74.): „Bizonyos korlátok között elfogadom, hogy valaki komoly tanulmányok nélkül szakembernek hirdeti magát a futball, a gyermeknevelés, a szerelem stb. területén, de nem tudom elfogadni, hogy alapos, esetleg többéves előtanulmányok nélkül nyilatkozzék ellentmondást nem tűrve pl. az energiamegmaradás törvényével vagy a Heisenberg-féle határozatlansági relációval kapcsolatban. Néha egyes riporterek is védelmükbe veszik a tudatlanságot, a félműveltséget, az agresszivitást, sőt maguk is így viselkednek.”

Arkagyij B. Migdal, a világhírű orosz elméleti fizikus akadémikus, Lev Landau kiemelkedő tehetségű tanítványa szerint (Migdal, 1989, 29.): „Remélem, senkit sem kell arról meggyőzni, hogy a tudományban a lehető legnagyobb szakértelem szükséges. Egyébként minden szakma hozzáértést és szakavatott oktatást igényel... Művészeti alkotásról a szemlélő vagy hallgató joggal elmondhatja, hogy tetszik-e neki a mű vagy sem. A tudományban az ilyen megállapításhoz is bizonyos szintű tudás kell. Nem mondhatunk ilyet: »nekem nem tetszik a re-

lativitás elmélete». Ehhez legalább meg kell érteni az elmélet állításainak jelentését.”

A természettudományt közelebbről ismerők számára világos, hogy a tudomány nem demokratikus, tudományos vitákban csak az arra felkészült személyek vehetnek érdemben részt – más szóval az emberi tevékenység e területén (akárcsak a profi ökolívásban) a *meritokrácia* a törvény! Legutolsó tromfként idézzük Luis Walter Alvarez Nobel-díjas amerikai fizikust (Mackay, 1992), aki igen közérthetően fogalmazott: „*There is no democracy in physics. We can't say that some second rate guy has as much right of opinion as Fermi.*” (A fizikában nincs demokrácia. Nem mondhatjuk azt, hogy egy kutyariutónak ugyanolyan joga van véleményének kinyilvánításához, mint Ferminek.) Fontos azonban azt is hangsúlyozni, hogy a tudományos tekintély nem helyettesíti az állítások maradéktalan bizonyítását, vagyis a szakmai tekintélyt újból és újból ki kell érdemelni – ez a körülmény

feltehetően teljesen ismeretlen a tudomány „*menedzselésében*”.

A felsorolt vélemények talán megfelelően alátámasztják, hogy Boda Miklós megfogalmazása a tudománnyal kapcsolatos illetékesség terén legalábbis „*életidegen*”. Amennyiben a felsorolt érvek túlságosan „*akadémikusak*”, tekintsünk egy földhözragadtabbat: amennyiben Boda úr értelmezését elfogadjuk, akkor olyan valaki is illetékes lehet az (orvos)tudomány kérdéseiben, aki ugyan orvosi végzettségű, de életében egyetlen pillanatot sem gyakorolta foglalkozását. Tovább fokozva az érvelést: minden heteroszexuális férfi nőgyógyászati kérdésekben (emelt szintű érettségi nélkül is!) szakember, más szóval „*a nőgyógyászat művelője*” lehet. Az igazán meggyőző érv persze az lenne Boda úr részéről, ha bizonyítékot szolgáltatna arról, hogy az Ericsson cégnél a mobiltelefon-tulajdonosok szavazással döntenek el, hogy a cég kutatói munkájukban felhasználhatják-e Ohm törvényének érvényét!

#### IRODALOM

Feyerabend, Paul (1984): *Philosophy of Science in 2001*.

In: *Methodology, Metaphysics and the History of Science*. Hague, (magyarul: *A későújkor józansága I.* című kötetben, Tillmann J. A. (szerk.), Göncöl, Budapest, 1984, 190–205.)

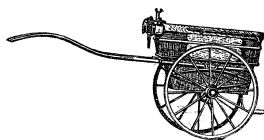
Hecker, Siegfried S. – Rota, Gian Carlo (eds.) (2000): *Essays on the Future, in Honor of Nick Metropolis*.

Birkhauser, Boston–Basel–Paris

Mackay, Alan L. (1992): *A Dictionary of Scientific Quotations*. IOP Publishing, Bristol–Philadelphia

Migdal, Arkagyij Benediktovics (1989): *Az igazság keresése*. Gondolat, Budapest. 29.

Tarján Imre (1996): *Jegyzetek*. Magyar Biofizikai Társaság, Budapest, 74.



# A jövő tudósai

## BEVEZETŐ

Tisztelt Olvasó!

A kutatók utánpótlásával – fiatal tudósokkal foglalkozó melléklet tizenhatodik számában elsőként a kutató diák mozgalom tizedik évfordulójáról számolunk be. A jövő tudós nőinek egyenlő esélyeiről egy évvel ezelőtt megkezdett vita következő állomásaként e számban *Pető Andrea* hozzászólását közöljük. A rovat záró írásaként pedig *Pék László*,

a Szlovákiai Magyar Pedagógusok Szövetségének elnöke számol be a szövetség jövő tudósait nevelő munkájáról. Kérjük, ha a nők tudományban betöltött helyzetével vagy az ifjú kutatókkal kapcsolatos témában bármilyen vitázó megjegyzése vagy javaslata lenne, keresse meg a melléklet szerkesztőjét, Csermely Pétert.

*Csermely Péter*

az MTA doktora (Simmelweis Egyetem, Orvosi Vegytani Intézet), csermely@puskin.sote.hu

## TÍZ ÉVES

### A KUTATÓ DIÁK MOZGALOM: TANULSÁGOK A TEHETSÉGEK SEGÍTÉSÉBEN

Tíz évvel ezelőtt indítottam el a kutató diák mozgalmat, amely ma már évente 5000 hazai és határon túli tehetséges és motivált magyar középiskolás diákot von be a legmagasabb szintű hazai kutatásokba. Tíz év legjobb diákjai szeptember 29-én az MTA Dísztermében mutatják be, hogy érdemes és kivételesen fontos a kutatásokba már középiskolás korban belekezdeni, és mondanak köszönetet mindazoknak (elsősorban mentoraiknak, akik közé az MTA 118 tagja is tartozik), akik önmegvalósításukat, fejlődésüket segítették.

## MEGHÍVÓ

A kutató diák mozgalom megalakulásának tíz éves évfordulója alkalmából az MTA Dísztermében, 2006. szeptember 29-én 14 és 17 óra között rendezendő tudományos ülésre, amelyen tíz év legjobb diákjai mutatják be

néhány fontos eredményüket, életútjukat. Az ülést *Sólyom László* köztársasági elnök úr, a mozgalom fővédnöke nyitja meg, és egy tudományos fotókiállítás, valamint a 18 éves *Révész Tamás* a szombathelyi katonai reptér történetéről írott monográfiájának bemutatója zárja.

Érdemes összefoglalni, hogy tíz év tapasztalatai alapján mit tartok e sikeres mozgalom legfontosabb tanulságainak. Mi jogosíthat fel arra, hogy e modellt sikeresnek tartsam? A kutatásokban részt vevő diákokat nem valamiféle szempont (IQ, addigi eredmény stb.) alapján válogatjuk. A kutató diákok motivációjuk alapján, teljesen önkéntesen jelentkeznek a mozgalomba. A kutatásból a diákoknak semmilyen rövid távú hasznuk nem származik, a megismerés és a társakra találás öröme túl.<sup>1</sup> (Ez ellentétes például az amerikai mozgalmakkal, ahol a diákot

<sup>1</sup>Csak az új érettségi rendszer által diktált pontgyűjtési láz kényszerített bennünket arra, hogy – hosszas belső viták után – kezdeményezzük a kutató diákmozgalomban elért legjobb teljesítmények felvételi többletpontokkal való jutalmazását, amit a kormányzat és a magyar felsőoktatási intézmények döntő többsége elfogadott.

anyagilag „kompenzálják” azért, hogy nem hamburgersütéssel tölti a nyarat, hanem az ország legjobb tudósaival kutat.) A mentori munkáért sem tudunk anyagi ellenszolgáltatást nyújtani. A mentornak a segítség addig és annyira „éri meg”, ameddig látja a diák fejlődését, és ameddig új ötleteket nyer a diák elfoglalatlan kérdéseiből. Mindezek ellenére a mozgalom fennállásának eddigi tíz éve alatt folyamatosan nőtt, és a kezdeti száz diákról mára már ötezerre tornászta fel magát. Diákjaink egyharmada a határon túlról és szintén egyharmaduk kis falvakból érkezik. A diákok (és a nyertes diákok) pontosan fele lány. Csaknem ötszáz iskolában vagyunk jelen, ami az összes hazai és határon túli magyar nyelvű, középfokú oktatási intézmény egy-negyede. A diákokat nyolcszáz mentor és nyolcszáz középiskolai kutató tanár segíti kutatómunkájában. Az első diákjaink ma már sorra védik a PhD-értekezéseiket, és a kutatóintézetekben, egyetemeken vagy éppen középiskolai tanárként, saját iskolájukba visszatérve mentorokként segítik az újabb kutató diák generációkat. A diákok legtöbbje ma már diáktársának biztatására lép be a mozgalomba. „Amikor veletek találkoztam, egy új világ nyílt ki előttem!” – ez egy nagyon gyakori mondat azokon a kérdőíveken, amelyeket a „végzett”, azaz az egyetem első évét befejezett és a tudományos diákköri mozgalomnak „átadott” diákjaink kitöltenek.



www.kutdiak.hu • www.kuttanar.hu

A kutató diák mozgalom önszerveződő. Az első öt év után a diákok maguk alakították meg a Kutató Diákok Országos Szövetségét, amely teljes jogkörrel, önkéntes munkával

szervezi a tudományos konferenciákat, a kutatótáborokat (ahol az ország szellemi életének legjavával beszélgethetnek a diákjaink), az esszé pályázatokat és azt a sok-sok más programot, amelyről a [www.kutdiak.hu](http://www.kutdiak.hu) honlapon lehet több információt találni. Ahogy arról már a *Magyar Tudomány* májusi számában hírt adtunk, 2005 végén 150 alapító taggal megalakult a Kutató Tanárok Országos Szövetsége, amely a középiskolai tanáraink önszerveződésének (és magára találásának!) egyik fontos jele.

A diákmozgalom öt évvel ezelőtt alakította meg a Network of Youth Excellence-t ([www.nyex.info](http://www.nyex.info)), amely 33 ország középiskolai tehetséggondozó mozgalmait fogja össze. A network titkársága Budapesten van. Az eredményekért 2004-ben megkaptuk az Európai Unió Descartes-díját, de ennél is fontosabb, hogy munkánk nyomán eddig öt európai országban (a Cseh Köztársaságban, Finnországban, Romániában, Szlovákiában és legutóbb Franciaországban) indult el hasonló mozgalom.

Az elmúlt évtizedben a kutató diákok második családommá váltak, így az örömeiket és az elért sikereket oldalakon át tudnám még részletezni. Megkímélem az olvasót ettől. Inkább azt foglalom össze, miért válhatott e mozgalom ilyen sikeressé.

(1) *Valódi és izgalmas.* A kutató diákok „nyílt végű” feladatok megoldásában vesznek részt. A kutatások során nincs a feltett kérdésekre „jó” válasz, amelyet valaki előre tud. A kutatásban elérhető eredmény határa a csillagos ég. Mindig tovább lehet lépni, és mindig lehet akár egy nagyságrenddel jobb megoldást találni az előzőnél.

(2) *Egyenrangúvá tesz.* A kutatásokban a diák és a mentor *együtt* kutat. A diák (vagy a kutató középiskolás tanár) egy kutatói közösség egyenrangú tagja lesz. A kutató diák mozgalom ezzel a demokratikus, autonóm személyiség fejlődését segíti elő, és (nem mellékesen) a társadalmi mobilitásnak a

szegregálódó országban különösen fontos csatornáját nyitja meg. A kutatói normák, a tudomány módszertan és a tudományetika kérdései számos közös alkalom (konferenciák, táborok és sok-sok egyéni beszélgetés) során válnak tananyagszerű képződmény helyett megélt gyakorlattá.

(3) *Társakat ad.* A diákmozgalomban a legtöbb kutató diák élete első igazi barátaira talál. (Több kutató diák házaspárunk is van már.) A kiválóság – természeténél fogva – a legtöbb magyar iskolában elképesztően magára marad, sőt: sok esetben ki is közösítődik. A diákmozgalom egy másik világot mutatva ezt szünteti meg. A diákok tartós kapcsolatrendszere és kötődése a sokszor csonka családból, rossz otthoni körülmények közül érkező diáknak nemcsak lelki támaszt ad, de lehetővé teszi azt is, hogy más nézőpontú, más nézetrendszerű emberekkel találkozáva felkészüljön arra, hogy az eredményei majd széles körben hasznosulhassanak. A kötődés az éppen most kezdődő tapasztalataink szerint az agyelszívás ellen is hathat, hiszen az életpálya egy kulcsfontosságú pontján szerveződő, ilyen széles és egyben mély baráti kört a külhoni környezet nem ad. A diák kutatók külső környezetének tudatos felépítésével már ebben a korai szakaszban megmutatjuk az utat, és kialakítjuk a szükséges bátorságot és bizalmat az ötletek későbbi hasznosítása, a szabadalmaztatás és az esetleges cégalapítás felé.

(4) *Egyre fokozódó tevékenységet igényel.* Sok más tehetséggondozó programmal ellentétben ez a forma nem ajándékozza meg a diákokat egy privilegizált státussal már rögtön a belépés pillanatában, avagy a kiválasztás, esetleg a szigorú felvételi után. A kedvezmények, a különleges elbánás egyre fokozottabb köreit itt folyamatos és rendkívül kemény munkával kell kivívni. Ez egyben a kapott kedvezmények (hazai és külföldi táborok, publicitás, a kutatáshoz nyújtott anyagi segítség, de akár a Nobel-díj-osztásra

való eljutás) valódi értékét és elismertségét is megteremti.

