

# *Magyar Tudomány*

**AZ UNIVERZUM,  
AMELYBEN ÉLÜNK**

Vendégszerkesztő: Szabados László

Beszámoló az MTA közgyűléséről

Gének és társadalom

Vita a tudományos teljesítmény méréséről

---

**2004•6**

---

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FOLYÓIRATA. ALAPÍTÁS ÉVE: 1840  
CXI. kötet – Új folyam, II. kötet, 2004/6. 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,  
SOLYMOSSI 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.hu

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. 25845

Felelős vezető: Freier László

Megjelent: 15,35 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0025 0325

---

---

# TARTALOM

## *Az Univerzum, amelyben élünk*

Szabados László: Közelebb hozni a távot	678
Kálmán Béla: Egy „közönséges csillag”	689
Tóth Imre: Űstökösök és kisbolygók	699
Illés Erzsébet: Bolygótestek a Naprendszerben	710
Kun Mária – Szabados László: A Tejútrendszer változó arculata	722
Frey Sándor: Extragalaktikus csillagászat	732
Patkós András: Kozmológia: az Univerzum történetének tudománya	741

## *Tanulmány*

Boros János – Guttman András: Genetizmus: gének és társadalom	752
Fenyvesi Csaba: A XXI. századi bűnüldözés-tudomány nemzetközi tendenciái	757

## *Tudós fórum*

Beszámoló az MTA 2004. évi rendes közgyűléséről ( <i>Szabados László</i> )	765
--	-----

## *A világ tudománya magyar diplomaták szemével*

Grosschmid Péter: A Finn Akadémia nemzetközi stratégiája	775
Erdélyi Árpád: Az orosz K+F helyzete 2003/2004 fordulóján	781

## *Vélemény, vita*

Péter László: Néhány gondolat a természettudományi kutatások finanszírozásáról Magyarországon	784
Bencze Gyula: Mit mérünk és hogyan?	787
Marton János: A tudomány és a metria	788
Vinkler Péter: Adalékok a tudománymetria néhány kérdésének megértéséhez	789

## *Megemlékezés*

Kozma Pál ( <i>Csoma Zsigmond</i> )	794
-------------------------------------	-----

<i>Kitekintés (Jéki László – Gimes Júlia)</i>	796
---	-----

## *Könyvszemle*

A mikroszintű rendszerváltás krónikája – Szabó Katalin – Kocsis Éva: Tanulás és felejtés egyes vállalatokban ( <i>Szanyi Miklós</i> )	801
Kultúra és pszichológia ( <i>Pléh Csaba</i> )	804
Az értékek pszichológiája ( <i>Pléh Csaba</i> )	805
Kozári Mónika: Tisza Kálmán és kormányzati rendszere ( <i>Pölöskei Ferenc</i> )	805

*E számunkat Nagy Szilvia grafikusművész  
csillagképeket ábrázoló rajzsorozatának darabjaival díszítettük.*

# *Az Univerzum, amelyben élünk*

## **KÖZELEBB HOZNI A TÁVOLT**

Szabados László

az MTA doktora, MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete

szabados@konkoly.hu

A huszadik század utolsó harmadában átlagosan minden ötödik fizikai Nobel-díjat a csillagászat területén elért eredményért ítelték oda. Nobel-díjra érdemesítették a csillagok energiatermelésének megállapítását (Hans Albrecht Bethe, 1967; William Alfred Fowler, 1983), a magneto-hidrodinamika kidolgozását (Hannes Alfvén, 1970), a rádió-interferometria megvalósítását és a pulzárak felfedezését (Sir Martin Ryle, Sir Anthony Hewish, 1974), a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás felfedezését (Arno Allan Penzias, Robert Woodrow Wilson, 1978), a csillagok szerkezetével és végállapotával kapcsolatos eredményeket (Subramanyan Chandrasekhar, 1983), a kettős pulzárak felfedezését (Russell A. Hulse, Joseph H. Taylor, 1993), a röntgenszillagászat (Riccardo Giacconi, 2002) és a neutrínócsillagászat megalapozását (Raymond Davis, Masatoshi Koshiha, 2002). Ez is mutatja, hogy a 20. század végi csillagászat a természettudományos kutatások egyik húzóágazata volt, és a jelek szerint az új évezred elején is az marad. Olyan további felfedezések is alátámasztják a megállapítás jogosságát, mint a Naprendszer peremvidékén keringő újabb típusú égitestek és a milliárd fényévre levő kvazárok felfedezése, a más csillagok körül keringő bolygók kimutatása, vagy a bolygókénál nagyobb,

de a csillagtömeg alsó határát el nem érő tömegű barna törpék felfedezése. Az újfajta égitesteken kívül korábban ismeretlen jelenségeket is észleltek, egyebek között a gammakitöréseket és a gravitációs lencséket.

A 20. század végi csillagászati kutatások eredményességéhez talán az járult hozzá a leginkább, hogy immár a teljes elektromágneses színeképtartományt sikerült lefedni a megfigyelésekkel. A légkörön kívül hozzáférhetővé válik az ibolyántúli, a röntgen-, a gammasugarak világa, valamint az infravörös, a mikrohullámú és a még hosszabb hullámhosszú sugárzásoknak azon összetevői, amelyeket a földi légkör nem enged át.

A földfelszínről nem vizsgálható hullámhossztartományok meghódításával a mesterséges holdak kora előtt is próbálkoztak: rakétára szerelt detektorral 1948-tól, léggömbbel a magasba emelt észlelőeszközzel pedig rendszeresen az 1950-es évektől. A csillagászati célú műholdak azonban csaknem teljesen kiszorították a léggömb, a sztratoszféra magasságába emelkedő repülőgép és a rakéta fedélzetéről végzett megfigyeléseket. Az elsődleges feladat az égbolt feltérképezése volt minden hullámhossztartományban, amit aztán az újonnan talált források optikai azonosítása követett. A keringő obszervatóriumok hosszabb élettartama



a források időbeli változásának nyomon követésére is módot adott. A képkalkotás és a színképi vizsgálatokat a megfigyelőeszközök még újabb generációjával sikerült megoldani.

### *Új elemek a hagyományos csillagászatban*

A legutóbbi évtizedben felavatott és jelenleg készülő óriástávcsövek is bizonyítják, hogy az optikai csillagászat napjai egyáltalán nincsenek megszámlálva. A nagyobb tükrőrtmérő és a fókuszban keletkező éles kép nemcsak a halványabb égitestek kimutatását, hanem a vizsgált objektum vagy jelenség nagyobb időfelbontású tanulmányozását is megengedi. Így követni lehet az egészen gyors – akár a másodperc tört része alatt bekövetkező – fényességváltozásokat, de az égitestek színképének vizsgálatánál is előnyt jelent, hogy rövidebb idő alatt vehető fel egy-egy spektrum, és a színkép gyors változásai is nyomon követhetők. Ha nem a nagy időbeli felbontás a kíváncsi, akkor pedig a hullámhossz szerinti felbontást lehet fokozni a beérkező sugárzás intenzitásának növelésével. Mindez természetesen nagyobb számítási és memóriagigényt is jelent, úgyhogy a megfigyelési technika fejlődése szükségszerűen mindig együtt jár a számítástechnikai háttér megújításával.

Az 1990-es években a technológiai újítások hatására elérkezett a 8-10 méter átmérőjű optikai teleszkópok kora. 1992-ben illetve 1996-ban adták át az egyenként 9,8 méter nyílású két Keck-teleszkópot. E távcsövek szomszédságában, ugyancsak a Mauna Kea Observatóriumokban 1999 óta működik a japánok 8,2 méteres Subaru-távcsöve, 2000-tól pedig az amerikai egyetemek által közösen létesített 8,1 méteres Gemini-távcső egyik példánya. A Gemini-teleszkóp ikerestvéret 2001-ben avatták fel Chilében. És ugyancsak Chilében működik 2000 óta az amerikaiak 6,5 méteres Magellan I távcsöve, 2002 óta pedig az ikerestvére, a Magellan

II, méghozzá ugyanabban az obszervatóriumban, Las Campanasban. Az európaiak pedig a chilei Paranal-hegycsúcson négy, 8,2 méter tükrőrtmérőjű távcsőből álló rendszert valósítottak meg, 1998–2000 között üzembe helyezve a VLT (Very Large Telescope) mind a négy távcsövet.

Akármilyen nagy is a földi távcső átmérője, azért mégis a levegőtenger aljáról kémleli az eget, s így örökké hátrányban marad a Föld körül keringő optikai távcsövekkel szemben. Szerencsére ez a megállapítás nem teljesen igaz. Adaptív optikával ugyanis az eredeti, nyugodt kép részleges helyreállítására is lehetőség van. A légmozgás hatását a segédtükör enyhe billegetésével lehet kiküszöbölni. A távcső fókuszában keletkező kép remegését számítógép figyeli, és másodpercenként kb. hússzor olyan irányban és mértékben billenti a segédtükört, hogy a távcső által alkotott kép a lehető legnyugodtabb maradjon, legalábbis a látómező közepén. A levegő nyugtalansága ugyanis kb. egy ívpercen belül tekinthető azonosnak, így a korrekció is csak ilyen átmérőjű területen hatásos.

A távcső főtükrének átmérője megszabja a kapott kép szögfelbontását. Ha egy égitestről vagy égi területről még részletesebb képet akarunk kapni, akkor vagy közelebbről kell nézni – ami komolyan szóba sem jöhet –, vagy nagyobb nyílású teleszkóppal kell megfigyelni. Az optikai hullámhosszakon működő távcsövek között a 8-10 m átmérőjűeknél még nincsenek nagyobbak. Külön nincsenek. De a két közeli távcsőtükör úgy is felfogható, mint egyetlen gigantikus tükrök két távoli darabkája, olyan virtuális tükrőre, amelynek a többi része nem is létezik. A felbontóképességet viszont a tükrök átmérője szabja meg, ami több száz méter is lehet, ha a két távcső ilyen távol van egymástól. A két tükrök által külön-külön előállított kép egyesítésekor a fizikában interferenciaként ismert jelenséget alkalmazzák, ami a fényhullámokra távoli tükrök esetén nem egyszerű,

mert a hullámoknak azonos fázisban vagy fáziskülönbséggel kell a detektorhoz érniük. A centiméteres-méteres hullámhosszú rádió-sugárzással foglalkozó rádiócsillagászatnál már negyedszázada kifejlesztették az interferometrikus módszert, de az optikai és a földfelszínről még művelhető infravörös-csillagászat rövidebb hullámhosszú sugárzást elemez, és a képek egyesítésekor az egyes tükrökről a közös fókuszban találkozó elektromágneses sugarak fázisviszonyait is ennek megfelelő pontossággal kell ismerni és szabályozni. Csak a koherens (időben állandó vagy periodikusan változó fáziskülönbségű) hullámok képesek egymással interferálni.

A két Keck-távcső tükrének távolsága 85 méteres alapvonalat jelent az interferometrikus módszernél. E távcsőpárral a közeli infravörös hullámhosszakra alkalmazva e módszerrel 0,005 ívmásodperces szögfelbontást érnek el így. A VLT tükrökkel is megkezdtek az interferometrikus észlelést. A négy távcső bármilyen párosításban interferométerié köthető, az óriástávcsövek helyzete által megszabott bázistávolságok növelésére pedig három, 1,8 méteres teleszkóp szolgál. A rendszer teljes kiépítésekor (2006 körül) egymástól 0,0005 ívmásodpercre levő két fénypontot is meg lehet majd különböztetni.

A nagy felbontással nemcsak a kettőscsillagok vizsgálhatók jobban, hanem a csillagok közvetlen környezete is feltárul: például a csillagot keletkezése óta övező cirkumsztelláris korong, amelyből bolygórendszer is kialakulhat, de a csillagfejlődés késői fázisánál ledobott burkok szerkezete is kirajzolódik. A kettőscsillagoknál pedig a két komponens kölcsönhatására utaló tömegmozgást lehet részletesen vizsgálni. A csillagok között egyébként gyakoribbak a kettős és többszörös rendszerbe tartozók, mint a Naphoz hasonlóan magányos csillagok.

Az óriási optikai távcsövek eredményesége ellenére az optikai csillagászatban szinte

egyetlen távcső – a Hubble-űrtávcső – köré összpontosul a közvélemény figyelme. A 615 km magasan a felszín fölött keringő Hubble-űrtávcső a földi teleszkópok között a középmezőnybe tartozna 2,4 méteres átmérőjével, úgyhogy a megkülönböztetett figyelem nem a méretének szól. Az 1990-ben pályára helyezett űrtávcső a látható fény mellett az ibolyántúli tartomány 115 nanométernél hosszabb hullámhosszú részének és az infravörös sugárzás vizsgálatára is képes. A Hubble-űrtávcső univerzális berendezés a csillagászat szolgálatában: a Naprendszer kisebb és nagyobb égitestjeinek vizsgálatától kezdve a csillagok, a csillagközi anyag vagy az extragalaxisok vizsgálatában egyaránt. A Hubble-űrtávcsővel elért eredmények közül itt csak néhányat ismertetünk.

Az infravörös-kamerával sikerült megfigyelni a csillagok keletkezését halmazban. A csillagok kialakulása után megmaradt csillagközi anyag eloszlása és mozgása azt jelzi, hogy az újszülött csillagok körüli térség heves folyamatok színhelye. A fiatal csillagok körül kimutatott porkorongok pedig bolygórendszerek előhírművei lehetnek.

A Hubble-űrtávcső egyik kiemelt kutatási területe a világegyetem korának és méretének meghatározása, amihez a kozmikus távolságmérés kell minél jobban pontosítani. Ha az extragalaxisok és a galaxishalmazok távolságát sikerül megállapítani, akkor a színképükben megfigyelt vonalak vöröseltolódásából meghatározható a Hubble-állandó, a világegyetem tágulásának mértékéből pedig az, hogy mennyi idővel ezelőtt következett be az ősrobbanás. A kozmikus távolságok mérésére a csillagászok különleges módszereket alkalmaznak. A Hubble-űrtávcső ilyen mérései között főként az ismert abszolút fényességű változócsillagokon (cefeidákon, szupernóvákon) alapuló távolságalibrálás szerepelt.

Az űrtávcsővel még észlelhető legtávolabbi extragalaxisok vizsgálata pedig azért

fontos, mert a fény véges terjedési sebessége miatt azokat a galaxisokat fiatal korukban látjuk, ezért alakjuk, szerkezetük és eloszlásuk a világegyetem ősi állapotát tükrözi. A Hubble-mélyvizsgálat során a lehető legtávolabbi galaxisokat igyekeztek megtalálni az égbolt két kis területén. Több ezer galaxist fedeztek így fel. E legtávolabbi galaxisok általában nagyon szabálytalan alakúak, és a távolságuk alapján meghatározott méretük szerint kisebbek, mint a közelebbi extragalaxisok, ami azt sugallja, hogy a galaxisok több kisebb egység egybeolvadásával alakulnak ki. Az újonnan talált extragalaxisok távolságát a színképvonalaik vöröseltolódásából becsülték meg, de az ilyen halvány galaxisokról még csak a legnagyobb földi távcsövekkel lehet színképet készíteni. Ez is jó példa arra, hogy milyen nagy szükség van továbbra is a földfelszíni optikai távcsövekre.

Az óriástávcsövekkel sokszorosára növelt fénygyűjtő felület mellett a fotonok detektálása és a képpalkotás sem a korábban megszokott módon történik. A fotográfiát felváltó panoramadetektorok a közönséges videokamerákban alkalmazott CCD-technika igényesebb változataival működnek.

Akármennyire látványosak is a csillagászati képek, azok mindig egyetlen hullámhosszon (vagy hullámhossztartományban) mutatják be a kiszemelt égitestet és annak környezetét. A kép akkor lesz teljes, ha valamennyi hullámhosszon megismerjük a kozmikus testek viselkedését, tulajdonságait. Ebben a spektroszkópia nyújt segítséget. A kis méretű rácsspektrográf újabb generációiban az optikai rács geometriája eltér a korábbtól: a reflexiók rács párhuzamos rovátkáit úgy alakítják ki, hogy a fény nagy része valamelyik egészen magas (10-100.) rendű színképbe kerüljön. Ez azért fontos, mert a magasabb színképi rendekben sokkal nagyobb a hullámhossz szerinti felbontás.

Arra is van mód, hogy ne egyesével vegyék fel az égitestek színképét. A 3,9 m átmérőjű angol-ausztrál távcsőre szerelve 1995 óta

olyan spektrográf működik, amellyel egyszerre négyszáz csillagról vagy galaxisról (vagy kiterjedt forrás esetén annak számos pontjáról) lehet nagyfelbontású színképet készíteni, mégpedig úgy, hogy a látómezőben kiválasztott négyszáz égitest fényét optikai szálakkal a spektrográf részének különböző pontjaihoz vezetik. A jelenleg folyó Sloan Digitális Égfeldmérésben (SDSS) is ilyen módszerrel veszik fel egymillió extragalaxis színképét.

Érdeemes megemlíteni a radiális sebesség mérése terén elért látványos haladást is. A látóirányú sebesség a kozmológia számára fontos adat, hiszen az univerzum tágulási ütemét a galaxisok színképvonalainak hullámhossz-eltolódásából határozzák meg. A látóirányú sebesség ismerete azonban az asztrofizika szempontjából is lényeges. Főleg a változócsillagok és a kettőscsillagok színképi vizsgálata ígér izgalmas eredményeket, mert ezek radiális sebessége időben változhat, és a változás jellegéből a csillagok és környezetük tulajdonságaira lehet következtetni. A jelenlegi csúcs technikával a Naphoz hasonló csillagok sebességét 3 m/s pontossággal lehet meghatározni. A távoli csillagok körül keringő bolygók kimutatásának jelenleg ez a leghatékonyabb módszere: az első exobolygó 1995-ös felfedezése óta már száznál több óriásbolygót találtak Nap típusú csillagok körül.

#### *Hullámhosszról hullámhosszra*

Az optikaival szomszédos infravörös tartomány az egy mikrométer és egy milliméter közötti hullámhossztartományt fogja át. Nemcsak az alacsony felszíni hőmérsékletű csillagok hívják fel magukra a figyelmet infravörös sugárzásukkal. A kis tömegük miatt igazi csillagokká nem váló barna törpék e tartományban fedezhetők fel hőmérsékleti sugárzásuk által. A csillagközi anyag is e hullámhosszakon vizsgálható a legjobban, így a csillagok keletkezését már nem csak

az elméleti asztrofizika módszereivel lehet tanulmányozni. Ráadásul a csillagközi fényelnyelés hullámhosszfüggése olyan, hogy az infravörös színek tartományban, az optikai hullámhosszakkal ellentétben, mélyen be lehet látni a csillagközi felhőkbe. Számos diagnosztikus értékű színeképvonal is az infravörösbe esik, a csillagközi térben található molekulafajták tucatjait lehet ilyen hullámhossz-szakon kimutatni. Az is lényeges, hogy a nagyon távoli galaxisok legfontosabb színeképvonalai a kozmológiai vöröseltolódás miatt az infravörösbe kerülnek.

Az alacsony hőmérsékletű égitestek vagy területek csakis infravörös sugárzásuk által ismerhetők meg, de az ilyen sugarakat összegyűjtő távcső és annak környezete, sőt, maga a detektor is az infravörös tartományban bocsátja ki hőmérsékleti sugárzásának nagy részét. Emiatt a csillagászati infravörös-detektorokat és azok környezetét az abszolút nulla fok közelébe kell hűteni.

Az eddig felbocsátott keringő infravörös obszervatóriumok közül az első, az 1983-as IRAS (Infrared Astronomical Satellite) tíz hónap alatt az égbolt 96 %-át térképezte fel négy olyan hullámhosszon – 12, 25, 60 és 100 mikrométeren –, amelyek a felszínről már nem vizsgálhatók. Az IRAS közel 250 ezer pontforrást fedezett fel, és a Tejútrendszer fősíkjaához közel még halványabb források tízezeit mutatta ki. Olyan felfedezések köszönhetők még az IRAS-nak, mint a galaktikus eredetű diffúz infravörös sugárzás kimutatása, amelynek szerkezete a cirrusfelhőkére emlékeztet, így azonnal a galaktikus cirrus elnevezést kapta, de a csillagok körüli porkorongok első példányait (rögtön néhány százat) is az IRAS méréseiből találták meg. Alapvető felfedezés volt továbbá, hogy olyan extragalaxisokat találtak, amelyek sugárzásuk zömét infravörösben bocsátják ki. E galaxisok némelyikében egyidejűleg milliárdnyi csillag keletkezik. Az IRAS pontforrás-katalógusában szereplő objektumok

ötöde nem csillag vagy protocsillag, hanem extragalaxis.

Az 1995-ben felbocsátott ISO (Infrared Space Observatory), már szélesebb hullámhossztartományban – 2,5 és 200 mikrométer között – kémlelte az eget, mint elődje, az IRAS. Ilyen felső határ esetén már a 15 K hőmérsékletű molekulafelhők is vizsgálhatóvá váltak. A teljes mértékben az Európai Űrügynökség (ESA, European Space Agency) által készített, ISO 60 cm-es távcsövéhez csatolt műszerei között az infravörös hullámhosszakon érzékeny képpalkotó detektor is szerepelt, így a képek nem pontról pontra történő feltérképezéssel készültek. Az infravörös panoráma tudományos célú megfigyelésén túl spektroszkópiai feladatok is hárultak az ISO-ra. A sok fontos színeképvonal közül egyebek között a molekuláris hidrogéné és a vízmolekuláé esett az ISO által vizsgálható színeképvonalakba. Meglepetésre még a csillagok légkörében és a Tejútrendszer centrumának irányában is találtak vizet. A fiatal csillagok környezetében levő sűrű molekulafelhőkben pedig vízjelet és széndioxid-jelet találtak az ISO-val.

Az űsrobbanásról áruikodó kozmikus háttérsugárzás a szubmilliméteres-milliméteres tartomány határán a legerősebb. A háttérsugárzás beható tanulmányozására a NASA külön űrszondát bocsátott fel 1989-ben. A COBE (Cosmic Background Explorer) fő feladata az volt, hogy kiderítse, mennyire egyforma a különböző irányokból érkező sugárzás erőssége és hullámhosszfüggése. A COBE mérési adatait elemezve egy százszázrednyi változást találtak a háttérsugárzás égi eloszlásában, ami az univerzum nagyléptékű szerkezetének kialakulása szempontjából lényeges (lásd Patkós András cikkét e számban).

A milliméteres és az annál hosszabb hullámhosszú sugárzást főként földi obszervatóriumokból észlelik. Az ilyen rádióhullámoknál a nagyobb térbeli felbontáshoz nem a

teleszkópok átmérőjének növelése vezet. Már az 1 cm-es hullámhosszon is húszt km átmérőjű antennára lenne szükség ahhoz, hogy a rádioteleszkóppal ugyanolyan jó felbontást érjenek el, mint az optikai tartományban egy 1 méter átmérőjű távcsővel. Az interferometria segít abban, hogy a rádiócsillagászatban végül is sokkal jobb szögfelbontást értek el, mint bármely más hullámhossztartományban. A nagyon hosszú bázisvonalú interferometriával (VLBI – Very Long Baseline Interferometry) az ezred ívmásodperc alá is fokozható a szögfelbontás. E módszernél az egymástól több ezer kilométerre levő, egymástól függetlenül dolgozó rádioteleszkópok által összegyűjtött jeleket a hozzájuk tartozó időadatokkal együtt mágnesszalagon rögzítik, és a megfelelően egyesített jeleket utólag analizálják.

A VLBI-mérésekben nemcsak két teleszkóp vehet részt. A VLBA-t (Very Long Baseline Array) például tíz egyforma – 25 méter átmérőjű – teleszkóp alkotja, és a rendszerrel 8000 km-es alapvonal érhető el. Extragalaktikus rádióforrások szerkezetét tanulmányozva a VLBA segítségével már 0,0002 ívmásodperces szögfelbontást is sikerült elérni. Már az űrbe telepített rádioteleszkópra is van példa, amit eleve azzal a céllal állítottak pályára, hogy a földi társaival összhangban működtetve növeljék a rádiócsillagászatban elérhető felbontóképeséget.

A Tejútrendszer mélyreható megismerése a csillagközi hidrogénfelhők rádiócsillagászati feltérképezésével kezdődött, a hidrogén 21 cm-es hullámhosszú színképvonalára alapozva. Az 1960-as években aztán kiderült, hogy a csillagközi térben levő anyag az atomok mellett molekulákat is tartalmaz. Elsőként a hidroxil-gyök (OH) jelenlétét mutatták ki a 18 cm hullámhosszú rádióvonala alapján, majd még ugyanabban az évtizedben a csillagközi ammóniát ( $\text{NH}_3$ ), formaldehidet ( $\text{H}_2\text{CO}$ ) és vizet ( $\text{H}_2\text{O}$ ) is felfedezték. A molekulák színképvonalai azért esnek a

rádiótartományba, mert a molekulákat alkotó atomok egymáshoz képest rezegnek, de a molekula forog is, és a rezgési és forgási állapotban bekövetkező változás kevés energia felszabadulásával jár, a kis energiájú sugárzásnak pedig nagy a hullámhossza. Ma már több mint százféle molekula ismert a csillagközi térben, közte a szén-monoxid, amely a csillagászatban igen fontos, mert a csillagközi molekulafelhők a CO-molekula segítségével térképezhetők fel.

A rádiócsillagászat hamar kiterjesztette a hatókörét az extragalaxisokra. A rádiótartománybeli színképvonalak alakjából és szélességéből az extragalaxis szerkezetére és tömegére is következtetni lehet. Nagyobb szögfelbontású rádióészlelésekből pedig a hidrogénfelhők eloszlása is feltérképezhető az extragalaxisokban. Olyan érdekesség is kiderült így, hogy a galaxiskorong sok esetben nem sík felületű, hanem a külső szélénél fel- vagy lehajlik, ami a szomszédos galaxisok egymásra gyakorolt hatásának bizonyítéka. Fontosságában ezzel vetekszik az a felismerés, hogy a hidrogénfelhők több tízezer fényévvel túlnyúlnak a galaxisok optikai határain. De a galaxisok tömegét nem csak a legkülső felhők tömegével kellett megnövelni. A 21 cm-es vonal hullámhossz-eltolódásából a felhők keringési sebessége is kiszámítható. Ebből derült ki, hogy az extragalaxisok külső térségeiben levő gázfelhők ugyanakkora sebességgel keringenek a galaxis centruma körül, mint a még megfigyelhető legkülső csillagok. A galaxis centrumától kifelé haladva Kepler hamadik törvényével összhangban csökkennie kellene a keringési sebességnek. Csak akkor nem kerülünk ellentmondásba ezzel az alapvető mechanikai törvénnyel, ha még kijebb is jelentős mennyiségű anyag van. Ez sötét anyag vagy rejtett tömeg néven vonult be a válaszra váró legfontosabb csillagászati kérdések közé.

A kozmikus térségből érkező ibolyántúli sugárzást – amelynek hullámhossza rövi-

debb, mint az optikai sugárzása – a földi légkör ózonrétege nyeli el. Az ultraibolya tartomány több ok miatt is érdeklő a csillagászokat. A legforróbb csillagok sugárzásuk zömét a látható fénynél rövidebb hullámhosszakon bocsátják ki, és az ilyen csillagok hőmérsékletének meghatározásához tudni kell, hogy melyik hullámhosszon sugároz a legerősebben a csillag. A hidegebb csillagok esetében nem a folytonos spektrum, hanem a színképvonalak teszik fontossá a 300 nm-nél rövidebb hullámhosszakot. A csillagászatban lényeges szerepet játszó számos atom, ion (oxigén, szén, neon, nitrogén) és molekula ( $H_2$ ,  $N_2$ , CO) alapállapotba való visszajutása, vagyis a rezonanciaátmenet során ultraibolya fotont bocsát ki. A rezonanciavonalak az adott elem legerősebb vonalai, és néhány kis kozmikus gyakoriságú elem esetében csakis e vonalak megfigyelése remélhető.

Mesterséges holdakkal 1968 (az OAO-2 felbocsátása) óta vizsgálják az eget ibolyántúli hullámhosszakon. A kezdeti eredmények közül kiemelkedik, hogy meghatározták a forró csillagok hőmérsékleti skáláját, felfedezték, hogy a forró szuperóriás csillagok tömeget veszítenek, a csillagközi anyagban pedig sikerült kimutatni molekuláris hidrogént.

1978-ban kezdte meg munkáját az eddigi leghosszabb ideig működő csillagászati mesterséges hold, az IUE (International Ultraviolet Explorer), amely közel tizenkilenc évig végezte méréseit a 45 cm átmérőjű távcsövéhez csatolt segédberendezésekkel. Az IUE legfontosabb eredményei közé tartozik a közönséges csillagok ultraibolya színképének atlaszba foglalása. Az adatbőséget kihasználva sikerült pontos képet kapni arról, hogy a csillagok luminozitásának és hőmérsékletének függvényében milyen ütemű tömegvesztést okoz a csillagszél. A csillagok légkörének felépítése is jól szondázható az ibolyántúli sávban, de a csillagkromoszféra létre és az abban zajló mozgásokra is lehet következtetni.

Az IUE fontos szerepet töltött be a csillagközi tér anyagának vizsgálatában is. Meglepő módon a lokális (200-300 fényévnél közelebbi) csillagközi anyagról az IUE előtt nagyon hiányos volt a csillagászok ismerete. E különös helyzetet az okozta, hogy nagyon kevés olyan csillag van a közelünkben, amelynek színképében kiértékelhető a csillagközi anyagtól származó vonalak. A Nap környezetében viszont sok fehér törpe található, amelyek magas hőmérsékletük miatt főképpen az ultraibolyában sugároznak. Kiderült, hogy a Nap egy kis sűrűségű csillagközi felhő szélén található.

Az IUE-vel végzett megfigyelések egyik legnagyobb értéke, hogy a sokszor mért égitestekről közel két évtizedet átfogó adatsor gyűlt össze, ami lehetővé teszi az ibolyántúli sugárzás időbeli változásának tanulmányozását is. Az egyik legismertebb aktív galaxis, az NGC 4151 például nyolcéves szünet után vált újra aktívvá. E galaxis ultraibolya sugárzásának gyorsabb, néhány napos vagy hetes változásából pedig az következik, hogy az aktivitásért felelős tartomány kiterjedése nem nagyobb néhány fénynapnál-fényhétnél. Nagyon értékes a Nagy Magellán-felhőben 1987-ben kitört szupernóva éveken át tartó megfigyelése.

A milliő fokos testek hőmérsékleti sugárzása a röntgensugárzás birodalmába vezet, de vannak röntgensugárzással járó, nem termikus eredetű kozmikus folyamatok is, például ilyen nagy energiájú sugárzást bocsátanak ki a fénysebességet megközelítő sebességű elektronok, ha mágneses térben mozognak. A röntgensugarak hullámhossza 0,01-10 nm közé esik.