(5) *Humoros és játékos.* Ha nincs az adófizetők pénzéből a mentornak vagy a diáknak nyújtott direkt támogatás, (hála Istennek) nem kell tételes elszámolás sem az elért haladásról. Nincs kényszerbeszámoló, nem jelenik meg a túpírozott eredményeket felmutató, demoralizáló kettős tudat. A kutató diák mozgalom nem normatív tevékenység. Nincs benne „kötelező minimum”, ameddig a diákot a mentornak „el kell juttatnia”. Nincs ütemterv, *benchmark*, leirat, szabályrendszer, „fejlesztési napló”. A tehetséggondozás nem is lehet ilyen. A tehetség állandóan változó, személyre szabott programot igényel, és nemritkán egy teljesen új intézményrendszer vív ki magának.

(6) *Személyes.* A tehetség – egyéniség. Legalább olyan, de sokszor még inkább egyedi és megismételhetetlen történet, mint bármelyikünk. A segítése is személyes tanácsadást igényel. Nem véletlen, hogy a baráti köröm több mint fele ma már kutató diákokból vagy volt kutató diákokból áll. Az sem véletlen, hogy a felméréseink alapján mentoraink jelentős része a diákok barátja és példaképe is lesz.

(7) *Minden teljesítményt értékel.* A diákok jelentős része az első néhány cikk, könyv elolvasása után abbahagyja a kutatást. És ez nem baj. Nem „veszteség” az a kutató diák, akiből soha nem lesz kutató. A családban, az üzleti életben, a médiában vagy akár a politikában a tudományos kutatás izalmát megelőző és megértő polgár hosszú távon elképesztően nagy versenyelőny az egész ország számára.

(8) *Önszerveződő.* A kutató diák mozgalom a többi tehetséggondozó mozgalom zömével ellentétben a diákok (és a kutató középiskolai tanárok) önszerveződésére épít. Itt nem a „felnőtt”, a „kiképző” mondja meg a „képzendőnek”, hogy mit tegyen. Itt nem a „helyes válasz kitalálása”, a „program ügyes végrehajtása”, hanem az önálló cse-

lekvés, a másokért is felelős tenni akarás az igazi követelmény. Minden tevékenységet a résztvevők közösen (és a *total quality management system* alapvető szabályai szerint szervezeten) értékelnek, és közösen tanulnak az elkövetett hibákból. Az értékek továbbélését egy gondosan betartott korreláció biztosítja, ahol a „kiöregedő” vagy már „kiöregedett” kutató diákok akkor is a vezetés részei maradnak, ha a demokratikus választás csupa fiatal bíz meg a vezetői feladatok ellátásával. Az eddigiek

alapján azt hiszem, már érthető, miért nem sajnálnak időt, pénzt, fáradságot mentoraink, kutató tanáraink és örömdeszen növekvő számú szponzoraink (akik az évi 25 millió költségetnek 2006-ban már a nagyobbik felét biztosítják), hogy e mozgalom részesei legyenek. Ezen a helyen is szeretném ezt mindannyiuknak hálásan megköszönni, és kémi, hogy maradjanak velünk a következő tíz évben is.

*Csermely Péter*

a Kutató Diákokért Alapítvány elnöke

## MIÉRT MARAD TOVÁBBRA IS ALACSONY A NŐK ARÁNYA A MAGYAR TUDOMÁNYBAN AZ EU-CSATLAKOZÁS UTÁN IS?

Az EU kutatással foglalkozó igazgatósága 2004-ben jelentést adott ki a nők és a tudomány helyzetéről a volt szocialista országokban. Ebben a jelentés magyar szerzője, Groó Dóra leírja azt a folyamatot, ahogy a kutatási pénzek elosztásának résztvevőjeként egyre inkább azt vette észre, hogy a férfi kutatók pályáznak, a nők pedig, akik valójában a pályázatot írták, maximum bedolgozhattak a sikeres tudós férfi pályázatába. Ennek felismerése után Groó elkötelezetten harcol a nők esélyegyenlőségéért a tudományos életben. (Waste of Talents, 33.) E személyes intermezzo bevezetésekként rámutat arra, hogy miért különösen nehéz terep a tudomány a társadalmi nemek egyenlőségének alkalmazására. Hiszen a női kutatóknak, akik férfi főnökeik helyett írták meg a nyertes pályázatot, egyrészt hálásnak kell lenniük, hisz ha saját néven pályáznak, feltehetőleg sose nyernék, illetve állítólag maguk döntöttek úgy, hogy bedolgozók lesznek, és semmiféle írott vagy közvetlen intézményes nyomás nem nehezedett rájuk, mégis így cselekedtek. A diszkrimináció a tudományban egyrészt megfoghatatlan, másrészt interiorizált.

De miért is lenne probléma, hogy nagyon kevés a nő a magyartudományban, különösen a természettudományban és a tudományos élet vezető pozícióiban? Az Európai Unió alkotmánytervezete nagy hangsúlyt fektet a nemi esélyegyenlőségre, s ez óvatos optimizmusra adhat alkalmat a jövőre nézve. (Science Policies...)

Az EU alapértéke az egyenlőség: azaz, hogy a társadalmi nemek alapján történő diszkrimináció (a közvetlen és a közvetett is) az emberi jogok megsértése. (Pető – Manners, 98–113.) A kiválóság, mely az Európai Unió tudománypolitikájának másik alapja, nem jelentheti csak a „férfiak” kiválóságát. A hatékonyság, az uniós tudománypolitika másik alapelve pedig aláhúzza, hogy egyetlen gazdaság sem engedheti meg magának a luxust, hogy a gazdasági érdekei céljából a nők képzettségét ne maximálisan használja ki. Ugyan azzal a neoliberális érveléssel, amely a tudományt „ami megmérhető, csak az számí” alapon osztályozza, nem feltétlenül értek egyet, de ez mégis érvel adhat azoknak a kezébe, akik kísérletet tesznek az ordító, statisztikailag is kimutatható egyenlőtlenségek feltárására és a helyzet megváltoztatására.

Például szűkebb szakmámban, a történettudományban a 2002–2003-as adatok szerint 2374 férfi és 2059 női hallgató iratkozott be az egyetemek négy- és öt éves történelem szakjaira, ami kicsit eltér a hagyományos képtől,

amely szerint a bölcsész szakokra általában több női hallgató jár, mint férfi; ugyanebben a tanévben a PhD-hallgatók (174 férfi, 146 nő) körében fokozatosan felborul az egyensúly. (Statisztikai Tájékoztató, 27.) A történet-sz-hallgatók és oktatók közötti, a nők arányára vonatkozó hivatalos statisztikai adatok vizsgálatakor a szkeptikusok nem haboznának felhívni a figyelmet arra, hogy nem először fordulna elő Magyarország történetében, hogy a nemek közti egyenlőség fennkölt elveit törvényesen próbálnák szabályozni. Az optimisták viszont joggal mondhatnák, hogy az Európai Unió előírásainak köszönhetően legalább vannak statisztikáink.<sup>2</sup> Még ennél is kevesebb nő járja végig a tudományos pálya teljes hosszát: a legmagasabb, akadémiai nagydoktori, tudományos fokozattal rendelkező 128 történet-sz között csak 19 a nő, és a Magyar Tudományos Akadémia Történelem és Filozófia Szakosztályának 27 tagja közül mindössze három.<sup>3</sup>

Változást a társadalmi nemek egyenlőségének területén az EU-szakpolitika végrehajtásától várhatunk (bár éppen ezen a területen kevés hatásköre van az uniós szabályozásnak). Ez három módon, három eszközként jelenhet meg: mindegyik felülről lefelé ható irányban, erős állami beavatkozást követelve. Hozzá kell tenni azt is, hogy mind a hárommal szemben ellenérzéseket és kritikát fogalmaznak meg.

Az első eszköz az egyenlő bánásmód elve, mellyel intézményesen biztosítani kell, hogy a férfiakat és a nőket egyenlő módon kezeljék. Ez a közvetlen diszkriminációra vonatkozik, és ilyen, hála az elmúlt százötven év nőmozgalma eredményekben gazdag éveinek, ritkán van, ezért a döntéshozók elégedetten dőlhetnek hátra, hogy ebben nincsen sok teendő. Pedig az oktatási rendszer, a tananyagok, a tankönyvek rendkívül nagy

szerepet játszanak a társadalmi nemekkel kapcsolatos sztereotípiák továbbításában.

A második eszköz minden olyan pozitív támogató intézkedés, amely a speciálisan hátrányos helyzetűeket támogatja. Ilyen például a Humboldt-ösztöndíj azon feltétele, hogy a nők öt évvel tovább számítanak „fiatal” kutatónak, hiszen a nők a negyven év alatti életük nagyobb részét töltik gyerekneveléssel, a munkaerőpiacon kívül. Az esélyegyenlőség a tudományban akkor áll fenn, amikor a – fogalmilag mindig, szükségszerűen szűkös-séggel jellemezhető – kevés forrásnak, a javaknak és a társadalmi terheknek az elosztását olyan szempontok irányítják, amelyek a kérdéses javakért zajló verseny szemszögéből relevánsak. Tehát nem olyan, a versenyek szemszögéből irreleváns tényezők, mint faj, vallás, osztály, nem, fogyatékos-ság, szexuális orientáció, etnikum vagy más olyan külsődleges tényezők, amelyek ronthatják bizonyos versenyzők esélyeit a sikerre. Igen ám, de ennek a megvalósításához „pozitív diszkriminációra”, avagy – a ma már általánosabban elfogadott kifejezést használva – „támogató intézkedésekre” lenne szükség. Ezek olyan beavatkozásokat jelölnek, amelyek a diszkrimináció megelőzésére vagy megszüntetésére, illetve a hátrányok kiegyenlítésére szolgálnak, a hátrányos megkülönböztetés veszélyeinek kitétt, megbélyegzett csoportokat megcélózva. De a pozitív akciók bevezetését a magyar közvéleménynek sem a konzervatív, sem pedig a neoliberális része nem fogadja el. Az ellenérzéseket az is okozza, hogy egyesek szerint társadalomban gyökerező egyenlőtlenségeket nem lehet jogi intézkedésekkel megszüntetni. Az uniós nyomásra elfogadott magyar anti-diszkriminációs törvény magyarázatában is az szerepel, hogy a születéskor meglévő esélykülönbségek nem küszöbölhetők ki jogi eszközökkel. Ez a liberális jogértelmezés már a szövegezésével megkérdőjelezte az egész törvény

<sup>2</sup> Erről bővebben: Pető – Szapor, 75–85.

<sup>3</sup> <http://www.mta.hu> Omos Mária az egyetlen történet-sz.

jogosultságát, és kizárta a támogató eszközök alkalmazását, amely pedig történetileg kimutathatóan a leghatékonyabb módszer a társadalmi egyenlőtlenségek kezelésében. Azok is ellenzik az esélyegyenlőség elvének alkalmazását a tudománypolitikában, akik a társadalmi egyenlőtlenséget egyszerűen csak jogi kérdésként szemlélik: ők az egyenlőtlenség problémáját megoldottnak tekintik, mivel az jogi szinten *de facto* már szabályozást nyert, és nem ismerik el, hogy a „női jogok” különböznenek az emberi jogoktól. Ugyanakkor a jogi intézkedésektől önmagukban nem lehet csodát várni, hiszen nem helyettesítik az intézményi szintű döntéseket, hiszen az intézmények az a szint, amelyik az egyenlőtlenségeket leginkább létrehozza, és legitimálja a közgondolkodásban. Ezen elsősorban az oktatás tartalmának társadalmi nemekre érzékeny átalakításával lehet segíteni. Egy ilyen átalakítás legfontosabb célja a társadalmi nemek egyenlőségének elérése az oktatás és kutatás területén.<sup>4</sup>

Egy másik, főleg a tudományban megjelenő ellenérv az esélyegyenlőségi politika alkalmazása azellen, hogy az emberek között természetes egyenlőtlenségek léteznek tehetségekben és képességekben, tehát az esélyegyenlőség elve, amely a természetes egyenlőtlenségekre épít, nem megszünteti, hanem éppen felnagyítja azokat. Sőt, a támogató intézkedések az esélyegyenlőségi politika ellenzői szerint azt is sugallják, hogy ők maguk, a támogatásra szorulóknem is képesek segítség nélkül megfelelő teljesítményre. Ezt az érvet használják azok a női kutatók is, akik zsigeri ellenszenvet fejeznek ki az ún. „feminista” megközelítéssel szemben, és a legkevesbé sem támogatóak a női szolidaritás vonala mentén. Pedig a „természetes” különbségek relatívak, nem pedig magától értetődöek, ezért minden

egyenlőtlenség a társadalmi intézményekből és gyakorlatokból származik, nem pedig „magától”, természetesen alakul ki. (A bevezető példánál maradva, a magyar kutatási intézményrendszer feudális, patriarchális jellege miatt nagyobb az esély a hosszú távú tudományos sikerre, ha a kutató a „bedolgozó” láthatatlan státust választja, s nem tör egyéni, azaz intézményesen elismert babérokra.)

A harmadik eszköz a társadalmi nemek egyenlőségének elérésére pedig az egyenlőség elvének a középpontba helyezése (gender mainstreaming), ami a társadalmi nemek egyenlőségét a szervezetek, intézmények, programok, szakpolitikák és gyakorlatok középpontjába helyezi. A *gender mainstreaming* kritikájának külön könyvtárrnyi szakirodalma van.<sup>5</sup> A kritika egyik része azzal kapcsolatos, hogy aki mindent át akar alakítani, az valójában semmit se alakít át. S így csak a retorikai fordulatokban jelenik meg az átalakítás vágya. A másik kritika pedig azzal kapcsolatos, hogy a nyugat-európai szakpolitikai stratégia, a *gender mainstreaming* mennyire használható módszer a kelet-európai, posztkommunista helyzet megváltoztatására. Ugyan az EU-s tagsággal Magyarország, éppen úgy, mint a többi volt szocialista ország, átvette, mert át kellett vennie a pillanatnyilag létező legfejlettebb szakpolitikai mechanizmust a társadalmi nemek egyenlőségének a szakpolitikákban való alkalmazására, ezt azonban lerontja, korlátozóttá és alibiszerűvé teszi a megvalósítás módja, amely felülről lefelé irányuló, a civil szervezetekkel nem konzultáló, sőt azok és a téma szakértőinek véleményét ignoráló.

Amíg a tudománypolitikai döntéshozók, akiknek a többsége férfi, a „női” megjelenést saját veszteségként és veszélyként élik meg, addig nagy változásra nem nagyon számíthatunk. A női választójogot se tudták volna dedanyáink kivívni nem is olyan régen, mind-

<sup>4</sup> A magyar felsőoktatásban tanuló nők kritikáját a rendszerrel kapcsolatban az EU. 5. Kutatási keretprogramjában készült kutatás eredményeképpen lásd: Pető, 2003.

<sup>5</sup> Például lásd Walby, 2004. 4–29. és Kakucs – Pető, megjelenés alatt.



össze 88 éve, ha nincsenek támogató férfiak, mint például a Férfi Liga a Nők Választójogáért. (Pető – Szapor, 2004, 136–175.) Magyarország európai uniós tagsága csak lehetőséget biztosít a tudomány területén a nők hátrányos helyzetének javítására, hiszen a formális, alibi-típusú, retorika szintjén történő megvalósításnak nagy kultúrája van a posztkommunista országokban. A nemzetközi érték megvalósítása országos szinten csak a hálózatépítéssel, a folyamatos lobbizással és az értékek melletti nyílt kiállással lehetséges. Méghozzá úgy tűnik, hogy ez rövid távon csak azzal a pragmatikus érvel,

amely szerint hatékonyabb, több pénzt termel az a tudomány, mely nem a nemi alapú diszkrimináció elvén működik. A jövőben az hozhat változást, ha a közös nyereség érzése vezeti majd a tudományos döntéshozókat, hiszen a demokratikusabb és hatékonyabb tudományos élet mindenkinek a hosszú távú érdeke. Akkor talán a jövőben a kutatónők a siker biztos reményében maguk is mernek vállalkozni arra, hogy saját néven és saját jogon írják pályázatokat.

*Pető Andrea*

PhD, hab. egy. doc., Közép-Európai Egyetem és  
Miskolci Egyetem, petoand@t-online.hu

## IRODALOM

- Kakucs Noémi – Pető Andrea (In print): The Impact of EU Accession on Gender Equality in Hungary. In: Roth, Silke (ed.): *Gender Issues and Women's Movements in the Expanding European Union*. Berghahn Publishing, New York–Oxford
- Pető Andrea – Manners, Ian (2006): The European Union and the Value of Gender Equality. In: Lucarelli, Sonja – Manners, Ian (eds.): *Values and Principles in European Union Foreign Policy*. Routledge, London–New York, 98–113.
- Pető Andrea – Szapor Judit (2004): A női esélyegyenlőségre vonatkozó női felfogás hatása a magyar választójogi gondolkodásra 1848–1990. Az „állam érdekében adományozott jog” feminista megközelítésben. In: *Bejegyzés és eredetiség a jogban és a jogtudományban. Adalékok a magyarországi jog természetrajzához*. Sajó András (szerk.): Recepció és kreativitás. Nyitott magyar kultúra sorozat. Áron, Budapest, 136–175.
- Pető Andrea – Szapor Judit (2006): A „diszkriminatív” nőtörténelem tanításától a társadalmi nemek történetéig. In:

- Társadalmi nemek tanítása Magyarországon*. Pető Andrea (szerk.): ISZCSEM, Bp. 75–85.
- Pető Andrea (szerk.) (2003): *Női esélyegyenlőség Európában. Nőtudományi tanulmányok és a munkaerőpiac kapcsolata Magyarországon*. Balassi, Budapest
- Science Policies in the European Union. Promoting Excellence through Mainstreaming Gender Equality*. Report from the ETAN Expert Working Group on Women and Science. European Commission Research Directorate General. 2000.
- Statistikai Tájékoztató: Felsőoktatás 2002/2003*. Oktatási Minisztérium Közgazdasági Főosztály Statisztikai Osztály, Budapest, 2003, 27.
- Sylvia Walby (2004): The European Union and Gender Equality: Emergent Varieties of Gender Regime. In: *Social Politics: International Studies in Gender, State and Society*. 11, 1, 4–29.
- Waste of Talents: Turning Private Struggle into a Public Issue. Women and Science in ENWISE Countries*. European Commission Research Directorate General. 2004. 33.

## A SZLOVÁKIAI MAGYAR PEDAGÓGUSOK SZÖVETSÉ-GÉNEK TEHETSÉGGONDOZÓ PROGRAMJAI

A tudás hatalom – üzeni a gondolkodó bölcs. A jól hasznosítható tudás a mai, tudásalapúnak nevezett társadalomban érték, és lépten-nyomon tapasztaljuk azt is, hogy a csúcstechnológiák korában a speciális ismeretek felértékelődnek. A társadalmi és a

gazdasági szféra a megnövekedett igények kielégítése, a problémák hatékony kezelése céljából mindinkább a tehetségek felé fordul. Vajon megfelelő indítást kapnak-e az átlagnál jobb, tehetséges fiatalok képességeik kibontakozásához, odafigyel-e a család, az iskola, a helyi és a szakmai közösségek arra, hogy a tehetségek számyra kapjanak?

A kíváncsiság, a tudásvágy és a tudni akarás belső kényszerére épített oktatás, a jó példák, a nemes célok, a pallérozott személyiség

irányába ható nevelés minden korban a minőséget, a tisztaság jövő reményét sugallta. A tehetséggondozás akkor és ott hatékony és eredményes, ameddig és ahol a tudásnak értéke van, amíg az iskola a tudás megszerzésének lehetőségét az esélyegyenlőség alapján biztosítja, és a kiválóságot jutalmazza, amíg az iskola a hatékony teljesítményértékelés módszerével nem kirekeszteni, hanem megerősíteni akar, a tanuláshoz és az ismeretszerzés helyszíneire jókedvet, felfedezést, alkotást asszociál.

A tömegoktatás megjelenésével a középszerű lett a domináns. Még jelenleg is a pedagógus inkább a felzárkóztatásra ügyel, mint a tehetséggondozásra. A lemaradókra is oda kell figyelni, de a talentumot semmibe venni, elvesztegetni megbocsáthatatlan bűn. A tehetségre szükség van, mert a kíváncsiság, az örök mozgás, a felfedezni, megismerni akarás által halad előre a világ. A tehetséget pedig felfedezni, fejleszteni, gondozni kell. A mai piacgazdaság résztvevői érdekeltek a tehetség kihasználásában, a kiemelkedő teljesítményeket módjukban is áll honórálni, viszont a tehetség felfedezésére és a kibontakoztatásukhoz szükséges feltételek megteremtésére még nem áldoznak eleget. A tehetségsegítés nem lehet csak az iskola feladata, a családnak, az önkormányzatoknak, az ifjúsági szervezeteknek, a tudomány és a gazdaság szereplőinek közös erővel kell megtalálniuk és megteremteniük a tehetségfejlesztés leghatékonyabb módszereit.

A tudásalapú társadalom és a tudásra épülő gazdaság világában egy-egy ország a megbecsült, alkotó, kreatív, „kímélt emberfő” révén piacalakítóvá és egyben vonzóvá válhat a világ számára. Azok viszik előre a világot, akik a „gályapadból képesek laboratóriumot csinálni”. Nem mindegy, hogy alattvalókkal vagy öntudatos polgárokkal együtt alakítjuk-e az ország sorsát. Az iskolai tehetséggondozás szervezeti keretei Szlovákiában is csak rész-

ben alakultak ki, így nem beszélhetünk a közoktatásban átgondolt tehetséggondozásról. A 2002-ben bevezetett diákonkénti normatív támogatás ugyan kiemelt fejkvótát biztosít a különlegesen tehetséges diákok számára, de ez a lehetőség országosan is csupán néhány tíz diákot érint.

A differenciálási módszerek és formák alkalmazásának kezdeti szakaszában a kiváló illetve a közepes vagy a gyengébb képességű diákok szétválasztása címén létrehozott nyelvi, illetve matematikai osztályok, majd a kilencvenes években a nyolc éves gimnáziumi osztályok működtetésének reneszánsza lehetőséget teremtett a homogénebb diákcsoportokkal folytatott munkára, szűkebb értelemben azonban ezt nem nevezhetjük tehetséggondozásnak. Az individualizáció és a differenciálás az osztályon belüli foglalkozások során sem hozott áttörést, például a túlzó tantervi követelményszint teljesítése miatt. A gyorsított haladás, a tanácsadó tanárok alkalmazása, a diagnosztizálással segített nívócsoportok létrehozása, a tehetségesek számára részben vagy teljesen elkülönített oktatás továbbra is az elképzelések szintjén maradt – elsősorban anyagi okokból.

Könnyen átlátható, hogy sem a graduális, sem a posztgraduális tanárképzés nem nyújt lehetőséget a tehetséggel való foglalkozás megtanulására. Ami marad: a tanításon kívüli, esetleges szakköri tevékenység, nyári szakmai rendezvények, felkészítők, táborok. Mivel Szlovákiában a pedagógus-továbbképzésnek nincs országosan kidolgozott és elfogadott rendszere, a tanítók, tanárok számára maradnak a civil szervezetek által a nyári egyetemeken keretében megvalósított harmincórás továbbképzések. Új jelenség, hogy állami támogatással – a szaktárca művelődési utalványt bocsát az általános iskolás tanulók rendelkezésére, amit tanításon kívüli szabadidős foglalkozásra, fakultációra lehet felhasználni. Ennek a támogatásnak a felhasználásával konkurencia alakult ki az

iskolák és a kisvárosok szabadidőközpontjai által nyújtott szolgáltatások között.

A tehetségek kiválasztásának egyik legjobb eszköze a tanórai és szakköri megfigyelés mellett a versenyekbe való bekapcsolás – bekapcsolódás. Országos méretben Szlovákiában is kiterjedt hálózata van a diák tanulmányi versenyeknek – a tantárgyi olimpiáknak és a diákköri pályamunkáknak. Sajnos törvényi vagy rendeleti szinten egyértelműen nem biztosított a magyar tanítási nyelvű iskolákat látogató diákok számára a versenyeken az anyanyelv használata. Ebből adódóan évente konfliktusok keletkeznek a szervező tanügyi szervek és az anyanyelv használatának jogát védő pedagógusok között. Sajnos több felvetés ellenére a határon túli, és így a felvidéki tehetséges diákok sem kapcsolódhatnak be a magyarországi oktatási minisztérium által kiírt országos tanulmányi versenyekbe.

A Szlovákiai Magyar Pedagógusok Szövetsége (SZMPSZ) civil szakmai szervezet. Programja, mely a tudásalapú társadalom kiépítésének fontosságát célozza meg a nemzetiségi iskola viszonylatában, utal a tehetségekkel való foglalkozás kiemelt fontosságára. Feladatának tartja és 1996 óta folyamatosan szorgalmazza, koordinálja és szervezi a szlovákiai magyar közoktatásban (1-12. évfolyam) részt vevő tanulók anyanyelven folyó tanulmányi versenyait, tehetséggondozó programjait, a műveltségi vetélkedőket és a nyári szaktáborokat. A cél elsősorban az, hogy a tanulmányi versenyeken évente részt vevő 6–7 ezer tanuló egészséges önbirodalma erősítése érdekében meg tudja mutatni tantárgyi tudásának többletét, bizonyítsa anyanyelve, nemzeti kultúrája, nemzeti közössége hagyományai iránti megbecsülését, szeretetét és a felkészültségét a digitális írásbeliségből. Eközben a diákok olyan, a használható tudást megjelenítő kompetenciákra tesznek szert, amelyek felkészítik őket jövőendő életpályájukra, a munkavállalásra,

az élethosszig tartó tanulásra, a folyamatos önművelődésre és a közösség megmaradását biztosító életvitelre.

Az SZMPSZ évek óta fáradozik egy olyan tehetséggondozó rendszer kiépítésén, amely a kistérségi központokon keresztül koordinálná az iskolákon belüli tehetséggondozó programokat. Állami módszertani központ hiányában civil szervezetként a nemzeti közösség jövője érdekében magára vállalja a tehetséggondozás iskolán kívüli feladatrendszerét, s bekapcsolja a tanulókat és a pedagógusokat annak megszervezésébe, lebonyolításába. Szövetségünk keretében a versenyszervező pedagógusok évente 8-13 tanulmányi versenyt hirdetnek meg. E versenyek helyi fordulójának anyagi kiadásait az iskolák mellett működő szülői szövetségek biztosítják, míg a regionális és az országos versenyek többségükben anyaországi támogatásokra épülve kerülnek megrendezésre. A versenyek többsége a szlovákiai-felvidéki fordulók befejeztével a kárpát-medencei versennyel zárul, melyen az anyaországi diákokon kívül a határon túli magyar közösségek diákjai is képviseltetik magukat. Szövetségünk évenkénti legrangosabb szakmai rendezvényén, Rozsnyón évente értékeljük a legeredményesebb diákok és a felkészítő pedagógusok munkáját.

A tehetséggondozás a szlovákiai magyar iskolákban regionális, illetve országos jelleggel a matematikában indult el. A versenyek, szakmai diáktalálkozók, foglalkozások programjai ma is sokrétűek. A Gordiusz, a Kenguru, a Zrínyi Ilona matematikaversenyek nagy létszámú általános iskolai diákot érintenek. Néhány középiskola évek óta megrendezi saját háziversenyét. Havi rendszerességgel működik Komáromban egy országos matematikai tehetséggondozó szakkör. Ezek a versenyek és foglalkozások jelentős számú diákot mozgósítanak a középiskolások Felvidéki- és a Nemzetközi Magyar Matematika Versenyébe való bekapcsolódásra. Az őszi fo-

lyamán évente megtartandó komáromi Nagy Károly Matematikai Diáktalálkozó és a nyári tehetséggondozó tábor elmélyült szakmai foglalkozásokat kínál a középiskolás diákok számára. Ösztönzőleg hat a diákokra, hogy a foglalkozásokat a versenyeken sikeres, egyetemistává vagy kutatóvá vált diákok mutatják be.

Az általános iskolák alsó tagozatos diákjai olvasmányélményre, helyi sajátosságokat bemutató vagy egyéb témákra albumokat készítenek. A felső tagozatos diákok írásbeli és szóbeli versenyei alapos felkészülést igényelnek, amely során heteken, hónapokon keresztül tanári irányítással készülnek a megmérettetésre. Az irodalmi versenyek kreativitást igényelnek, például egy-egy irodalmi alkotás részletét képregény formában kell megjeleníteni vagy dramatikus feldolgozásban eljátszani. A versenyek szervezését és a diákok felkészítését kreatív pedagógusok segítik, akik szabadidőben, hivatásuk megszállottjaként újra és újra a szellem örömeivel ajándékozzák meg tanítványaikat.