A Naprendszeren kívüli első röntgenforrást csak 1962-ben találták meg kutatórakétán felküldött detektorral. Amikor már pontosná vált a röntgenforrások helyzetének meghatározása, kiderült, hogy az erős röntgenforrás egy látszólag jelentéktelen, 13 magnitúdós kettőscsillaggal azonos, amelynek egyik

komponense egy gravitációs kollapszust szenvedett neutroncsillag. A csillagfejlődés egyik lehetséges végállapotának, a neutroncsillagoknak a vizsgálata csak 1967-ben, a pulzárak felfedezése után indult be, bár a szupersűrű neutroncsillagok kialakulásának lehetősége már három évtizeddel korábban felvetődött.

Az a tény, hogy egy optikailag ennyire halvány csillag a Napnál is fényesebb röntgensugárzó, felfokozta az érdeklődést az égbolt röntgenvizsgálata iránt. A hatvanas években rakétákról még harminc röntgenforrást fedeztek fel. Bár az ilyen kutatórakéták csak öt percnél rövidebb ideig repülnek olyan magasságban, ahonnan a kozmikus röntgensugarakat detektálni lehet, minden égi röntgenforrás változó erősségűnek bizonyult – még ilyen rövid időskálán is.

Az 1970-es évektől már mesterséges holdak fedélzetén elhelyezett műszerekkel vizsgálják az égboltot a röntgenhullámhosszakon. Az első röntgensillagászati mesterséges hold az 1970-ben felbocsátott amerikai Uhuru volt, amelynek proporcionális számlálói a hold forgása közben a teljes eget körbepásztázták, s ennek során 339 égi röntgenforrást fedeztek fel. A röntgensugárzó égitestek között sok kettőscsillag akadt, és az Uhuru kimutatta a galaxishalmazok felől érkező diffúz röntgensugárzást is. Leképező röntgentávcsővel az 1978-ban pályára helyezett Einstein Observatory amerikai röntgenhold észlelt elsőként. A leképezéssel finomítani lehetett az addigi néhány ívperces szögfelbontást, ami megkönnyítette az égi röntgenforrások optikai azonosítását. A röntgentávcsővel való képpalkotást a röntgenmikroszkópiából vett elvel sikerült megoldani. A tükör felületére sűrű beeséssel érkező röntgenfotonokat ugyanis fókuszálni lehet. A fókuszcsíkban kapott röntgenjeleket ún. mikrocsatomás lemez közbeiktatásával teszik mérhetővé. A mikrocsatomás lemez 10-20 mikrométer vastag és 1-2 mm hosszú

üvegcsövecskékből álló kétdimenziós mátrix, amelynek minden eleme fotoelektron-sokszorozóként működik. Nagy felbontású kép alkotásához több millió mikrocsatomát tartalmazó lemezt használnak.

Az 1990-es évtizedben működött a németek, angolok és amerikaiak ROSAT nevű közös obszervatóriuma. Képpalkotó távcsővel a ROSAT fél év alatt az egész eget megörökítette, utána pedig az egyes röntgenforrások részletes mérésével foglalkozott. A teljes égbolt leképezésével az addigi 840-ről kb. hatvanezerre nőtt az ismert röntgenforrások száma. Ezek közül csak húsz-ezer a közöséges csillag, ennél nagyobb számban találtak röntgenforrást az aktív galaxisok között, továbbá ötezer galaxishalmaz röntgensugárzását is felfedezték. A röntgensillagászat által vizsgált nagy energiájú folyamatokat keltenek továbbá a végső állapotba került csillagok – neutroncsillagok, fekete lyukak –, különösen akkor, ha a kompakt égitestnek kísérőcsillaga is van.

Az égbolt optikai és röntgentérképe között az egyetlen közös vonás az, hogy a csillagokkal azonosítható röntgenforrások is erősen koncentrálnak a Tejútrendszer fősíkjá köré. A közöséges csillagok millió fokban plazmából álló koronája gyenge röntgenforrás. Sokkal erősebben sugároznak azok a kettőscsillagok, amelyek egyik tagja elfajult anyagú. Ezek röntgenluminozitása összemérhető az optikai fényességükkel. Ugyancsak a szoros kettőscsillagokra jellemző a röntgensugárzás erősségében megfigyelhető kitörés. A röntgenképek legfeltűnőbb alakzatai a szupernóva-maradványok. A kiterjedt röntgenforrások között jellegzetesek még a galaxishalmazok. Ez a sugárzás nem egyszerűen a halmazban levő extragalaxisok röntgenfényének eredője, hanem a galaxisok körül levő 0,001-0,0001 részecske/cm<sup>3</sup> sűrűségű, 10 millió fokot meghaladó hőmérsékletű plazmától származik. A távoli kvázárok szintén erős röntgenforrások.

Az 1999-ben Föld körüli pályára helyezett Chandra főtükre egy 40 cm átmérőjű optikai távcső nyílásának megfelelő területet képez le a 0,12-12 nm hullámhossztartományban (ez 10-0,1 keV fotonenergiának felel meg). A képalkotó kamera felbontóképessége az eddigi röntgentávcsövek közül a legjobb: 0,1 ívmásodperc, és a források erősségének időbeli változását is nagy felbontással lehet követni. Képalkotó spektrométer is csatlakozik a távcsőhöz, amely a színekkel egyidejűleg képet is készít a kiszemelt égitestről. Ez a műszerezettség különösen a nagy intenzitású és kiterjedt röntgenforrások (például aktív galaxisok, az intergalaktikus tér forró anyaga, a neutroncsillagok környezete) tanulmányozásának kedvez.

Az ESA Newton röntgenobszervatóriuma a Chandra után néhány hónappal kezdte meg az észleléseket. A képalkotás érzékenysége terén a Newton felülmúlja a Chandrát. Az új röntgenképek és -színeképek alapján egyebek között meg lehet állapítani a szupernóva-maradványok szerkezetét és kémiai összetételét. E röntgenobszervatóriumok másik ígéretes kutatási területe a galaxisok magjában rejtőző, gigantikus tömegű fekete lyukak kimutatása és környezetük vizsgálata. A röntgensugárzást a több millió fok hőmérsékletűre hevülő anyag bocsátja ki, mielőtt a fekete lyuk végleg magába szippantaná. A Chandra felvételeiből nyilvánvaló, hogy a Tejútrendszer közepén is van fekete lyuk, csakúgy, mint az Andromeda-köd centrumában.

A négy évtizede felfedezett diffúz röntgen-háttérsugárzás eredetének kérdésére is válasz született a Chandra segítségével. Az égbolt egy néhány ívperc átmérőjű területéről készített 28 órás expozíciójú felvételen több mint harminc röntgenforrás tűnt elő, és ezek közül némelyiknek olyan halvány az optikai megfelelője, hogy még a legnagyobb távcsövekkel sem látszik semmi az adott helyen. Ha a pontforrások a többi

irányban is ilyen gyakoriak, akkor számuk 70 millióra tehető, és főként az olyan irdatlan nagy távolságban levő galaxisok sugározhatnak ilyen nagy számban, amelyek jó részét a jelenlegi optikai távcsövekkel még nem lehet kimutatni. A korábbi, gyengébb felbontású röntgenteleszkópokkal a rengeteg pontforrás egybemosódó röntgensugárzása diffúz háttérsugárzásnak tűnt.

A legnagyobb energiájú elektromágneses sugarak a gammasugarak: energiájuk meghaladja a 100 keV értéket, azaz hullámhosszuk rövidebb 0,01 nm-nél. A gammacsillagászat egy véletlen felfedezéssel kezdődött. Az 1963-ban megkötött atomcsend-egyezmény betartását az Amerikai Egyesült Államok kémiumholdakkal ellenőrizte. A Vela műholdsorozat a titokban végzett atombomba-robbantások során felszabaduló neutronokat és gammasugárzást érzékelő detektorokkal volt felszerelve, és 1967-ben fel is tűnt a gammasugárzás hirtelen növekedése. A rövid ideig tartó jelenségről kiderült, hogy az kozmikus eredetű, ennek ellenére a megfigyelést 1973-ig mégis titokban kellett tartani. A gammaviharok eredete azóta is a csillagászat egyik legnagyobb kérdése, amely egyben rávilágít e tudomány alapvető feladatára: az égitestek távolságának meghatározására. Ameddig nem tudjuk, hogy milyen messze van tőlünk a vizsgált égitest, a legfontosabb jellemzőit, például méretét, tömegét, luminozitását sem lehet megállapítani.

Gammasugárzás a röntgenégbolt jól ismert objektumaitól, minden heves aktivitású vidékről, így a pulzárak, fekete lyukak, aktív galaxismagok környezetéből egyaránt várható.

Az eddigi legeredményesebb gammacsillagászati műszeregyüttest, a Comptont (teljes nevén Compton Gamma Ray Observatory, rövidítve CGRO) 1991-ben bocsátotta fel a NASA. A CGRO tizenhat tonnájával az eddigi legnagyobb teher volt a keringő obszervatóriumot pályára helyező űrepülőgép



fedélzetén. Közel egy évtizednyi szolgálat után, 2000 júniusában az obszervatóriumot szándékosan megsemmisítették, így elkerülve azt, hogy a Földhöz közeli pályán a ritka légkörben lassan fékeződő hold majdani visszazuhanásával addig állandó veszélyt jelentsen.

A Compton négy fő műszere között volt képalkotó berendezés és kifejezetten a gammakitörések észlelésére szolgáló eszköz is. A gammakitörések elképesztően nagy energia felszabadulásával járnak. Egy-egy kitörés a másodperc század részétől néhány száz másodpercig tarthat, és az éppen zajló kitörés túlragyogja az egész égbolt gammafényességét. A Compton felbocsátásáig háromszáznál valamivel több gammakitörést regisztráltak, és mivel azok távolsága teljesen bizonytalan volt, a kitörések okáról rengeteg elképzelés született. A Compton mérései csakhamar kizárták a galaktikus eredetet. A Comptonnal további 2400 gammakitörést fedeztek fel, amelyek teljesen egyenletesen oszlottak el az égen. Ha a kitörések a Tejútrendszerből származnának, például neutroncsillagokban zajló valamilyen folyamat hatására, akkor a csillagok eloszlásának megfelelően a Tejút sávja mentén több gammakitörést kellett volna regisztrálni, mint más irányokban. Az 1996-ban felbocsátott BeppoSAX műszereivel pedig felfedezték, hogy a gammakitörések után néhány esetben röntgenforrás jelenik meg ugyanabban az irányban. Szerencsére a röntgentartományban már nagyon pontosan meg lehet határozni a források pozícióját. Kiderült, hogy a gammafelfénylések helyén olyan objektumok vannak, amelyek vöröseltolódása milliárd fényévben kifejezhető távolságnak felel meg. Miközben a csillagászok közelednek a gammakitörések okának megfejtéséhez, maguk a kitörések egyre távolabbra kerülnek.

A Compton tevékenységét nemcsak más keringő obszervatóriumokkal hangolták össze, hanem egy földi robotkamerával is.

A kitörést a CGRO elektronikusan jelezte, a robottávcső pedig abban a pillanatban figyelni kezdte a megadott irány környezetét. Első ízben 1999. január 23-án sikerült észlelni a gammakitöréssel együtt bekövetkező optikai felvillanást. A gammakitörések minden hullámhosszra kiterjedő vizsgálata kítűnő példa a csillagászat egységére, vagyis arra, hogy elszigetelt mérésekkel lehetetlen megfejteni a kozmikus térség titkait.

Az imént egy eddig nem említett fogalom szerepelt: a robottávcső. A Föld körül keringő obszervatóriumoknál természetes, hogy automatikusan vagy távirányítással működnek. De a földfelszíni teleszkópok között is egyre nagyobb számban találunk automatizált berendezéseket, amelyek emberi beavatkozás nélkül végzik a megfigyeléseket, és gyűjtik a különféle adatokat.

Az eddigiek alapján úgy tűnhet, hogy a csillagászat klasszikus területe, az asztrometria háttérbe szorul a látványos eredményekkel és váratlan felfedezésekkel szolgáló asztrofizika és kozmológia mellett. Az asztrometria örök fontosságát bizonyítja, hogy már kimondottan pozícióméréseket végző mesterséges holdat is készítettek. Az ESA nagyszabású programja a Hipparcos nevet kapta. Az elnevezés a nagyon pontos parallaxist gyűjtő hold angol megfelelőjének kezdőbetűiből alkotott mozaikszó (High Precision Parallax Collecting Satellite), amely Hipparchosznak is emléket állít, aki az i. e. 2. században először készített csillagkatalógust az általa mért 850 csillag helyzetéről és fényességéről.

A Hipparcos mérései alapján 1997-ben közreadott, tizenhét kötetet megtöltő (de a világhálón is elérhető) katalógusban 118 ezer csillag asztrometriai adatai szerepelnek: a koordinátákon kívül a sajátmozgás értéke és a trigonometriai parallaxis, aminek reciproka a csillag távolsága. A Hipparcos-katalógus tehát tulajdonképpen az égbolt háromdimenziós térképe. A 9 magnitúdónál fényesebb csillagok szinte mindegyikéről

ezred ívmásodperc pontosságú koordináta áll most már rendelkezésre.

A pozícióméréssel egyidejűleg a Hipparcos minden programcsillag fényességét is meghatározta. Ez csillagonként nagyjából száz fényességadatot jelent a mérések kb. négyéves időtartama alatt. A fényességadatok feldolgozásakor kiderült, hogy minden tizedik csillag fényessége kimutathatóan változik, és e csillagok kéthamadának fényességváltozása korábban ismeretlen volt. A változócsillagok különösen fontos égitestek, mert segítségükkel ellenőrizhetők a csillagok szerkezetére és fejlődésére vonatkozó asztrofizikai számítások, ráadásul bizonyos változócsillagok – a változást okozó fizikai mechanizmus ismeretében – kitűnően használhatók kozmikus távolságok meghatározására is.

A közeljövőben az SDSS mérései alapján pedig a kozmosz távolabbi vidékeiről is megszületik az első megbízható háromdimenziós térkép. E digitális égboltfelmérés keretében milliányi extragalaxis távolságát állapítják meg a spektroszkópiai úton mért vöröseltolódásukból.

### *Záró megjegyzések*

Nemcsak az elektromágneses sugárzás hordoz fontos információt a csillagászat számára, hanem a közvetlenül detektálható nagyenergiájú részecskék is. A kozmikus sugárzás részecskéin kívül az egyik elemi részecske, a neutrínó iránt különösen érdeklődnek a csillagászok. A neutrínó nagyon nehezen lép kölcsönhatásba az anyaggal, ezért kimutatása nem egyszerű. Egy 10 MeV energiájú neutrínó például vízben 0,1 fényév megtétele után nyelődik el. E részecskék azért is fontosak a csillagászatban, mert a kölcsönhatásra való

gyenge hajlandóságuk miatt az univerzum tele van olyan neutrínókkal, amelyek percekkel az ősrobbanás után lezajlott magreakciók során keletkeztek. Mivel ezek a neutrínók azóta is háborítatlanul száguldanak, számuk és energia szerinti eloszlásuk megbízhatóan jelzi az ősrobbanást követő folyamatokat. De a neutrínókkal nemcsak a régmúlt eseményeit lehet feltárni, hanem a jelenlegieket is. A Napban legbelül zajló magreakciókban ugyanis szintén keletkeznek neutrínók, és e nukleáris folyamatok termékei közül nagy áthatolóképességük miatt csak a neutrínók jutnak ki azonnal a Napból, csekély nyugalmi tömegük miatt majdnem fénysebességgel. A Napot csillagként működtető elektromágneses sugárzás csak millió éves késéssel ér a Nap felszínére látható fotonként. A neutrínók továbbá a szupernóva-robbanások során bekövetkező folyamatok fontos nyomjelzői is. A Napon kívül azonban a Nagy Magellán-felhőbeli SN1987A szupernóva az egyetlen olyan égitest, amelyről származó neutrínókat már azonosítani sikerült.

Fontos csillagászati információforrások továbbá a kozmikus sugárzás részecskéi, a mágneses tér, a már említett elektromágneses sugárzás polarizáltsága, és a közeljövőben talán a gravitációs sugárzást is sikerül majd detektálni. De a szűkre szabott terjedelem miatt mindezzel itt nem foglalkozhatunk.

E bevezető után a cikkgyűjtemény további írásaiiban a Föld környezetétől egyre távolabbi régiókig haladva tekintjük át, hogy mit tudunk ma az Univerzumból, alkotóelemeiről és a benne zajló folyamatokról.

---

Kulcsszavak: *asztrofizika, csillagászati műszerek*

# EGY „KÖZÖNSÉGES” CSILLAG

Kálmán Béla

MTA KTM CSKI Napfizikai Observatóriuma, Debrecen  
kalman@tigris.klte.hu

*A Nap csak egy közönséges csillag,  
de szerencsére nappalra  
mindig visszaváltozik Nappá.  
(Gyerekszáj)*

*Ha a Napon nem lennének  
mágneses terek, valóban olyan unalmas  
átlagcsillag lenne,  
mint azt a csillagászok gondolják.  
(Robert B. Leighton,  
a CalTech professzora, a Mai fizika című  
könyvsorozat egyik társszerzője)*

A Nap nagyon fontos az emberiség számára, több szempontból is. Egyrészt (a nukleáris energia kivételével) minden energiánk forrása (Kálmán 1986), másrészt a kutatók számára könnyen tanulmányozható átlagcsillag, amelyen ellenőrizhetők a csillagmodellek számításai, és – közelsége miatt – felszíni jelenségei is jól megfigyelhetők. Az 1800-as évek közepe óta tudjuk, hogy a naptevékenységnek földi következményei is vannak, mint erről 2003 őszén ismét meggyőződhattünk. A naptevékenység kutatása ezért a mindennapi élet számára is fontos. Az alábbiakban rövid általános áttekintés után a legújabb eredményekről számolunk be.

## *A Nap mint csillag*

A Nap a csillagok között éppen az átlagot képviseli fizikai tulajdonságaival. Átmérője (1,4 millió km) félúton van az óriáscsillagok és a fehér törpék (vagy néhány kilométer átmérőjű neutroncsillagok) közt, tömege ( $2 \times 10^{30}$  kg) és felszíni hőmérséklete (kb. 5800 K) szintúgy közepes a nála sokkalta

nagyobb vagy kisebb tömegű és hőmérsékletű csillagokkal összehasonlítva. A hozzánk való közelsége az, ami számunkra különlegessé teszi. Az átlagos Nap-Föld távolság, amit *csillagászati egységnek (CsE)* is neveznek, 149 597 870,66 km. A Nap után legközelebbi csillag, a Proxima Centauri 158 823 csillagászati egységre van tőlünk. Az éjszakai csillagok látszó átmérője mind kisebb, mint 1 ívmásodperc, szemben a Nap kb. fél fokos látszó átmérőjével (a Napon egy ívmásodpercnek 725 km felel meg). A Föld ellipszis alakú pályán kering a Nap körül, ezért a tényleges naptávolság 1,7 %-kal nagyobb vagy kisebb lehet az átlagosnál, ami a Nap látszó átmérőjének ugyanilyen nagyságú, de ellentétes értelmű változásával jár. A Föld légkörének határára érkező sugárzó energia a távolság négyzetével fordított arányban változik, azaz az átlagosnál 3,4 %-kal nagyobb napközben (január elején) és kisebb naptávolban (július elején). A Nap átlagos sugárzó teljesítménye  $3,845 \times 10^{26}$  W, ennek a Földre érkező része a *napállandó* ( $1,365\text{--}1,369$  W/m<sup>2</sup>) elég nagy pontossággal egyforma hosszú időskálán is, ez tette lehetővé a földi élet kifejlődését és fennmaradását. A naptevékenység következtében a napállandó ingadozása néhány tized százalék.

A Nap szerkezetét régóta tanulmányozzák, és mára már tized% pontossággal ismertek a fizikai jellemzők a Nap belsejében. Anyaga a felszínen tömeg szerint 70 % hidrogén, 28 % hélium és 2 % nehezebb elem. Középpontjában a hőmérséklet 15,7 millió K, ez kifelé fokozatosan csökken, a felszíni 5800 K-ra. A

nyomás a középpontban  $2,33 \times 10^{16}$  Pa ( $2,3 \times 10^{11}$  atm), a sűrűség  $1,53 \times 10^5$  kg/m<sup>3</sup>, ez nagyon gyorsan csökken kifelé haladva, a sugár felénél már eléri a víz sűrűségét, a felszínen pedig már csak  $2,5 \times 10^{-4}$  kg/m<sup>3</sup>. A középpont kis környezetében, gyakorlatilag a sugár egynegyedéig, elegendően magas a hőmérséklet ahhoz, hogy négy hidrogénatommagból (protonból) egy héliumatommag álljon össze ütközések során. A keletkező héliummag tömege kevesebb, mint a négy proton össztömege, levonva az ütközések során keletkező két elektron és két antineutrínó tömegét, a tömegkülönbség az einsteini  $e=mc^2$  képlet alapján energiaként (röntgen- és gammasugárzásként) szabadul fel. Ez a *termionukleáris reakció* fűti a Napot, és szolgáltatja évmilliárdok óta az energiát a Földnek is. Ha a Nap teljesítményét tömegével elosztjuk ( $0,000192$  W/kg), és összehasonlítjuk ezt egy átlagos ember anyagcseréjével ( $70$  kg,  $100$  W, azaz  $1,429$  W/kg), azt láthatjuk, hogy az átlagember majdnem négy nagyságrenddel több energiát termel egységnyi tömegré viszonyítva (Parker, 1997).

A Nap magjából kifelé haladva a sugár egynegyedénél már annyira lecsökken a hőmérséklet, hogy az ettől nagyon erősen függő termionukleáris reakciók már nem mennek végbe, nincs energiatermelés. Ebben a magban összpontosul a Nap tömegének fele. A nagyon fényes magot viszont egy rendkívül átlátszatlan burok övezi, amelyen keresztül a sugárzás formájában terjedő energia sokszoros elnyelődés és kisugárzás során rendkívül lassan szivárog kifelé. Útja több százezer évig tart ebben az ún. sugárzási zónában, amely a magtól a sugár  $71\%$ -áig terjed. Ebben a mélységben megszűnik a stabil rétegződés, és konvektív instabilitás lép fel, azaz az energia már anyagáramlással terjed: a konvektív zónában a melegebb anyag felszáll, a felszínen kisugározza energiáját, majd lehűlve lecsúsz. A konvekció jól látható a Nap felszínén is mint a granuláció kb.  $1000$

km méretű fényes területei, amelyekben felfelé áramlik és szétterjed a forróbb anyag, a granulák közti sávokban pedig a lehűlt, sötétebb gáz süllyed lefelé.

A Nap középpontjából kifelé haladva minden fizikai állapotjelző folytonosan és fokozatosan változik, nincs olyan ugrásszerű változás, mint a Föld esetében a szilárd földkéreg és a légkör határán. A napkorongot mégis éles pereműnek látjuk, és beszélünk a Nap felszínéről is. Ez amiatt van, mert a hozzánk érkező fény, és általában sugárzó energia több mint  $99\%$ -a egy mindössze kb.  $500$  km vastagságú rétegből, a *fotoszférából* származik. A Nap távolságából ez kevesebb, mint egy ívmásodpercnek látszik, tehát valóban vékony réteg, ezt tekintik a Nap felszínének. Alapjának azt a szintet számítják, ameddig le tudunk látni a Nap anyagába, felső határa pedig a hőmérsékleti minimum. A fotoszférán belül ugyanis változik a gáz hőmérséklete, alsó határán  $6420$  K, a felsőn pedig  $4170$  K (Stix, 2002). Az előbb említett  $5800$  K felszíni hőmérséklet átlagérték, amely a Nap össz-sugárzása energiaeloszlásának felel meg. A Nap látható felszíne egyébként sem egyenletes fényességű, a granuláció mintázatán kívül a napkorong közepe fényesebb, pereme halványabb, közepén ugyanis a mélyebb, forróbb réteget láthatjuk.

A fotoszféra felett a napléggömek még más rétegei is megtalálhatók, amelyek jóval ritkábbak, ezért keresztüllátunk rajtuk, csak különleges műszerekkel figyelhetők meg. A fotoszféra felett közvetlenül a *kromoszféra* helyezkedik el, amely nevét (a szín szférája) a napfogyatkozások alkalmával megfigyelt vörös színéről kapta (ez a hidrogén legerősebb színképvonalának színe). Átlaghőmérséklete  $10\,000$  K körüli, a hőmérsékleti minimumtól indul, és a kb.  $10\,000$  km vastag réteg felső határán  $25\,000$  K-ig emelkedik, szerkezete nagyon egyenetlen. A felső határon néhány száz kilométeren belül a hőmérséklet rendkívül hirtelen  $1$  millió K-re emelkedik,

ez már a napkorona anyaga. A koronát teljes napfogyatkozások alkalmával már ősidők óta látták, de fizikai állapota sokáig rejtély maradt még a színképi megfigyelések alapján is, színképvonalait ugyanis nem tudták egyetlen, laboratóriumokban ismert anyaggal sem azonosítani. Csak az 1940-es években sikerült Bengt Edlén svéd fizikusnak a koronavonalakat a nagyon sokszorosan ionizált, azaz a magas hőmérséklet miatt sok elektronjukat elvesztett vasatomok színképével megmagyarázni. Bár a korona hőmérséklete magas, de ez csak a részecskék gyors mozgását jelenti, nagy ritkasága miatt a részecskék által hordozott összenergia csekély, így ha hőszigetelt edénybe lehetne helyezni a napkorona kis darabját, ebbe bedugva kezünket semmilyen kár nem érné. A korona hőmérsékleti sugárzása főleg a röntgentartományba esik, de a korona jól tanulmányozható a sokszorosan ionizált atomok színképvonalalaiban készült képeken is, amelyekben a fotoszféra fényessége csekély.

A napkorona magas hőmérséklete miatt a benne lévő atomok egy részének sebessége elérheti a szökési sebességet, annál is inkább, mert ez csökken a Nap felszínétől távolodva. A napkoronának ezért nincs felső határa, hanem fokozatosan átmegy a napszélbe, amely a Napból sugárirányban állandóan távozó néhány száz km/s sebességű részecskeáram. Ez az a fizikai közeg, amely a napaktivitás egyes jelenségeit közvetíti a Föld környezetébe is. A napszél betölti az egész Naprendszer, külső határát kb. 80-100 CsE-nél feltételezzük. A legkülső nagybolygóknál már távolabb járó Voyager űrszondák mostanában kezdik érzékelni a napszél és a csillagközi anyag határát, az ún. héliopauzát.

#### *A Nap megfigyelésének sajátosságai és nehézségei*

A csillagászok számára a kutatáshoz többnyire a csillagokból érkező elektromágneses sugárzás elemzése adja a lehetőséget. Ezt a

hullámhossz (rezgésszám) szerint színképpé bontják. A színképvonalakat Joseph von Fraunhofer éppen a Nap optikai színképében fedezte föl, ezekből a csillagok kémiai összetétele, profiljukból a fizikai állapotot határozók, eltolódásukból a kisugárzó (elnyelő) gáz sebessége, polarizációjukból és felhasadásukból a mágneses tér határozható meg. A Nap esetében a belőle származó részecskéket, a magban keletkező neutrínókat, a napszélben áramló protonokat, elektronokat és más atommagokat is meg lehet figyelni. Első pillanatra úgy tűnhet, hogy a Nap fénye bőven elegendő a színképelemzéshez, azonban a kutatók gyakran panaszkodnak, hogy kevés. A fizikai folyamatok megértéséhez ugyanis nagyon kis, néhány száz km-es területek színképét nagyon nagy színképi felbontással kell vizsgálni, és ehhez néha már valóban kevés a napfény. Ugyanakkor a földi légkör hatása is zavaró, az állandóan jelen lévő örvénylő mozgások, felszálló légáramlások (amelyeket nyáron a felmelegedett aszfalt utak felett lehet jól látni) elrontják a távcsőbe jutó képet. A Nap esetében közvetlenül a távcsőben is felmelegszik a levegő. Ezért a korszerű naptávcsövekben már vákuumban halad a fény sugar. A naptávcsövet is nyugodt légkörű, többnyire vízzel (tengerrel vagy tóval) körülvevő, magas helyen telepítik, hogy a leképzés a lehető legjobb legyen. Az elérhető legjobb optikai felbontás még így is egy ívmásodperc közelében van, ami egy 10 centiméter átmérőjű távcső elméleti felbontóképessége, noha a jelenlegi naptávcsövek optikája általában 1 méter körüli méretű.

A légköri nyugtalanság kiküszöbölésére több módszert is kidolgoztak már, ezek egy része későbbi javítás: külön e célra felvett sok kép feldolgozásával különválasztható a légkör hatása és a valódi kép. Más esetben ún. aktív optikai elemek, gyorsan mozgatható tükrök segítségével a megfigyelés ideje alatt, valós időben javítják a képet, a légköri torzulások állandó mérésével és kiküszöbölésével.

Mindehhez komoly számítástechnikai teljesítmény szükséges. Sajnos, ezek a képjavító eljárások csak néhány ívperces területen belül képesek javítani a képromlást. A teljes megoldást az jelentheti, ha a távcsövet a légkörön kívülre, az űrbe telepítjük. Napjainkig azonban a műholdakon és űrszondákon elhelyezett eszközök (a költségek miatt) csak a légköri elnyelés miatt a földfelszínről hozzáférhetetlen (ibolyántúli, röntgen-) hullámhosszakon végeztek Nap-megfigyeléseket, a TRACE az első műhold, amely fél ívmásodperc felbontással fehér fényben is készít fotoszféraképeket.

A Nap légkörének tanulmányozására különleges műszereket fejlesztettek ki. Ilyen a spektrohéliográf, amely egy kiválasztott színképvonal fényében képezi le a Napot. Az optikai tartományban ez többnyire a hidrogén vörös, H-alfának nevezett színképvonala, amelytől vörös színű a kromoszféra. A napkorongon fehér fényben keresztüllátunk a kromoszférán, de kiválasztva ezt a sötét színképvonalat, amelyben a hidrogén átlátszatlan, a kromoszférát fogjuk látni. Az űrszondákra telepített spektrohéliográfok az ionizált hélium, az erősen ionizált vas és más elemek színképvonalaiiban a napkorona különböző hőmérsékletű részeit fényképezik. Adott hőmérsékletű gázban ugyanis egy elemnek egy bizonyos ionizáltsági foka a döntő, így az egyes ionok színképvonalában megfigyelve a megfelelő hőmérsékletű területeket láthatjuk a Napon.

Másfajta műszerek a magnetográfok, amelyek egyes mágnesezen érzékeny színképvonalak profiljában méri a polarizációt, ebből a színképvonal keletkezési helyén uralkodó mágneses tér nagysága és iránya határozható meg. Az utóbbi évtizedekben fejlődött ki a *hélioszeizmológia*, amely a napfelszín hullámzó mozgásából, a Nap rezgéseinek részletes tanulmányozásából határozza meg a felszín alatti szerkezetet és mozgásokat, épp úgy, ahogy a geofizikusok

robbantás vagy földrengés keltette hanghullámok segítségével térképezik fel a kőzetek felszín alatti eloszlását, a Föld belső szerkezetét. A hélioszeizmológiai méréseknél a színképvonalak Doppler-eltolódásából határozzák meg a látóirányú sebességet. A most működő eszközök érzékenysége elképesztő: néhány cm/s sebességet és néhány deciméter kiterésű hullámokat képesek érzékelni a Nap felületén.

Az elmúlt évtized eddig nem látott fejlődést hozott a Nap tanulmányozásában, ez elsősorban néhány űreszköznek köszönhető, a földi távcsövek és képjavító eljárások fokozatos fejlődése mellett. Az 1991-ben felbocsátott, 390 kg tömegű Yohkoh (Napsugár) japán műhold elsősorban röntgenfényben készített rendszeresen napképeket, ezeken a napkorona szerkezetét lehetett tanulmányozni, 512×512 képpont felbontású képeken (a Nap átmérője nagyjából 1800 ívmásodperc). A nagyon sikeres műhold 2001 decemberében egy napfogyatkozás miatt elvesztette tájolását, emiatt napelemei ámyékba kerültek, energiaellátása megszűnt, a kapcsolatot azóta sem sikerült vele helyreállítani. A kisteherautónyi méretű, 1850 kg tömegű SOHO (Nap- és hélioszféra-kutató űrszonda) az európai (ESA) és amerikai (NASA) űrugynökség közös űrszondája. Az 1995 decemberében indított szonda pályája különleges, a Föld-Nap összekötő vonalon, 1,5 millió kilométerre van a Földtől a Nap felé, ahol az égi mechanika törvényei szerint kis korrekciókkal megmaradhat a belső librációs pontban. Sok műszere közül említésre méltó az EIT (extrém ibolyántúli távcső), amely 1024×1024-es felbontással készít felvételeket a napkoronáról különböző ionizáltsági fokú atomok fényében; az MDI (Michelson-Doppler-interferométer), amely fehér fényben készít képeket valamint magnetogramokat, de elsősorban hélioszeizmológiai méréseket végez, valamint a LASCO (nagy látószögű koronagráf), amely a külső napkorona

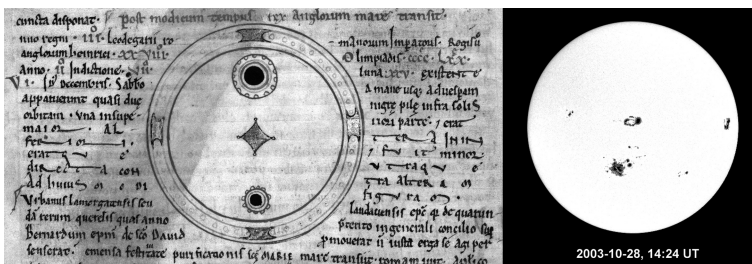
megfigyelését végzi. Míg a SOHO nagy és bonyolult, a TRACE (az átmeneti réteget és koronát kutató műhold) kicsi és egyszerű. Az 1998 áprilisában indított műhold mindössze egyetlen, 30 centiméter átmérőjű távcsövet hordoz, amivel azonban állandóan készíti a jó minőségű optikai és ibolyántúli képeket. Látómezejébe csak a napkorong egy része fér bele, az viszont nagyon részletesen, fél ívmásodperc felbontással tanulmányozható. Több száz publikáció használta fel eddig ezen űreszközök megfigyeléseit. A nemrég felbocsátott RHESSI műhold – amely a Napot a gammasugárzás tartományában képezi le – első eredményeit 2003-ban közölték.

Az eddig említett űreszközök elsősorban az elektromágneses sugárzás különböző tartományaiban képezték le a Napot. A részecske-sugárzás és a napszél tulajdonságait méri a SOHO is, de más szondák is, például az ACE és a WIND nagyjából ugyanott, a Nap és a Föld között, az Ulysses pedig a földpályától nagyobb távolságra, a Nap sarkai körül észleli a napszelet. A Föld környezetében lévő plazma tulajdonságait a négy műhold tanulmányozza, azonos műszerekkel, így a térbeli és időbeli változásokat külön lehet választani.

### *A naptevékenység megnyilvánulása*

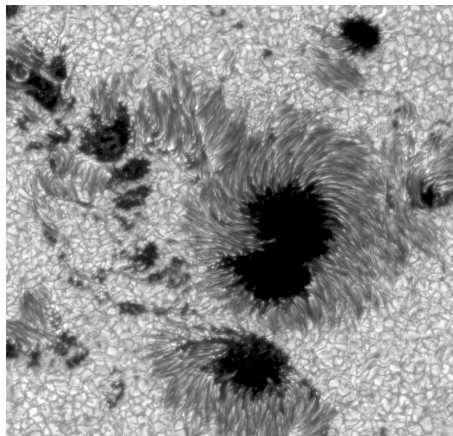
Az eddigiekben csak a nyugodt Napról volt szó, de a rajta látható sötét foltokról már több

mint háromezer évvel ezelőtt írtak kínai források. A távcső felfedezése előtti időszakból eddig kétszázon felüli, szabad szemmel történő megfigyelést gyűjtöttek össze a kutatók. Amikor ugyanis napkeltekor, napnyugtakor vagy felhőn, ködfátyolon át nem vakít annyira a Nap, láthatók a nagy foltok. Néhány éve bukkantak rá az eddig ismert legkorábbi napfoltrajzra Worcesteri János krónikájában (1. kép, Stephenson – Willis, 1999). A távcső csillagászati alkalmazásának kezdetén, az 1610-es években Thomas Harriot, Johannes Fabricius, Galileo Galilei és Christopher Scheiner végeztek napfoltmegfigyeléseket, a két utóbbi tudományos szempontból is értékes, rendszeres észleléseket tett közzé. Ezután a csillagászok hosszabb ideig nem szenteltek különösebb figyelmet e jelenségnek. Az érdeklődést a XIX. sz. közepén az keltette fel, hogy Heinrich Schwabe felfedezte a nagyjából tízéves napfoltciklust, és Edward Sabine felfigyelt arra, hogy a földmágneses háborgások gyakorisága ezzel párhuzamos menetet mutat. Ekkor Rudolf Wolf kifejezetten a napfoltok kutatására megalapította a zürichi csillagdat, a napaktívitás jellemzésére pedig bevezette az azóta is használt napfolt-relatívyszámot, és visszamenőleg is feldolgozta a napészleléseket. Ő állapította meg a napciklus átlagos hosszát 11,1 évben, bár ettől néhány éves eltérések bármikor előfordulhatnak.

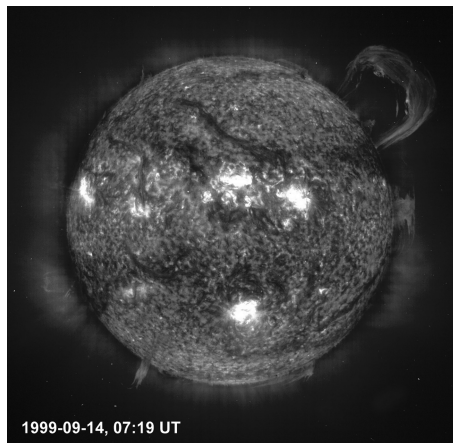


1. kép • Balra: Worcesteri János (John of Worcester) krónikájának 380. oldala (Oxford, Corpus Christi College könyvtára). Az erősen stilizált rajz és szöveg a napkorongon 1128. december 8-án megfigyelt két, különböző nagyságú sötét foltról szól. Jobbra: összehasonlításként a napkorong képe 2003. október 28-án, a három nagyobb napfoltcsoport szabad szemmel is látható volt (SOHO MDI).

A napfoltok fizikai jellemzőit George Ellery Hale méréseiből tudjuk, aki erős, kb. 0,3 tesla (3000 gauss) mágneses teret talált a napfoltok középső, sötét umbra részében (2. kép). Rendszeres megfigyeléseiből az is kiderült, hogy a Nap egyenlítőjével nagyjából párhuzamos irányban elnyúlt napfoltcsoportok vezető (azaz a Nap forgási irányába eső) része más mágneses polaritású, mint a követő rész, a foltcsoportok többnyire bipolárisak. Egy adott cikluson belül azonos féltéken azonos a vezető polaritás, a másik féltéken ellenkező, de a következő ciklusban az északi és déli féltéken megcserélődik a vezető polaritás, így módon a teljes (mágneses) ciklus huszonekét év. A napfoltok pedig azért viszonylag sötétek, mert az umbra kb. 2000 kelvinnel alacsonyabb hőmérsékletű, mint a környező fotoszféra. A hűtést a mágneses tér adja, amely megakadályozza a konvekciót, ezáltal az energia ilyen módon felszínre jutását a napfoltban. Viszont a mágneses erővonalak mentén terjedő hullámok által a kromoszférába és a napkoronába lényegesen több energia jut a napfoltok felett. Manapság már



2. kép • A La Palma szigetén található svéd vákuumtávcső felvétele egy napfoltcsoportról 2002. július 15-én. A kép felbontása 100 km körüli, jól látható a penumbra finomszerkezete a napfoltokban és a granuláció a környező fotoszférában.



3. kép • A kromoszféra és egy nagy protuberancia az ionizált hélium 30,4 nm hullámhosszú színeképvonalában fényképezve (SOHO EIT)

nem is napfoltcsoportokról, hanem aktív vidékekről szokás beszélni, s e fogalom magában foglalja a Nap légkörében a mágneses tér által okozott összes jelenséget.

A későbbiekben szintén Hale építette meg a kromoszféra megfigyelésére szolgáló spektrohélioszkópot. Ezt a mechanikus műszert váltotta fel a Bernard Lyot által készített polarizációs monokromátor-szűrő, amely a látható színeképből a H-alfa vonal 0,05 nm-es közepét vágja ki. A kromoszférát más színeképvonalakban is meg lehet figyelni, például az ionizált hélium fényében (3. kép). A kromoszféraképeken a hónapokig is létező nagyobb napfoltcsoportokban időnként kisebb-nagyobb, kb. 10 perctől órákig terjedő időtartamú kifényesedések voltak megfigyelhetők, ezek a fler nevet kapták (angolul flare). A legnagyobbak közül minden évben néhány fehér fényben is látható (6. kép), de a naptevékenységi maximum idején naponta több tucat figyelhető meg H-alfában. Hamarosan az is kiderült, hogy a földi hatásokért elsősorban a flerek felelősek. Egy-egy nagyobb fler lefolyásakor az aktív vidék kromoszférájában-koronájában több tízmillió fokot érhet el a hőmérséklet, ezáltal



a Nap ibolyántúli sugárzása többszörösére, röntgensugárzása pedig több nagyságrendet nőhet. Ezek a sugárzások aztán a Föld felsőlégréjét, különösen az ionoszférát erősen meg tudják változtatni. A hatások változatosak, a felsőlégréji sűrűség növekedése például a műholdak erős fékeződéséhez vezethet, az ionoszféra változása a rádióvétel zavarát okozhatja. A nagyobb flerekből részecskesugárzás is indulhat, a gyorsított protonok és elektronok néha közel fénysebességgel, húsz-harminc perc alatt elérhetik a Földet, máskor egy-két nap is beletelik, míg megteszik a 150 millió kilométert. A Föld mágneses terébe befogódva aztán azt megzavarhatják (mágneses háborgások), a sugárzási övezeteket feltölthetik, ezáltal sarki fényt okozva alacsonyabb szélességeken is. Az elnyelődő részecskék fűtik is a felsőlégréjét. Mágneses viharok idején a sugárzási övezeteken kívül, geostacionárius pályán keringő távközlési holdak nagyenergiájú elektronnyalábokkal is találkozhatnak, amelyek a szigetelőkébe be tudnak hatolni, feltöltve azokat, ami átíveléshez, rövidzárlathoz vezethet. A nagy sűrűségű integrált áramkörök egy-egy celláját is telibe találhatja egy részecske, ezáltal megváltoztatva az információt.

A naptevékenységben a döntő szerepet a mágneses tér játssza. A napfoltokban a felszín alól felbukkanó mágneses tér befolyásolja a felette lévő kromoszféra és korona anyagát. A fotoszférában a konvekció még összegyűrheti a mágneses teret, mert a gáz mozgási energiája a nagyobb, de a felső, ritkább rétegekben a mágneses erővonalak határozzák meg a mozgásokat. A H-alfa-felvételeken az aktív vidékekben vagy azok között, a különböző mágneses polarításokat elválasztó határvonal felett gyakran látni lebegő gázfelhőket, protuberanciákat. Ezek közül a nyugodtabbak hetekig is léteznek kisebb-nagyobb változásokkal, majd hirtelen instabillá válnak, és elszállnak. A

flerek is gyakorlatilag mindig a polaritás elválasztó vonalának két oldalán jelennek meg. A leginkább elfogadott elméletek szerint mindkét esetben a koronában létező mágneses tér destabilizálódik. Az ellentétes irányú mágneses terek találkozásakor kialakuló áramok turbulenciát váltanak ki a gázban, ami csökkenti a vezetőképességet, lehetővé téve ezzel, hogy a mágneses tér energiájának egy része a környező anyag fűtésére, részecskegyorsításra fordítódjon. Ez az energiefelszabadulás maga a fler, a bekövetkező szerkezetátalakulástól pedig a protuberancia aktivizálódik.

Az űreszközök fedélzetéről könnyen megfigyelhető a napkorona: a korongon röntgenfényben, a korongon kívül pedig fehér fényben, ugyanis a földi légkör szórt fénye nem zavar. Elegendő letakami a fényes fotoszférát és kromoszférát, az így létrehozott mesterséges napfogyatkozás láthatóvá teszi a koronát. Az utóbbi néhány évtized megfigyeléseiből így egy új, fontos jelenséget sikerült felfedezni, a koronakitörést (Coronal Mass Ejection – CME). A koronafelvételeken a belső koronából néhány száz km/s sebességgel kifelé terjedő fényes buborékként jelentkezik a CME, sőt, ha a Föld felé indul, akkor látszólag körülveszi a Napot, ahogy tágulva felénk tart. Az ilyen haló-CME-nek nevezett kitörések különösen jelentősek a földi hatások miatt. A flerek és koronakitörések kapcsolata bonyolult, többnyire együtt járnak, de mindkettő előfordulhat a másik nélkül is.

Az előbbieken említett aktív jelenségek mágneses plazmabuborékokat juttatnak a napszélbe, amelyek aztán bizonyos esetekben elérhetik a Föld mágneses terét, megzavarva azt. A legnagyobb mágneses viharokat azok a plazmafelhők okozhatják, amelyekben a mágneses tér éppen ellentétes a földivel. Ekkor az ellentétes irányítású mágneses terek átkötődhetnek, felszabadítva a tér energiáját, megzavarva

a Föld mágneses terét, a részecskék pedig beszabadulva a felsőlégkörbe, a sarki fény zónáját egészen az egyenlítő közelébe tolhatják el. Ha a plazmafelhő mágneses tere egyirányú a Földével, furcsa módon a kölcsönhatás a földmágneses tér megnyugtatót, lecsendesítést eredményezheti. Ebből látható, hogy nagyon nehéz előre jelezni a földi hatásokat, mert bár a SOHO műszerei jelzik a Föld felé tartó plazmabuborékot, de hogy milyen irányú annak mágneses tere, az csak akkor derül ki, amikor a CME eléri a SOHO-t, ezután pedig már egy órán belül a Föld környezetébe ér a zavar.

### *Új eredmények*

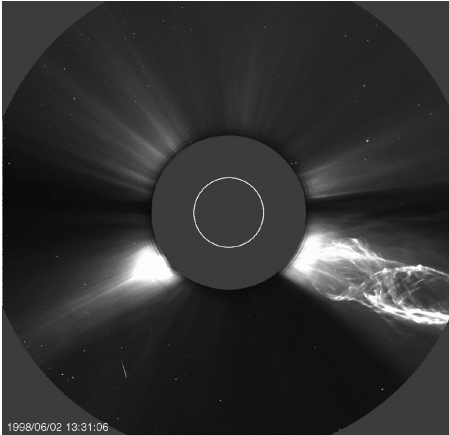
Végezetül, a teljesség igénye nélkül néhány kiragadott új eredmény, amelyeket e sorok írója fontosnak tart a napfizika szempontjából. A legelső, alapvető fontosságú eredmény a részecskefizikából jön: a neutrínóoszilláció kísérleti kimutatása. Évtizedek óta zavaró probléma volt, hogy a Nap centrumában a termonukleáris reakciókban jelentkező neutrínók kimutatására szolgáló detektorok a várható neutrínóáramnak csak kb. a harmadát észlelték. A csillagászok finomították modelljeiket, a hélioszeizmológia pedig már a tized százalékokat is mérhetővé tette, de az asztrofizika ennél többet nem tudott tenni. Ezért fontos a részecskefizikai mérés, amely a neutrínó véges tömege következtében az elektron-, müion- és tau-neutrínó folyamatos egymásba való átalakulását jelzi, mert ez kiadja a hiányzó hármasszorozót, az eredeti mérés ugyanis csak az elektron-neutrínóra érzékeny.

A helioszeizmológiai mérések nemcsak a Nap belső szerkezetének eddig elképzelhetetlenül pontos felderítésére jők, hanem a felszín alatti áramlásokat is kimutatják, valamint azt, ha egy adott helyen a hangsebesség valami miatt eltér a környezetétől. Ilyen módon sikertült megmérni a mágneses tér felfelé mozgásának sebességét a napfoltok felbukkaná-

sánál, a nagyobb napfoltokat körülvevő, azokat stabilizáló örvénygyűrűt, de a legérdekesebb az, hogy – igaz, elég rossz felbontással – a Nap tőlünk elfordult oldalán is nyomon lehet követni az aktív vidékeket, kialakulásukat, növekedésüket, csökkenésüket. Mindezt a Nap anyagában terjedő, megtörő, elhajló hanghullámok segítségével, a felszínen mért térbeli és időbeli hullámkép óriási adatmennyiségének feldolgozásával.

A napfoltok szerkezetének megértésében is történt előrehaladás. A földi vákuum-távcsövek, jó leképzésű helyekre (a Kanári-szigetek hegycsúcsaira) telepítve, párosítva a képkiválasztás és -feldolgozás technikájával 100 kilométernél kisebb részleteket is láthatóvá tettek a napfoltokban (*2. kép*). A napfoltok penumbrájának finomszerkezetére magyarázatot ad a deformált konvekció, amelyben a mágneses tér nem hagyja kialakulni a granulációs cellákat, de még megengedi a melegebb anyaggal töltött mágneseserővonal-csövek befelé, majd az umbra környezetében lehűlt anyagnak részben a mágneses erővonalak mentén, részben azokkal együtt kifelé mozgását. A penumbrában gyengébb és a függőlegestől elhajló a mágneses tér, itt még létezhet ez a deformált konvekció, az umbrában az erős, függőleges tér teljesen leállítja a konvektív mozgásokat. A mágneses tér szerepére utal, hogy a penumbra külső határán a mozgások és a mágneses tér energiája egyenlő (Kálmán, 2002), ezen belül a mágnesség, kívül pedig a turbulens konvekció az uralkodó.

Az űreszközök leginkább a napkoronára vonatkozó elképzeléseinket alakították át. Korábban a koronát nyugodt, statikus képződménynek tartották, de már az állandó kifelé áramlást jelentő napszél felfedezésével inogni kezdett ez a kép. A Skylab 1973-as megfigyeléseinek feltűntek a koronakitörések, ezután az SMM, majd most a SOHO korona-gráfjai gyűjtöttek hatalmas észlelési anyagot.

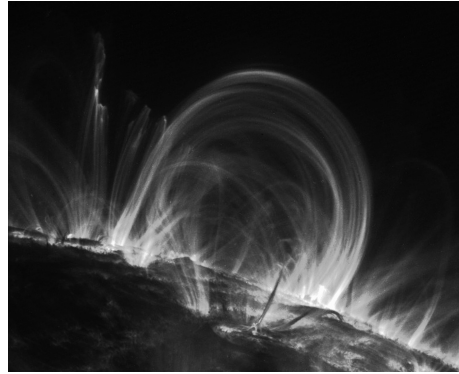


4. kép • Csavart szerkezetű koronakitörés 1998. június 2-án a SOHO koronagráfjának felvételén. A fehér kör a napkorong átmérőjét jelzi, az ezt letakaró korong nagyobb méretű. A csavart szerkezet az ún. erőmentes mágneses tere jellemző.

Kiderült, hogy a naptevékenység maximuma táján naponta több CME is elhagyja a Napot, szerencsére ezeknek csekély hányada találja el a Földet (4. kép).

A korona az erősen ionizált atomok fényében erősen strukturált, jól látható a mágneses terek hatása, a fényes hurkok kirajzolják az erővonalakat (5. kép). Ez rögtön újabb kérdést vet fel: miért ilyen egyformán keskenyek és fényesek ezek a koronahurkok? A gáznymás ugyanis jelentősen csökken ilyen magasságkülönbség esetén, a mágneses erővonalaknak is ki kellene nyílniuk, ami a hurkok tágulását jelentené a magassággal, de mindennek éppen az ellenkezője látható. A kutatók jelenleg átdolgozzák koronamodelljeiket.

A koronaképek a flerek jobb megértését is lehetővé tették, az ibolyántúli és röntgenképek megmutatták az elsődleges energiaszabaddulás helyét (6. kép), amelynek a H-alfában látható fénylés már csak a következőképpen. Még sok minden kérdéses a flerekben, a feltételezések szerint a mágneses tér energiája mindössze néhány szortíz-száz



5. kép • Koronahurkok 1999. november 6-án a kilencszeresen ionizált vasatomok 17,1 nm hullámhosszúságú színkép vonalának fényében, ami kb. 1,3 millió K hőmérsékletű gáznak felel meg. Látható a mágneses tér döntő szerepe, valamint a hurkok eléggé egyenletes fényessége és vastagsága (TRACE).

kilométeres skálán alakul át hővé, ilyen jó felbontást pedig még nem sikerült elérni. Sok részletkérdés tisztábban látható már, de még túl sokféle elmélet létezik arról, hogy milyen folyamatok játszódnak a flerekben.

A Nap mindig tartogat meglepetéseket. Hiába volt a legutóbbi „hivatalos” naptevékenység maximum 2000 elején (ezt amúgy is csak egy-másfél évvel bekövetkezte után lehet megmondani, mivel tizenhárom hónapos mozgó átlag alapján meghatározott simított napfolt-relatív számokból állapítják meg), a ciklus leszálló ágában, 2003. október végén – november elején három nagy és bonyolult aktív vidék jelent meg a Napon (1. kép), több nagy flert produkálva. Ezek között a november 4-i fler (6. kép) röntgenintenzitása felülmúlt minden eddigi mért értéket (harmincöt éve méri rendszeresen műholdokról a flerek röntgensugárzását). A SOHO több, a Föld felé irányuló koronakitörést észlelt, ennek megfelelően a Föld mágneses tere is zavart volt időnként, hazánkban is látható volt sarki fény, de hasonló napaktivitással



6. kép • A 2003. november 4-i nagy fler képei. Legalul fehér fényben (TRACE), középen H-alfa (Big Bear Solar Observatory), fent a tizenegyszeresen ionizált vas 19,5 nm-es színképvonalában, ami 1,6 millió fokok hőmérsékletet jelent (TRACE). A mérések kezdete (1968) óta a fler röntgensugárzásának intenzitása volt a legnagyobb.

#### IRODALOM:

- íj. Kálmán Béla (1986). Minden energiánk forrása: a Nap. Magyar Tudomány **93**, 780.  
 Kálmán Béla (2002). On the Outer Boundary of the Sunspot Penumbra. Solar Physics. **209**, 109.  
 Parker, Eugene N. (1997). Reflections on macrophysics

és földi kísérőjelenségekkel már eddig is lehetett találkozni. Most sokkal részletesebben tudták tanulmányozni a jelenségek fizikáját, a földi és Föld körüli hatásokra pedig már felkészültek az eddigiek alapján. Az előző naptevékenységi ciklusban, 1989 márciusában egy nagy fler által okozott mágneses vihar miatt nyolc órára teljesen leállt Kanada nagy részén az áramszolgáltatás. (2003-ban viszont a nagy üzemzavarok egyikét sem a Nap okozta.)

A jelenlegi űrszondák lassan kiöregednek, de már tervezik illetve készítik az újabbakat. Az egyik felbocsátandó szonda a Föld pályáján, de 60 fokkal mögötte haladna, emiatt már néhány nappal korábban láthatná a napkorong keleti peremén befordulni készülő aktív vidékeket. A STEREO kísérlet két űreszköze különböző pályákról figyelné ugyanazokat a jelenségeket, így magassági szerkezetük jobban meghatározható lenne. A Föld körüli térség kutatására is több műhold felbocsátását tervezik. A Nap és földi hatásainak kutatása tehát folytatódik, jelenleg és a közeli jövőben az *Együtt élni egy csillaggal* (International Living with a Star, ILWS) nemzetközi program keretében.

Kulcsszavak: *napfizika, naptevékenység, Nap-Föld-fizikai kapcsolatok*

- and the Sun. Solar Physics. **176**, 219  
 Stephenson, F. Richard – Willis, David M. (1999). The Earliest Drawing of Sunspots. Astronomy and Geophysics. **40**, 6.21  
 Stix, Michael (2002). *The Sun: An Introduction*. Springer, Berlin

# ÜSTÖKÖSÖK ÉS KISBOLYGÓK

Tóth Imre

tudományos munkatárs, MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézete  
tothi@konkoly.hu

Miért fontos a Naprendszer kisebb égitestjeinek megismerése? Elsősorban azért, mert a Naprendszer őstörténete tanulmányozásuk által ismerhető meg, hiszen bolygórendszerünk kialakulásának és fejlődésének alapvető folyamatairól hoznak hírt ezek az égitestek. Különösen fontosak az ún. *primitív* kis égitestek (üstökösök, Kuiper-övbeli objektumok, kentaurok és bizonyos típusú kisbolygók), amelyek nagyrészt még érintetlenül őrzik a képződésükkor az ősi Naprendszerben végbement fizikai és kémiai folyamatok lenyomatát.

Az üstökösök és kisbolygók mozgásának égi mechanikáját, valamint fizikai és kémiai tulajdonságait is meg kell ismerni, hiszen akár a földi evolúcióra is közvetlen hatást tudnak kifejteni. Az ütközési, becsapódási kozmikus katasztrófáknak nagy a jelentőségük a Naprendszer égitestjeinek életében, mind a kisebb égitestek (kisbolygók, üstökösök), mind a nagybolygók és holdjaik fejlődéstörténetében (lásd Illés Erzsébet cikkét).

4,6 milliárd évvel ezelőtt bizonyos kisebb égitestek szállították a formálódó nagybolygók belsejébe és felszínére a víztartalmú anyagot, illetve egyes elképzelések szerint az élet kialakulásához szükséges fontos molekulákat is. A Naprendszer kialakulása után kozmikus időskálán csak viszonylag rövid ideig tartott a gyakori becsapódások korszaka. Ez hamar lecsengett, mert nagyon lecsökkent a bolygórendszer kialakulását kísérő törmelékananyag mennyisége. A későbbi, ritkább ütközések termékei, illetve a Naprend-

szer külső térségeiben „elraktározott” kisebb égitestek képezik ma a potenciálisan a nagybolygókkal vagy egymással ütköző kis égitesteket. Éppen tíz esztendeje történt, hogy a Shoemaker-Levy 9 üstökös darabjai a Jupiterbe ütköztek. Ez az esemény is jelzi a kis égitestek kutatásának fontosságát.

Az ütközéseknek tehát az építésben és a rombolásban egyaránt fontos szerepük van. A Föld geológiai múltjában bekövetkezett katasztrófális mértékű kozmikus becsapódási eseményeknek többször is globális hatása volt a földi élővilág evolúciójára. Ilyen volt a kréta-harmadidőszak határon (kb. 65 millió évvel ezelőtt) a dinoszauruszok kipusztulása és az emlősök elterjedése. A nagyobb méretű kozmikus testek becsapódásának veszélye ma is és a jövőben is fennáll, de ennek valószínűsége nagyon kicsi, bár bekövetkezése regionális, kontinentális vagy globális katasztrófával fenyeget. Fontos itt megjegyeznünk, hogy *nincs olyan ismert égitest, amely a Földdel ütközne a jövőben.*

A kisbolygók, üstökösök közvetlen közelébe indított és a jövőben indítandó űrszondák programjának megtervezéséhez is ismerni kell a célobjektumokat, előzetes vizsgálatokat kell végezni, adatokat gyűjteni, modellszámításokat készíteni. Ilyenre volt példa a magyar részvétellel megvalósult VEGA űrprogram esetében (1986-ban a Halley-üstökös magjáról készített a két VEGA szonda felvételeket, ezek voltak az első közelképek egy üstökösről).

## Üstökösök és paradigmaváltások

A közelmúltig az üstökösöket keringési idejük alapján osztották fel: a kétszáz évnél rövidebb keringési idejűek a rövid periódusúak, az ennél hosszabb keringési idejűek pedig a hosszú periódusúak, amihez még hozzá lehet venni a dinamikailag „új” üstökösöket, amelyek a keletkezésük és a nagybolygók által egykoron történt kiszórásuk után most először tértek vissza a Naprendszer külső vidékeiről a belső régiókba. A rövid periódusúakon belül a húsz évnél rövidebb keringési idejűek a Jupiter-család üstökösei, a húsz és kétszáz év közöttiek pedig a Halley-típusúak. A keringési időn alapuló felosztás nyilvánvalóan eléggé önkényes, ezért a legutóbbi években az égi mechanika mélyebb összefüggéseinek (a Nap-Jupiter-üstökös korlátozott háromtestprobléma Tisserand-paraméterén) alapuló osztályozás kezd elterjedni. Eszerint vannak *eklíptikai üstökösök*: a Jupiter-család üstökösei és a Naprendszer belső térségeibe is ellátogató 2P/Encke-üstökös, a hozzá hasonló objektumok csoportjával együtt. A többiek a *közeli-izotrop pályaeloszlású üstökösök*. Ez a csoport is két komponensből áll: az Oort-felhőből először beljebb kerülőkből, valamint az ismert Halley-típusúakból.

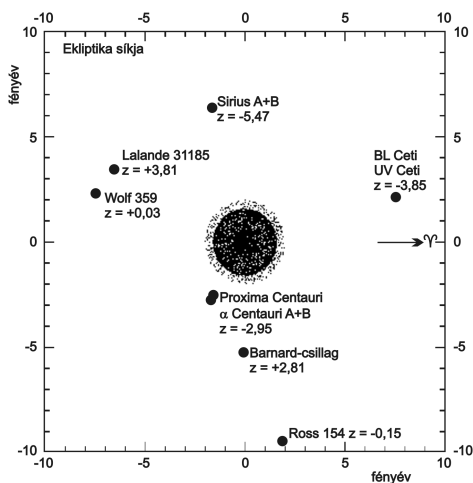
Az üstökösöknek két nagy forrásvidékük, rezervoárjuk van a Naprendszerben. Az egyik egy gömbszimmetrikus térrész, amely néhány tízezer csillagászati egység<sup>1</sup> távolságnál kezdődik és a Naptól mintegy 1-1,5 fényévig terjed, addig a határig, ameddig a Nap gravitációs hatása dominál. Ez az Oort-féle üstökösfelhő, amely a becslések szerint billiónyi kis jeges-poros üstökösömágot tartalmaz. Az Oort-felhő a közeli-izotrop pályaeloszlású üstökösök forrása (1. ábra).