A versenyek egy részét – ha pályázatok útján anyagi források mozgósíthatók – szak-



Földrajztábor keretében a diákok a Fertő-tó madárvilágát tanulmányozzák

mai tábor követi, ahol a legsikeresebb diákok célirányos képzése tovább folytatódhat. A Kárpát-medence Földrajza és a Kitaibel Pál Biológia és Környezetvédelmi Verseny olyan szakmai dolgozatok, pályamunkák bemutatását jelenti, amelyek megszületését a felkészítő tanár gyakorlati foglalkozások és konzultációk során segíti. A szaktáborok alkalmával a felkészítő tanárok számára is lehetőség nyílik arra, hogy megvitassák a szakköri foglalkozások és tehetségek segítése szakmai és szervezési kérdéseit.



A *Kincskeresők*, a helyi értékeket feldolgozó verseny sikeres résztvevői fogadáson a pozsonyi kormányhivatalban

Az elmúlt két évben az EU-ART – Művészetek az Európai Unióban, a Kincskeresők – helyi értékek feldolgozását megcélzó és a Sajó Károly Környezetvédelmi Verseny megmutatták, hogy az általános és a középiskolai korosztály diákjai milyen nagy előrelépést tettek meg a számítógépes prezentációk kidolgozása és a digitális technika alkalmazása terén. Gyűjtés nyomán kiállított tárgyak, alkotások tették színessé a diákok által kidolgozott és bemutatott pályamunkákat.

Rendkívül nagy népszerűségnek örvendenek az évek óta több kategóriában futó füleki Infoprogram számítástechnikai programozó versenyek. A budapesti Informatikai és Hírközlési Minisztérium támogatásával a versenybe sikeresen bekapcsolódó diákok a következő évben résztvevőivé válnak a Génius programnak, amely egész éves koncentrált felkészítést kínál a tehetségeknek. A program keretében a hétvégeken rendszeres gyakorlati foglalkozások folynak, a Fülektől nagyobb távolságra élő diákokkal a tutorok távoktatás (e-learnig) formában tartják a kapcsolatot.

Az SZMPSZ szervezésében a felvidéki magyar tannyelvű általános és középiskolák diákjai bekapcsolódnak az anyaországi tanügyi intézmények, szakmai és civil szervezetek által szervezett helyi és regionális verse-

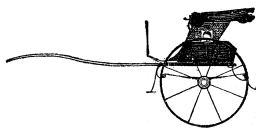
nyekbe, részt vesznek felkészítőkon, tehetséggyógyító programokon. A rendezvények, képzések skálája sokrétű, a szakképzéstől a történelmen, a művészetek témakörén át a sportig terjednek.

A tehetséggyógyító programok szervezése sok odafigyelést kíván, átgondoltságot igényel és sok aprómunkával jár, de a tehetség és a tudás tiszteletet parancsoló és jövőt teremtő. A közösségeket a minőség, a tudás vitte előre. A minőség az, ami embert, nemzetet fejleszt. A Szlovákiai Magyar Pedagógusok Szövetsége fennállása óta további civil szervezetekkel, szakmai társulásokkal alakítja a felvidéki magyar tehetségek mindennapjait, bízva abban is, hogy a tehetség támogatása visszahat a közösségekre azzal, hogy az egyetemek befejezése után a tehetséges diákok is remélhetőleg saját régiójuk értelmiségi rétegét fogják erősíteni.

Az oktatásban nemzedékek adják át nemzedékeknek a tudást, a szellemtudományt, magatartásukkal, életükkel, a példával teremtik meg a tudás tiszteletét és értékét. S nem mindegy a világnak, a magyarságnak, hogy gondolkodó, felelősségtudó és kreatív lesz-e a jövőt alakító tábor.

*Pék László*

A Szlovákiai Magyar Pedagógusok Szövetségének elnöke, pek@szmps.sk



## Megemlékezés

Nagy türelemmel viselt, hosszan tartó betegségben 2006. május 21-én hunyt el Szabadváry Ferenc, a MTA rendes tagja, a BMGE professzor emeritusa, az Országos Műszaki Múzeum nyugalmazott főigazgatója, számos hazai és nemzetközi tudományos szervezet alapítója, tisztségviselője és tagja, a Széchenyi-díj, Dexter-díj, a FECS (Európai Kémikus Egyesületek Szövetsége) Díj kitüntetettje.

Nagy részvétel kísérték el, 2006. június 7-én, utolsó útjára, és búcsúztak tőle családján kívül tudományos közéletünk reprezentánsai, kollégái, munkatársai, volt tanítványai, barátai, ismerősei.

Személyében olyan honfitársunktól búcsúztunk, akinek neve és tudományos alkotó munkásságának korai terméke: a *Kémiai analitika története* című könyve, eljutott a világ valamennyi olyan országába, ahol a kémiai tudományt művelik, és egyetemen tanítják.

A modern természettudományok közül a kémia alaptörvényei viszonylag későn, az újkori fizika eredményeinek megjelenése után, a 18. század végén váltak ismeretessé. A kémiai tudomány fejlődésének kezdeti szakaszát pedig elsősorban a – ma már hagyományosnak, de a fejlődés szempontjából nagyon fontosnak tartott – analitikai kémiai módszerek kifejlesztése jellemezte. Szabad-



**SZABADVÁRY FERENC**

1923–2006

váry Ferenc tollából 1960-ban magyar nyelven megjelent *Analitikai kémia története* című könyv ezért nemcsak a kémia történetének, de az általános tudománytörténetnek is jelentős állomása volt. A könyv – rövid idő alatt – német, angol, japán, orosz stb. nyelveken jelent meg, és híre mindenfelé eljutott, ahol kémiai kutatásokat végeztek, vagy tudománytörténettel foglalkoztak. Az eltelt sok év után még napjainkban is, a könyvet az analitikai kémia tudománytörténetének egyik leghitelesebb forrásaként tartják számon. Az

eredeti angol nyelvű kiadás után, közel harminc év elteltével, 1992-ben reprintként kiadta a Gordon and Beach Kiadó a *Tudománytörténet és filozófia klasszikusai* című sorozatában. Nem véletlen tehát, hogy az Amerikai Kémikusok Egyesülete, Szabadváry Ferencet könyvéért, hasonlóképpen, mint az angol James Riddick Partington *Kémia története* című könyvéért, 1970-ben Dexter-díjban részesítette.

A különböző korok történetéről, kiemelkedő tudósok életéről, felfedezéseikről számos nyelven megjelent további monográfiái és tanulmányai szerte a világon ugyancsak számos könyvtárban megtalálhatóak.

Nemzetközi hírnevét mutatja, hogy az angol Analitikai Kémiai Egyesület felkérésére 1974-ben az Egyesület százéves jubileumi

konferenciájának megnyitó ülésén ő tartott plenáris előadást az angol analitikai kémiai tudomány történetéről.

Kőszegen született 1923-ban, és ugyanott, a patinás bencés gimnáziumban szerezte meg az érettségit. Gyermekkorától kezdve a magyar mellett közel anyanyelvi szinten beszélt a német nyelvet és jól a franciát is. Bár érdeklődése elsősorban az irodalom és történelem felé irányult, szülei tanácsára a Műegyetem vegyészmérnöki szakára iratkozott be, hogy a diploma megszerzése után átvegye a család háztartási-kozmetikai gyárának műszaki irányítását. Mint kitűnő előképzettséggel és kitekintéssel rendelkező hallgató, az akkor már nemzetközi mérce szerint is kiváló Műegyetemen szerezte meg alapismereteit és jártasságát a műszaki és természettudományok terén. A II. világháború csapásainak szele 1944 év végén érte el az egyetemeket is, mikor is a Műegyetem utolsó éves hallgatóinak németországi kitelepítésére került sor. Így került ki Drezdába, a drezdai Műszaki Egyetemre, ahol 1945 februárjában átvészelte a szörnyű bombázást és a „tűzvihart”, mely Drezdát egyetlen éjszaka alatt porig sújtotta. Hazatérése után, 1946-ban szerezte meg vegyészmérnöki oklevelét, és kezdte meg Kőszegen, a család tulajdonában lévő gyárban mérnöki tevékenységét, melynek néhány év elteltével az államosítás vetett hirtelen véget.

Ezt követően került a Budapesti Műszaki Egyetem Általános Kémiai Tanszékére mint megítélt osztályidegen oktató-kutató tanársegéd. Ezekben az évtizedekben indult, majd terebélyesedett ki világszerte a műszaki és természettudományos kutatások szédületes fejlődése, melynek elengedhetetlen feltétele volt az újszerű, nagyhatékonyságú kémiai analitikai eljárások fejlesztése. Bekapcsolódva a kutató-fejlesztő munkába, rövid idő alatt jelentős tudományos eredményeket ért el mind a hagyományos kémiai (például Variaminkék kolorimetriás reagensként történő

alkalmazásai), mind pedig az akkor üstökösként megjelenő, radiokémiai eljárások kidolgozása területén (például csapadékcserereakciók követése radiokémiai módszerrel stb.)

Kiváló írói képességei, széles irodalomismerete, nyelvtudása, továbbá az egyetemi oktató munkája során szerzett tapasztalatai ösztönözték arra, hogy feldolgozza az analitikai kémiai tudomány történetét. Elmélyedt intenzív irodalmi kutatásai alapján születtek meg első, tudománytörténeti tárgyú közleményei, majd – azokat követően, viszonylag gyorsan – készült el, a korábbi tudománytörténeti műveketől eltérő, új szemlélettel és magával ragadó olvasmányos stílusban, szigorú történelmi hűséggel megírt, dokumentumokkal alátámasztott megállapításokat tartalmazó, első összefoglaló, tudománytörténeti műve: *Az analitikai kémia története*.

Kiváló írói adottságaira jellemző, hogy dolgozatainak és sikeres, több száz oldalas könyveinek kéziratát is saját kezével, tollal írta, bámulatos lendülettel, jól olvasható írással. A folyamatosan áradó gondolatait rögzítő kézirat utólagos javítására, módosítására rendszerint nem volt szükség. Megjelent könyveinek száma húsz körül jár, tudományos közleményeinek száma pedig közel 400.

Annak ellenére, hogy tudományos eredményei révén mind bel-, mind külföldön a tudományos körökben jelentős elismerésben részesült, a kommunista rezsim uralkodásának évtizedei alatt – hátrányos osztályhelyezete miatt – a tudományos fokozatokat csak nagy késéssel kaphatta meg. Akadémiai taggá történő választása pedig csak a rendszerváltást követően, hetvenéves kora elérése után volt lehetséges.

Élete során nagyon sokat tett, nemcsak a múlt tudományos és kulturális emlékeinek feltárásáért, de azok megőrzéséért is. Nemcsak számtalan hazai és nemzetközi tudománytörténeti konferencia, bemutató

kiállítás, emlékülés megrendezését kezdeményezte, de kiváló előadásaival maga is hozzájárult azok sikeréhez. Fáradhatatlanul, sok évtizeden át küzdött az Országos Műszaki Múzeum anyagának korszerű, rangjának megfelelő elhelyezéseért. Több fontos hazai és nemzetközi tudományos szervezetnek, bizottságnak volt kezdeményezője, alapítója és elnöke. Tagja volt a Nemzetközi Tudománytörténeti Akadémiának, a Német Orvostudományi Társaságnak, a Tudománytörténet és Filozófia Nemzetközi Uniójának, a Műszaki és Tudományos Múzeumok Nemzetközi Szövetségének. Kezdeményezte és elnöke volt az Európai Kémikus Egyesületek Szövetsége Kémiatörténeti Bizottságának és a Magyar Tudományos Akadémia tudománytörténeti komplex bizottságának.

Nemcsak mint alkotó tudós és mint aktív közéleti ember, de mint egyetemi oktató,

mint kolléga, mint barát, mint családszerető ember is kiváló volt. Ezért nagyon sokan tisztelték, szerették.

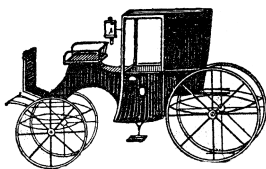
Egyéniségére jellemző finom intellektuális humorával tűzdelt, soha nem bántó, magával ragadó, sziporkázóan szellemes előadásai mindig nagy sikert arattak.

Hazai szempontból fontos, kiemelkedő műve a Szőkefalvi-Nagy Zoltánnal közösen írt *A kémia története Magyarországon* című könyv (1972), és legutolsó műve, *A magyar kémia művelődéstörténete* (1998).

Az utókor, őrizve Szabadváry Ferenc emlékét, méltán lehet hálás életművéért, a múlt emlékeinek feltárásáért és mindazért, amit az emlékek, hazai és nemzetközi viszonylat szempontjából egyaránt fontos értékek fennmaradásáért tett és alkotott.

*Inczédy János*

az MTA rendes tagja, professor emeritus





# Kitekintés

## CSILLAGOK SZÜLETNEK A FEKETE LYUK KÖRÜL

Galaxisunk, a Tejútrendszer közepén egy közel négymillió naptömegű fekete lyuk körül fiatal csillagok tömegét fedezték fel. Néhány millió évenként korong alakba rendeződik a gáz a fekete lyuk körül, majd a lyuk hatására a korongban csomósodások alakulnak ki, ezekből formálódnak a csillagok. Német és amerikai kutatócsoportok egymástól függetlenül mérték a Sagittarius A\* fekete lyuk kb. 1 fényév kiterjedésű környezetéből származó infravörös sugárzást. Az egyre érzékenyebb teleszkópoknak köszönhetően sikerült a fekete lyuk közelében talált csillagok mozgását, méretét, korát meghatározni. A csillagok nagyobb része azonos síkban mozog a fekete lyuk körüli fényhónapnyi tartományban. Életkoruk átlagosan 6 millió év, túl fiatalok ahhoz, hogy a Tejút távoli tartományából vándorolhattak volna a fekete lyuk közelébe.

Korábban más mechanizmussal magyarázták a fekete lyuk közelében megfigyelt csillagok keletkezését. Eszerint ezek a csillagok eredetileg a galaxis magjától 10 fényév távolságon belül keletkezhetek, majd az egymáshoz közeli csillagok ezreiből álló csoport szétszakadt, és a csillagok egy része elindult a fekete lyuk felé.

Mindkét keletkezési mechanizmusnak vannak hívei, akik elvetik a másik magyarázatot. Elképzeltető az is, hogy a két eltérő keletkezési mód egymás mellett létezik, mindkettő mellett szólnak megfigyelt jelenségek.

Idén nyáron az egyik, mintegy tíz naptömegnyi csillag 7 milliárd kilométerre, ez kb.

a Nap – Plútó távolság, a fénysebesség 3 %-ának megfelelő sebességgel mozogva halad el a fekete lyuk mellett.

Irion, Robert: A Surprising Stellar Nursery. Science. 2 June 2006, **312**, 1301.

*J. L.*

## MÁGNESES HATÁSOK A FORGÓ GÁZKORONGBAN

Egy központi csillag vagy egy fekete lyuk magához vonzza a forró gázt környezetéből, az így kialakuló gázkorongok a Világegyetem legnagyobb energiaforrásai. A gravitációs folyamatból nyert energia a kisugárzott elektromágneses sugárzás forrása. Részleteiben azonban még nem világos, hogyan zajlanak le ezek a folyamatok. Jon M. Miller és munkatársai egy hét naptömegnyi fekete lyukat figyeltek meg, amely egy normál csillagtól veszi el az anyagot. A korongból a sugárzás mellett ionizált gázrészecskék kilépését is megfigyelték, ennek a szélnek a keletkezésében mágneses folyamatok is szerepet játszhattak.

Korábbi számítások szerint a forgó korongban csak úgy alakulhat át a mechanikai energia hővé és sugárzássá, ha a turbulens korongban egymással kölcsönható örvények vannak. Továbbra sem volt azonban világos a turbulenciát tápláló energia forrása. Az új megfigyelések szerint a mágneses tér a forrás. A korongot anyaggal tápláló csillag mágneses tere „rugóként” köti össze a gázkorongban a belső és a külső tartományokat. A rugó által kifejtett erő hatására mozog

kifelé energia és impulzusmomentum, a rugó táplálja a turbulenciát a korongtól elvett forgási energiából. A kutatócsoport a NASA Chandra-űrteleszkópjával a röntgen-spektrum abszorpcióis vonalaiban kékeltoódást figyelt meg, vagyis a spektrumvonalak a rövidebb hullámhosszak felé tolódtak el. Az elnyelő közeg tehát a megfigyelő felé mozog, Miller szerint ez a közeg a koronggal kis szöget bezárva kifelé mozgó részecskeáramlás, szél.

Kifelé tartó részecskeáramlás csak akkor léphet fel, ha a korong „felső atmoszférája” valamilyen extra energia segítségével legyőzheti a gravitációt. Az extra energia származhat felmelegedésből, sugámyomásból, mágneses térből vagy a három kombinációjából. A megfigyelt esetben a mágneses tér hatása az egyetlen lehetséges magyarázat.

Proga, Daniel: Magnetic Accretion. *Nature*. 22 June 2006. **441**, 938.

Miller, Jon M.: The Magnetic Nature of Disk Accretion onto Black Holes. *Nature*. 22 June 2006, **441**, 953–955.

*J. L.*

## HAYABUSA AZ ITOKAWANÁL

A Hayabusa (súlyom) űrszondát 2003. május elején izgalmas feladattal indították útnak Japánból. Találkoznia kell az Itokawa kisbolygóval, le kell ereszkednie a felszínére, majd az ott gyűjtött anyagszintával vissza-indulni a Földre. A küldetés legfontosabb részére, a kisbolygóval való találkozásra 2005. szeptemberben került sor. A mérési eredmények és a felvételek kiértékeléséről hét cikkből álló összeállítást közölt a *Science* 2006. június 2-i száma.

A kisbolygóval való randevű idején az űrszonda olyan messze járt a Földtől, hogy egy üzenetváltás mintegy húsz percet igényelt. Ezért a szonda meglehetősen nagy önállósággal rendelkezett, fedélzeti számítógépe a pillanatnyi helyzet ismeretében döntött a

teendőkről. Az események nem követték az előzetes forgatókönyvet. A Minerva nevű robotnak a kisbolygón kellett volna landolnia, majd egy-két napig 10–20 méteres ugrásokkal barangolnia a felszínen, fényképeket készítenie és hőmérsékletet mérnie. A Minerva egy váratlan manőver során elszabadult és elveszett.

Azt tervezték, hogy a Hayabusa akár háromszor is leszállhat a felszínre, ezalatt 1 gramm mintát gyűjthet. Végül földi parancstól függetlenül, a tervektől némileg eltérő módon leereszkedett a felszínre, egyszer vagy kétszer kissé vissza is pattant. Erre csak utólag, az adatok elemzése alapján derült fény. Mái sem tudni, gyűjtött-e anyagmintát a szonda. Biztosat csak a hazaérkezése után tudunk majd, de egyelőre a visszaút miatt is aggódni kell. A manőverek során ugyanis a tervezettnél több üzemanyagot használt el az űrszonda, és az egyik hajtóműből is hibajelek érkeztek. Jó esetben 2010-ben landol majd. A tapasztalatok alapján újra kell gondolni a részben önállóan működő szonda és a földi irányítók közti munkamegosztást, rugalmasabb lehetőségeket kell adni az automatának. Az autonóm irányítási rendszer egyébként jól működött, így kerülhetett az űrkutatás történetében először sor arra, hogy egy eszköz sikertelen leszállás után felemelkedjen, majd újra nekilásson a feladatnak.

Az Itokawa kisméretű, kb. 300 méter átmérőjű kisbolygó. Alakja elnyúlt, naponta néhányszor megfordul tengelye körül, Nap körüli keringési ideje másfél év. A kisbolygót törmelékhalomnak, kórakásnak írják le. A megfigyelt felszíni ásványok csak kisméretű égitesteken fordulnak elő egymás mellett, nem váltak szét fajsúly szerint, nem rendeződtek rétegekbe. Összetétele alapján a kondrit égitestek közé tartozik. Sűrűsége kicsi, a számítások szerint belsejének 40 %-a üreg. Ennek alapján feltételezhető lenne, hogy a kisbolygó már egy nagyobb ütéstől, becsapódástól darabjaira hullik. Valószínűbb azon-

ban, hogy a porózus szerkezet miatt a becsapódás energiáját képes elnyelni, a darabok átrendeződnek, tovább töredeznek. Alig van kráter a felszínen, a laza szerkezet miatt a rengések elegyengetik a felszínt, törmelék tölti ki a mélyedéseket. A kisbolygó eredetére többféle elképzelés létezik: elnyúlt alakja egy nagyobb test „elkopásával” alakult ki, szétört nagyobb test darabjaiból állt össze, vagy két hasonló felépítésű kisbolygó kapcsolódott össze. Ha egyszer a jövőben egy kisbolygó veszélyezteti a Földet, akkor a beavatkozás előtt tisztázni kell, vajon tömör szikla vagy törmelékhalma-e a közeledő égitest.

Hayabusa at Asteroid Itokawa. Science. 2 June 2006, **312**: Introduction. The Falcon Has Landed. 1327.

Perspective. Asphaug, Erik: Adventures in Near-Earth Object Exploration. 1328–1329. Reports. 1330–1353.

*J. L.*

## KÉNTelenítés „KERÁMIASZIVACCSAL”

A kén tartalom ellehetetleníti a hidrogén üzemanyagú fűtőcellák működését, ezért nagy az igény olcsó, megbízható kén-telenítési technológiák iránt. A Tuft Egyetem kutatói kerámiaporból készítettek olyan „kémiai szivacsot”, amely gyorsan magába szívja a kén, majd a tartalmát ki lehet csavarni, és a tiszta szivacs újra és újra felhasználható. Korábban cink-oxid kerámiával kísérleteztek, ebben a cink-oxid cink-szulfiddá alakul át. Ha a külső felület már cink-szulfiddá alakult, akkor nehezen jut be a kén a kerámia belsejébe. A szulfid oxiddá váló visszaalakítása sem könnyű, ezért a cink-oxid szűrőket rendszeresen cserélni kell. Lantán és más ritka földfémek oxidjaival is évek óta kísérleteznek. Ezek könnyen elnyelik a kén, és a kén ki is nyerhető belőlük, ezért ezeket a szűrőket többször fel lehet használni. A kísér-

letek során hosszú ideig nyelettek el kén a kerámiával, így a kén az anyag egész kristályszerkezetét átjárta. A telített anyagból viszont csak túl lassan lehetett visszanyerni a kén, ezért nem alkalmazták a gyakorlatban.

Maria Flytzani-Stephanopoulos és munkatársai csak viszonylag rövid időre tették ki kén tartalmú gázoknak a ritka földfém-oxid kerámiákat, ezért a kén csak a felszínt vonta be. Elsősorban a lantán-oxidokkal szereztek kedvező tapasztalatokat, egy rész a milliárdból arányra csökkentették le a kén tartalmát, ez megfelel a gyakorlati alkalmazásoknak. Az elnyelés – kinyerés ciklust százszor megismételve sem találtak változást az anyagban. Üzemi alkalmazásoknál érdemes lesz több szűrőt alkalmazni, míg az egyik elnyel, addig a másik éppen leadja az elnyelt kén.

Service, Robert F.: Ceramic Sponges That Soak Up Sulfur Could Boost Energy Technologies. Science. 9 June 2006, **312**, 1453.

Flytzani-Stephanopoulos, Maria et al.: Regenerative Adsorption and Removal of H<sub>2</sub>S from Hot Fuel Gas Streams by Rare Earth Oxides. Science. 9 June 2006. **312**, 1508-10

*J. L.*

## IRÁNYÍTÁS GONDOLATTAL

Az amerikai Matthew Nagle öt évvel ezelőtt késelés következtében mind a négy végtagjára megbénult. 2004-ben egy olyan implantátumot ültettek az akkor 25 éves fiatalember agyába, amely lehetővé tette számára, hogy gondolatok segítségével bekapcsolja a televíziót, kinyissa elektronikus leveleit, számítógépes játékot játsszon, és egy mester-séges kart mozgasson. A technikáról, amely mindezt lehetővé tette számára, és az eddigi eredményekről a *Nature* számol be.

A kutatásokat vezető John Donoghue szerint (Brown University, New York) legfontosabb felismerésük az volt, hogy a sérült ember agyáról is elvezethető elektromos ak-

tivítás, ha arra gondol, hogy valamilyen mozgást szeretne elvégezni. Ők tulajdonképpen ezeket a jeleket „dekódolták”.

Matt Nagle agyába, a testmozgásokat koordináló ún. motoros kéregbe tablettá méretű chipet ültettek be, amelyhez 96, a hajszálnál is vékonyabb elektróda fut. A fiatalemberek különböző feladatokat adtak: például gondoljon arra, hogy jobbra szeretné elmozdítani a bal, vagy fel szeretné emelni a jobb karját. Ezek a gondolatok a motoros kéreg idegsejt-milliárdjainak más és más egyedeit hozták működésbe, létrehozva ezzel a mozgásra jellemző, az elektródákkal elvezethető elektromos aktivitási mintázatot. Az elektródákhoz illesztett komputer „megtanulja”, milyen mintázathoz milyen tevékenység tartozik, így képes Nagle a gondolataival mozgatni a kurzort, vagy ki-be kapcsolni a televíziót. Az implantátumot és a szoftvert Donoghue Cyberkinetics nevű cége fejlesztette ki.

Nature. 2006. 442. 164., 195.

G.J.

## A NŐK SZÁMÁRA VESZÉLYESEBB A DOHÁNYZÁS

A dohányzó nők tüdőrák szempontjából esendőbbek, mint a férfítársaik – állítják amerikai kutatók. A Dr. Claudia I. Henschke (New York, Presbyterian Hospital) által vezetett tanulmányban 1993 és 2005 között rákszűrés céljából készült komputertomográfias tüdőfelvételeket elemeztek. A vizsgálatban 7498 nő és 9427 férfi vett részt, valamennyien legalább 40 évesek voltak, és dohányoztak, ugyanakkor egyiküknél sem voltak tüdődagyanatra utaló tünetek. A nők 2,1 százalékánál találtak tüdőrákot, míg a férfiaknak csak 1,2 százalékánál. Ezek az adatok arra utalnak, hogy a nők számára a dohányzás sokkal veszélyesebb. Ezt egyelőre nem tudják megmagyarázni a kutatók, mint ahogy azt a tényt sem, amire szintén rámutat a tanulmány,

hogy viszont a tüdőrákban szenvedő nők tovább élnek, mint a férfiak.

*Journal of the American Medical Association, (JAMA). 2006. 296, 180–184.*

G.J.

## ŐSSEJTBŐL HÍMIVARSEJT

Egérembrió-össejteket a tenyésztési körülmények befolyásolásával spermiummá alakítottak a Newcastle-i Egyetem kutatói. Az így „előállított” hímivarsejtek rövid farokkal rendelkeztek, így a petesejtek önálló megtermékenyítésére nem voltak képesek, de a nősejtekbe juttatva őket sikerült megtermékenyített petesejteket létrehozni. Az embrionális fejlődés állapotába 65 zigóta jutott el, ezeket nőtényegerekbe ültették. A beavatkozások eredményeként hét kisegér született, közülük egy nem érte meg a felnőttkort. Azonban a túlélők sem voltak egészségesek: terméketlenek voltak, és valamennyien abnormális méretekkel rendelkeztek: vagy túl picik, vagy túl nagyok voltak. Néhányuknál tüdőrák fejlődött ki, és egyikük sem élt öt hónapnál tovább, pedig a laboratóriumi egerek átlagos élettartama három év.

A kutatócsoport tagja, Karim Nayernia szerint az igazi előrelépés, hogy ezekkel a hímivarsejtekkel életképes utódokat lehetett létrehozni, míg a korábbi hasonló kísérletekben az embriók néhány nap alatt elhaltak. Ugyanakkor persze elismeri, hogy a számtalan rendellenességgel rendelkező utódok azt jelzik, hogy még mindig alapvető problémák vannak a technikával, és a végcél, hogy terméketlen férfiakat lehet majd így hozzásegíteni ahhoz, hogy gyermekük szülessen, nagyon messze van még a realitástól.

Developmental Cell. DOI: 10.1016/j.devcel.2006.05.010

G.J.