Vannak nem üstökösszerű kis égitestek is az Oort-felhőben: kisbolygók (aszteroidák). Ezek, amikor bekerülnek a Naprendszer

<sup>1</sup> A Nap-Föld közép távolság, kb. 149,6 millió km, a továbbiakban csillagászati egység (CsE).

belső térségeibe, az üstökösökére emlékeztető elnyújtott ellipszis pályán mozognak, de nem mutatnak sem kómát, sem csóvát. Egy részük igazi, közetszerű (nem poros jég) aszteroida, amelyek még a bolygórendszer kialakulása idején szóródhattak ki a belső régiókból az Oort-felhőbe. Akad köztük azonban hosszú ideig aszteroidaszerű, kóma nélküli objektum, amely a Naphoz közeli pályaszakaszon üstökösszerű aktivitást mutat. Pályájuk alapján az ilyen objektum neve damokloid, az 5335 Damocles kisbolygó után.

Az eklíptikai üstökösök forrásvidéke a Neptunusz bolygó pályáján túli (transzneptun) övezet, amelynek része a Kuiper-öv (lásd lentebb). A régi paradigma szerint az Oort-felhő üstökösei a Naprendszer belső térségeibe kerülve az óriásbolygók (főleg a Jupiter) gravitációs perturbáló hatására vagy kiszóródtak a Naprendszerből, vagy



1. ábra • A Naprendszer határát kijelölő Oort-féle üstökösfelhő kb. 1-1,5 fényévig terjed ki gömbszimmetrikusan. Az ábra síkja a földpálya síkja, és ebbe a síkba vetítve a legközelebbi csillagok is fel vannak tüntetve a mintegy  $10 \times 10$  fényévig kiterjedésű térrészben. A Plútó közepes naptávolsága csak a milliméter tört része ezen az ábrán. A z koordináta fényévben azt jelzi, hogy a csillag a sík felett (+) vagy alatt van (-). A nyíl a tavaszpont irányát mutatja.

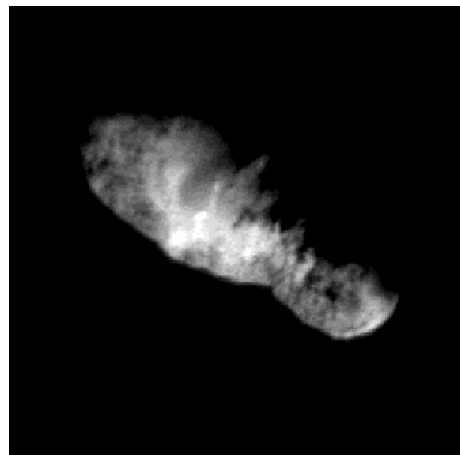
pedig rövid keringési idejű és az ekliptika síkjához közeli pályára térültek el, és ezek lettek az ekliptikai üstökösök. Ez a folyamat nem elég hatékony, és nem magyarázza meg a sok ekliptikai üstökösöt, tehát más forrást kell feltételezni az ekliptikai üstökösök folyamatos utánpótlására. Az új paradigma szerint a forrásvidék a transzneptun övezet.

Az Oort-felhőre a Tejútrendszer általános gravitációs tere árapályhatást fejt ki, a közelébe került csillagközi anyag – gáz- és porfelhők –, valamint egyes közeli csillagok fejtenek ki gravitációs zavaró hatást. A Nap és más csillagok a tejútrendszerbeli mozgásuk során egymás közelébe kerülhetnek. A Hipparcos asztrometriai mesterséges hold mérései szerint a Gliese 710 jelű törpe csillag 10 millió éven belül a Naprendszer közelébe, kb. három fényévnnyire kerülhet. Ma a Naprendszerhez legközelebbi csillag az Alfa Centauri kísérője, a 4,3 fényévre levő Proxima Centauri (1. ábra).

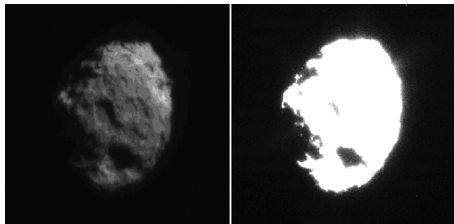
Az üstökösök kutatásának alapkérdései: milyen az üstökös magja (mérete, alakja, forgása, színe, albedója), milyen a felszíni és belső szerkezete, miből van, hol és hogyan keletkezett? A mai elméletek szerint a Naprendszer ősködének primitív, jeges poranyagából kialakult üstökös-mag-alkotó elemek mintegy 70-100 méter méretűek lehetnek: ezek a kometezimálok vagy üstökös-mag-kezdemények. Nem tudjuk azonban, hogy ezen építőelemeknek milyen a finomszerkezetük, de a szubkilométerestől legfeljebb néhányszor tíz kilométeresig terjedő méretű üstökös-magok kis átlagsűrűsége porózus, üreges belső szerkezetre utal. A Hubble-űrtávcsővel egy nemzetközi munkacsoportban folytatott vizsgálataim szerint az ekliptikai üstökösök legtöbbje szubkilométeres méretű. A C/1999 S4 (LINEAR) üstökös magja teljes szétesésének megfigyelése is alátámasztja azt, hogy a mag építőelemei legfeljebb tíz és száz méter közöttiek (Weaver et al., 2001). A magok méreteloszlásának ismerete nélkül

az Oort-felhő tömegére vonatkozó becslés sem lehetséges. Az üstökös-magok eredetüktől függetlenül bárhol széteshetnek, és poros, meteoritikus anyag marad vissza szétszórva pályájuk mentén. Ma még nem tudjuk, milyen folyamatok vezetnek az üstökös-magok széteséséhez, de törékeny, laza szerkezetük megkönnyíti feldarabolódásukat. Az ideális vizsgálati módszer, ha űrszondát küldünk az üstököshöz, lehetőleg minél közelebb a maghoz, esetleg a felszínére. Eddig három üstökös magjáról készültek közeliképek *in situ* űrszondák segítségével: 1P/Halley (VEGA 1 és 2; Giotto, 1986), 19P/Borrelly (Deep Space 1, 2001), 81P/Wild 2 (Stardust, 2004) (2–3. ábrák).

Földi megfigyelések és űrszondák eredményei alapján az üstökös-magok a Naprendszer legsötétebb égitestjei: igen alacsony (kb. 4 %) a felületük fényvisszaverő képessége. A kisebb-nagyobb építőblokkokból összetevődő mag felülete csak kis, lokalizált területeken mutat aktivitást, bocsát ki gáz- és



2. ábra • A 19P/Borrelly üstökös magjáról a NASA Deep Space 1 (DS1) űrszondája által készített legközelebbi kép (2001. szept. 22.). A Hubble-űrtávcsővel 1994-ben készült megfigyelések alapján meghatározott méret és alak összehasonlítása a DS1 által meghatározott adatokkal kitérő egyezést mutat.



3. ábra • A NASA Stardust űrszondája által készített kép mintegy 240 km távolságból a 81P/Wild-2 üstökös magjáról 2004. január 2-án. A mag effektív átmérője mintegy öt kilométer. A magon jól kivehetők a bemélyedések, üregek, nem becsapódási eredetű kráterszerű képződmények, illetve becsapódási kráterek, kiemelkedések (bal oldali ábra). Egy túlexponált képen (jobb oldalon) anyagiáramlások látszanak a mag felszínéről.

poranyagot, de vannak olyan üstökösök is, amelyeknek szinte az egész felületük aktív. Az űrszondák közelfelvételien megfigyelhető gáz- és porkiáramlások, kilövellések a régi paradigma szerint a mag felületének jól lokalizálható és kis kiterjedésű aktív területeiről indulnak ki. A legújabb hidrodinamikai vizsgálatok (a Jean-Francois Crifo, Szegő Károly és A.V. Rodionov által kifejlesztett modell) szerint azonban a *jetek* nem a felszíni inhomogenitások, aktív területek következményei, hanem alapvetően a mag felszínének topográfiájával összefüggőek. A jet-aktivitás a maghoz közeli kómában tulajdonképpen hidrodinamikai effektusok következménye.

Az üstökös kómájának, gáz- és porcsóvájának kialakításában a Nap elektromágneses sugárzásain kívül a napszélplazmával való kölcsönhatásoknak is alapvető a szerepük. A Hyakutake (C/1996 B2) és a Hale-Bopp (C/1995 O1) esetében pedig még az üstökösök röntgensugárzását is felfedezték. Több elképzelés is van arról, hogy milyen fizikai mechanizmus vált ki röntgensugárzást a Nap felőli oldalon a külső kómában, de a folyamatok részleteinek tisztázásához még sok megfigyelés szükséges.

### Bővülő leltár: kentaurok és Kuiper-öv

A *kentaurok* alapján az olvasó azt gondolhatná, hogy egy mitológiai (esetleg etológiai) tanulmány következik most, de nem erről van szó, hanem Naprendszerünk létező égitestjeiről, amelyek ellipszispályájának fél nagytengelye 5,2-30 CsE (a Jupiter és a Neptunusz) közötti.

A külső Naprendszer kisbolygóinak története 1977-ben kezdődött. Charles T. Kowal a kaliforniai Palomar-hegyi 1,22 méteres Schmidt-teleszkóppal készített felvételen az égen egy nagyon lassan mozgó, halvány objektumot fedezett fel. Az 1977 UB ideiglenes jelölésű test pályája olyan ellipszis, amelynek napközelpontja a Szaturnusz pályáján kissé belül van, és naptávolságban majdnem eléri az Uránusz pályájának távolságát. Keringési ideje a Nap körül ötvenegy év, pályahajlása az ekliptika síkjához közepes (6,9 fok). A pontos pálya meghatározása után a felfedező elnevezhette a kisbolygót. Feltételezve, hogy több ilyen objektumnak lehet még a Szaturnusz és Uránusz pályái közötti hipotetikus kisbolygóövben, Kowal a legjobb reputációjú, nyugodt kentaurokról, Chironról nevezte el az égitestet. Igen találóan, hiszen Chiron a mitológia szerint Szaturnusz fia és Uránusz unokája volt, egyben azt is sugallva, hogy a külső kisbolygóöv később felfedezendő tagjait ugyancsak kentaurokról nevezzék el (4. ábra).

A Chiron 8:5 arányú *középmozgás-rezonanciában* van a Szaturnusszal, vagyis amíg a Szaturnusz nyolc teljes keringést végez a Nap körül, addig a Chiron pontosan öt keringést tesz meg. A Chiron mozgását a Szaturnusz és az Uránusz gravitációs hatása erősen zavarja (perturbálja), hasonlóan, mint az abban a zónában tartózkodó periodikus üstökösökét is. Több százmillió évre az időben vissza és előre kiszámítva a Chiron pályáját abban kaotikus viselkedést, illetve instabilitást mutattak ki.

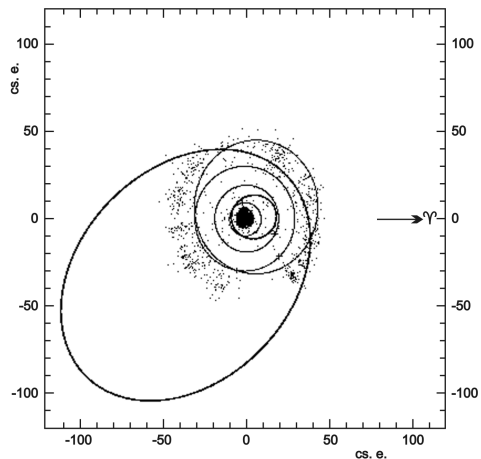


A Chiron felfedezése után közel tizennégy évig nem találtak újabb kentaurt. A csillagászati CCD-detektorok elterjedésével lehetővé vált az ilyen halvány objektumok felfedezése. Ma már mintegy ötven kentaurt ismerünk, de csak a legfényesebbek fizikai tulajdonságaival kapcsolatban vannak mérések. A Hawaii-szigeteken levő nagy teleszkópokkal az ekliptika mentén végrehajtott keresőprogramok eredményei alapján a 75 km-nél nagyobb átmérőjű kentaurok száma 2600 lehet, míg 1 km-nél nagyobb kentaurból akár tízmillió is. Úgy becsülik, hogy a mai (4,6 milliárd évvel a Naprendszer kialakulása utáni) kentaur-zónában kb. egy tízezred földtömegnyi anyag van jelen kisbolygók formájában.

1988-ban a Chiron fényességében az elnyújtott alakú test tengely körüli forgásából adódó szabályos fényváltozására rakódó erős időbeli fluktuációkat találtak. Az üstökösaktivitásra utaló fényességváltozás mellett még kómát is megfigyeltek az égitest körül. Ekkor a 2060 Chiron aszteroida a 95P/Chiron üstökös besorolást is megkapta. Tehát valóban egy különleges objektumról van szó – igazi kentaur! Más üstökösök és kentaurok is mutatnak kómaaktivitást nagy heliocentrikus távolságban. A Naptól 10-12 CsE-re nem várható, hogy a vízjég szublimációja okozza ilyen aktivitást, hiszen a vízjég szublimációs határa kb. 2,8 CsE. A kis primitív égitestek nagy naptávolságban bekövetkező üstökösaktivitásának oka még nincs tisztázva.

Alighogy Clyde W. Tombaugh kitartó keresés után 1930-ban megtalálta a Neptunuson túl keringő kilencedik bolygót, a Plútót, Frederick C. Leonard tudományos alapon felvetette, hogy épp a Plútó lehet a Neptunusz pályáján túl keringő objektumok sokaságának első képviselője. Mivel az ekliptikai üstökösök eredete magyarázatra várt, többen is foglalkoztak a Neptunuson túli objektumok létezésével. Kenneth Essex Edgeworth, ír arisztokrata, aki matematikával és

csillagászzal is behatóan foglalkozott, 1943-ban, majd 1949-ben részletesen kifejtette, hogy az ekliptikai (vagy ahogy még akkor nevezték: rövid keringési idejű) üstökösök forrásvidéke a Plútó pályáján túli, az ekliptika síkjához közeli hipotetikus üstökös-zóna. A holland-amerikai Gerard P. Kuiper pedig 1951-ben kis égitestek Plútón túli gyűrűjéről írt. Az 1992 QB1 transzneptun objektum felfedezésével megtalálták az addig csak feltételezett Kuiper-öv első objektumát. A Leonard-Edgeworth-Kuiper-öv helyett röviden Kuiper-öveknek nevezett tartomány objektumaira Kuiper-övbeli objektumokként (KBO) hivatkoznak, de transzneptun objektumoknak (TNO) is nevezik őket. A megfigyelési technika fejlődése következtében, a keresőprogramok jóvoltából ma már



4. ábra • A külső Naprendszer 200 CsE × 200 CsE területű tartománya: az eddig felfedezett kentaurok és Kuiper-övi objektumok helyzete a földpálya síkjába vetítve (2004. március 1-én 0 óra világidőre). A bolygópályák vékony folytonos vonalak a Szaturnusztól a Plútóig feltüntetve. Az 1999 TL66 SDO (vastag vonallal rajzolt elnyújtott ellipszis) pályája messze a Neptunuson túli régióba nyúlik, a Chiron kentaur pályája (kisebb, vastag vonallal rajzolt ellipszis) a Szaturnusz és Uránusz pályái között húzódik. A belső Naprendszerben a kisbolygóövezet és a többi nagybolygó pályái csak kis foltként látszanak ezen a skálán.

több mint 750 KBO-t ismerünk (4. ábra).

Az első KBO-k felfedezése után kiderült, hogy ezek az objektumok égi mechanikai alapon két nagy dinamikai csoportba sorolhatók aszerint, hogy középmozgás-rezonanciában vannak-e a Neptunusszal vagy sem, azaz a Neptunusz és a KBO keringési idejének aránya két kis egész szám hányadosa-e. Eszerint vannak rezonáns és klasszikus (nem rezonáns) KBO-k. Az 1992 QB1 a *klasszikus* KBO-k csoportjába tartozik, amelyeket *cubewano*-nak is neveznek a QB1 Object angol kiejtése alapján. Nem tartoznak egyik középmozgás-rezonanciához sem, a pályájuk fél nagytengelye 42-47 CsE között van, excentricitásuk kicsi, perihéliumtávolságuk nagyobb, mint 35 CsE. A transzneptun objektumok kb. kétharmada klasszikus KBO.

Az égi mechanika szerint a rezonáns KBO-k excentricitása és pályahajlása nagy is lehet, több rezonáns KBO-pálya metszheti a Neptunusz pályáját. A legnépesebb rezonáns KBO-csoport a 3:2 rezonanciában levő, amely mintegy 39,4 CsE középtávolságú pályán kering (amíg a Neptunusz háromszor, addig a KBO kétszer kerül meg a Napot). Ilyen rezonáns objektum a nagybolygók közé sorolt Plútó is, ezért a 3:2 rezonáns KBO-kat *plutínóknak* nevezték el. A plutínók egy részének (a Plútónak is) napközelpontja 30 CsE-nél közelebb van a Naphoz, azaz metszi a Neptunusz pályáját, de a KBO és a Neptunusz sohasem kerülhet egymás közelébe, mert ez a rezonanciátípus mindig távol tartja a két objektumot egymástól. Azonban a Naprendszer kora alatt nem minden plutínó pályája marad stabil, ugyanis a pálya excentricitásától függően elhagyhatják a 3:2 rezonanciát. A becslések szerint a KBO-k legfeljebb 25%-a plutínó, és mintegy 1500 plutínó lehet 100 km-nél nagyobb átmérőjű.

1996-ban a transzneptun régió újabb meglepetéssel szolgált. Olyan transzneptun objektumot fedeztek fel, amely nagyon elnyújtott alakú ellipszis pályán kering a Nap

körül. Éppen azért fedezhették fel, mert a pályáján a napközelpont közelében tartózkodott. Az 1996 TL66 ideiglenes jelölésű objektum 788 év alatt kerül meg a Napot, és naptávolban 130 CsE-re kerül tőle, azaz a klasszikus Kuiper-övön túl fordul vissza (4. ábra). Azóta már több tucat ilyen, elnyújtott ellipszis pályán keringő objektumot fedeztek fel, amelyek pályasíkja nagy szöget zár be az ekliptikával, napközelpont pedig egészen a Szaturnusz pályájáig kerülhetnek, a kentaurok régiójába. Ezek a szórt (Kuiper-) korongbeli objektumok (Scattered Kuiper Disk Objects – SDO), megkülönböztetésül a többi, klasszikus és rezonáns KBO-tól. Az SDO-k léte azt is jelenti, hogy a Kuiper-öv nem ér véget éles határral 50 CsE körül, legfeljebb csak az ekliptikához közeli részén csökken le az anyagsűrűség annyira, hogy valamiféle „határról” lehet beszélni. Sőt laza kapcsolat lehet a Kuiper-öv és a belső Oort-felhő között: az SDO-k átjárják mindkét régiót.

A 100 km-nél nagyobb átmérőjű SDO-k száma hamincezer lehet, ami összemérhető a klasszikus KBO-k becsült számával. Az egyes transzneptun objektumok dinamikai csoportjainak számaránya a becslések szerint: klasszikus : SDO : plutínó : rezonáns = 1,0 : 0,8 : 0,4 : 0,07. Fontos hangsúlyozni, hogy a különböző alrendszerek tagjai között a kölcsönhatás (például ütközés, összeállás) elhanyagolható a korábban gyakoribb ütközések idején is, ezért nem várható, hogy „kevert” eredetű kometezimálokból álljon egy KBO vagy bármilyen üstökös. Az építőelemek csak egy adott alrendszerből kerülhetnek ki.

#### *Kettős kisbolygók, kettős KBO-k*

A kettős rendszerek komponenseinek a közös tömegközéppont körüli mozgásából a komponensek tömegére, méretük ismeretében pedig a testek közepes sűrűségére, anyagi összetételére, kialakulásuk és fejlődésük körülményeire is lehet következtetni.

Az első kisbolygó melletti holdat, a fő aszteroidaövbeli 243 Ida körül keringő, 2 km-es Dactylt a Galileo űrszonda felvételein fedezték fel az Ida 1993-as megközelítése során. Földi, adaptív optikájú teleszkóppal fedezték fel a 45 Eugenia holdját 1999-ben. E fontos felfedezések további több száz aszteroida szisztematikus átvizsgálására ösztönözték a kutatókat. Azóta több fő aszteroidaövbeli, illetve földközeli kisbolygóról mutatták ki, hogy kettős.

Az első kettős KBO-t 2001-ben fedezték fel. Ma már tizenegy kettős KBO-ról van tudomásunk, tehát az ismert 750 TNO legalább 1 %-a kettős rendszert alkot, de akár 10 %-uk is kettős lehet. Keresésük nagy műszerekkel ma is folytatódik, és a felfedezettek pályájának meghatározása is folyamatban van. Fontos lenne a kentaurok közt is kettős rendszereket találni, hiszen azok vizsgálata kialakulásuk, fejlődésük körülményeiről, illetve az üstökösökkel való hasonlóságukról és különbözőségükről adhat információt.

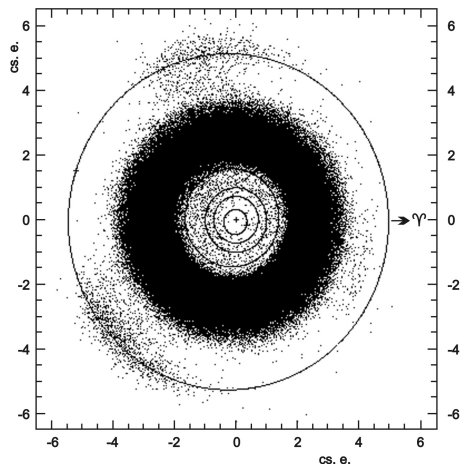
#### *A Kuiper-öv: időse csillagkörüli korong*

A Kuiper-övet gyakran hasonlítják a fiatal csillagok körül megfigyelt porkorongokhoz. A csillagászati időskálán mérve fiatal, néhány százmillió éves csillagokat ( $\beta$  Pictoris, Vega, HR 4796A, GG Tauri, valamint az idősebb  $\epsilon$  Eridani) kb. 100 CsE sugarú porkorong veszi körül. Ez a méret nagyjából akkora, mint a Kuiper-öv kiterjedése Naprendszerünkben. A Kuiper-övben a Voyager 1 és 2 űrszondák detektorai valóban kimutatták a por jelenlétét a Naptól 30-50 CsE naptávolságban. Az ott lévő por eredetének legvalószínűbb forrása-ként a Kuiper-öv objektumait gondolják. A kimutatott por léte és kis mennyisége alapján a mai Kuiper-öv időse cirkumsztelláris korongnak tekinthető. Azonban ma még keveset tudunk a csillagkörüli korongok fejlődéséről; arról, hogy a Kuiper-öv hogyan illeszkedik egy ilyen evolúciós sémába, és hogy szükség szerű-e minden csillagkörüli korongban

kisebb-nagyobb testek összeállása kisbolygókká vagy Plútó méretű nagybolygókká.

A Naprendszer és más csillagok Kuiper-öveinek tanulmányozása fontos az összehasonlító kozmogóniai vizsgálatok szempontjából: választ kaphatunk például arra, hogy mi a közös vagy eltérő a bolygórendszerek kialakulásában, különösen a Naphoz hasonló csillagok esetében. A Kuiper-öv a Naprendszer „első napjaiban” végbement dinamikai folyamatok (nagybolygók migrációs mozgása és tisztítási fázis) lenyomatát őrzi, valamint az ősköd külső vidékeinek fizikai és kémiai viszonyait is. A Kuiper-öv mindenképp a Nap körüli akkréciós korong ma megfigyelhető reliktum, régi idők tanúja.

A Naprendszer klasszikus Kuiper-övezetének mintegy 50 CsE naptávolságú kiterjedése túl kicsi a más csillagoknál megfigyelt néhány 100 CsE kiterjedésű csillagkörüli korongokéhoz képest. Lehetséges-e, hogy a mi Naprendszerünk Kuiper-övezete is eléri



5. ábra • A belső Naprendszer 6 CsE  $\times$  6 CsE területű része a földpálya síkjába vetítve (2004. március 1-jén 0 óra világidőre). A bolygópályák vékony folytonos vonalak a Merkúrtól a Jupiterig. A nagy gyűrű alakú folt a Mars és a Jupiter pályái között a fő kisbolygóövezet. A Jupiter trójai kisbolygói a Jupiter pályája mentén a bolygó előtt és mögött 60 fokra levő csoportok.

vagy meghaladja a 100 CsE kiterjedést? Ennek eldöntésére minél távolabbi objektumokat kellene találni a mi klasszikus Kuiper-övezetünkben (az elnyújtott ellipszispályákon keringő SDO-kat nem számítva). Ezek az objektumok nagyon halványak a jelenlegi megfigyelőeszközeink számára, de a tervezett új földi bázisú és űrteleszkópok felfedezhetnek ilyen égitesteket, ha léteznek.

### *Trójai kisbolygók*

A Nap-nagybolygó-kisbolygó égi mechanikai háromtest-probléma alapján az 1:1 középmozgás-rezonancia speciális esetét valósítják meg a Jupiterhez, a Marshoz, valamint a Neptunuszhoz tartozó trójai kisbolygók.<sup>2</sup> Különleges az eddig felfedezett egyetlen Neptunusz-trójai, a 2001 QR322, amely az L4 Lagrange-ponthoz tartozik (5. ábra).

A Jupiter trójai kisbolygóinak legtöbbje kialakulásuk óta stabil pályán mozog az L4 és L5 Lagrange-pontok körül, így a korai Naprendszernek a Jupiter-pálya körüli anyagát konzerválták belsejükben. Évmilliók alatt kismértékű kiszóródás és befogódás is lehet a trójai pályákról és oda. A Jupiter trójai kisbolygói mozgásának elméleti vizsgálatában az ELTE TTK Csillagászati Tanszékén Érdi Bálint és az általa létrehozott égi mechanikai iskola kimagasló eredményeket ért el. A Mars esetében eddig hét kisbolygóról gyanítjuk, hogy trójai pályán mozognak. Az elsőnek felfedezett ilyen aszteroida az 5261 Eureka.

<sup>2</sup> Az égi mechanikai háromtest-problémának öt olyan megoldása van, amelyben a tömegpontok közti távolságok aránya állandó, vagyis a rendszer konfigurációja a mozgás során mindig önmagához hasonló marad. Ebből háromban a három test egy egyenes mentén (a kis test az L1, L2, L3 Lagrange-pontokban) helyezkedik el, két további megoldásban a három tömegpont egy-egy egyenlő oldalú háromszög csúcsát alkotja. Az L4 és L5 Lagrange-pontokban – itt található az ún. trójai kisbolygók is – a kis test (a Nap-nagybolygó-harmadik test rendszerben) a bolygó pályája mentén 60 fokkal a bolygó előtt, illetve mögött kering a Nap körül. A Lagrange-pontokra librációs pontokként is hivatkoznak.

Fizikai tulajdonságaikról ma még csak keveset tudunk. Színképük alapján különféle eredetű objektumok, amelyek máshonnan kerültek arra a pályára.

A Földhöz több koorbitális mozgású kisbolygó is tartozik, de ezek nem klasszikus trójaiak. A koorbitális pályák nagyon fontosak, mert az ezeken mozgó kis égitestek elkerülnek abba a nagybolygóba való ütközést, amellyel együtt mozognak.

### *A fő kisbolygóöv és a belső Naprendszer*

Több mint kétszáz éve bizonyosodott be, hogy a Mars és Jupiter pályája között is vannak égitestek, jöllehet nem egy hiányzó nagybolygóról van szó, amint azt a Titius-Bode-szabály alapján sejtették (5. ábra). Program is indult az ismeretlen bolygó megkeresésére, de kiderült, hogy nem egy nagybolygó van ott, hanem sok apró égitestből álló kisbolygóövezet. E fő kisbolygóövben a Naphoz mintegy 2,8 CsE-nél közelebbi tartományban főleg a kőzetanyag dominál, a külső részek felé pedig illékony komponensek (gázok jegei) is jelen lehetnek az aszteroidák belsejében, köztött formában.

A különböző középmozgás- és szekuláris rezonanciáknak nagy a szerepe a kisbolygó-övezet objektumainak pályabeli fejlődésében, és emiatt a felszínük alakulásában is. A kisbolygóövben zónákban, családokban található a stabil pályán mozgó objektumok. E családok legtöbbje egy-egy nagyobb aszteroida szétesésének törmelékanyaga. Speciális rezonanciák, illetve kaotikus diffúzió által a fő kisbolygói a Marsét metsző pályára témek át, majd onnan a Naprendszer belső térségei felé veszik útjukat. A kisbolygó (nem üstökös) eredetű, földközeli objektumok nagy része, valamint a főövbeli kisbolygóktól eredő meteoritikus anyag is ilyen úton került a Föld közelébe. 1998 óta több olyan kisbolygót is felfedeztek, amelyek pályája teljes egészében a földpályán belül van. A Naprendszer belső térségeiben mozgó kis

objektumok nagy része kaotikusan mozog, jó részük idővel a Napba zuhan.

A földközeli aszteroida illetve üstökös eredetű objektumok (NEO-k) közül ma már több mint hétszázat ismerünk, de több ezer lehet még. A NEO populáció 10-15%-a lehet üstökös eredetű, főleg a Jupiter-családba tartozó (ekliptikai) üstökös vagy inaktív üstökösrag. A kilométeres méretű teljes NEO populációnak mintegy 2%-a lehet aktív vagy alvó üstökösrag. A becslések szerint átlagosan 64 ezer évenként ütközik a Földdel egy NEO ezer megatonna TNT egyenértékű energiával. Ma már a földközeli objektumok belső fizikai tulajdonságainak megismerésével foglalkoznak, illetve e célra alkalmas módszereket fejlesztenek ki. Ezek az ismeretek a kisebb égitestek Földdel való ütközésének elkerülésére, a pusztítás mértékének csökkentésére kidolgozandó eljárásokhoz, alkalmazandó technikai megoldásokhoz is szükségesek.

#### *Megfigyelések földi és űrteleszkópokkal, űrszondákkal*

Több hatékony, professzionális keresőprogram szolgál a kis égitestek felfedezésére és nyomon követésére: Catalina Sky Survey, LINEAR (Lincoln Laboratory Near-Earth Asteroid Research), LONEOS (Lowell Observatory Near-Earth Object Survey), NEAT (Near-Asteroid Tracking System), POSS (Palomar Oschin Schmidt Sky Survey), Spacewatch. A tervezett 8,4 m-es LSST (Large Synoptic Survey Telescope) felfedezné a háromszáz méteresnél nagyobb mintegy 10 ezer NEO-t, majd követné is a felfedezett objektumokat a pontos pályameghatározás céljából. Olyan mikroszatellita megépítését is tervezik, amellyel lehetővé válik a földközeli kisbolygók és üstökösök felfedezése, követése és fizikai tulajdonságaik (fényesség, színekép, klaszifikáció, méret stb.) meghatározása. Több űrszonda is elhaladt már egy-egy kiválasztott aszteroida közelében, közelképeket készítve

róla, és az égitest egyéb fizikai paramétereit is megmérve. A következő kisbolygók közelében repültek el eddig űrszondák: 951 Gaspra és 243 Ida+Dactyl kettős rendszer (Galileo), 253 Mathilde, 433 Eros (keringés és leszállás a felszínre, NEAR), 9969 Braille (Deep Space 1) és az 5535 Annerfrank (Stardust).

A keresőprogramok tömeges felfedezései miatt az újonnan talált naprendszerbeli objektumok nagy részét egyszerűen nem győzik követni a felfedezésük után. Így nincs elég megfigyelési adat a pálya pontos meghatározásához, s emiatt elveszthet az objektumot. A sok új felfedezésű objektumról azok fizikai-kémiai tulajdonságaira irányuló pontos megfigyelés (fotometria, színeképek) sincs. Ráadásul a minél torzítatlanabb minta, a leltár teljessége céljából még több halvány objektumot kellene megfigyelni. A fenti hiányosságok következtében bizonytalanság, néha konfúzió van az egyes objektumok dinamikai és fizikai klasszifikációjában, valamint az egyes osztályok közötti evolúciós kapcsolat megalapozásában. Ezért is folytatódnak a professzionális keresőprogramok.

Nagy (8-10 m) átmérőjű optikai teleszkópokkal halvány objektumokról is készíthető színekép. A nagyon halvány távoli kentaurok és TNO-k esetleges gázaktivitása is kimutatható. Az óriás teleszkóprendszerekkel végzett interferometria szoros és halvány kettős TNO és kentaur rendszerek felfedezését teszi lehetővé. Adaptív optikával is több kettős aszteroidát fedeztek már fel.

A jelenleg működő keringő csillagászati obszervatóriumok közül a szubmilliméteres tartományban megfigyeléseket végző svéd-francia-kanadai- finn ODIN mesterséges hold főleg a víz- és oxigénmolekulák színképi jegeit figyeli. Hasonló a NASA SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite) mesterséges holdjának tudományos kutatási célkitűzése is. A NASA infravörösben észlelő Spitzer űrobzervatóriuma segítségével a testek méretének, albedójának és felszíni

kémiai összetételének meghatározása kiterjeszhető halvány objektumokra is.

A NASA 1999-ben indított Stardust űrszondája már sikeresen teljesítette feladatát a 81P/Wild 2 üstökösnél, amellyel 2004. január 2-án találkozott, és átrepült annak kómáján, a magtól mintegy 240 km távolságban. Speciális porcsapdáival az üstökös kómájában levő poranyagból mintát gyűjtött be, amit laboratóriumi vizsgálatokra 2006-ban visszahoz a Földre. Az üstökösanyag, a protoszoláris ősköd és a csillagközi anyag kapcsolatára, hasonlóságára és eltéréseire lehet majd következtetni a pominták elemzésével. Fedélzeti kamerájával hetvenkét képfelvételt készített az üstökös mintegy öt km méretű, de szabálytalan alakú magjáról. A legnagyobb felbontású képeken jól kivehető a mag felszíni alakzatai, mélyedések, krátterszerű képződmények és jetek. A szonda 2000-ben és 2002-ben speciális porcsapdával a Naprendszerbe bekerült csillagközi eredetű port is gyűjtött.

Az ESA 2004. március 2-án indított Rosetta nevű üstökösszondája a tervek szerint a 67P/Churyumov–Gerasimenko üstököst fogja hosszú időn keresztül részletesen tanulmányozni.

A NASA 2004. december 30-án indítandó Deep Impact (DI) űrszondája a tervek szerint 2005. július 4-én egy 370 kg tömegű, rézből készült testet fog kozmikus sebességgel a

9P/Tempel-1 üstökös magjába irányítani, hogy tanulmányozhassa a testnek az üstökösomba való becsapódását és annak következményeit. A becsapódás nyomán várhatóan új aktivitási terület jön létre az üstökösombagon.

A japán-amerikai együttműködésben megvalósuló Hayabusa (MUSES-C) szonda egy földközeli aszteroida környezetében helyszíni vizsgálatokat végez, szorosan megközelítve a célobjektum felszínét, és onnan speciális eljárással talajmintát gyűjt be és hoz vissza a Földre. A Hayabusa 2003-ban indult útjára, és 2005. októberében ér a 25143 Itokawa (1998 SF36) aszteroidához. A begyűjtött felszíni anyagmintával 2007 júniusában tér vissza a Földre.

Érdekes terv a NASA Gulliver űrprogramja, amely a Mars Deimos holdjáról anyagmintának a Földre való visszahozását tűzte ki célul. A Deimos hold a feltételezések szerint a fő aszteroidaöv külső pereméről került a Mars közelébe, és a nagybolygó befogta azt. A Gulliver által egy külső aszteroida mintegy kilenc kg anyagát lehet majd megvizsgálni, és nem is kell nagyon messzire utazni érte.

**Kulcsszavak:** *csillagászat, űrfizika, Naprendszer, égi mechanika, bolygóközi anyag, kisbolygó, üstökös, kentaur, Kuiper-öv, transzneptun objektum, földközeli objektum*

#### IRODALOM

Weaver, H. A. – Sekanina, Z. – Tóth Imre et al. (2001): HST and VLT Investigations of the Fragments of Comet C/1999 S4 (LINEAR). *Science*. 292, 1329-1333

#### AJÁNLOTT ISMERETTERJESZŐ IRODALOM

Bérczi, Szaniszló (1991): *Kristályoktól bolygótestekig*. Akadémiai, Budapest.

Both, Előd (2003): A Rosetta űrszonda. *Természet Világa*. 1, 3.

ELTE TTK Kozmikus Anyagokat Vizsgáló űrkutató Csoport honlapja: <http://planetologia.elte.hu/hun-veyor.phtml>

Érdi Bálint (2003a): Bolygórendszerek kaotikus dinamikája. I. rész. *Természet Világa*. 5, 210.

Érdi Bálint (2003b): Bolygórendszerek kaotikus dinamikája. II. rész. *Természet Világa*, 2003/6, 256

Kereszturi Ákos – Sámczy Krisztián (2003): *Célpont a Föld? – Kisbolygók a láthatáron*. Magyar Csillagászati Egyesület (MCSE), Budapest

Magyar Csillagászati Egyesület (MCSE) honlapja és linkek: <http://www.mcse.hu>

Marik Miklós (szerk.) (1989): *Csillagászat*. Akadémiai, Budapest

Meteorok – Vega Csillagászati Egyesület honlapja: <http://www.vcse.hu>

- Szegő Károly (1999): Selected Chapters of Space Research in Hungary. *Fizikai Szemle*. 5, 206.
- Szegő Károly (2002): Új eredmények az üstökösök fizikájából. *Fizikai Szemle*. 5, 149.
- Szécsényi-Nagy Gábor (1986): *A Naprendszerparányai*. Gondolat, Budapest
- Tóth Imre (1998a): Fényes üstökösök 1996–1997-ben.

A Hyakutake és a Hale–Bopp üzenete. *Magyar Tudomány*. 4, 411.

Tóth Imre (1998b): Az üstökösök lágy röntgensugárzása. Új felfedezés a Hyakutake és a Hale–Bopp kapcsán. *Fizikai Szemle*. 7, 218.

Tóth Imre ismeretterjesztő cikkei 1980-tól: [http://www.konkoly.hu/staff/tothi/popularizing\\_articles.html](http://www.konkoly.hu/staff/tothi/popularizing_articles.html)



# BOLYGÓTESTEK

## A NAPRENDSZERBEN

Illés Erzsébet

tudományos főmunkatárs,

MTA Konkoly Thege Miklós Csillagászati Kutatóintézet

illes@konkoly.hu

A cikkben bemutatom, hogy az 1960-as évek óta hogyan fejlődtek ismereteink a Naprendszer bolygótestjeit illetően, és mit tudunk ma róluk. Mondhatnánk szubjektívnek is, hogy miért a '60-as évektől tekintem át a témát. Az én pályafutásom ugyanis akkor kezdődött, tehát azóta van közvetlen élményem a Naprendszer-kép fejlődéséről. De tarthatjuk objektívnek is az okot, hiszen a '60-as években kezdődött a Naprendszer kutatása szempontjából is fontos úrkorszak.

*Mit tudtak a Naprendszer bolygótestjeiről az 1960-as években?*

Mindenekelőtt ismerték a pályáikat. Saját fénye egyik bolygónak vagy holdnak sincs, de láthatóak, mert a Nap rájuk eső fényét visszaverik. Helyzetük így megfigyelhető, és pályáik pontosan ismertek voltak az égi mechanika tudománya jóvoltából. A Nap körül keringő testeket bolygóknak, a bolygók körül keringő testeket holdaknak nevezték, és akkor még azt hitték, hogy ez lényeges különbséget takar. Azóta már tudjuk, hogy a testek geológiai fejlődése szempontjából ez nem fontos, ezért nem is teszünk különbséget a megnevezésben, és bolygótestnek nevezünk őket függetlenül attól, hogy pályájuk a Nap vagy egy bolygó körül húzódik-e. Bár meg kell jegyeznünk, hogy a holdak hőfejlődését befolyásolja, ha egy bolygó körüli holdrendszer tagjaként élük életüket.

Néhány nagyobbban a felszíni részletei ugyan megfigyelhetők voltak, de a legtöbb csak fénylő pont maradt még a legjobb távcsövekben is. Fényességük változásából azonban következtetni lehetett arra is, hogy elnyúlt alakúak, vagy nem egyenletes a felszínük fényvisszaverő képessége (albedója). E fényváltozásból a forgási periódust meg lehetett határozni. Furcsa módon voltak olyan, a távcsövekben kiterjedt korongot mutató bolygók, amelyeknek a forgását viszont nem ismerték pontosan, mert vagy túl közel voltak a Naphoz, és nehezen lehetett őket megfigyelni (Merkúr), vagy sűrű, globális, részleteket nem mutató felhő takarta el a felszínüket, mint a Vénusz esetében.

A pályák ismeretében meghatározhatók voltak a tömegek, ezek segítségével pedig a méret ismeretében a sűrűség. Tudták, hogy a belső négy bolygó sűrűbb, mint a külső négy, és nem értették, hogy mit keres a kicsi Plútó kilencediknek ott kint, az óriásbolygók után.

Ismertek voltak a tengelyhajlások, így tudták, hogy hol várható erős évszakos változás. Tudták, hogy melyiknek van sűrű légköre. Felfedezték a Mars poláris sapkáit, amelyeknek a mérete változik a Nap körüli keringés folyamán.

Most az alkalmazott új módszerek szerint csoportosítva nézzük meg, hogy azóta mennyi minden derült ki bolygórendszerünkéről!

*Hogyan gyűltek az új ismeretek?*



*Az űrszondák*

Az űrszondák felfedezőútjai a bolygóközi térben ugyan nem jelentenek új módszert, mert a csillagászat mindig is „távérzékeléssel” dolgozott; az égitestek által kibocsátott vagy visszavert fény vizsgálatából vonta le következtetéseit. De már csak azzal is, hogy a szondák közelebb mentek, és jobb térbeli felbontással vizsgálták a céltárgyakat, sok újat mondtak róluk. Ráadásul azért, hogy a vizsgálat a földi légkörön kívülről történik, lehetőség nyílt más hullámhosszakon is megnézni őket, mint amelyek a Föld felszínéről észlelhetők.

*Elrepülések*

Az első megközelítések során a szondák pontosabban megmérték a bolygótestek tömegét és lapultságát. (Ez utóbbi rendszerint annál nagyobb, minél gyorsabban forog a bolygótest.) A szonda pályáját ugyanis megváltoztatja a test gravitációs hatása, és ennek a változásnak az eltérése az előre számítottól lehetővé tette a tömeg pontosítását. (Például ezt tették a Pioneer 10 és 11 szondák az óriásbolygóknál.) A tapasztalat alapján aztán a következő szondák pályáit már a felszínbe ütközés veszélye nélkül közelebb lehetett vezetni a bolygókhoz. Ezt az utat követték a Voyagerek az óriásbolygóknál. Ennek következtében nemcsak azért lehetett jobb felvételeket készíteni, mert az öt évvel később indított szondákra jobb technikai eszközök kerülhettek, hanem mert közelebről is készülhettek a felvételek.

*Bolygók körüli űrszondák*

Sokkal részletesebb vizsgálatot tett már lehetővé, ha az űrszonda egy-egy bolygó köré került mesterséges holdként. Eleinte csak a Föld, majd a Hold (1966), később a Mars (1971), a Vénusz (1975), a Jupiter (1995) és legutóbb az Eros kisbolygó (2000) esetében így lehetővé vált olyan globális, vagyis az egész bolygótestet lefedő térképek készítése,

amelyek megmutatják a bolygótesten belüli tömegeloszlást, a felszín magasságviszonyait, a mágneses tér szerkezetét és annak térbeli és időbeli változásait a bolygótest körül. A különböző hullámhosszakon készült felmérések kombinációiként geológiai térképek is készülhettek. Egyébként egy szondát idegen égitest körül keringési pályára állítani nem könnyű feladat, mert az égitestek közelről már nem pontszerűen viselkednek, gravitációs terük már nem gömbszimmetrikus, és különösen egy olyan elnyúlt kicsi testnek, mint az Eros kisbolygó, nagyon furcsa a gravitációs tere.

Már a megközelítések is, de még inkább a bolygó körüli keringés lehetővé tette a bolygótestek környezetének a vizsgálatát. Ha a bolygó környezetében időben hosszabban lehetett mérni a mágneses teret (irány és nagyság szerint is), az megmutatta, hogy a bolygótestnek van-e „természetes dinamó” hajtotta, saját mágneses mezeje, ami arra utal, hogy van olvadt vasmagja (a holdak közül eddig egyedül a Ganymedesnél sikerült ezt kimutatni). Vagy van-e indukált mágneses tere (eddig csak a Jupiter Europa és Callisto holdjai esetében mutatták ki), ami azt jelzi, hogy elektromosan vezető, globális olvadt réteg van valahol a hold belsejében. Míg a gravitációs tér a test differenciálódásáról tud információt adni, addig a mágneses tér léte olvadt anyagról hoz hírt a test belsejéből.

Az égitest környezetében az elektromosan töltött részecskék számlálása holdak vagy gyűrűk létre utalhat. A holdak vagy gyűrűk zavaró hatása bizonyos távolságokban ugyanis hiányt okoz a részecskék számában. A Pioneer 10 és 11 szondák mérései alapján így fedezték fel a Jupiter gyűrűjét, amelynek létét a Voyager szondák képei erősítették meg. A töltött részecskék a Jupiter magnetoszférájában öt Jupiter-sugárnyi távolságig együtt forognak a bolygóval (korotáció). Onnantól kezdve azonban fokozatosan lemaradnak. Ennek okát ma mártudjuk.

Az Io vulkánjaiból kidobott rengeteg port – amit a Nap ultraibolya sugárzása ionizál – a magnetoszféra nem képes azonnal a korotáció sebességére felgyorsítani, de felkapja, és szétszórja az egész Jupiter-rendszerbe. A mágneses tér gyorsabban forog, mint ahogy a holdak Kepler-pályájukon a bolygó körül haladnak – így a ként is a többi hold „követő” (vagyis a kötött keringő hold pályamozgása során hátul haladó) oldalára csapja, ahol az a holdak anyagával kölcsönhatva például az Európán óriási kénsavmezőket hoz létre.

A bolygók környezetében található porszemcsék számlálása szintén a Jupiter környezetéről hozott érdekes eredményeket. A Nap megfigyelésére felbocsátott Ulysses szonda a Jupiter mellett haladva ugyanis időnként a porszemcsék számának nagyon erős megnövekedését tapasztalta. A nyugalmi időben szokásos öt szemcsével szemben húszezer porszemecské is regisztrált másodpercenként. A Jupiter körül keringő Galileo szonda mérései alapján az USA-ban élő Horányi Mihály és munkatársai aztán megtalálták a magyarázatot. Világossá vált, hogy ez az Io vulkánjai által kidobott por, amely a Jupiter mágneses terének segítségével nemcsak az egész Jupiter-rendszerbe kerül, hanem a Nap mágneses terének segítségével kijut az egész Naprendszerbe is, sőt a semleges komponens a csillagközi térbe is kikerülhet.

A bolygótestek körül keringő szondák a saját maguk által kibocsátott vagy a Nap gammasugárzásának hatására kilökődött neutronok számlálásával a felszín anyagára tudnak következtetni (gamma-spektroszkópia). Például a Clementine szonda így próbálta megerősíteni a földi radarokkal kapott korábbi eredményt, miszerint a Hold pólusain a kráterek állandóan árnyékban lévő belsejében valószínűleg dér formájában vízjég van jelen. Hasonló módszerrel mutatta ki a Mars Odyssey szonda a Mars talajának felső egy méterében lévő vízjeget a pólusok környékén.

### *Sima leszállások*

Még részletesebb, lokális vizsgálatokat tett lehetővé az, amikor az űrszondák simán leszálltak egy-egy égitest felszínére, és helyben vizsgálhatták azokat. Ez először 1966-ban a Holdnál történt meg, majd 1970-ben a Vénusznál (Venera 7), 1971-ben a Marsnál (Mars 3), majd 1995-ben a Jupiternél (a Galileo szonda leszálló kapszulája elsőként hatolt be egy óriásbolygó légkörébe), 2001-ben pedig az Eros kisbolygónál (a NEAR szonda, miután elsőként állt pályára egy kisbolygó körül, leszállt annak felszínére). 2004 nyarán a Titán holdra próbál leereszkedni a Szaturnusz rendszeréig küldött Cassini szonda egy egysége, a Huygens leszállóegység.

Hogy melyik leszállás a nehezebb? Mind-egyik egyformán nehéz! Az óriásbolygóknál a nagy tömeg miatt nagy a gyorsítás. Nehéz követelmény, hogy a légkörben a sűrűlődtől felizzó kapszula még mérjen is, és a Földre továbbítsa méréseit. A Mars ritka légkörében viszont nehéz megvalósítani, hogy elég nagy legyen a fékezőerő a sima leszálláshoz, és a szonda ne csapódjon a talajhoz. A Vénusz 90 atmoszféra nyomású, 470°C hőmérsékletű, pokoli légkörében olyan, a kénsavfelhők maró hatását is kibíró érzékelők kellettek, amelyek még a felszínen is mének – mielőtt a túlmelegedéstől beszüntetnék a működésüket. A 25 km méretű, elnyúlt alakú Eros kisbolygó esetében olyan lassan kellett leszállni, hogy a szonda ne pattanjon vissza. A gyenge gravitációs tér miatt ugyanis egy, a Földön normálisnak számító ugrással 180-200 km magasra jutnánk fel, tehát, ha a leszállás nem abszolút simára sikerül, akkor a szonda esetleg teljesen kidobódik a világűrbe. A nem gömbszimmetrikus gravitációtér miatt ugyanis nem biztos, hogy sikerül az égitestre visszaesnie, hiszen a „függőn” még közelítőleg sem mutatna mindentűt a felszínre merőlegesen. Ezekkel a szoros megközelítésekkel, keringésekkel és leszállásokkal az égi mechanika

nemcsak bebizonyította hatásosságát, vagyis képességét arra, hogy a valóságot jól írja le, de a csillagászati tudományok közül elsőként vált kísérleti tudománnyá.

### *Laboratóriumi vizsgálatok*

Az űrszondák által főleg a külső Naprendszer bolygótestjeinél talált furcsaságok felgyorsították a laboratóriumi kutatásokat is. Korábban is vizsgáltak anyagokat – például meteoritokat – földi laboratóriumokban, de a nagyon ritka vagy sűrű, a nagyon hideg vagy forró és más összetételű légkörök felfedezése ráirányította a figyelmet arra, hogy a különféle anyagok viselkedését a földtől eltérő körülmények között is meg kell vizsgálni. Krio-laboratóriumok épültek, ahol különféle anyagok például a Neptunusz távolságában uralkodó 38–40 K-es hőmérsékleten is vizsgálhatók. És miután az űrszondák felvételei alapján egyértelművé vált, hogy a Naprendszer bolygótestjei ütközések sorozatával álltak össze, laborkísérletek indultak az ütközések mechanikájának, anyagátalakító hatásának tanulmányozására különböző anyagú lövedékek és céltárgyak esetében. Továbbá a napszél létének igazolásával és a magnetoszféra sugárzási övezeteinek felfedezésével összefüggésben kezdetét vette a különböző összetételű légkörök és bolygófelszínek besugárzásos átalakulásainak vizsgálata is laboratóriumi körülmények között.

A laboratóriumi vizsgálatok számára gazdag extraterresztrikus anyagmintát szolgáltatott az antarktisi meteoritok. Japán kutatók ugyanis felfedezték, hogy az Antarktisz fehér jégmezőin feltűnőek, könnyen észrevehetőek a sötét színű meteoritok. Ezek nagy számban találhatóak például ott, ahol egy hegynék ütköző gleccser feltorlódik. Az esetleg már több tízezer év óta beágyazódott meteoritok a szublimáló gleccserjégből ki-kopva a felszínre kerülnek, és ott könnyen megtalálhatók. Ezzel a felfedezéssel az ismert meteoritok száma hamarosan kétezerről

tízezer fölé emelkedett, vagyis sokkal több Földön kívüli test összetétele, kristályos szerkezete és hőtörténete vált pontosabban megismerhetővé. Még világosabban kiderült, hogy milyen testek voltak a Naprendszerben, de az nem, hogy hol fejlődtek ilyenekké. A származási hely azonosítását végül az tette lehetővé, hogy bizonyos meteoritok laboratóriumban előállított szinképe döbbenetesen hasonlított bizonyos kisbolygók szinképeéhez. Ezáltal lehetett összekapcsolni az anyagi minőséget azzal a naptávolsággal, ahonnan a meteorit származik.

Az antarktisi meteoritgyűjtés nemcsak azért érdekes, mert immár sokkal több meteorit áll rendelkezésre, hanem azért is, mert szelekciós effektus nélkül lehet gyűjteni őket, tehát pontosabban mutatják a kő- és vasmeteoritok arányát. A szárazföldön kövek között kutatva ugyanis a kőmeteoritok sokkal nehezebben találhatóak meg, mint a vasmeteoritok.

Egyfajta meteorit azonban még nem került elő – mint erre Bérczi Szaniszló rámutatott –, mégpedig a jégmeteorit. A Naprendszer anyagának nagy részét ugyanis – főleg a Jupiter-pályán túl – illó anyagok jege, főleg vízjég alkotja. Ebből az anyagból érhető okokból még nincs mintánk a Földre esett és megtalált meteoritok között. A Föld melegebb vidékein azért, mert még ha egy jégmeteor el is éri olvadás nélkül a földpálya távolságát, és túléli a légkörön való áthaladást, a felszínre érve hamar elolvad. Tehát csak az Antarktisz vagy az Arktisz „mélyhűtője” lehet alkalmas arra, hogy valamennyi tovább megmaradjon. Ezeket azonban *ott*, a fehér kömvezetben nehéz megtalálni. Földi Tivadar szerint a földi jegeknek nagyobb ammóniatartalmuk miatt esetleg a dielektromos állandójuk különbsége segíthet a kimutatásukban.

Ha jégmeteoritokat eddig nem is találtak még az Antarktiszon, de találtak a Holdról és a Marsról érkezett meteoritokat. Ezek forrás-helyét a beljük zárt gázok izotópösszetétele alapján sikerült azonosítani: a Holdról hozott

minták laboratóriumi méréseivel, illetve a Viking szondák *in situ* marsfelszíni méréseivel összehasonlítva. Arra, hogy ezek a meteoritok hogyan tudták elhagyni a Hold vagy a Mars felszínét, megint csak a labor kísérletek adtak magyarázatot. Amikor ugyanis a becsapódásos kísérleteknél egyre csökkentették a becsapódás szögét, az egészen lapos becsapódásoknál (mint ahogy a „kacsázásnál” laposan dobunk kavicsokat a vízbe) az elgőzölgő anyag gyors gázkiáramlása fel tudott kapni kisebb darabokat. A bolygótest szökési sebessége fölé gyorsulva ezek aztán elszökhettek a bolygótesttől, és Nap körüli pályára állhattak. Előfordulhatott, hogy pályájuk néhány milliő évnyi bolyongás után éppen a Földet keresztezte, és a meteorit a Földre érkezett. Ezáltal mintát kaptunk e távoli világok anyagából.

Újabban az antarktiszi „jégsivatag” után a homoksivatagokat is rendszeresen kutatják meteoritok után, és elég sokat találtak is a Szaharában. Ezek egyike, az NWA011 jelű, egy különleges meteorit, amelynek szülőtestjén vulkáni működés zajlott, de összetétele különbözik az eddig találtakétól, amelyek mind egyetlen szülőtest, a Vesta kisbolygó darabjai. Azért izgalmas az a kérdés, hogy ez a meteorit honnan érkezett, mert nincs túl nagy választék a Naprendszerben olyan égitestek között, amelyek egyrészt elég nagyok ahhoz, hogy vulkanizmus működhessen rajtuk, másrészt elég kicsik ahhoz, hogy elszökhessen róluk egy kő. Ha nagy szerencsénkre a Merkúr lenne ez az égitest, akkor szenzáció lenne, hogy már anyagmintánk is van róla.

Laboratóriumi körülmények között vizsgálták azt is, hogy nagy nyomáson és hőmérsékleten hogyan válik fémes tulajdonságúvá a hidrogén. A számítások korábban azt mutatták, hogy az átmenet hirtelen történik, ami arra utalna, hogy az óriásbolygók belsejében a molekuláris és atomos hidrogénzóna közötti átmenet határfelülettel történik. Ezzel szemben most a labor kísérletek azt bizonyí-

tották, hogy ez az átmenet fokozatos, tehát nincs határfelület, és a fémes viselkedés a középponttól sokkal nagyobb távolságig jellemző, mint azt a számítások mutatták. Ez azt jelenti, hogy a felszínhez sokkal közelebbi tartományokban is keletkezhet mágneses tér, és akkor érthető, hogy a magasabb rendű tagok olyan mértékig „kilógnak” a felszín fölé, mint ahogy azt a szondák magnetométereinek mérései a Jupiter esetében mutatták.

Vizsgálták továbbá nagy nyomásokon és hőmérsékleteken a víz és az ammónia fázisdiagramját. Kiderült, hogy a víznek is és az ammóniának is létezik fémes viselkedésű átmenete. Akkor pedig az Uránusz és a Neptunusz vízköpenyének áramlásával keletkező mágnesestér-komponens miatt érthető, hogy miért tér el olyan nagyon e bolygók esetében az illesztett mágneses dipól középpontja a tömegközépponttól.

A különféle radioaktív elemek és leányelemek előfordulási arányainak laboratóriumi mérése segít megállapítani a koradatokat: például azt, hogy a Naprendszer keletkezését mennyivel előzte meg egy-egy szupernóva-robbanás, vagy hogy a meteorit az olvadékból mikor szilárdult meg, illetve – a benne található kozmikus sugárzási nyomokból – azt, hogy mennyi ideig keringett védtelenül a bolygóközi térben.

#### *A távcsövek és a számítástechnika fejlődése*

A megismerést elősegítő tényezők közül harmadiknak említem a távcsövek (lásd Szabados László cikkét) és a számítástechnika fejlődését. A számítástechnika nélkül maga az űrkutatás sem születhetett volna meg. Most azonban csak azokat az eredményeket tekintjük át, amelyek közvetlenül hatottak a Naprendszer kutatására.

A nagyteljesítményű számítógépek megjelenése lehetővé tette a Naprendszer keletkezésének szimulációját – sok millió tömegpontból kiindulva, sőt kiterjedt testekkel is,

ahogy azok egymás gravitációs erőterében mozogtak, és ütközésekkel egyre nagyobb csomókká álltak össze. S ahogy a mesterséges holdak mozgásának fokozatos fékezése a földi felsőlégkörben felhívta a figyelmet a gázfékezés fontosságára, a kutatók rádöbbenek, hogy az ősi szoláris köd gáza is fékezte a benne mozgó, kialakuló anyagcsomókat, tehát azok is egyre zsugorodó pályán keringtek az egyre melegező Nap körül. Ha pedig valahol egy nagyobb anyagcsomó – bolygócsíra – már létrejött, akkor az pályájának rezonáns helyein „megfoghatta” a hozzá kívülről közeledő kisebb anyagcsomókat. E rezonáns helyeken a kis planetezimálok nagyobb sűrűsége és közel azonos pályamenti sebessége lassú, lágy ütközéseket tett lehetővé. Vagyis egy bolygócsíra rezonáns helyein elindulhatott egy-egy újabb test – újabb bolygócsíra – növekedése. Innen származhat az ismert Titius-Bode-szabály a Naprendszerben.

A számítógépes modellek szerint – akár milyen kezdőfeltételekkel indul is el a számítás – mindig több száz bolygócsíra indul fejlődésnek mind a Föld típusú, mind az óriásbolygók „felségterületén”. Az összeállási időszak vége felé ezek csapódnak egymásba, ahogy egymás pályáját zavarják, perturbálják. Ahogy nőnek a bolygók, úgy lesznek egyre nagyobbak, katasztrófálisabbak az ütközések. Az összeállási folyamat végére mindig csak négy-öt bolygó marad meg. Ezeknél az utolsó nagy ütközéseknél a véletlennek már óriási szerepe van abban, hogy az ütközés kicsit kifelé vagy befelé löki-e a pályán a bolygót, hogy felgyorsítja vagy lefékezi a forgását, vagy esetleg a test nagyfokú precessz-szióba kezd az ütközés következtében. Ezek az utolsó, nagy ütközések felelősek a Titius-Bode-szabálytól való eltérésekért.

A nagy számítógépek lehetőséget adnak továbbá bonyolult modellek készítésére a bolygók magnetoszféráinak, légköreinek vagy olvadt belsejükben folyó áramlásoknak és ezek

kölcsönhatásainak leírására. Számítógépi szimulációk mutatták ki, hogy a Jupiter erős mágneses terében mozgó nagy mennyiségű nagyenergiájú töltött részecske a felszínbe ütközve olyan sok energiát ad át például az Europa holdnak, mint amennyit a radioaktív és árapályfűtés együttesen szolgáltat. Ez a nagy energiabevitel a holdak felszíni anyagát évtizednyi idő alatt kémiailag átalakítja. Ehhez az energiához képest az ütközések energiája a kémia szempontjából elhanyagolható, de hatása az átalakult anyag elkeverésében lényeges. Bár be kell ismerni, hogy a földi légkör viselkedésének megbízható előrejelzése túl nagy feladat a mostani legnagyobb számítógépek számára is.