Jéki László – Gimes Júlia

# Könyvszemle

## *Történetek a magyar média közelmúltjáról*

A francia forradalom, 1789, még túl közel van ahhoz, hogy időtálló értékelését el lehessen végezni, ezt az éppen harminc éve halott Csú En-laj, a Kínai Népköztársaság első miniszterelnöke válaszolta anno egy francia újságíró kérdésére. Majd két évszázaddal az események után talán megengedhetett magának egy nagy államférfi ilyen véleményt, különösen akkor, ha egy ráérősebb kultúra reprezentánsa, de azt is látnunk kell, hogy a közvetlen utókor kíváncsi érdeklődői a maguk életén belül keresik kérdéseikre a hiteles válaszokat.

Talán nem tévedek, ha úgy látom, hogy a magyar média elmúlt negyedszázadának története az adott terjedelemben tudományos igényvel nem írható le, s ha az volt a szándék, amit a cím sugall, akkor a szerzők nyilvánvalóan lehetetlenre vállalkoztak. Történetek, elemzések a magyar média elmúlt negyedszázadról, ez a meghatározás jobban megfelel a könyv műfajának, amely inkább tanulmánygyűjtemény, semmint monográfia. E recenzió sem átfogó, a nyolc fejezetet egyenként elemző írás, hanem inkább csak egy-két utalás arra, amit fontosabbnak tartok.

A magyar média közelmúltjának története is nyilván sokakat érdekel, hisz a médiáról szóló narratívák tudományos és populáris változatainak egyaránt megvan a maguk közönsége. A kötet szerzői elsősorban a főiskolák és egyetemek kommunikáció és média szakos hallgatóinak szánják munkájukat, s valószínűleg nem is csalatkoznak majd abbéli reményükben, hogy mondandójuk

eljut hozzájuk. Ugyanakkor jogos a kérdés, és mélyebb elemzést is érdemelne, hogy miért éppen az 1979 óta eltelt negyedszázad az elemzés tárgya – magam például nem tudnék választ adni arra, hogy mi is történt éppen 1979-ben a magyar médiában vagy társadalomban, ami ezt a kezdőévet indokolná –, de fogadjuk el, hogy a szerkesztő, Bajomi-Lázár Péter ezt így látta jónak. Az ő általa jegyzett bevezető fejezetet, amely a médiapolitikáról szól egy, az újságírás normáiról szóló írás követi, majd jön három ágazati tanulmány (rádiózás és televíziózás, lapkiadás, új média), az utolsó három fejezet pedig a jogi szabályozással, a műfajokkal és a médiaháborúkkal foglalkozik. Az olvasót segíti egy, a kötet elején elhelyezett indító glosszár, valamint a tanulmányok mögé illesztett eseménykronológia.

Minden könyv átka a formai pontatlanság (például a téves forrásmegjelölés), amiből itt is előfordul jónéhány. Kevésbé bocsánatos az a megoldás, amit a 3. számú kép aláírása foglal magában: a Magyar Televízió *Hírháttér* műsorában (1982) megjelenő vendég csak vendégként van aposztrofálva, miközben a másik három, a képen látható televíziós személy, Nagy Richárd elnök, Kígyós Sándor főszerkesztő és Baló György műsorvezető nevét a kép aláírás feltünteti. Vajon ki lehet az a vendég, tűnődhet el a főiskolás-egyetemista olvasó, akiért az MTV politikai műsorainak akkori nagygáyműi – az elnök, a főszerkesztő és a sztárriporter – felsorakoztak?! A kérdés itt maradjon költői, illetve tessék majd megkérdezni a tanárt!

A második fejezet, *Újságírói normák*, sok érdekeset elárul a közelmúlt újságíróiról,

de számomra mégsem elég meggyőző a kifejtés. Személyes tapasztalataim szerint az 1970-es évek elejétől kezdve számos olyan ember került az újságírói pályára, akinek műveltsége, szakmai felkészültsége, emberi tartása és valóságisztelete már óhatatlanul is más ideált, szerepfelfogást eredményezett, mint a pártállami határozatokban unos-untalan visszaköszönő pártosság, elkötelezettség stb. kritériumrendszer vonalas újságírója képviselt.

A nagyobb szerkesztőségekben egyébként a két szerepfelfogás együtt létezett, sőt egyfajta hallgatólagos munkamegosztás is kialakult a két táborhoz tartozók között. A pártállami sajtóirányítás és a szerkesztőségek konfliktusai a mindennapok rutineseményei, részei voltak, s ki-ki másként élte meg ezeket: az elfogadás, a kényszerű alkalmazkodás, az öncenzúra, az egyensúlyozás kavalkádjából is kijött azért néha valami, amit újságírásnak nevezhetünk. Ma már talán hihetetlen, de a legnagyobb hatású műfajok egyike a televíziókritika volt: miután a televíziót már akkor is nyíltan lehetett szidni a sajtóban, a rendszert viszont nem, a televíziókritika az újságíráson belül kiemelt műfajjá vált.

Az sem mellékes egyébként, hogy a rendszerváltozás egyfajta új fajtáját is kitermelte az újságírónak: ő az az információs szakmunkás, aki technikai kérdésként tekint a tevékenységre, és a termék sikerkritériuma nála egyértelműen a pénz (példányszám, nézettség). Az *infotainment* szolgálatába állás, úgy tűnik, a műfaj jeles és kevésbé jeles művelői számára nem szakmaetikai kérdés, a politikai marketing pedig felébe kerekedik mindennek. Mindez a saját tapasztalatom, amit viszont nem találtam meg a könyvben. Pedig ha hinní lehet az új idők egyik újságíró sztárjának, van ilyen: „Újságíró vagyok 1990 óta, sokáig voltam belpolitikai újságíró, legalábbis azt hittük még, hogy létezik televíziós

újságíró. Akkoriban, ha történt valami, mi beszámoltunk róla, ma mindenki termékben, üzletben, logóban, márkában gondolkodik, már nincsenek hírműsorok... A politikusok nagy része tudja, hogy branding nélkül esik a népszerűsége. A médiában pedig ma már nincs szükség komoly szakújságírára, itt show-t kell csinálni, és ez egyaránt vonatkozik a televízióra és más orgánumokra is.” (Az idézet helyes megfejtői a recenzensnél beírathatják a jelesüket).

A *Sajtó- és médiajog* fejezetben, amit egyébként kitűnőnek tartok, érdemtelenül kevés szó esik a médiatörvény előkészítésének szakmai részéről. Érttem én, hogy a kibontakozó első médiaháború, az alelnökök 1991. év tavaszán történt kinevezése körül kerekedett politikai skandalum és eltérő jogértelmezések hálásabb témák, mint a később elbukott törvényjavaslat szakértői anyagainak vagy különböző szövegváltozatainak elemzése, illetve magának a törvényelőkészítési folyamatnak a bemutatása, de a dolgot akkor is fájjalom. Így ugyanis nem derül ki, hogy igenis megvolt az a szakmai tudás és erőfeszítés, ami egy, a kor igényeinek megfelelő, a nemzetközi összehasonlítást kiálló médiatörvény elfogadásának nélkülözhetetlen kiinduló eleme.

Tananyagot írni a leghálátlanabb vállalkozás, ez a legszemélyesebb, tanárként megélt tapasztalatom. Ezért minden kritika ellenére ajánlani merem a könyvet a felsőoktatás hallgatóinak, hisz nekik szól, de mellettük talán a szélesebb, a média mélyebb rétegei iránt érdeklődő közönség is megtalálhatja benne, amit keres, vagy amivel vitázni szeretne. *Magyar médiatörténet a késő Kádár-kortól az ezredfordulóig. Szerkesztette Bajomi-Lázár Péter. Budapest, Akadémiai Kiadó, 368 p.)*

Gálík Mihály  
egyetemi tanár

*Dénes Iván Zoltán (szerk.)  
Liberty and the Search for Identity. Liberal Nationalisms and the  
Legacy of Empires*

A Köztes-Európa-hoz tartozó, azaz a Németország és Oroszország közötti országok/népek/nemzetek történetében, kultúrájában, intézményeiben az összeurópai humán tudomány még mindig nincs igazán otthon. A közvélemények számára továbbra is a XIX. és XX. századi nacionalista propagandahadjáratok közhelytára a mérvadó.\* Ebbe a feloldhatatlannak tűnő görcsbe ütközik bele az Európai Unió ma, amikor pedig a kontinent szétromboló, egymással háborúzó, esetleg csak farkasszemet néző blokkok kora a múlté. Dénes Iván Zoltán vállalkozásának ez az érdeme és a lényege: megmutatni, hogy lehet a köz- és önbutító klisék ismétlése helyett gondolkodni és írni az európai politikai kultúra történetéről.

A kötet megteremtője és szerkesztője a *Bevezetőben* felvázolja a vállalkozás mintegy húszéves történetét. Elméleti kiindulópontja az – és tegyük rögtön hozzá, ebben igaza volt –, hogy a magyar liberalizmust és konzervativizmust csak összehasonlító elemzés segítségével lehet megérteni, és hogy az összehasonlításnak csak úgy van értelme, ha nem szorítkozik Közép-Európára. Ehhez az összehasonlító elemzéshez nyújt izgalmas nyersanyagot a három nyugati (skót, holland és belga), hat közép-európai (német, svájci, osztrák, cseh, magyar és lengyel) és öt keleti (orosz, szerb, román, bolgár és török)

\* Ilyen, propagandán alapuló klisék a legváratlanabb helyeken bukkanak fel. Szinte hihetetlen, de Hannah Arendt klasszikusnak számító könyvében a totalitarizmus eredetéről lehet azt olvasni, hogy az első világháború előestéjén az Osztrák-Magyar Monarchia ugyanolyan despotizmus volt mint Oroszország, a parlamentnek nem volt törvényhozó funkciója, az állam rendeletekkel kormányzott stb.

nemzeti liberális mozgalom bemutatása. A 17 tanulmány közül csupán egy készült több nemzetéről, Diana Mišková a Balkán-liberalizmus egyik közös vonásáról, arról tudniillik, hogy mind Bulgáriában, mind Szerbiában, mind pedig Romániában a liberális középosztályok által létrehozott nemzet-államot hogyan vették át radikális antiliberális pártok. Az időhatárokat a szerzők maguk választották. A könyv főtémája a hosszú XIX. század, csak a román (Daniel Barbu–Cristian Preda) és a török (Eyüp Özveren) tanulmány követi korunkig a liberalizmus pályáját. Kiváló nyersanyag gyűlt össze, az összehasonlítás az olvasó feladata.

A liberális nacionalizmus természetes szellemi közege mindenütt a nemzeti történelem. Hollandiában a köztársaság XVII. századi fénykora adta az ihletet és a mércét (Henk te Velde), Csehországban a huszitizmus (Otto Urban), Magyarországon az abszolutizmusnak sikeresen ellenálló képviselői rendszer (D. I. Z.).

A vallás döntő szerepet játszott az újkor századai során az európai nemzetadatok kialakulásában, akár egyvallásúság, akár vallási pluralizmus formájában. A liberalizmus mindenütt ehhez a vallási háttérhez igazodott. Skóciában a jakobita katolicizmus félreállító presbiteriánus (kálvinista) egyházzal fonódott össze (David McCrone), Belgiumban viszont a liberálisok és katolikusok szövetsége vívta ki a függetlenséget a kálvinista Hollandiától (Janet Polasky). A XIX. századi szláv szolidaritás diskurzusához szokott közép-európai olvasó számára talán meglepő, hogy a presbiteriánus skót liberálisok elszánt ellenfelei voltak az angol szupremácia ellen lázadó katolikus ír mozgalomnak, azaz a közös kelta gyökér nem került be a politikát formáló tényezők közé (R. J. Finlay). Bulgáriában a liberális nacionalizmus első sikeres akciója a görög egyházi hierarchiától független bolgár exarchátus kivívása volt 1871-ben, a török kormány segítségével (Miškova).

A kötet „nyugati” cikkei Ernest Renan nem faji, nem nyelvi, hanem történelmi közösségként meghatározott nemzetfogalmát fogadják el. A renani nemzetfogalom ugyanúgy alkalmazható az angol szuverenitással megbékült, önálló államot nem igénylő royalista skót (David McCrone), mint a többnyelvű, republikánus svájci közösségre (Albert Tanner). Ebben a szellemben gondolkozott egyébként Magyarországról a magányos Berzeviczy Gergely 1810, a mindenki által kiközösített és azóta gondosan elfelejtett Hoitsy/Hojci Sámuel 1840 táján. De az Elbától és Lajtától keletre mind a liberális értékrendszert hordozó, mind pedig a liberális értékrendszert elvető nacionalizmusok nyelvi/faji identitástudatra épültek. „A nacionalizmust Európában találták fel, és ez a találmány majdnem megsemmisítette Európát”, írja a kötet előszavában Michael Frieden. A XX. sz.-ban, Köztes-Európa vált a találmány *par excellence* áldozatává, mert a soknyelvű történelmi közösségeket felrobbantotta az elszabaduló nyelvi-faji szenvedély.

A liberalizmus csak ott juthatott vezető pozícióba, ahol abszolutizmus elleni ellenzéki mozgalomként lépett fel, így az ebből a szempontból nem egy rokon vonást mutat Belgiumban (Polasky) és Magyarországon (D. I. Z., Szabó Miklós). Az oroszországi oktrojált (Kun Miklós), az ausztriai megengedett (Heiszler Vilmos) és a németországi önkormányzó (Erdődy Gábor) liberalizmus szintén integráns része az európai politikai cselekvés és lehetőségek történetének, de e három ország sorsának alakulását más politikai erők és áramlatok döntötték el.

Dénes Iván jogosan és meggyőzően tiltakozik kötetet indító tanulmányában a nyugatosságot és nemzeti autenticitást szembeállító és Közép-Európában elég általánosan elfogadott, s ezért végtelenül káros, hamis alternatíva ellen. A hamis alternatívának van valós háttere. A kontinens keleti fele valóban szegényebb és műveletlenebb, bevett szóval

elmaradottabb volt a nyugati országoknál. A XVIII. században született elmaradottságtudat önálló szellemi tényezőként hat mindmáig bizonyos, főként intézmény- és szellemtörténeti kérdések vizsgálatánál. Talán ezzel a jelenséggel függ össze az az elképzelés, hogy „noha cseh városokban voltak magányos felvilágosult gondolkozók... a Felvilágosodás mint olyan gyakorlatilag nem létezett Csehországban” (Otto Urban), valamint a magyar felvilágosodás leszűkítése a „testőrírók és az ún. Martinovics-összeesküvés kis elit csoportjára” (Szabó Miklós).