A földi és űrtávcsövek sikeres működését is a számítógépes vezérlés teszi lehetővé, de a számítógépek az elkészített képek vizsgálatánál is óriási segítséget jelentenek. Például olyan szoftverek készültek, hogy egy-egy új hold felfedezése valamelyik óriásbolygó körül ma már rutinfeladatnak számít. A bolygó környezetéről különböző időben készített felvételek alapján a szoftver pillanatok alatt kikeresi az elmozduló fénypontot. S azzal, hogy a távcsöveg halványabb fénypontokat látnak, ma már tízesével fedezik fel a két-három km átmérőjű kísérőket a Jupiter távolságában, a tíz-tizenöt km-t meghaladókat a Szaturnusz távolságában, vagy a harminc km-nél nagyobbakat az Uránusz távolságában. Ilyen kisebb testekből pedig láthatólag sok van az óriásbolygók környezetében, mert például a Jupiter holdjainak száma az elmúlt évben huszonnyolcra hatvanegyre nőtt. Talán érdemes lenne most már meggondolni, hogy adott méretűnél kisebb holdaknak érdemes-e egyáltalán külön nevet adni. Egy odalátogató űrszonda pályája szempontjából az ütközés veszélye miatt azonban fontos ismerni minden kis égitest pályáját, ahogy a Föld környezetében az űrszemét darabjaiét is.

A távcsövek teljesítményének a növekedése 1992-ben egy egészen új égitesttípus

első tagjának felfedezéséhez vezetett. Ezeknek a Kuiper-övbeli objektumoknak felfedezésével pedig a Föld-szerű bolygók, a gáz-bolygók, illetve az óriásbolygók jégholdjai után megismertük a negyedik égitestípust a Naprendszerben: a még át nem alakult planetezimálokat (lásd Tóth Imre cikkét).

### *A szerencse*

Mindezeken túl szerencse is segített, például abban, hogy a Plútót, amelyhez űrszondát eddig még nem indítottak, közelebről megismerhessük. Szerencse volt, hogy James Christy 1978-ban felfedezte: a Plútónak holdja van (Charon). A kettősség lehetővé tette a tömegek és a sűrűségek meghatározását. A Plútó tömege a korábbi becsléseknél sokkal kisebbnek bizonyult, és nyilvánvalóvá tette, hogy a Plútó nem is igazi nagybolygó. A hold felfedezése jókor történt, mert rövidesen úgy fordult a pályásíkjuk, hogy a Földről éppen átvonulni láttuk egyiket a másik előtt, és ezért a fedéssorozatot végig figyelemmel követték. A fedéskor egyrészt a felszínek különböző részei voltak vizsgálhatók, vagyis albedó-térképet lehetett készíteni, és kiderült, hogy a Plútónak poláris sapkái vannak. Másrészt külön lehetett tanulmányozni a Plútó spektrumát, amikor a bolygó eltakarta a Charont. A közös spektrumból pedig kivonva a Plútó spektrumát, előállt a Charon színképe. A meglepő az volt, hogy míg a Plútó felszínén metánjeget találtak, addig a Charont főképp vízjég borítja. Ráadásul – felfedezése óta először – éppen ezekben az években járt a Plútó napközelpontban. Rövid ideig még a Neptunusznál is közelebb volt a Naphoz nagyon elliptikus pályáján. Napközelpontban a Plútó már légkört fejlesztett (mint egy igazi üstökös), amit nagyobb naptávolságon eddig még nem lehetett megfigyelni.

A Plútó-Charon kettős bolygó nemcsak abban hasonlít a Föld-Hold rendszerre, hogy a bolygóhoz képest nagyon nagy a holdja, hanem abban is, hogy a hold a bolygóhoz képest

illóanyagban nagyon szegény. Tehát lehetséges, hogy a Charon születését is egy óriási ütközéssel magyarázhatjuk, mint a mi Holdunkét? A Hold keletkezését ugyanis ma úgy magyarázzák, hogy az ósi Föld a Naprendszer keletkezésének utolsó nagy bombázási periódusában egy Mars méretű testtel ütközött. A nem centrális ütközés lefröccsentette az ósi Föld kérgét. A lefröccsent anyag gáz halmazállapotú összetevőjét a napszél kifújta, de a megfagyott szemcsék a Föld körül gyűrűként keringtek, majd lassan csomósodva a Holddá álltak össze. Ezért lenne száraz a Hold anyaga. A Plútó távolságában uralkodó 30-40 K-en a metán mint illó anyag eltűnt, de megmaradt a Charont alkotó, ott „száraznak” számító vízjég.

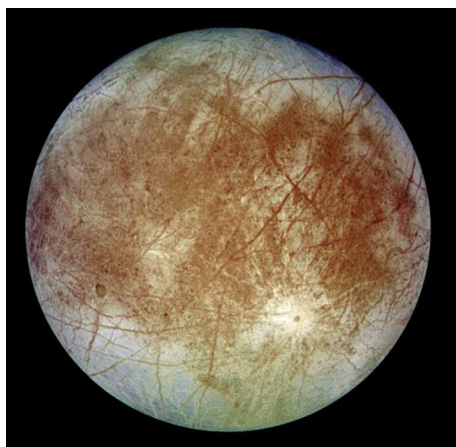
### *Meglepetések az új Naprendszer-kép kialakulása kapcsán*

Végezetül foglaljuk össze, hogy az elmúlt negyven év során melyek voltak a legfontosabb új felismerések!

Az űrszondák felvételein a kerges bolygótetek felszínén talált rengeteg becsapódási nyom egyértelműen bizonyította, hogy a bolygótetek összeállása ütközések sorozatával történt. Viszont új volt az a felismerés, hogy az ütközések folyamán a véletlennek milyen nagy szerepe van a bolygótetek kialakításában és további fejlődésében.

Korábban az sem volt ismert, hogy a rezonanciának ilyen nagy szerepe van már az égitestek keletkezésénél is. Arra is csak közvetlenül a Voyager szondák Jupiterhez érkezése előtt utaltak a számítások, hogy a holdrendszerek rezonáns helyzetei milyen nagy árapályfűtést eredményezhetnek, és hogy ez milyen nagy geológiai aktivitást (erős vulkanizmust és tektonizmust) okozhat még olyan kis testeknél is, amilyeneknél korábban még gömb alakot, vagyis olvadási folyamatot sem tételeztek fel.

Meglepetést okozott az üvegházhatás hatássága a Vénuszon, ahol 470 °C felszíni hőmérsékletet találtak.

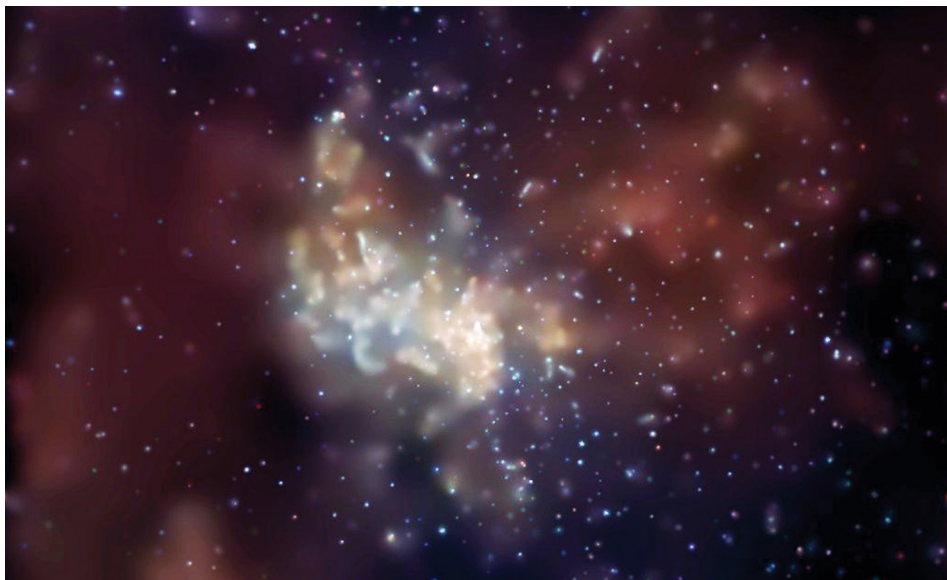


A Jupiter négy nagy holdja – Io, Ganymedes, Europa, Callisto – mind más.

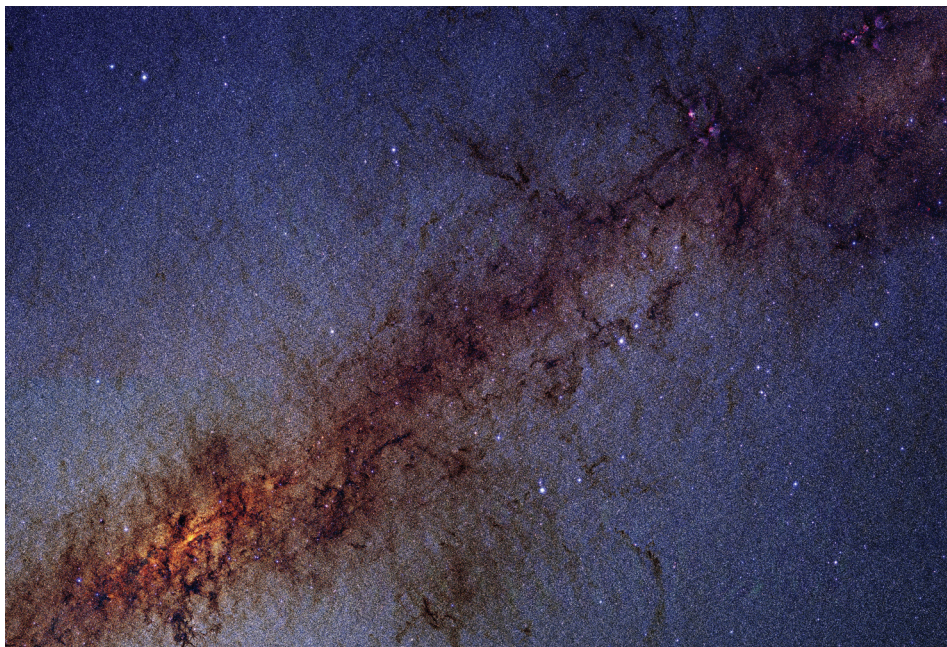


Tipikus csillagkeletkezési terület az 5000 fényév távolságban levő Omega-köd. Az infravörösben készült felvételen az optikai hullámhosszakon nem látható részletek is feltárulnak. (Az Európai Déli Obszervatórium [ESO] 3,6 méteres NTT távcsövével készült felvétel)





A Tejútrendszer centrumának környezete röntgenfényben. A Chandra felvételén több mint 2000 röntgenforrás látszik, közülük a legfényesebb a galaxisunk dinamikai középpontjában levő fekete lyuk helyét jelzi. (A NASA/CXC/MIT valamint F.K. Baganoff és mtársai hozzájárulásával)



Ez is a Tejútrendszer centrumának környezete – infravörös hullámhosszakon. A sokmilliónyi csillagból az optikai tartományban semmi nem látszik a csillagközi anyag elnyelése miatt. (a 2MASS/UMass/IPAC/CalTech/NASA/NSF hozzájárulásával)





Az egyik legismertebb planetáris köd, a kb. 1200 fényévre levő Súlyzó-köd, amelyet a közepén levő forró csillag gerjeszt sugárzásra. Magát a ködöt a csillag egykori légköre alkotja. (Az Európai Déli Obszervatórium [ESO] VLT-rendszerének 8 méteres Antu távcsövével készült felvétel)



A Cygnus csillagkép egy részének térképe rádióhullámhosszakon. A kép jól mutatja a tejútrendszerbeli csillagok és a csillagközi anyag folyamatos kölcsönhatását. A vörös pontszerű források a Tejútrendszerből távoli rádiógalaxisok és kvazárok (a Canadian Galactic Plane Survey hozzájárulásával).



Az NGC6872 kiülős spirálgalaxis és a felette látható IC4970 koronggalaxis szoros gravitációs kölcsönhatásban van egymással. A 300 millió fényévre levő NGC6872 magjától balra felfelé induló spirálkar már erősen deformálódott. A képen még számos távolabbi extragalaxis is látszik. (Az észlelőműszer által okozott kereszt alakú elhajlási képről könnyen felismerhető fényes csillag viszont a Tejútrendszerhez tartozó előtér csillag.) (Az Európai Déli Observatórium [ESO] VLT-rendszerének 8 méteres Antu távcsövével készült felvétel)



Az NGC6769–6770–6771 hármás galaxis komponenseinek alakján is felismerhető a szoros közelség okozta gravitációs torzítás. A három galaxis csak egymáshoz van közel, tőlünk 190 millió fényévre vannak. (Az ESO VLT-rendszerének 8 méteres Melipal távcsövével készült felvétel)

Érdekes volt felismerni, hogy a jégholdak belsejében a vízjég különböző kristályosodási formái vezetnek oda, hogy a Jupiter Ganymedes és Callisto nevű holdjain annyira különböző felszín látunk. A Callistóban ugyanis – szemben azzal, ami a Földön ismert vízjég esetében várható lenne – nem jön létre a jégköpeny cirkulációja, mert a vízjég más kristályszerkezetűvé alakult át. Ezért nem tudott a bolygótest lehűlni, nem vesztette el belső hőjét, és ezért nem látható semmiféle aktivitás nyoma a Callisto felszínén. Meglepetés volt ugyanakkor, hogy belsejében 170 km mélyen egy globális, elektromosan vezető réteg van – valószínűleg kásás jég vagy sós víz –, ugyanis a magnetométerek tanúsága szerint a Jupiter változó mágneses terének hatására indukált mágneses tér tud kialakulni körülötte.

Senki sem gondolta, hogy a mágneses tereknek olyan nagy szerepük van a bolygók környezetében lévő poros plazmák mozgásában (a Szaturnusz gyűrűinek „küllői”, fluxusos az Iót és a Jupitert összekötő zárt mágneses erővonal mentén stb.). Ahogy erre Hannes Alfvén már korábban utalt, e jelenségeknek még a Naprendszer kialakulása idején is szerepe lehetett abban, hogy hol kezdett el az első nagyobb anyagsomó – vagyis az első bolygócsíra – kialakulni.

Azt sem várta senki, hogy a nálunk közzönséges víz más égitesten a „láva” szerepét tölti be. Egyáltalán nem gondoltak a krio-vulkanizmus olyan furcsaságaira, hogy alacsonyabb hőmérsékleten az eutektikumok (például víz-ammónia keverék) vagy sós vizek vulkáni kifolyásokhoz vezetnek, és hogy a jeges holdak belsejében lévő viszonylag kevés radioaktív elem az árapályfűtéssel kiegészítve már biztosítani tudja a vulkáni kifolyások megindulását.

Senki sem gondolt arra, hogy a víz alapú vulkanizmus a Föld típusú bolygók szilikátvul-

kanizmusához hasonló vulkáni formákat képes létrehozni, ha a víz-ammónia keverékhez egy kevés metilalkohol is keveredik. Ekkor ugyanis az addig híg folyós „láva” hirtelen nagyon sűrűvé válik. Márpedig a Halley-üstökös spektroszkópiai vizsgálata feltárta, hogy az Uránusz-Neptunusz távolságában keletkezett üstökösökben – és valószínűleg az Uránusz és Neptunusz jégholdjaiban is – a harmadik leggyakoribb illó anyag a metilalkohol.

Váratlan eredmény volt, hogy a Vénusz pokoli forróságában nemcsak az illó anyagok, de a fémek is elgőzölögnek, és a légkör részeivé válnak, hogy aztán a hőmérséklet csökkenésével bizonyos magasságban lecsapódjanak a felszínre. Annak ellenére sem számítottak erre, hogy mind a Merkúr, mind a Hold ritka légkörének összetevői között megtalálták az elgőzölgött nátriumot és káliumot. Ez a lecsapódás az oka annak, hogy a magasabb helyeknek sokkal erősebb a radarvisszaverő képessége, mint a síkságoké. A hegyek szinte „fénylenek” a radarfényben. A Földön a hóhatár hoz létre ilyen jelenséget.

Végül: senki sem számított arra, hogy már a 20. század végén huszonhat kérges bolygótestet vizsgálhatunk, amelyek, mint egy igazi laboratóriumban, különböző feltételekkel mutatják, milyen is egy bolygó. Van, amelyiknek nincs se légköre, se mágneses tere (Hold), van, amelyiknek nincs légköre, de van mágneses tere (Merkúr), van, amelyiknek sűrű légköre van, de nincs mágneses tere (Vénusz), és van, amelyiknek mindkettő van (Föld). E változatosság lehetővé teszi a bolygórendszer részletes tanulmányozását, ami már eddig is nagymértékben hozzájárult saját bolygónk alaposabb megismeréséhez.

Kulcsszavak: *bolygó, hold, planetológia, árapályfűtés, atmoszféra, magnetoszféra*

# A TEJÚTRENDSZER VÁLTOZÓ ARCULATA

Kun Mária

a fizikai tudomány kandidátusa, MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete – kun@konkoly.hu

Szabados László

az MTA doktora, MTA KTM Csillagászati Kutatóintézete – szabados@konkoly.hu

A galaxisok közül számunkra a Tejútrendszer a legfontosabb, hiszen a Naprendszer is e galaxishoz tartozik. Míg az extragalaxisok megismerését irdatlanul nagy távolságuk nehezíti, a Tejútrendszert azért nem könnyű felmérni, mert nem kívülről vizsgáljuk, hanem a belsejéből. A feladat ahhoz hasonló, mint amikor az erdő kiterjedését, alakját, a benne levő fák és az aljnövényzet összetételét, eloszlását, valamint állatvilágát az erdő belsejében levő valamely rögzített pontból kényszerültünk meghatározni.

Ez a feladat azonban, figyelembe véve, hogy kozmikus környezetünk megismerésére az egész elektromágneses színekép rendelkezésünkre áll, nem olyan reménytelen, mint amilyennek első ránézésre látszik. Az utóbbi évtizedekben a milliméteres és szubmilliméteres hullámhosszakon, valamint a földi légkörön kívülről vizsgálható távoli infravörös, ultraibolya és röntgentartományokon új ablakok nyíltak a Tejútrendszerre, amelyek a hagyományos, optikai megfigyeléseken alapuló kép új részleteit tárták fel, és sok tekintetben megváltoztatták eddigi elképzeléseinket, elsősorban galaxisunk középponti és legkülső vidékeiről.

## *Csillagszámlálás régen és most*

Ha nyári estén felnézünk az égre (nem egy város egére természetesen), rögtön megállapíthatjuk, hogy Tejútrendszerünk a koronggalaxisok közé tartozik. A korong síkjának

vetülete az égbolton a Tejút. A szabad szemmel összefüggő fényszalagot a távcsövek csillagok millióira bontják. A Tejút fénylő sávjában látható sötét területek felhívják figyelmünket a csillagok közötti fényelnyelő anyag, a csillagközi por létezésére is. További fontos alkotóeleme még a Tejútrendszernek a csillagközi gáz, ezt azonban többnyire nem látjuk. Az egyetlen, szabad szemmel is megfigyelhető gázfelhő az Orion-köd, amelyben a benne keletkezett forró csillagok sugárzása által gerjesztett hidrogéngáz világít. Távcsövel sok hasonló fénylő gázfelhőt fedezhetünk fel a Tejút sávjában, sőt az extragalaxisok spirálkarjaiban is. A legnagyobb tömegű, forró csillagok születésének e látványos nyomjelzői nagy fényességük miatt igen távoli tartományok feltérképezését teszik lehetővé. A hideg csillagközi gáz azonban csak rádióhullámokon sugároz.

A Tejútrendszer szerkezetének megismerése a csillagszámlálásokon és a számlálás eredményeinek statisztikus kiértékelésén alapul. Ha egyszerűen csak megszámloljuk a csillagokat az égbolt különböző irányjaiban (ezt tette William Herschel a 18. században), már kapunk egy nagyon kezdetleges képet a Napunkat is magában foglaló csillagrendszer szerkezetéről. Ezt a képet az elmúlt évszázad során a megszámlolt csillagok színeképtípusainak, színeinek, mozgásának és kémiai összetételének meghatározásával, valamint e méréseknek mind halványabb

csillagokra való kiterjesztésével folyamatosan finomították. A 20. század utolsó évtizedében különösen nagy mennyiségű adattal járult hozzá galaxisunk pontos feltérképezéséhez a Hipparcos asztrometriai műhold.

A Tejútrendszer korongjában a csillagközi por erősen korlátozza az optikai megfigyelések hatótávolságát. A korong egyes részei teljesen átlátszatlannak. Optikai hullámhosszokon végzett csillagszámlálással ezért csak néhány ezer fényévnnyi sugarú galaktikus környezetünket térképezhetjük fel. Mivel a Naprendszer is a korong belsejében van, a közvetlen környezetünkben található por minden irányban, a magasabb galaktikus szélességek felé is akadályozza a kilátást.

Meg kell jegyezni, hogy némi hasznot is húzhatnak a csillagászok ebből a fényelnyelésből. Ebben a kis térrészben ugyanis nemcsak a csillagok, hanem a csillagközi por térbeli eloszlását is meghatározhatjuk csillagszámlálás segítségével. A csillagközi por nem kevésbé érdekes alkotóeleme kozmikus környezetünknek, mint maguk a csillagok. A por a gázzal együtt kisebb-nagyobb, bonyolult szerkezetű felhőket alkot. Míg a csillagok távolságának mérésére számos módszer van, a csillagközi anyag ezen struktúráinak nincs olyan mérhető tulajdonsága, amelyből távolságukra következtethetnénk. Mivel diffrú, kiterjedt objektumok, nem mérhetjük meg a parallaxisukat. Sem a por infravörös hősugárzása, sem a gázmolekulák rádiósugárzása alapján nem lehet eldönteni, hogy a sugárzás kicsi és közeli, vagy nagyobb, de távolabbi felhőtől származik. A csillagközi felhők távolsága csak a csillagfényvel való különféle kölcsönhatásaik segítségével határozható meg. Az egyik ilyen kölcsönhatás a háttércsillagok fényének elnyelődése a felhőkben. A látóirányba eső, fényelnyelő porréteg módosítja a csillagok látszó fényesség szerinti eloszlását, és mivel a por abszorpcióképessége függ a hullámhossztól, a porréteg mögötti csillagok színét is. Az

előtér- és háttércsillagok egyszerű mérésekkel elkülöníthetők egymástól.

Mivel a csillagközi elnyelés mértéke a hullámhosszal fordított arányban csökken, az infravörös hullámhosszokon végzett csillagszámlálások sokkal nagyobb térfogatok feltérképezését teszik lehetővé, mint az optikai vizsgálatok. Az optikai színek közvetlen szomszédja a közeli infravörös (1-10 mikrométer hullámhosszú) tartomány, amelynek egyes szakaszain a földi légkör átlátszó. Ezek az infravörös ablakokon át mélyen beláthatunk a galaktikus korongba, sőt még a centrális vidékekbe is. Az 1997-2001 között elvégzett 2MASS (2 Micron All Sky Survey) felmérésben kb. 300 millió csillagot detektáltak. Az infravörös felmérés a három legrövidebb hullámhosszú, az 1,25, 1,65 és 2,17 mikrométeres infravörös ablakot használta, és két egyforma, 1,3 m átmérőjű távcsővel készült: egyikkel a déli eget pásztázták (Chiléből), a másikkal az égi egyenlítőtől északra levő égtérületeket (Hawaiiiből). A távcsövek fókuszába szerelt képalkotó detektor 256×256 pixeles CCD-kamera volt, ami ívmásodperces felbontást tett lehetővé. Az észlelhető leghalványabb csillagok fényessége 15–17 magnitúdó volt.

A felmérés során kapott adatokból már készül az égbolt első, valóban digitális atlasza. (A jelenleg használt digitális térképek ugyanis valójában az égboltról készített fotolemezek utólagos digitalizálásával születtek.) 2003 tavaszán közreadták a kb. 300 millió csillag adatait tartalmazó pontforrások katalógust, míg a kiterjedt források katalógusa az egymilliónál több galaxis és egyéb kód jellemzőit tartalmazza. A tudományos eredmények pedig az összesen 24 Tbájt (24 ezer gigabájt) különféle szempontok alapján történő elemzéséből, statisztikus vizsgálatától várhatók. Tulajdonképpen ez is egyfajta csillagszámlálás, csak a nagyságrendje egészen más, mint a két évszázadon át végzett ilyen jellegű kutatásoké.



A közönséges csillagok életük legnagyobb részében látható fényként sugározzák ki energiájuk zömét. Ezért talán meglepően hangzik, hogy a Galaxisunk szerkezetét legrészletesebben leíró matematikai modell az első infravörös műhold, az IRAS által 12 és 25 mikrométeren észlelt pontforrásokon végzett „csillagszámlálások” alapján született. Ezekben a közepes infravörös hullámhosszakon a csillagközi por gyakorlatilag átlátszó. Akadálytalanul átlátunk a Tejútrendszer korongján, és mélyen beláthatunk a centrális régiókba, Galaxisunk „hasába”. Milyen égitesteket térképezhetünk fel ezeken a hullámhosszakon? Gyakorlatilag ugyanolyan csillagokat, mint az optikai hullámhosszakon, de elsősorban minden típus idősebb képviselőit. Életük vége felé, amikor hidrogénkészleteik kimerülőben vannak, a csillagok jelentős tömeget veszítenek: légkörük nagy részét ledobják. A ledobott anyag tágul és hűlő burokként veszi körül a csillagot. A burok anyagában molekulák és porszemcsék keletkeznek, ezért a csillag fényes infravörösforrássá válik. A régóta ismert Mira típusú változócsillagok tartoznak ebbe a populációba, valamint a hozzájuk sok tekintetben hasonló OH/IR csillagok, amelyek nevüket éppen erős infravörös sugárzásukról és a légkörükben keletkező hidroxilmézer-emisszióiról kapták. Az, hogy milyen idős korára jut egy csillag az erős tömegvesztés állapotába, kezdeti tömegétől függ. A csillagoknak ez a mintája tehát egyáltalán nem homogén. Átlagosan fiatalabb és nagyobb tömegű képviselőiket látjuk a korongban, mint a centrális régiókban.

#### *A Tejútrendszer szerkezetének legfontosabb összetevői*

A Tejútrendszer csillagainak teljes számára, a rendszer méreteire és szerkezetére a csillagszámlálás mind tökéletesebb módszerei mellett is csak a mérések matematikai statisztikai kiértékelésével következtethetünk.

A galaxismodellek készítői abból a feltételezésből indulnak ki, hogy a Tejútrendszer különböző forgásszimmetrikus és gömbszimmetrikus alrendszerek alkotják, és az alrendszerek nagyléptékű jellemzőit a csillagok környezetünkben megfigyelhető térbeli sűrűségeiből, kinematikai és kémiai tulajdonságaiból, valamint csillagkeletkezési és csillagfejlődési modellekből határozzák meg. Az optikai csillagszámlálások a következő fontosabb alrendszereket fedték fel:

- a.) a kb. 3000 fényév kiterjedésű centrális tartomány,
- b.) Galaxisunk hasa, a centrális tartományt körülvevő, mintegy 10 ezer fényév kiterjedésű térrész,
- c.) a néhány száz fényév vertikális skálamagasságú és mintegy 60 ezer fényév sugarú vékony korong, amely a spirálkarokat és a csillagközi anyagot is tartalmazza,
- d.) a 10 ezer fényév körüli vertikális kiterjedésű, a vékony korongnál öregebb, kisebb fémtartalmú csillagokat tartalmazó vastag korong, és
- e.) a fenti alrendszereket magában foglaló gömbszimmetrikus haló. A haló jellegzetes képződményei a több százezer csillagból álló gömbehalmazok, amelyeket a Tejútrendszer legidősebb csillagai alkotnak.

Galaxisunk csillagtartalma 100-200 milliárd között van. A korongban a csillagok és a csillagközi anyag összösszege 200 milliárd naptömeg lehet. A csillagközi anyag teljes tömege a csillagtömegnek mindössze néhány százaléka. Az alrendszerek szerkezeti, kinematikai és kémiai különbségei a Tejútrendszer fejlődéstörténetét tükrözik. Legöregebb a fémszegény csillagokból álló és csillagközi anyagot nem tartalmazó haló, míg a legfiatalabb csillagok és a csillagkeletkezési régiók a korong középsíkjában keresendők.

A galaxis szerkezet feltérképezése során az alkotóelemek mozgását is vizsgálják, ami azért fontos, mert a térben egybemosódó

alrendszerek kinematikailag elkülönülnek. A Tejútrendszer kialakulási folyamatára és a már létrejött galaxis fejlődésére a különböző korú alrendszerek mozgásából lehet következtetni. De a mozgások mást is elárulnak! Jelek az olyan tömeget is, amely nem látszik, sugárzása nem detektálható, ám a látható anyagra gyakorolt gravitációs hatása folytán mégsem maradhat teljesen rejtve. Így derült ki, hogy az itt felsorolt összetevőkön kívül a Tejútrendszernek van egy láthatatlan része is, amelyről csak gravitációs hatása ad hírt.

A keringési sebesség radiális irányú változásából következtetni lehet az adott sugáron belüli tömegre, illetve a tömeg eloszlására. A csillagok és a csillagközi felhők eloszlása alapján a Kepler-törvény szerint az egyre nagyobb sugarú pályákhoz egyre kisebb keringési sebesség tartozik. A megfigyelések szerint azonban ez nem így van. A Napénál nagyobb galaktocentrikus távolságokban a keringési sebesség a centrumtól való távolságtól függetlenül szinte azonos. Vagy a Newton-féle mozgástörvények nem érvényesek egészen kis gyorsulásuk esetén (amit csak a legutóbbi időben mertek komolyan felvetni), vagy a Tejútrendszer külső régióiban jelentős mennyiségű olyan anyag van, amelynek jelenlétét csak gravitációs hatása árulja el, sugárzása nem. Ez a sötét anyag nemcsak a Tejútrendszer jellegzetessége, hanem a kinematikai vizsgálatok szerint az extragalaxisok összességének 90 %-a ilyen, egyelőre ismeretlen természetű anyag. Sőt, a galaxisalakok dinamikájából megállapítható, hogy a galaxisok közötti térség is hasonló arányban tartalmaz sötét anyagot, amely napjaink kozmológiájának is egyik kulcsfogalma. A sötét haló a Tejútrendszernek az az összetevője, amelynek létezésére csak a rotációs görbe alakjából lehet következtetni.

### *A centrális régió*

Míg a legtávolabbi extragalaxisokból alig látunk mást, mint fényes centrális tartományai-

kat, a Nap tejútrendszerbeli helyzete miatt nagyon nehéz tanulmányozni saját galaxisunk központi vidékét, mert abban az irányban a 25 magnitúdót is eléri a fősíkban eloszló csillagközi anyag által okozott optikai elnyelés. Pedig nem is pontosan a fősíkban, hanem száz fényévvvel afelett vagyunk. Késői utódaink majd kedvezőbb helyzetben lesznek, mert a Napnak a fősíkra merőleges sebességkomponense 7 km/s, s ennek hatására kilencmillió évenként újabb száz fényévvvel kerülünk távolabb a Tejútrendszer fősíkjától. Noha előbb-utóbb szabadabban rá lehet majd látni galaxisunk centrumára, a legbelső rész akkor is rejtve marad a szem elől.

A Tejútrendszernek a Nyilas csillagkép irányában levő centrális vidékét ezért a csillagközi anyagban áthatolás közben kevésbé gyengülő sugárzás vizsgálatával igyekeznek feltárni. A tényleges centrumot a Sagittarius A\* kompakt rádióforrás jelöli ki, amelynek a nevében a csillag arra utal, hogy a sugárzás forrása szinte pontszerű. Interferométerként összekapcsolt rádiótávcsövekkel 0,002 ívmásodpercnél kisebbnek mérték a centrális forrás szögátmérőjét, ami 25 ezer fényév távolságból – ennyire van a Nap a Galaktika centrumától – csupán két fényóra kiterjedésnek felel meg. Abból, hogy ez a csillagszerű forrás teljesen mozdulatlan marad, nem kering, az következik, hogy maga az SgrA\* a Tejútrendszer dinamikai centruma, amely körül az egész Galaxis forog (vagy az egyes alkotóelemek szempontjából: amely körül keringenek a csillagok és a csillagokká össze nem állt anyag).

A centrum környékét előbb infravörös és rádióhullámhosszakon vizsgálták részletesen. Kiderült, hogy a centrumtól nagyjából tíz fényévre egy néhány fényév sugarú gyűrűben alacsony hőmérsékletű, főleg molekuláris gáz és por található, míg a gyűrű belső pereme és a centrum között nagyon kevés a csillagközi anyag. A gyűrűt alkotó felhők keringési sebességét a különféle molekulák

színképvonalainak Doppler-eltolódásából mérve megállapították, hogyan nő a keringési idő a centrumtól távolodva. A keringés sugárfüggéséből pedig Kepler 3. törvénye alapján egyszerűen kiszámítható a vizsgált rádiuszon belüli tömeg értéke. Nagyobb sugarak felé haladva a keringési sebesség csökkenésének üteme esetünkben arra utal, hogy hatmillió naptömegnyi anyag található a centrumtól a molekuláris gyűrűig terjedő térségben.

Infravörös hullámhosszakon viszont már a centrumhoz közeli irányokban is ki lehet mutatni a csillagokat, s azok száma illetve eloszlása alapján a gyűrűtől befelé hárommillió naptömegnyi a csillagokká összeállt anyag. A maradék hárommillió naptömegnyi anyag akkor csakis a centrumban (SgrA\*) zsúfolódhat össze. Ennyi anyag olyan kis térfogatban kizárólag fekete lyukként képzelhető el. Extragalaxisok centrumában egyre-másra fedezik fel a rendkívül nagy tömegű fekete lyukakat, különösen amióta a röntgentávcsövekkel részletesen is lehet vizsgálni a galaxisok centrális vidékét. A milliő-milliárd naptömegű központi fekete lyukak okozzák bizonyos galaxisok magjának aktivítását (lásd Frey Sándor cikkét).

A tejútrendszerbeli fekete lyuk mindenestre csendes, legalábbis most. S hogy tényleg fekete lyuk bújjik meg a centrumban, arra további megfigyelési bizonyítékok is vannak. A VLT egyik 8 m átmérőjű távcsövére szerelt infravörös-kamerával még a centrumhoz egészen közeli, a vonzási központtól mindössze tizenhét fényóra levő csillagokat is ki tudták mutatni. Ezek már olyan gyorsan keringenek a centrum körül, hogy mozgásukat hónapok-évek alatt sikertült észlelni. A pálya méretéből és a pálya menti sebességéből 2002-ben 2 millió naptömeget kaptak a központi fekete lyuk tömegének alsó határára. További bizonyíték a Chandra röntgenobszervatórium által először 2001-ben észlelt röntgenkitörés, amelynek során az

SgrA\* röntgenfényessége néhány perc alatt sokszorosára nőtt, majd órák alatt visszaállt a nyugalmi röntgenintenzitás. A jelenséget a fekete lyukba hulló anyag okozta, amikor a bezuhanás közben többmillió fokosra hevült.

A centrum környezetének röntgensugárzásából arra következtetnek, hogy a fekete lyuk nem is olyan régen – néhány ezer-tízezer évvel ezelőtt – nagyobb mennyiségű anyagot szippantott be, s az akkor felszabadult röntgensugárzás hatása most a centrum környéki felhők több tízmillió fokos hőmérsékletnek megfelelő fluoreszcens röntgensugárzásaként érzékelhető.

Hogy mennyire különbözik a Tejútrendszer centrumának környezete a galaktikus korong átlagos helyeitől – akár a Nap tágabb környezetétől –, arra további érdekes újdonságok utalnak. A Hubble-űrtávcső infravörös-kamerájával 1999-ben két szokatlanul nagy tömegű nyílthalmazt fedeztek fel. A centrumtól nem egészen száz fényév távolságra levő két csillaghalmaz közül az egyik csupán kétmillió éves, a másik ennél kétszer idősebb csillagokból áll. A fiatal kor nem meglepetés, hiszen a folyamatos csillagkeletkezésre számos más bizonyíték is van. Ez a két fiatal halmaz azonban normális kiterjedés ellenére legalább tízszer nagyobb tömegű, mint a velük azonos korú, de a galaxis más vidékein levő csillaghalmazok. Ennek megfelelően a csillagok nagyon szorosan zsúfolódnak egymás mellett, de a legfeltűnőbb az, hogy különösen sok köztük az egészen nagy tömegű csillag. A Tejútrendszerben másutt ritka az ilyen csillag, e két halmazban pedig legalább tíz csillag tömege haladja meg a száz naptömeget, köztük a Pisztolý-ködöt gerjesztő csillagé, amely a jelenleg ismert legnagyobb tömegű csillag.

#### *A Tejútrendszer kiállója*

Más meglepetés is érte a csillagászokat galaxisunk magjának részletes vizsgálatokor. A Tejútrendszert eddig közönséges spirálgala-



xisként írták le abban az osztályozási rendszerben, amelyben a további típusok a küllős spirális, az elliptikus és a szabálytalan alakú galaxisok. Az 1990-es években aztán sorra gyűltek a bizonyítékok, és ma már kétségtelen, hogy a Tejútrendszer küllős spirális, bár a mi küllőnk nem annyira kifejezett, keskeny, mint a következő cikkben mutatott küllős spirálisoké. Számos független megfigyelés támasztja alá azt, hogy galaxisunk hasa elnyúlt. Az infravörösben végzett észlelések például a centrumtól keletre levő részek felől erősebb emissziót mutattak ki, mint amekkorát a centrumtól ugyanakkora szögtávolságra nyugat felől mértek, ami arra utal, hogy a galaxis centrumát átszelő küllő keleti vége a hozzánk közelebbi, míg az átelles, nyugati vége a centrum mögött helyezkedik el. A Tejútrendszer központi vidékei irányában gravitációs mikrolencsákat kereső nagyszabású fotometriai programok (MACHO, OGLE) méréseiből pedig a centrumtól keletre levő területeken több mikrolencse eredetű félfényesedést találtak, mint az átelles oldalon, ami szintén azzal magyarázható, hogy a küllő keleti fele a hozzánk közelebbi. Azonos tulajdonságú csillagok, nevezetesen Mira típusú változócsillagok eloszlását vizsgálva csillagszámlálással is megerősítették a küllő létét. A legidősebb csillagpopulációhoz tartozó (tízmilliárd évnél idősebb) RR Lyrae típusú változócsillagok viszont körszimmetrikusan oszlanak el a centrum körül, amiből az következik, hogy a küllő nem a legidősebb csillagokkal együtt, hanem később alakult ki.

A Tejútrendszer centrumát keresztülszelő küllő becslött hossza 15 ezer fényév, szélessége pedig ennek a fele-harmada. A többi küllős spirálshoz hasonlóan a Tejútrendszer spirálkarjai is a küllő végén erednek, és annak hossz tengelyére merőlegesen indulnak. De míg a küllőt mindvégig ugyanazok az égitestek alkotják, a spirálkarok a korongon áthaladó sűrűség hullám megnyilvánulásai, vagyis folyamatosan cserélődnek

a belekerülő alkotóelemek. A spirálkarokat úgy kell elképzelni, mint egy galaktikus méretű forgalmi dugót, amelybe kerülve a csillagok és a csillagközi felhők a keringés közben átmenetileg feltorlódnak, a dugó előtt és mögött viszont lazábban helyezkedik el minden. A Tejútrendszerrel kapcsolatos legfontosabb megválaszolendő kérdések közé tartozik, hogy mitől alakult ki a küllő, és mi indította el a sűrűség hullámot.

### *A korong*

A Tejútrendszer korongjában a centrumtól távolabb a hétköznapi kozmikus élet zajlik, persze nem napos, hanem hosszabb időskálán: az égitestek fejlődnek és kölcsönhatnak egymással. A csillagkeletkezés és -fejlődés folyamatát, az egyedi csillagok jellemzőit, a végállapotú égitestek közül pedig a fehér törpe és a neutroncsillag állapot tulajdonságait egyre jobban ismerjük (a fekete lyukakét a megfigyelés lehetőségének hiányában csak az elmélet szintjén).

A csillagok és a csillagközi felhők állandó kölcsönhatásai, elsősorban egymásba való átalakulásuk folyamatos változtatják a galaktikus korong arculatát. A csillagok sugárzási tere és a csillagközi térbe visszajuttatott anyaga alakítja a csillagközi felhők szerkezetét és kémiai összetételét. A galaktikus korong térfogatának legnagyobb részét forró, ritka gáz tölti ki, amelynek fizikai állapota leginkább a napkoronához hasonlít. Ezt a gázt a forró csillagok szele és a szupernóva-robbanások folyamatosan újratermelik. A forró csillagközi gáz létezését sokszorosán ionizált gázatomok mutatják, amelyeknek jellegzetes színképvonalait a háttércsillagok ibolyántúli színképében az első ultraibolya-csillagászati műholddal (Copernicus) fedezték fel. Ebben a híg, forró gázban mozognak a hidegebb és sűrűbb csillagközi felhők.

A csillagok a hideg csillagközi felhők leg-sűrűbb részeiben, gravitációs összehúzódással jönnek létre. A csillagkeletkezés folyamata

során a  $10^{-23}$  gcm<sup>-3</sup> sűrűségű, 10-50 K hőmérsékletű csillagközi gáz 1gcm<sup>-3</sup> átlagsűrűségű, mintegy 15 millió K centrális hőmérsékletű csillaggá alakul. E hatalmas sűrűség- és hőmérséklet-változás elméleti és megfigyelési követése az elmúlt évtizedek egyik legsikeresebb asztrofizikai területe. A csillagkeletkezési kutatások magukban foglalják a gravitációs instabilitás kezdőfeltételeinek kialakulását a hideg csillagközi anyagban, a kollapszus magneto-hidrodinamikai leírását, az eredményeként létrejövő csillagok fejlődését egészen a termonukleáris reakciók beindulásáig, kölcsönhatásukat a csillagszülő felhő visszamaradt anyagával és a kollapszus során felgyorsult forgás következtében létrejött egyenlítői, protoplanetáris koronggal. A Napunkhoz hasonló kis tömegű csillagok gyakran keletkeznek egyesével, kis felhőkből, szemben a nagy tömegű csillagokkal, amelyek többnyire többedmagokkal, szoros halmazokban születnek.

A csillagelőtti felhők zömmel molekuláris hidrogénből állnak. Tömegüknek nagyjából egy százalékát grafit- és szilikátszemcséket tartalmazó finom por alkotja. A porszemcsék átlagos mérete néhány tized mikrométer. A felhő legfontosabb összetevője, a hidrogénmolekula, nem bocsát ki a Föld felszínéről észlelhető sugárzást, ezért egyéb, nyomjelző molekulákat használnak a csillagelőtti felhők vizsgálatára. Fontos nyomjelzők a különböző szénmonoxid-izotópok, amelyek 2,6 mm körüli rotációs átmenete rádiótávcsővel észlelhető. A Tejútrendszer szénmonoxid-térképei nagyon szépen kirajzolják galaxisunk szimmetriáit. A legnagyobb csillagközi molekulafelhők tömege eléri a  $10^5$ - $10^6$  naptömeget. Ezek az óriás molekulafelhők, amelyek a gömbhalmazokkal együtt Tejútrendszerünk legnagyobb tömegű objektumai, a centrális régióban és a spirálkarokban fordulnak elő leginkább.

A rádiómegfigyelések azt is megmutatták, hogy a molekulafelhők ritkább és sűrűbb

tartományokból épülnek fel, méghozzá úgy, hogy bármilyen szögfelbontással vizsgálva ugyanazt a szerkezetet látjuk: a nagyobb felhőben kisebb felhőket, a kisebbekben még kisebbeket. Az egymásba skatulyázott, önhasználó elemekből felépülő felhők egyik legérdekesebb megfigyelt tulajdonsága az, hogy méretük és kinetikusenergia-tartalmuk között szoros kapcsolat van: minél nagyobb egy felhő, annál nagyobb sebességű belső mozgások figyelhetők meg benne. Ez a Larson-féle reláció arra mutat rá, hogy a csillagközi anyag turbulens mozgásban van. Ez az örvénylő mozgás megakadályozza, hogy a felhők saját gravitációs terükben összeomljanak. A gravitáció ott érvényesülhet, ahol a turbulens sebességek elég kicsik: a felhők legkisebb, legsűrűbb térfogatrészeiben. Ezek a tartományok, a sűrű felhőmagok a csillagkeletkezés színhelyei.

Egy-egy csillagközi molekulafelhő nagyon sok sűrű magot tartalmazhat. Ezzel együtt a magok a felhők teljes tömegének csak néhány százalékát teszik ki. Ezért a csillagközi gáznak csak nagyon kis része alakul csillagokká. A gáztömegek zöme túlságosan ritka és meleg ahhoz, hogy gravitációsan instabillá váljék. A csillagkeletkezés feltételeinek létrehozásában, azaz a sűrű magok kialakulásában azonban nagyon fontos a kisebb sűrűségű felhőtömegek szerepe. Egyrészt megvédik a felhők belsejét a környező csillagok sugárzásától, ezáltal lehetővé teszik a hideg, molekuláris tartományok kialakulását és megmaradását, másrészt a sűrű tartományok éppen a nagy gáztömegek szupersonikus turbulens mozgása által keltett lökéshullámok következtében alakulnak ki.

A Naphoz hasonló, kis tömegű csillagok születését csak közvetlen galaktikus környezetünkben, 1000-1500 fényéven belül figyelhetjük meg. A születő csillagok nemcsak halványak, hidegek, hanem mélyen a fényelnyelő felhők belsejében alakulnak ki. A Nap típusú csillagok létrehozásához

viszonylag kevés anyagra van szükség: akár száz naptömegnyi vagy még kisebb felhő is elegendő. Noha galaxisunk tömegének legnagyobb része éppen a Nap típusú csillagokban van, ezek a csillagok valószínűleg nem ilyen kis felhőkben születtek, hanem a már említett óriás molekulafelhőkben, amelyek sokkal több alapanyagot tartalmaznak, és abból sokkal nagyobb hatásokkal hoznak létre csillagokat – kicsiket és nagyokat –, mint a kis felhők. A Tejútrendszerben a molekuláris gáz zöme az óriás molekulafelhőkben van, és valószínűleg a korong csillagainak legnagyobb része ilyen felhőkben keletkezett.

Az óriás molekulafelhőkben keletkező népes csillagcsoportokban a Napénál jóval nagyobb tömegű csillagok is születnek, bár számuk lényegesen kisebb, mint kisebb rokonaiké. A Napnál legalább tízszer–hússzor nagyobb tömegű csillagok születése már alaposan megváltoztatja a környezetét. A megmaradt felhő anyagát e nagy tömegű, forró csillagok sugárzása ionizálja, a csillagok elhagyó részecskeáram (csillagszél) pedig szétfújja a felhő maradék anyagát. A legnagyobb tömegű csillagok néhány millió év után szupernóvává válnak. A robbanás tovább növeli a csillagszél által fújt buborékot, és tovább fűti a benne levő gázt. Az egymás után felrobbanó csillagok mind jobban melegítik a buborékot, amelynek hőmérséklete végül meghaladja a millió kelvint. A buborék külső rétege beleszánt a környezetébe, és vastag, táguló gömbhéjba söpri ki az útjába kerülő csillagközi anyagot. Így alakulnak ki a szuperbuborékok, amelyek jelenléte a semleges hidrogén 21 cm-es rádiósugárzása alapján mutatható ki. A tágulás során a szuperbuboréknak a galaktikus fősíktól távolodó részei egyre csökkenő nyomású helyre érkeznek, tehát gyorsabban tágulnak a szimmetriasíkra merőleges irányba, azaz a haló felé. Végül a szuperbuborék szétszakad, és belsejéből a forró gáz a galaktikus halóba ömlik. Az 1990-es évek elején sikertült

kimutatni a szuperbuborékok felszakadt maradványait az infravörös és rádiósugárzás erősségét ábrázoló térképeken. Az óriás csillagközi buborékok mérete akár ezer fényév is lehet. A buborék falában, amelyet a kisöpört gáz és az útjába kerülő kisebb-nagyobb felhők alkotnak, csillagkeletkezésre alkalmas körülmények alakulhatnak ki. A nagy tömegű csillagok keletkezése nyomán tehát néhány millió-tízmillió év alatt alaposan átrendeződik és nehéz elemekben feldúsul a több száz fényéven belüli csillagközi anyag, és a csillagkeletkezés a korong széles tartományaira terjed tovább.

Hogy mi történik később a csillagokkal, az elsősorban kezdeti tömegüktől függ. A Nap típusú csillagok magjában a hidrogén olyan lassan alakul át héliummá, hogy a fősorozati állapot akár tízmilliárd évig is eltarthat. Fejlődésük késői szakaszaiban, óriáscsillagokká válva ezek a csillagok jelentős tömeget vesztenek. Az óriáscsillagok szele, a planetáris ködök születésekor és nóvakitörések alkalmával ledobott csillagléggörök a csillag működése során létrejött kémiai elemekkel – szénnel, oxigénnel, nitrogénnel, szilíciummal – dúsítják a csillagközi anyagot. A nagy tömegű csillagok sokkal magasabb hőmérsékletű centruma hamar felélik a legelső hidrogénkészletét. Fejlődésük végén ezek a csillagok szupernóvává válnak. Szilíciumnál nehezebb elemekkel az életük végén szupernóvaként felrobbanó csillagok dúsítják fel a környezetükben levő gázt. A táguló és hűlő csillagléggörök új összetételű csillagközi gáz és por forrásai. A galaxisok keletkezésekor nehéz elemek híján nem létezett por: a csillagközi anyagnak ez az összetevője teljes egészében a csillagfejlődés terméke.

A korong anyagának folyamatos körforgása során lassan fogy a csillagközi anyag, és szaporodik a kihűlt csillagokba zárt, a körforgásba vissza nem kerülő tömeg. Becslések szerint évente néhány naptömeggel csökken a gáz mennyisége Galaxisunk korongjában.

Napjainkra a csillagtömegetől függő csillagfejlődést sikerült alapvetően tisztázni, részben a csillagok belsejében zajló fizikai folyamatokra vonatkozó számításokkal, részben pedig különféle megfigyelési tényekkel. A csillagfejlődés leggyorsabb epizódjai nemegyszer hétköznapi időskálán is megfigyelhetők. Ilyenek például a fuorok a csillagkeletkezés végső fázisánál, vagy a fősorozati időszakot követő vörös óriás állapotban bekövetkező gyors változások az újabb magfúziós folyamatok beindulásakor.

A csillagok fejlődésének és szerkezetének megértésében különösen fontos a változócsillagok vizsgálata. Ezek fényességének és más megfigyelhető tulajdonságainak időbeli változását nyomon követhetően lehet igazolni a csillagfejlődési modellek helyességét. A Naphoz hasonló magányos csillagokénál sokkal bonyolultabb az egymással egész életük során kölcsönható kettős és többszörös csillagok fejlődése.

#### *A Tejútrendszer peremvidékei*

A Tejútrendszer peremvidékeinek vizsgálata azt bizonyítja, hogy galaxisunk szoros gravitációs kölcsönhatásban van szomszédával. A közeli galaxisok okozta gravitációs zavar igen gyakori, mivel a galaxisok többnyire csoportosan fordulnak elő, és a halmazokban, illetve kisebb létszámú csoportokban a szomszédok közötti távolság összemérhető maguknak a galaxisoknak a méretével. A Tejútrendszer esetében is több megfigyelés utal ilyen árapályerők működésére. Egy korábbi kölcsönhatás nyomaként galaxisunk fősíkja valójában nem egészen sík, hanem az egyik irányban kihajlik, mint egy kalap karimája. Ez a Hipparcos asztrometriai mesterséges hold méréseinek elemzéséből derült ki az 1990-es évek végén. Régóta ismert viszont a Magellán-áramlás, amely galaxisszomszédaink, a két Magellán-felhő és a Tejútrendszer között húzóódó 200 ezer fényév hosszúságú, semleges hidrogénből álló ritka felhő.

A Magellán-felhőket említve kerültük, hogy legközelebbi galaxisszomszédainkként hi-  
vatkozzunk rájuk. Az 1994-ben felfedezett Sagittarius szferoidális törpegalaxis ugyanis a Tejútrendszer tőszomszédóságában van. A 2MASS adatait elemezve már az is látszik, hogy a törpegalaxist milyen nyúlványok mentén hagyják el egykori csillagai, hogy végül a törpegalaxisból a Tejútrendszer egyik gömbhalmaza legyen, az árapálynyúlványok pedig a haló csillagtartalmát táplálják. Mégsem ez a hozzánk legközelebbi galaxis. 2003-ban a 2MASS adataiból mutatták ki a Canis Major törpegalaxist, amely mindössze 42 ezer fényévre van a Tejútrendszer centrumától, nem a fősíkban, hanem már szinte a galaktikus halóban. Az infravöröstérképeken jól látszik, hogy folyamatosan elveszticsillagait, amelyek a Tejútrendszer lakóivá válnak. Lehet, hogy a tejútrendszerbeli gömbhalmazok némelyike befogott törpegalaxis, amelynek sikerült egyben maradvá átvészelnie a galaktikus kannibalizmust. Az is lehet, hogy maga a galaktikus haló kisebb galaxisok vagy galaxistörödékek folyamatos bekebelezésének eredménye.

Bár a Tejútrendszer látható anyagának többsége a korongban koncentrálódik, a fősíktól távolabbi térség is érdekes jelenségek színhelye. Noha korábban azt állítottuk, hogy a csillagközi anyag a galaktikus korong szer-  
ves része, vannak hidrogénfelhők a halóban is. Ezek a felhők nagy sebességükkel tűnnek fel: kinematikailag erősen különböznek a korong felhőitől. Hogyan kerülhetnek gázfelhők a halóba, ahol már régen befejeződött a csillagkeletkezés? Úgy látszik, erre kétféle lehetőség is van, ezt mutatja a nagy sebességű felhők két, különböző fémtartalmú típusa. A nagyobb fémtartalmú felhők a korongból, szuperbuborékokból szállnak fel, míg a fémszegények az intergalaktikus térből hullnak be a Tejútrendszerbe.

A haló nagy sebességű hidrogénfelhőinek vizsgálata során fedezték fel az ezred-

forduló előtt a galaktikus koronát. A Tejútrendszerek ez az alrendszere olyan nagy kiterjedésű, hogy a Magellán-felhőkig is elér. De hogyan találtak rá a koronára? A négyszeresen ionizált oxigénatom 103,2 és 103,8 nm-es (az ibolyántúli tartományba eső) vonalait vizsgálták, amelyek akkor alakulnak ki, ha az oxigénatom ütközéssel gerjesztődik. A szuperbuborékokból a halóba és onnan esetleg tovább kerülő fotonok energiája nem elég a gerjesztéshez, ennyi elektron csak ütközéssel szabadulhat ki az oxigénből. A megfigyelésekből az is következik, hogy

a koronában a hőmérséklet meghaladja a millió kelvint, s mivel az ennek megfelelő diffúz röntgensugárzás nem észlelhető, a korona anyagának sűrűsége nem érheti el a 0,0001 részecske/cm<sup>3</sup> értéket. A koronát a galaxiskeletkezéskor megmaradt anyag alkothatja.

A Tejútrendszer felfedezése még most is tart, csak e rövid áttekintésnek van vége.

---

Kulcsszavak: *Tejútrendszer, csillag, csillagközi anyag, molekulafelhő, csillagkeletkezés, csillagfejlődés*



## EXTRAGALAKTIKUS CSILLAGÁSZAT

Frey Sándor

vezető tanácsos, PhD, Földmérési és Távérzékelési Intézet  
Kozmikus Geodéziai Observatóriuma – frey@sgo.fomi.hu

Napjainkban az általános műveltség része, hogy tudjuk: a csillagrendszer, amelyben a Nap és a körülötte keringő bolygók elhelyezkednek, csak egy a szinte megszámlálhatatlanul sok galaxis közül. A mai csillagászok a Tejútrendszer határain túl tízmilliárd fényévnél is távolabb „látanak”. De mióta vagyunk biztosak abban, hogy van egyáltalán valami a saját galaxisunkon kívül? Nem is túlságosan régen, hiszen addigra már megszületett a motoros repülés, a relativitáselmélet, a kvantumelmélet, az űrhajózás elve, az első magyarországi villamosított vasúti pályaszakas és egy sor más, manapság már szinte „régmúltnak” tetsző tudományos és technikai felfedezés, amelyek mind hétköznapijaink részévé váltak. Karinthy Frigyes egy 1933-ban készített riportjában lelkesen ír a „nemrég kitárgult” világegyetemről: „... ha ennyi se elég, parancsolj, amott egy ködfolt a Tejúton túl – a képe százhuszmillió évet utazott másodpercenként háromszázezer kilométeres sebességgel, mielőtt most megérdemelt pihenőt talált a fotografuslemezen.”<sup>1</sup>

Az ehhez vezető döntő fontosságú csillagászati felfedezések az 1920-as évek elején történtek, és elsősorban Edwin Hubble nevéhez fűződnek (Szabados, 2003). Korábban, a 18. és 19. században a távcsövekkel kivehető „ködök” természetéről különféle nézetek terjedtek el. Voltak olyanok is, mint Immanuel Kant, akik – inkább filozófiai

alapon – meg voltak győződve arról, hogy ezek az univerzum távoli szigetei, a saját Tejútrendszerünkhöz hasonló képződmények. A 19. század végére a fotografiai megfigyelések nyomán kiderült, hogy a ködök jó része spirális alakú. A századfordulón többé-kevésbé elfogadott elképzelés szerint a ködök saját csillagrendszerünkhöz tartoznak, és bár minden bizonnyal léteznek távolabbi galaxisok, azokat nem figyelhetjük meg. Meg kell jegyeznünk, hogy ebben az időben magáról a Tejútrendszerrel sem alakult még ki a ma elfogadott kép. William Herschel a 18. század második felében csillagszámlálásaiból elsőként állapította meg, hogy a rendszer lapult. A részletesebb statisztika szintén a csillagászati fotográfia elterjedtével vált lehetővé. Jacobus Kapteyn és társai munkája nyomán nyílt csak meg a lehetőség, hogy a Tejútrendszer méreteiről, benne a Nap elhelyezkedéséről meginduljon a tudományos vita.

A korabeli csillagászati közvéleményt foglalkoztató két fontos kérdést, a Tejútrendszer szerkezetét és a spirális ködök mibenlétét érintette Harlow Shapley és Heber Curtis 1920-as vitája.<sup>2</sup>A vita lényege röviden összefoglalva: Curtis szerint a világegyetem sok spirális galaxisból áll, míg Shapley szerint a spirális ködök hozzánk közel helyezkednek el, az egész világegyetemet alkotó egyetlen galaxis részeként. Curtis a Napot a – viszonylag kis méretűnek hitt – Tejútrendszer közepére helyezte, míg Shapley elképzelése sze-

<sup>1</sup> Karinthy Frigyes: Vigyázat, robbanunk! – (riport, *Az Est*, 1933. aug. 5. – Szavak pergőtűzében Szépirodalmi Könyvkiadó, Budapest, 1984)

<sup>2</sup> A vitáról lásd még Patkós András cikkét ebben a számban.

rint a Nap a középponttól távol helyezkedik el, s a galaxis mérete is nagyobb, mintegy 300 ezer fényév. A Curtis-Shapley-vita részbeni feloldását Hubble mérései jelentették 1923-24 folyamán. Az Androméda-ködben észlelt cefeida típusú változócsillagok periódus-fényesség-összefüggése alapján olyan távolság adódott (900 ezer fényév), amely még Shapley adatainál is jóval nagyobb volt. Így az Androméda-köd egyértelműen a Tejútrendszeren kívülre került.<sup>3</sup> Később (az 1930-as években) a csillagközi fényelnyelés és a gömbhalmazok eloszlásának jobb megértése nyilvánvalóvá tette, hogy Curtis jócskán alábecsülte a Tejútrendszer méreteit, és a Nap sem a középpont közelében helyezkedik el. Így a nagy tudományos vitákban gyakori végeredmény született: egyik félnek sem lett teljesen igaza. . . Hubble munkássága nyomán megszületett az extragalaktikus csillagászat. Az extragalaxisok távolsága és a színképvonalak vöröseltolódásából számított távolodási sebessége összefüggésének 1929-es felfedezése (a Hubble-törvény) nyomán pedig – az extragalaktikus csillagászattal szoros összefüggésben – elindult a mai értelemben vett kozmológia tudománya is (Patkós, 2004).

### *Méreték és távolságok*

Mielőtt felvázoljuk az extragalaktikus csillagászat elmúlt nyolcvan évének további mérföldköveit, érdemes egy kicsit elmélyednünk a – sokszor valóban „csillagászati” nagyságú – számok világában. Egyrészt azért, hogy megérezzük: milyen aprócska helyet foglalunk el mi magunk a világmindenségben, másrészt hogy elcsodálkozzunk azon: a mai csillagászati megfigyelésekkel a térben és időben mennyire távolról tudunk információkat gyűjteni, s hogy ezeknek az adatoknak az értelmezése, rendszerezése mekkora erőfeszítést igényel. Mindez azt is sejteti, hogy a tudomány e te-

<sup>3</sup> Az Androméda-köd (M31) ma elfogadott távolsága 2,4 millió fényév.

rületén kevés a lezárt fejezet. Amiről később szólunk, az „csupán” a jelenlegi legjobb tudásunkat tükrözi.

Egy átlagos csillag átmérője a néhány millió kilométer nagyságrendjébe esik (a Napé közel 1,4 millió km). A Nap tömege  $10^{30}$  kg – ennél egy-egy nagyságrenddel kisebbek és nagyobbak is előfordulnak. A csillagok egymástól mért távolsága a galaxisokon belül – ahol pedig nagy „sűrűségben” fordulnak elő – jellemzően tíz-százmilliószor nagyobb, mint az átmérőjük, így azután meglehetősen ritkán töltik ki a teret. Egy közepesen megtermett galaxisban mintegy százmilliárd csillag van, valamint csillagközi gáz és por is.