Az „importált haladás” és „nemzeti jelleg” közötti összeütközés a kelet-európai pluralizmus egyik megjelenési formája. A kérdés 1848 előtt, a jobb jövőt ígérő liberalizmus születésének korában gyakorlati jellegű volt: elmaradottságra ítélik-e a román, magyar stb. nemzetet jellege, kultúrája, hagyományai, vagy van-e lehetőség haladásra? Ebben az első szakaszban a liberálisok pontosan azzal érveltek például Csehországban (Urban), Szerbiában (Ress Imre, Miškova) és valamivel később Törökországban (Özveren), hogy a felélesztendő, középkorra visszanyúló nemzeti hagyományok összhangban vannak a nyugati liberális értékekkel. Az akkori liberális válasz szerint a haladás, a „felzárkózás” a Nyugathoz lehetséges, kívánatos, sőt történelmileg szükségszerű. A közép-európai és balkáni esettanulmányok az 1880-as évekre teszik a fordulatot, amikor megindul a liberalizmus térvesztése a jobb- és baloldali radikalizmusokkal szemben (Urban, Szabó, Miškova). A „nemzeti autenticitás” a jobboldali érvelés gerince idestova száz éve Lengyelországtól Bulgáriáig. Ma is az. Oroszországban, ahol I. Sándor uralkodása óta folyik a vita a nyugatosok és a szlavofilek között, a tét nemcsak belpolitikai, hanem elsősorban a nagyhatalmi státusz (Kun, Semyonov). A nagyhatalmi állást feladni kényszerítő török liberalizmusnak talán még az oroszországinál is kedvezőtlenebb



viszonyokkal kellett megbirkóznia. Hogy Törökországnak mégis sikerült kilépnie az ottomán jogból, intézményrendszerből és szellemi kultúrából, és megvalósítania a képviseleti rendszert és laikus államot, ebben döntő szerepe volt a kemalizmust előkészítő liberalizmusnak (Özveren).

A viktoriánus Európában liberális névjegy kellett a politikai szalonképességhez, de a névjegy jogosultságát nem kellett intézményekkel és intézkedésekkel igazolni. Nem létezett a liberális követelményeket tételesen felsoroló dokumentum a nyolcvan racionalista, liberális és antiklerikális tévedést elítélő, 1864-ben kiadott *Syllabuszon* kívül. A kelet-európai liberálisok a fejlett Nyugat elismerését keresték, Michelet és Quinet román tanítványai (Miškova) ugyanúgy, mint Vladimir Jovanovic *Les Serbes et la mission de la Serbie dans l'Europe d'Orient* szerzője (Ress). A XIX. századi Európában az általános választójog nem tartozott a liberális arisztokraták, polgárok és intellektuelek krédójához. A census volt hivatva a szabadságot megvédeni a forradalmi anarchia és a cézárizmushoz vezető népszavazás ellen.

A kötet ugyanúgy felhívja a figyelmet a párhuzamokra, mint a kontrasztokra. A lengyel és magyar arisztokratikus politikai osztály reformelképzelésének talpköve az alkotmányos jogok kiterjesztése az egész népre, azaz a parasztságra (Dénes, Szabó, Janowski). A szintén arisztokratikus román politikai osztály a parasztságot kirekeszti a közéletből egészen Nagy-Románia megalkulásáig (Barbu-Preda és Mishkova). Ugyanez a román bojár-liberalizmus keresztülviszi a halálbüntetés eltörlését, míg Magyarországon a halálbüntetést megszüntető büntetőjogi reform 1843-ban elbukik a főrendek és az udvar ellenállásán. Rieger cseh liberalizmusához

szintén hozzátartozott a felvilágosodástól örökölt abolicionizmus. A lengyel–magyar párhuzam olyan részletekre is kiterjed, mint a kaszinók szerepe az 1830-as években vagy a társadalmi-politikai jelentésű 'intelligencia' illetve 'értelmiség' szó megjelenése 1840 körül.

A szerkesztő és a szerzők kimagasló érdeme, hogy tudatosan és radikálisan szakítottak a közép-európai és balkáni nacionalizmusok öntönjenező és egymást gyalázó hagyományával. Az egyes cikkek nem a szomszéd agresszív barbárságát hirdető, lélekmérgező propagandát folytatják, hanem azt vizsgálják saját történetükben, hogy milyen társadalmi, gazdasági és szellemi tényezők vezettek a liberális és felvilágosult értékek feláldozására a nacionalizmus oltárán, Varsóban és Budapesten, Bukarestben és Isztambulban.

Polemizálni természetesen valamennyi cikkel lehet, hiszen a szerzők nem bizonyított tényeket sorolnak fel, hanem látásmódot javasolnak és összefüggéseket elemeznek, márpedig a történetírás e két mezőnyében nincs márványba véssett kinyilatkoztatás. Ugyancsak értelmetlen volna azzal foglalkozni, hogy még mi mindenről lehetett volna ími. Azt hiszem, ezzel a kötettel először történt kísérlet az európai liberalizmusok és nacionalizmusok harmonikusan induló, majd végzetesen összeütköző történetének felvázolására. Reméljük, lesz folytatása, nemcsak angolul, hanem magyarul, sőt talán franciául is. (Dénes Iván Zoltán (ed.): *Liberty and the Search for Identity. Liberal Nationalisms and the Legacy of Empires* [Szabadság és az identitás keresése. A liberális nacionalizmusok és a birodalmak öröksége] – Budapest, CEU Press, 2006, xv, 509 p.)

*Kecskeméti Károly*  
történész, Párizs,  
k.keckemeti@wanadoo.fr

*A nyelv „cseles családfintaságai”**a tudomány tükrében*

Forgács Erzsébet *Nyelvi játékok. Kreativitás a viccekben, a reklámyelvben, a sajtónyelvben és irodalmi szövegekben* című könyve páratlan precizitással, tudományos műgonddal megalkotott élvezetes olvasmány. Ez a *contradictio in adiecto* a mű – egyebek mellett – legnagyobb érdeme: a nyilvánvalóan hosszan tartó, körültekintő gyűjtőmunkát igénylő kutatás eredménye nemcsak a szűkebb értelemben vett nyelvészszakna szakirodalmát gazdagítja, hanem jól hasznosítható kézikönyvet ad az anyanyelvet és a németet bármilyen szinten – az óvodától az egyetemig – közvetítő pedagógusok kezébe, és igényes ismeretterjesztést nyújt az érdeklődő laikusoknak.

A szerző a nyolc fejezetre osztott mű bevezetőjében világossá teszi, hogy a nyelvi játék fogalmát átfogó kategóriaként kezeli: ő a wittgensteini értelmezéstől eltérően a nyelv játékos felhasználását érti rajta. Majd gazdag szakirodalmi hivatkozásokra alapozva körüljárja a nyelvi norma, illetve az attól való eltérés fogalmát. A második fejezetben, amely még mindig a munka bevezetésének része, a kiválasztott funkcionális stílusok és szövegfajták: a vicc, a reklám, a sajtónyelv és a szépirodalom nyelvének jellemzőit tekinti át. A dolgozat törzsét az ezt követő négy fejezet adja, míg az utolsó kettő rövidebb, a grafikai, ortográfiai és onomasztikai játékokat számba vevő egység az olvasónak szinte minden érzékszervére, szellemére és humorérzékére ható „desszert” a mű végén.

A tankönyvet alkotó fejezetek: a fonematikai, grammatikai, szemantikai-pragmatikai, illetve az állandósult szókapcsolatokkal való nyelvi játékok – felépítése logikus és következetes: a fejezet élén a címadó nyelvi, illetve

ahhoz kapcsolódó kategória tisztázása és a vizsgált terület behatárolása áll, ezt követi a részletes tipológia a rendkívül gazdag – főleg magyar és német nyelvű – példaanyaggal. (Németül egyébként mindenképpen ajánlatos tudni ennek a tudományos összefoglaló munkának a maradéktalan megértéséhez és élvezetéhez, bár a szerző mindenütt gondot fordít a német nyelvű példák megmagyarázására (íme egy „2 in 1”: a recensens is él a literalizáció lehetőségével...)).

A nyelvi játékok egyes típusainál a köznyelvi példák után a kiválasztott funkcionális stílusok területéről kap bőséges szemléltető anyagot az olvasó. Különösen a vicc és a reklám az a szövegfajta, ahol csaknem az összes nyelvi játéklehetőség képviselteti magát. Az egyes fejezeteket pedig – az ötödik és a két utolsó, egészen rövid kivételével – összegzés zárja.

A nyelvi kreativitás működési mechanizmusát vizsgálva a szerző rendkívül mélyre ható nyomozó, illetve feltárómunkát végez: mind a magyar, mind a német, esetenként angol vagy orosz nyelvű példák esetében – ha szükséges – a nyelvtörténeti vonatkozásoktól kezdve a fordíthatóság kérdéseiig. Nemcsak alaposak, hanem különösen érdekesek a frazeologizmusokról, illetve a közmondásokról szóló alfejezetek – ez utóbbiaknál a szerző egy műszót: a *közmondás-persziflázst* is bevezeti.

A szerző – mint előszavában említi – könyvét igen széles célközönségnek szánja. Ennek a szándéknak a mű csaknem teljes mértékben meg is felel: minősített nyelvészszakemberek, szigorló nyelvészhallgatók számára igényes és izgalmas tudományos kaland az egyes nyelvi játékok működési mechanizmusának nyomon követése. Nincs feltétlenül szükségük e mechanizmus magyarázatának maradéktalan megértésére a németül tanulóknak, illetve az idegen nyelvet tanító szakembereknek sem ahhoz, hogy haszonnal merítsenek a bőséges példa-

anyagból. Még az általános és középiskolai magyartanároknak sem, akiknek a könyv remek lehetőséget adhat arra, hogy a többnyire népszerűtlen nyelvtanórák az anyanyelvvel való ismerkedés játékos és élvezhető alkalmai legyenek. Viszont éppen nekik, a nyelvészetet régebben tanult, az újabb kutatásokat nem ismerő, de a továbbképzést, önművelést igénylő szakembereknek lenne nagy segítség a könyv végén egy fogalomtár, de legalábbis tárgymutató. A szöveg tartalmában is, nyelvezetében is egyre nehezebbé válik az ambiguitás különböző válfajait tárgyaló V. fejezettől kezdve, s noha a szerző gondosan ügyel arra, hogy a terminusokat ne hagyja magyarázat, illetve a céljainak megfelelő értelmezés nélkül, ezeket célszerű lenne egy külön is felkereshető helyen csoportosítani. A *remotiváció* szakszó magyarázatát például *A frazeologizmus mint szövegstrukturáló elem – a literalizáció* alcímet viselő egység egyik jegyzetében találjuk (180.), bár korábban már többször is előfordult. A VI., az állandósult szókapcsolatokkal foglalkozó fejezet zökkenőmentes befogadásához pedig még nagyobb segítség lenne egy szakszómagyarázat.

Külön említést érdemelnek a szöveget üdítően sok helyen kiegészítő, többségében színes (és jó minőségű), főleg magyar és német nyelvű reklámfotók, illetve karikatúrák, rajzok. Ezek nem pusztán kiegészítő illusztrációk (bár egy tudományos igénnyel írt könyv esetében sem feltétlenül hátrány, ha élvezet kézbe venni, lapozgatni); a képek minden esetben a törzsszöveg szerves részei, a verbális és vizuális üzenet interakcióját, egymásba játszását hivatottak szemléltetni.

Az olvasó a vonatkozó szakirodalomban is részletes eligazítást kap, nemcsak a mű végén található irodalomjegyzékben, hanem a jegyzetapparátusban is. Ez utóbbi esetében kétségtelenül a lapalji jegyzet az „olvasóbarátabb” megoldás, de ebben a műben – a jegyzetek mennyisége okán – talán meg lehetett volna kísérelni valamiféle átcsoportosítást. A gyakran igen terjedelmes, sokszor az oldal felét vagy több mint felét kitevő jegyzetek nagy része probléma nélkül beemelhető lenne a törzsszövegbe, hiszen többségük szervesen illeszkedik hozzá. A rövidebb utalásokat, kiegészítéseket, valamint a hosszabb idegen nyelvű hivatkozásokat, idézeteket pedig lehetett volna a lap alján hagyni vagy a függelékbe „száműzni”.

Grätzer József *SICC* (Szórakoztató Időtöltések, Cseles Csalfintaságok) című könyvének – amelyet a szerző is feltüntetett az irodalomjegyzékben – gyermekkorában e sorok írója a *Játék a szavakkal* című fejezetét böngészte a legnagyobb élvezettel. Most, e rendkívül hasznos és élvezetes gyerekkönyv első megjelenése után kerekén hetven évvel egy, a nyelv „cseles csalfintaságait” tudományos igénnyel rendszerező, azoknak további kutatására is perspektívát nyitó tartalmas és értékes művet ajánlhat a szűkebb szakma és a szélesebb, a nyelvészet iránt érdeklődő közönség figyelmébe. (*Forgács Erzsébet: Nyelvi játékok. Kreativitás a viccekben, a reklámyelvben, a sajtónyelvben és irodalmi szövegekben. Szeged: SZEK Juhász Gyula Felsőoktatási Kiadó, 2005. 290 p.*)

Daczi Margit

főiskolai adjunktus

PTE Illyés Gyula Főiskolai Kara, Szekszárd

## *A hatalom „nyelvei”*

A kecses kötet egy sortudományág keresőjébe helyezi a „hatalom” jelenségét – elsősorban azonban nyelvészeti megközelítést használja. (Ormos Mária a történész szemével, Szabó Miklós a jogelmélet irányából, Csányi Vilmos az etológia felől, Kapitány Gábor és Kapitány Ágnes a szociológia felől, Mihályi Péter a gazdaságelméletből kitekintve közelít a jelenséghez, ami új és rendkívül termékeny módszertani eredményeket hoz.)

A hatalom-probléma kutatásában az az érdekes, hogy a rendszerváltás óta alig esett szó a hatalom természetéről, mintha kinőttük volna ezt a fogalmat. Korábban – elsősorban a demokratikus ellenzék jóvoltából, de az irodalmi nyilvánosság védelmében is – számos vita folyt természetéről: hatalom és erkölcs viszonya, a korrumpáló hatalom vitája, vagy elméletileg, a szociológiában, például Max Weber hatalom-elméletének felfedezése kapcsán. Mára a hatalom „rejtőzködő” lett, bár nyelvi alakban mindenütt jelen van. Ezért izgalmas e kötet tanulmányanyaga. Mert a hatalmi nyelvhasználat voltaképp eufémizmusokkal dolgozik – meg kell fejteni, amit a különböző hatalmi kódok jelentenek, ki kell csomagolni szándékát –, de még akkor sem érhető tetten a „nyílt” hatalmi akarat. (A kötet idézi Bañcerowski Januszt, aki szerint egy nagyobb konfliktus esetén nem társadalmi felháborodásról szól a hatalom nyelve, hanem „társadalmi emóciókról”. Ez a nyelv tehát metaforákkal dolgozik, nem érhető tetten a „felsőbbség parancsa”. („Megszorításokról és nem áremelésekről” szól a nyelvi formula – ismerjük...))

A nyelv – hatalmi eszköz. Ezért volt találó Tóth Szergejnek és csapatának (a Szegedi Tudományegyetem Alkalmazott Nyelvészeti Tanszéke) döntése, hogy a nyelvhasználat felől közelítenek a hatalom sokágú jelenségéhez. Mert nemcsak politikai hatalom (és hatalmi nyelv) él köztünk (felettünk), hanem ott van

a férfi-nő viszonyban, az iskolai dresz-szűrőben, sőt a marketingfogásokban is. (Például kellemetlen testszagról beszél a reklám, ami nyelvi parancsként funkcionál: szégyelld magad, rohanj vásárolni valami tusfürdőt, öblítőt, rágót...) De a PC (political correctness) is sajátos (ellen-) hatalmi nyelvhasználat, nem dagadt emberről beszélsz, hanem „horizontális kihívással küzdő egyénről”.

A kötet Szabó Miklós revelatív tanulmányával indít (*Hatalom és jog*), amelyben azt bizonyítja, hogy nem a kikényszerítés a hatalom lényege; a demokratikus hatalomnak az autoritáson kellene alapulnia – azon, hogy mindenki elfogadja parancsait. Ami azért fontos gondolat, mert napjainkban épp az autoritás bomlik fel – család, iskola, egyház tekintélye –, miközben igencsak elkelne, ha besegítené a társadalom kaotikus alrendszeirenek rendbe rakásába.

Ormos Mária (*Hatalom és történelem*) című dolgozata az emlékezetpolitikával foglalkozik. (A diktatúrák nyelve, a puha diktatúra metaforakészlete.) Ezen belül az a fejtegetés fogott meg, hogy a szavak, mondatok képesek arra, hogy eltávolítsák, elhomályosítsák a múlt egyes részeit, felfényesítsék más emlékeit. Hamisíthatnak, rehabilitálhatnak. Még inkább ezt a funkciót hordozza a hallgatás nyelve – például a lengyel jedwabnei pogrom máig a kötelező hallgatásba van temetve. Tanulmányának pompás gyöngyszeme az emlékezet működésének példája: Tell Vilmos nem létezett figura – mégis elevenebb, mint számos történelmi aktor. Tehát az emlékezetpolitika – a nyelvi kontroll – dönt arról, kire szabad emlékezni, kire kell, kit jobb nem említeni.

Rendkívül érdekes témát fejteget néhány (kevés) dolgozat, mikor a fiatalok nyelvhasználatába kirándul. A nyelvi újításról már sokat írtak, itt felbukkan a nyelvi lázadás gondolata: olyan nyelvi alakzatokkal élni, amit nem értenek a „felnőttek”, „öregesek”. (Néhány példa: „arcoskodni”, „ne parázz!” „király vagy” stb.)

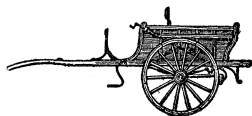
Ami egy generáció nyelvi ellenállásáról hoz hírt. Amihez a kötet csak annyit fűz hozzá, hogy nem szerencsés, ha csak a felnőttek írják a nyelvi sztenderdet...

S végül érdekes jelenség bujkál a tanulmányok sorai között: számos szakma, politikai irányzat, hatalmi alakulat él az „újbeszél” fogásával: olyan nyelvhasználati móddal, ami meg is mondja, hogy mi van, mit akar, de nem is mondja meg, elleplezi. Alan Greenspanról, az amerikai központi bank legendás elnökéről mondták, hogy féléves beszámolóí „*greenspeak*” nyelven hangzottak el – a piac, a döntéshozó, a pénzügyi szakember csak találgatni tudott, hogy miről is volt szó –, ugyanakkor pár hét (hónap) múltán (miután a bank meghozta döntését) már érthető volt, mire is célzott a *greenspeak*

egy-egy homályos mondata. Tóth Szergej is idéz ilyen jellegű nyelvi alakzatokat – a börtönnyelvből: „csomag nélkül készülődj” – a legrosszabbat jelentette; a fogoly nem számíthatott arra, hogy valaha is visszatér a cellába, az életbe. A mondat – halálos ítélet rafinált közlése volt.

Összefoglalva: ez az interdiszciplináris megközelítés megmozgatja az olvasó gondolatait, új rálátást kínál számos jelenségre, de belenyúl a nyelvészeti műhelyek házi gondjaiba is. Sikerrel. (Tóth Szergej szerk.: *Hatalom. Interdiszciplináris megközelítésben. Szeged: Juhász Gyula Felsőoktatási Kiadó, 2006. 233 p.*)

Almási Mikós  
egyetemi tanár



## CONTENTS

### *Planetology • Guest Editor: László Szabados*

Iván Almár: Introductory Thoughts on Planetology .....	912
Erzsébet Illés: Comparative Planetology of the Planetary Bodies of the Solar System .....	918
Ferenc Horváth: Plate Tectonics and the New Global Geodynamics .....	930
Ákos Kereszturi: Issues of the Evolutionary History of Mars .....	946
Géza Erdős: Saturn and its Neighbourhood .....	955
Károly Szegő: Comets from the Physicists Viewpoint .....	963
Károly Szatmáry: Exoplanetology .....	968

### *Study*

Miklós Szalai: The Importance of Hume's <i>Dialogues</i> Today .....	980
Magdolna Hargittai: Physicist on the Move .....	991

### *Discussion*

András Róna-Tas: Science, Academy and the Market .....	996
Gyula Bencze: Freedom of Science, Freedom for Whom? .....	1008

<i>The Scientists of the Future</i> .....	1011
---	------

### *Obituary*

Ferenc Szabadváry ( <i>János Inczédy</i> ) .....	1022
--	------

<i>Outlook (László Jéki – Júlia Gimes)</i> .....	1025
--	------

<i>Book Review (Júlia Sipos)</i> .....	1029
--	------

# Ajánlás a szerzőknek

1. A Magyar Tudomány elsősorban a tudományterületek közötti kommunikációt szeretné elősegíteni, ezért elsősorban olyan kéziratokat fogad el közlésre, amelyek a tudomány egészét érintő, vagy az egyes tudományterületek sajátos problémáit érthetően bemutató témákkal foglalkoznak. Közlünk témaösszefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetéseket, de lapunk nem szakfolyóirat, ezért a szerzőktől közérthető, egy-egy tudományterület szaknyelvét mellőző cikkeket várunk.

2. A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30.000 leütést (ez a szóközökkel együtt kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetjeiben), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat is tartalmaz, kérjük, ezek várható felületével csökkentse a szöveg mennyiségét. Beszámoló, recenziók terjedelme ne haladja meg a 7-8000 leütést. A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen (CD-n) és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.

3. A közlemények címének angol fordítását és a legfeljebb 10, magyar kulsszót külön oldalon kérjük. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét, tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését, és ha közölni kívánja(ják), e-mail címét(eit) kell írni. A külön lapon kérjük azt a levelezési és e-mail címet, telefonszámot is, ahol a szerkesztők a szerzőt általában elérhetik.

4. Szöveg közbeni kiemelésként *dőlt* (italic), (esetleg *félkövér* – bold) formázás alkalmazható; ritkítás, VERZÁL (kiskapitális, small capitals, kapitälchen) és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kérjük megadni.

5. A képek, ábrák érkezhetnek papíron, lemezen vagy e-mail útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; formátuma B5 – tehát ne használjanak színeket, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak méreteit. Általában: a képek, ábrák és magyarázataik legyenek egyszerűek és áttekinthetők. A lemezen vagy e-mailben érkező képeket lehetőleg .tif vagy

.bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, min. 150 dpi felbontással, és nagyságuk ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tüntessék fel az ábrák kívánatos helyét.

6. Az irodalmi hivatkozásokat mindig a közlemény végén, abc-sorrendben adjuk meg, a lábjegyzetekben legfeljebb utalások lehetnek az irodalomjegyzékre. Irodalmi hivatkozások a szövegben: (szerző, megjelenés éve – Feuer et al., 2002). Ha azonos szerző(k)től ugyanazon évben több tanulmányra hivatkoznak, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Fordítsa nekünk külföldi figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére! Kérjük: csak olyan és annyi hivatkozást írjanak, amilyen és amennyi elősegíti a megértést. Számuk ne haladja meg a 10-15-öt.

7. Az irodalomjegyzéket abc-sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Feuer, Michael J. – Towne, L. – Shavelson, R. J. et al. (2002): Scientific Culture and Educational Research. The Educational Researcher. 31, 8, 4–14.

- Könyvek esetében:

Rokkan, Stein – Urwin, D. W. – Smith, J. (eds.) (1982): *The Politics of Territorial Identity: Studies in European Regionalism*. Sage, London

- Tanulmánygyűjtemények esetében:

Halász Gábor – Kovács Katalin (2002): Az OECD tevékenysége az oktatás területén. In: Bábosik István – Kárpáthi Andrea (szerk.): *Összehasonlító pedagógia – A nevelés és oktatás nemzetközi perspektívái*. Books in Print, Budapest

8. Havi folyóirat lévén a Magyar Tudomány kefelevonatokat nem tud küldeni, de még az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelési munka során szükséges apró változtatásokat a szerző időpontegyeztetés után a szerkesztőségben ellenőrizheti.

9. A cikkeket a lap internetes oldalán, s az időszakos CD-mellékleten is megjelentetjük. Kérjük, jelezzék, ha ehhez nem járulnak hozzá.

*Schedius Lajos igazg. és tiszt. tag helyettes elnöklété alatt*

Jelen Fáy igazg. és tiszt. t. — Balogh, Czuczor, Fogarasi, Gebhardt, Kállay, Luczenbacher, Szilasy, Vállas, Vörösmarty rr. tt. — Erdélyi, Garay, Kiss F., Székács, Tasner, Walther II. tt. — Lukács M. helyettes segédjegyző.

# LUCZENBACHER JÁNOS rt.

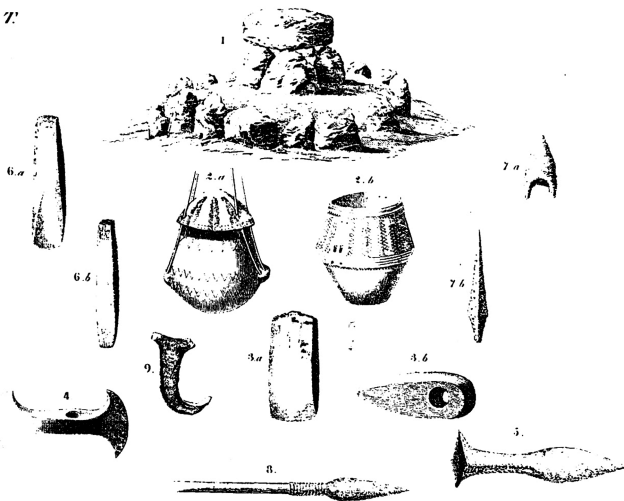
a' pogánymagyar sírokról kívánván fölfedezéseit az academia' elébe terjeszteni, a' tárgybani szükséges tájékozás végett előadásait ez uttal a' *dánországi régi sírhalmokról* 's az azokban talált kő-, réz- és vaskorbeli régiségekről értekezett; előadását az illető tárgyak' rajzainak előmutatásával világosítván. Értekezése egész terjedelmében a' következő.

Azelőtt a' régiségvizsgálók csaknem kizárólag a' görög és római régiségekkel foglalkodtak: korunk ellenben, mely nemzeti eszmék' kora, a' régiségtannak is nemzeti irányt adott. Ez új időszakot az archaeológiában, nem a' véletlenül talált egyes emlékdarabok' magyarázata, hanem a' hajdankori sírok' értelmes ásatása 's tudományos fürkészete 's kutatása alkotá, mely Scandinaviában keletkezett, hová a' romaiak hódító' hatalma 's nemzetlenítő műveltsége nem juthatott

\*\*\*

A' tapasztalás megmutatta, hogy valahányszor avallanak fogtak a' hajdani sírok' ásatásához, vagy emlékek' más nemű kutatásához, az soha sem volt egyéb rombolásnál. Farkas László, Pedrédy Antal és mások egész gyűjteményeket állítottak a' Szombathelyen 1819 óta véletlenül talált és felásatott sírokból; és ismerjük-e azért a' szombathelyi pogány sírok' különféle alkotását? vagy tudjuk-e a' romai gyarmatosok' ottani sírjait megkülönböztetni azon pogány síroktól, melyek nem romai gyarmatosokéi? Ha nem tudjuk, mi oknál fogva tulajdonítjuk az e' sírokban lelt régiségeket kizárólag mind romai gyarmatosokéinak? A' hazánk' tércin tartózkodott hajdani népek' emlékei e' haza' földén készíttetek, és mind hazai régiségek ugyan; ugyde azért a' romai gyarmatosok' sajátserű műemlékei össze nem zavarhatók más szinte itt lakott hajdani népek' emlékeivel mind a' mellett, hogy a' vaskorban általában uralkodó ízlés nem volt egyéb, mint az elhanyaglott romai ízlésnek durva utánzása.

I. T.



M. Lind. Ber. 1837. 17.

Kőkori sírhalmok és régiségek.