A galaxisok méretének kifejezésére a kilométer már nem kényelmes mennyiség. A csillagászatban alkalmazott távolságegység a parszek<sup>4</sup> (pc). A tipikus galaxisátmérők 10 kpc nagyságúak. Természetesen léteznek ennél kisebbek és nagyobbak is, sőt az sem teljesen egyértelmű, hogy hol húzzuk meg egy-egy galaxis határát. A galaxisok érdekes módon sokkal szorosabban töltik ki a teret, mint a csillagok: a két szomszédos csillagsziget közti „üres” térbe átlagosan mintegy 10-100 másik férme be. A galaxisok eloszlása sem egyenletes, hiszen csoportokba, galaxishalmazokba és ún. szuperhalmazokba szerveződnek. A galaxisok százai által alkotott halmazok jellemző mérete 1-10 Mpc nagyságrendű. A szuperhalmazok – az univerzum legnagyobb ismert struktúrái – 100 Mpc körüli kiterjedésűek is lehetnek. A ma ismert világegyetemben mintegy 8 Gpc-re látunk el, a benne levő galaxishalmazok számát pedig milliárdnyira becsljük.

Azt a rendkívül izgalmas (és buktatóktól sem mentes) történetet, hogy a csillagászok

<sup>4</sup> 1 parszek (pc) távolságból a közepes Föld-Nap távolság merőleges rálátásnál egy ívmásodperc szög alatt látszik, vagyis *parallaxisa* egy „szekundum”.  $1 \text{ pc} = 3,26 \text{ fényév} = 206 \text{ 265 CsE}$ , közel 31 billió ( $3,1 \cdot 10^{13}$ ) km. Extragalaktikus távolságoknál a parszek elé a kilo, mega, giga SI-előtagok kerülnek, pl.  $1 \text{ Mpc} = 1 \text{ millió pc}$ .

hogyan tudják megmérni ezeket az óriási távolságokat, sajnos itt nem tudjuk részletesen bemutatni. Csak arra szorítkozunk, hogy megemlítsük: a távolságmérés általában a „kályhától” indul el. A rövid távon hatékony módszerek segítségével fokozatosan kalibrálják a nagyobb léptékben is alkalmazhatókat. A mérések nyomán kialakult szakmai közmegegyezés alapján a távoli galaxisok színképvonalainak vöröseltolódása a Hubble-törvény értelmében távolságjelzőként használható.

A fentiek alapján az olvasó számára is nyilvánvaló lehet, hogy – ami a rendelkezésre álló terjedelmet illeti – e szám szerkesztője mennyire mostohán bánt cikkünk témájával! Hiszen minden, ami saját galaxisunk, a Tejútrendszer határain túl található, az extragalaktikus csillagászat hatáskörébe tartozik. Márpedig az univerzumban – persze szigorúan csak az általa elfoglalt térfogat alapján – a Tejútrendszer, pláne a Nap és bolygórendszere nyugodtan elhanyagolható volna...

### *Mérföldkövek*

Az extragalaktikus csillagászat fejlődése nehezen választható el a csillagászati észlelési módszereknek a 20. században történt, addig soha nem látott mértékű fejlődésétől. Itt elsősorban a látható fénytől eltérő hullámhosszú elektromágneses sugárzás megfigyelésére gondolok. Az áttörés az 1930-as évektől, a *rádiócsillagászat* kialakulásával kezdődött, és később, a napjainkban is tartó úrkorszakban teljesedett ki. A magaslégkörü, illetve még inkább a Föld körüli pályára állított észlelőberendezések révén új ablakok nyíltak a távoli világegyetemre, amelyeket addig a Föld légköre „zárva tartott”. Az infravörös, ultraibolya, röntgen- és gammacsillagászat szerepe meghatározó az extragalaktikus kutatásban (is), hiszen segítségükkel olyan asztrofizikai folyamatokat érthetünk meg, amelyek nélkül nehezen tudnánk magyará-

zatot adni a galaxisokban végbemenő folyamatokra. Természetesen mindez párosult az optikai távcsövek és észlelési technikák fejlődésével. Az alábbiakban – a teljesség igénye nélkül – megemlítek néhány olyan felismerést, amelyek alapjaiban meghatározták a világegyetemről alkotott képünket.

Rádiócsillagászok először 1951-ben detektálták a semleges hidrogénatomtól származó 21 centiméteres hullámhosszú sugárzást, amelyet elméletileg már közel egy évtizeddel azelőtt megjósoltak. Mivel saját galaxisunkban is több milliárd naptömegnyi anyag található semleges hidrogén formájában, a felfedezés megnyitotta az utat a Tejútrendszer szerkezetének feltérképezéséhez. A 21 cm-es színképvonal megfigyelése az extragalaxisokban is különös jelentőséggel bír a méret és szerkezet megállapításában. A spirális galaxisok rotációs görbéjének (azaz a forgási sebesség és a középponttól való távolság összefüggésének) vizsgálata szolgáltatott először cáfolhatatlan bizonyítékot az ún. sötét anyag léteire, vagyis hogy a galaxisok tömege lényegesen nagyobb annál, mint amire az elektromágneses sugárzást kibocsátó (és elnyelő) anyag mennyiségéből gondolnánk. A szisztematikus mozgás leválasztása után maradót sebességek kapcsolatba hozhatók a galaxisok abszolút fényességével. Ez a tény a látszó fényesség ismeretében eszközt ad távolságuk meghatározására.

Az 1940-es évek legvégén fedezték fel azokat az erős rádióforrásokat, amelyeket később – az interferométeres technika megjelenése után, a pontos pozíciómeghatározás révén – sikerült a fotolemezeken levő galaxisokkal azonosítani. A rádiógalaxisok általában a halmazok közepén helyezkedő, nagy tömegű elliptikus galaxisokkal esnek egybe. A tartomány, ahonnan a rádiósugárzás érkezik, gyakran több százezer vagy millió parszek távolságba nyúlik túl az optikai galaxis határain – ezek a világegyetem legnagyobb egyedi objektumai (Frey, 1997).



Jó tíz évvel később újabb különös égitesteket, a kvazárokat fedezték fel rádiósugárzásuk alapján (Frey, 2002). A kvazárok a látható fény tartományában csillagszerűnek mutatkoznak. Mint később részletezzük is, a kvazárok valójában aktív galaxismagok, amelyekre a rendkívül kis méret és hatalmas energiakibocsátás jellemző.

Az első, gravitációs-lencse-hatás által megtöbbszörözött képű kvazárt is rádiócsillagászati módszerekkel fedezték fel 1979-ben. Az általános relativitáselmélet által megjósolt módon egy, a látóirányba eső tömegkoncentráció (például galaxis, galaxishalmaz) hatására a háttérben levő galaxisról vagy kvazárról indult elektromágneses sugarak útja eltérül. Az eredmény fényerősödés, a kép torzulása és megtöbbszöröződése lehet. Ma már számos gravitációsan lencsézett objektumot ismerünk, amelyek mind a leképezett égitestek, mind a „lencsék” vizsgálatát lehetővé teszik. (A cikk írásának idején ismert legtávolabbi galaxist is egy ilyen „kozmosz nagyítóval” találták meg.)

A korai világegyetemben végbemenő csillagkeletkezésről az *infravörös* sugárzás árulkodik. A legfényesebb infravörös galaxisok túlnyomó részének sugárzása a fiatal, nagy tömegű csillagok révén, a többieké aktív központi magjuk hatására keletkezik. Ezekben a fejlődésük korai szakaszában levő galaxisokban rengeteg a csillagközi por. Sok esetben ütköző galaxisokról van szó. Az infravörös égi háttér egy részéért is a fiatal galaxisok felelősek. Infravörös sugárzása alapján a galaxisközi por jelenléte is kimutatható (Tóth – Ábrahám, 2000).

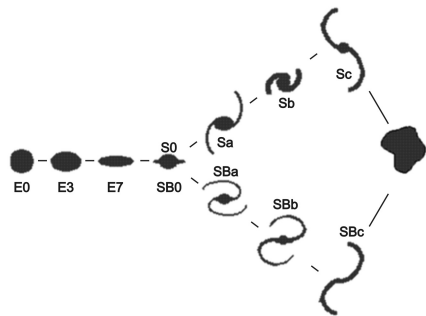
A galaxisok *ultraibolya* hullámhosszú megfigyelésével egyrészt a forró, nagy tömegű csillagok által kibocsátott sugárzást, másrészt az aktív galaxismagokat vizsgálhatjuk. Az előbbi esetben például közeli spirális galaxisokban azonosíthatjuk a csillagkeletkezés helyszíneit, és megbecsülhetjük a fiatal csillagok számát. Az ultraibolya csillagá-

szat alkalmas arra, hogy viszonylag kis energiakibocsátású, de ebben a tartományban fényes, aktív galaxismagokat találjanak. Kiderült, hogy a galaxisok aktivitása hasonló jelenség kis és nagy sugárzási teljesítmény mellett, ami hozzájárul egy egységes kép kialakításához (Szabados, 1997).

A világról érkező nagy energiájú elektromágneses sugárzás vizsgálata, a *röntgen- és gammacsillagászat* napjaink asztrofizikai kutatásainak egyik legfontosabb területe, amelynek eredményeivel – a ma is működő űrobszervatóriumok révén – gyakran találkozzunk a híradásokban is (Szatmáry et al., 2001). Az 1960-as évek vége óta közel két tucat (!), röntgenszállagászati méréseket is végző mesterséges holdat bocsátottak fel. Az extragalaktikus csillagászat szempontjából a röntgen- és gammamegfigyelések legfontosabb célpontjai az aktív galaxismagok, amelyek ma elfogadott modellje jelentős részben az így nyert adatokon alapul.

*Az univerzum szigetei: a galaxisok*

A tudományos vizsgálatok gyakran úgy kezdődnek, hogy a kutatások tárgyait osztályokba sorolják. Az osztályozás általában csak részleges ismereteken alapul, s ahogy a tudásunk gyarapszik, úgy kell az osztályozást



1. ábra • A galaxisok szerkezetének Hubble-féle osztályozása (az ún. „hangvilla-diagram” vázlata). Balra az elliptikus, a felső ágon a spirális, az alsón a küllős spirális galaxisok, jobbra az irreguláris galaxisok szimbólumai láthatók.

is finomítani. Nem történt ez másképp a galaxisok esetén sem. Az első – Hubble nevéhez fűződő – osztályba sorolás az 1920-as évekből származik (1. ábra).

Az általa bevezetett három fő típus (a spirális, elliptikus és szabálytalan galaxisok) mindazonáltal ma is használatos, és e rövid áttekintés céljára elegendő is.

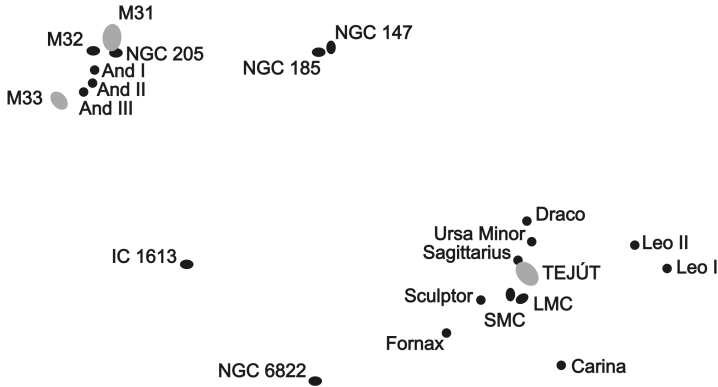
Amikor galaxisra gondolunk, először a spirálisok jutnak eszünkbe – részben látványos megjelenésük miatt, részben azért, mert tudjuk, hogy saját galaxisunk, a Tejútrendszer is ilyen. Számarányukat tekintve ugyanakkor a spirálgalaxisok vannak kisebbségben. Ezek olyan lencse alakú képződmények, amelyekre egy központi „dudor” és egy lapult korong jellemző. Ez utóbbinak az anyaga viszonylag nagy sebességgel kering a középpont körül. A korongban láthatók a spirálkarok, amelyekben gáz, por és zömmel fiatal csillagok találhatóak. A karok valójában a korongban tovaterjedő – nem is túl nagy amplitúdójú – sűrűség hullámok, amelyek nyomán felgyorsul a csillagkeletkezés – innen a látható fényben oly látványos megjelenés. Emellett a spirálgalaxisokhoz tartozik a lassú keringési sebességgel jellemezhető, idős csillagokból álló, gömbszimmetrikus haló. A sötét anyag akár 100-200 kpc távolságig is kiterjed. Mennyisége a becslések szerint a tízszeresét is kiteheti az elektromágneses sugárzása révén észlelhető, a korongban koncentrálódó „világító” anyagnak. A láthatatlan tömegre – mint korábban már utaltunk rá – a galaxisok peremvidékén mért nagy forgási sebességekből lehet következtetni: csupán a fénylő anyag tömegvonzása nem volna elegendő az ilyen gyorsan „forgó” galaxisok összetartására.

Az elliptikus galaxisokból – erősen leegyszerűsítve – hiányzik a spirálgalaxisoknál megismert korong. A különféle mértékben lapult ellipszoid alakú képződményekben kevés a csillagközi anyag és a fiatal, kék óriáscsillag: jellemzően idős csillagok alkotják.

Az elliptikusok között mindenféle méret előfordul. Sok, csupán néhány százezer vagy millió naptömegnyi törpegalaxis létezik, de a legnagyobbak, a galaxis-halmazok közepén elhelyezkedő óriás elliptikus galaxisok akár tízbillió ( $10^{13}$ ) naptömegűek is lehetnek! Meglepő módon a spirálgalaxisokra jellemző egységes forgás nem feltétlenül jellemző az elliptikusokra: a csillagok keringésének nincs kitüntetett iránya. Olyan esetek is ismertek, ahol a középponti vidéken jellemző keringési irány épp ellentétes a galaxis külső részein megfigyelhetővel. Ilyenkor általában korábban lezajlott galaxis-összeolvadásra lehet gyanakodni.

A galaxisok összeolvadási folyamata számos esetben tetten érhető. A legfényesebb infravörös galaxisok például egy-egy spirálgalaxis-pár összeolvadásának végső fázisát jelzik. Az intenzív csillagkeletkezés vastag porréteg takarásában megy végbe, amely az elnyelt sugárzást az infravörös tartományban sugározza tovább. Az egyesülési folyamatban tömegénél fogva fontos gyorsító szerepet játszik a sötét anyag.

Izgalmas kérdés, hogy miért szerveződött az univerzum anyaga ilyen jól elhatárolható sűrűsödésekké, mint a galaxisok. Hogyan alakultak ki az elliptikus és hogyan a spirális galaxisok? Ismereteink szerint ezek nem egyetlen fejlődési út különböző állomásai, egymásba nem alakulnak át (kivételek talán a spirálisok összeolvadása, amelynek során keletkezhet elliptikus galaxis). A megfigyelések alapján nyilvánvaló, hogy az univerzumban térben – és a fény véges terjedési sebessége miatt időben – visszanézve a galaxisok kinézete, fényessége, keletkezési rátája, számsűrűsége változott. A ma ismert legtávolabbi galaxisok vöröseltolódása 7 körüli, ami azt jelenti, hogy az ősrobbanást követő kevesebb mint egymilliárd év során már volt idejük kialakulni. Azoknak a fluktuációknak, amelyekből ezek a csodálatosan látványos anyagszigetek kialakultak, már



2. ábra • A Tejúťrendszer (MW = *Milky Way*) környezete, a Lokális csoport nagyobb galaxisai. A csoportra jellemző méret kb. 1 Mpc.

a világegyetem történetének kezdetekor is jelen kellett lenniük. Mindezek a kérdések újból a kozmológia területére vezetnek át (Patkós, 2004).

Említettük, hogy a galaxisok sem egyenesen töltik ki a teret. A Tejúťrendszer közvetlen környezetében, az ún. Lokális csoportban (2. ábra) saját galaxisunk mellett az Androméda-köd dominál, s nincs egyetlen „igazi” nagy elliptikus sem.

Mindegyiküket jó tucatnyi kisebb-nagyobb kísérőgalaxis veszi körül. A Tejúťrendszer legismertebb kísérői a Nagy és Kis Magellán-felhők, amelyek irreguláris galaxisok. Ezek, illetve a törpe elliptikus galaxisok a legjellemzőbb típusok a környékünkön. A negyvennél is több ismert csoporttag mellé a Tejúť takarásában még napjainkban is fedeznek fel közeli törpegalaxisokat. A Lokális csoporthoz legközelebbi galaxishalmaz a Virgo-halmaz. Távolsága mintegy 15 Mpc, ami az extragalaktikus távolságskála kalibrálása szempontjából is fontos érték.

### *Aktív galaxismagok – az univerzum világitótornyai*

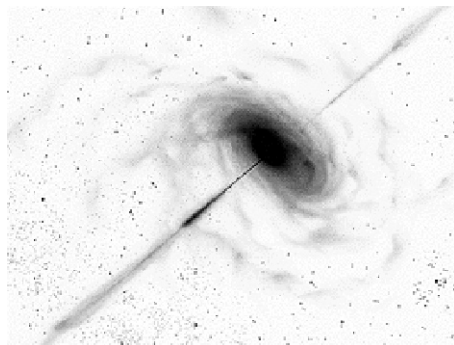
Egy galaxist aktívnak szokás nevezni, ha az általa kisugárzott energia legalább egy hullámhossztartományban a „normálisnál”

nagyobb, vagyis nem csak a csillagokra és a csillagközi gázra jellemző asztrofizikai folyamatokból származik. A legrégebb óta ismert aktív galaxisok a Seyfert-galaxisok (1943). Az ebbe a csoportba tartozó spirálisok közös jellemzője a fényes mag, a sokszorosán ionizált elemekre jellemző, széles emissziós színképvonalak, amelyek jelentős (1000 km/s nagyságrendű) keringési sebességekre utalnak. Korábban már említettük a *rádiógalaxisokat*, amelyek rendszerint nagy méretű elliptikus galaxisokkal esnek egybe, de a rádiósugárzás a galaxisok optikai tartományban látható határán túl jóval nagyobb tartományból érkezik. A szükséges energia utánpótlása a galaxisok központi vidékéről származik, rendkívül keskeny plazmakífúvások (elterjedt angol kifejezéssel *jet*-ek) formájában. Ahol a nagy sebességgel kiáramló plazma a sűrűbb galaxisközi anyaggal ütközik, ott alakulnak ki a rádiógalaxisokra oly jellemző nyalábok. A *kvazárok* (amelyeknek csak kb. tizede erős rádiósugárzó) a nagy érzékenységgű optikai felvételeken mégsem mindig csillagszerűnek látszanak: esetenként halvány, galaxisszerű képződmények közepén helyezkednek el. Így joggal gondoljuk, hogy valójában rendkívül nagy teljesítménnyel sugárzó galaxismagok, amelyek az ese-

tek többségében egyszerűen „túlragyogják” az anyagaxisukat. Az aktív galaxisok közé szokás még sorolni a viharos csillagkeletkezéssel jellemezhető (angol szakkifejezéssel *starburst*) galaxisokat is, amelyek különösen infravörös tartományban feltűnőek. A többi típushoz képest alapvető különbség az aktivitás módja, vagyis hogy a fiatal, nemrég keletkezett csillagok a felelősek érte, s nem a galaxis magjában lejátszódó folyamatok. (A valóságban a megkülönböztetés nem ilyen éles, hiszen egy sor olyan objektumot ismerünk, amelyeknél az intenzív csillagkeletkezés és az aktív mag egyszerre figyelhető meg, sőt egyesek szerint a kétféle aktivitás egy fejlődési folyamat különböző állomásainak felel meg.)

Az aktív galaxismagok legtöbbje esetén a – jellemzően nem-hőmérsékleti eredetű – sugárzás a galaxis legbelső, néhány parszek kiterjedésű vidékéről származik. Több jel mutat arra, hogy az aktív galaxismagok különböző fajtái lényegében hasonló mechanizmus alapján működnek. A ma általánosan elfogadott, a megfigyelések mozaikjaiból és modellszámításokból összeálló kép szerint a galaxis aktivitásáért egy központi, nagy tömegű fekete lyuk<sup>5</sup> a felelős. Számos esetben sikerült közvetlenül – a körülöttük keringő égitestek mozgásának vizsgálatából – meghatározni az ilyen fekete lyukak tömegét. Ez az érték a néhány milliótól a néhány milliárd naptömegig terjed. A kisugárzott hatalmas energia forrása a fekete lyuk környezetében forgó, folyamatosan behulló anyag. A folyamat hatásfoka 10 %, vagyis a befogott anyag nyugalmi tömegének megfelelő energia tizede sugárzódik ki. (Összehasonlításképp: ez lényegesen hatékonyabb, mint a csillagokban folyó termonukleáris reakció.) Ne

<sup>5</sup> A fekete lyuk olyan, gravitációsan összeomlott objektum, amelyet az elektromágneses sugárzás sem hagyhat el. A szupernehéz, egymilliárdnyi naptömeget tartalmazó fekete lyukak jellemző mérete a Naprendszer méretének nagyságrendjébe esik.



3. ábra • Az aktív galaxismagok egyszerű modellje a központi fekete lyukkal, az anyagbefogási koronggal és a szimmetrikus plazmakifúvásokkal.

gondoljunk persze hatalmas mennyiségekre, hisz a megfigyelt teljesítmények eléréséhez évente nagyjából egyetlen csillagtömegének megfelelő „üzemanyag” elegendő.

A központi energiaforrást tápláló anyag egy gyorsan forgó, erősen lapult, ún. akkréciós (anyagbefogási) korongban koncentrálódik. A fekete lyuk felé spirálozó anyag jó része azonban végül nem ott köt ki, hanem a rendszer forgástengelye mentén, a korongra merőlegesen mindkét irányban kidobódik (3. ábra). A főleg rádió-, de optikai és röntgentartományban is jól megfigyelhető anyagkifúvások valójában az erős mágneses térben relativisztikus (a fényét megközelítő) sebességgel mozgó, elektromosan töltött részecskékből (plazmából) állnak. Jellegzetességük a szinkrotronsugárzás. Az anyagkifúvások sokszor csak igen kevésbé széttartó, egyenes nyalábok, amelyek a legnagyobb rádiógalaxisok esetén akár 1 Mpc távolságig is elérhetnek.

A fentiek alapján látható, hogy az aktív galaxismagokat forgásszimmetrikus szerkezet jellemzi. A képhez hozzátartozik még egy kissé messzebb, jellemzően néhány pc távolságban húzódó, a keringési sík körül koncentrálódó porgyűrű (esetleg korong), amely a belülről jövő sugárzást elnyeli. Nyil-

vánvaló tehát, hogy az aktív galaxismagok megjelenése függ attól, hogy milyen irányból látjuk őket. Az eltérő látvány oka egyrészt az irányfüggő (a keringés síkja körmékén legerősebb) elnyelés. Másrészt az éppen felénk irányuló plazmakifúvás sugárzása a relativisztikus nyalábolás jelensége miatt rendkívüli mértékben felerősödik – miközben szimmetrikus párja, a távolodó nyaláb az észlelhetőség határán túl elhalványodik. Megkereshetjük a látóirány különbözősége alapján összetarozó párokat – például az „oldalról” megfigyelhető rádiógalaxisokat vagy a forgástengelyükkel hozzánk közelebb forduló rádiókvazárokat. Az így felvázolt kép erősen leegyszerűsített, és nem ad kielégítő választ egy sor fontos kérdésre, például hogy mi a különbség a rádiósugárzó és „rádiócsendes” kvazárok működési mechanizmusa között. Az orientáción kívül nyilvánvalóan meghatározó fizikai paraméter lehet a központi fekete lyuk perdtülete, vagy az anyagbefogás üteme is. Az aktív galaxismagok többé-kevésbe egységes leírása így még várat magára.

Az aktív galaxisok és galaxismagok száma az összes extragalaxishoz viszonyítva igazán kicsi, talán az 1 %-ot sem éri el. Mégis, nagy fényességük által messziről is észrevehetjük és tanulmányozhatjuk őket, s velük együtt a világegyetem legkülönlegesebb, nagy energiáfelszabadulással járó fizikai folyamatait. Nem utolsósorban, a háttérből átvilágítják a középük és közénk eső galaxisközi anyagot, amely sugárzásuk egy részét elnyeli. Az intergalaktikus térben levő anyagról jószerivel csak ezen az úton juthatunk bármiféle információhoz. A kvazárok színképében megjelenő elnyelési (abszorpciós) vonalak árulkodnak a látóirányba eső gáz kémiai összetételéről, eloszlásáról és fizikai jellemzőiről. A legnevezetesebb ilyen színképvonal a semleges hidrogénatom Lyman a vonala, amely laboratóriumi körülmények között az ultraibolya tartományba esik. A

kozmológiai vöröseltolódás miatt azonban a kellően távoli kvazárok színképében a látható tartományba csúszik. A kvazárok optikai színképében megjelenő éles abszorpciós vonalak (az ún. Lyman a-erdő) ennek a vonalnak a megfelelői, más-más vöröseltolódások mellett. Hiszen a galaxisközi hidrogénfelhők, amelyeken a kvazár fénye keresztülhalad, más-más távolságban vannak tőlünk. A színképvonalak alakja árulkodik a hidrogéngáz sűrűségéről. Természetesen az intergalaktikus anyag sem egyenletesen tölti ki a teret.

A bevezetőben már idézett Karinthy-ripot így zárul: „[A] Tejútrendszer, ez a lencse alakú csillaghalmaz, a maga háromszázmillió (sic!) fényévnyi átmérőjével, mialatt az olvasó reggelijét fogyasztja, húszezer kilométeres sebességgel rohan a legközelebbi, hasonló méretű rendszer felé. De soha nem fogja utolérni, ne tessék félni. Az a ma ismert harmincmillió hasonló rendszer egyre fokozódó sebességgel száguld kifelé, el egymástól (...). Meg tudom érteni csillagász barátomat, aki otthagya a pályát, és este homloka fölé tartott kézzel jár az utcán, hogy ne is lássa őket. Rémes dolog ez. Jobb nem gondolni rá.”

Szerencsére nem is olyan rémes dolog ez! Olyannyira nem, hogy a jelenségek megértése egyike az emberiséget leginkább izgató kérdéseknek. A csillagászok, fizikusok azóta is kutatják a galaxisok mozgását, a világegyetem nagyléptékű szerkezetét, keletkezését, múltját és jövőjét. Az ezzel foglalkozó tudományág, a kozmológia éppen napjainkra vált (vált) igazán „nagykorúvá”, pontos kísérleti diszciplínává. Az olvasó a következő érdekes cikkbe mélyedve maga is meggyőződhet erről.

---

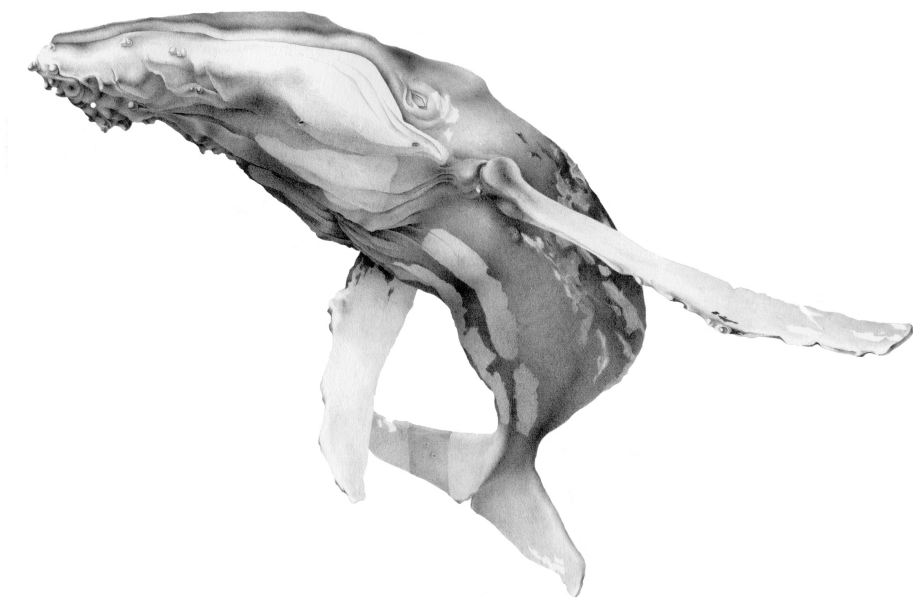
A szerzőköszönetet mond az MTA Bolyai János kutatási ösztöndíjért.

---

Kulcsszavak: galaxis, *Tejútrendszer*, kvazár, vöröseltolódás, sötét anyag, galaxisközi anyag

**IRODALOM**

- Frey Sándor (1997): Rádiógalaxisok és kvazárok: égi háromszögelési pontok. *Meteor Csillagászati Évkönyv 1998*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 178.
- Frey Sándor (2002): Kvazárok. *Meteor Csillagászati Évkönyv 2003*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 222.
- Murdin, Paul (szerk.) (2001): *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics Publishing, Bristol
- Patkós András (2004): Kozmológia: az Univerzum történetének tudománya. *Magyar Tudomány*, 2004/6
- Peacock, John A. (1999): *Cosmological Physics*. Cambridge University Press
- Szabados László (1997): Búcsú az IUE-től. *Meteor Csillagászati Évkönyv 1998*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 155.
- Szabados László (2003): A felfedezéstől a kiteljesedésig – Doppler és Hubble emlékezete. *Magyar Tudomány*, 2003/10, 1256.
- Szatmáry Károly – Kiss L. – Mészáros Sz. – Vinkó J. (2001): Röntgen- és gammacsillagászat. *Meteor Csillagászati Évkönyv 2002*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest, 244.
- Tóth L. Viktor – Ábrahám Péter (2000): A „hideg tekintetű” ISOPHOT. *Meteor Csillagászati Évkönyv 2001*. Magyar Csillagászati Egyesület, Bp., 260.



# KOZMOLÓGIA: AZ UNIVERZUM TÖRTÉNETÉNEK TUDOMÁNYA

## MEGJÓ SOLHATÓ-E A VILÁGEGYETEM MÚLTJA?

Patkós András

egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, ELTE Atomfizikai Tanszék  
patkos@ludens.elte.hu

Az Univerzumra vonatkozó csillagászati-fizikai kutatások az elmúlt, alig nyolcvan évben óriásira tágították azt a tértartományt, ahol eredményesen alkalmazható a jelenségek értelmezésére az einsteini gravitációelmélet és a kvantumfizika ötvözéséből létrejött kozmológiai megközelítés. A távoli kozmikus objektumokról hírt hozó, véges sebességgel terjedő jelek forrásainak téridőbeli elhelyezése révén egyre mélyebbre hatolunk be a Világegyetem múltjába. A Világegyetem térképéhez oly módon rajzolunk hozzá újabb univerzum-szigeteket, szigetcsoportokat, hogy helyüket és természetüket meghatározva, ezek azonnal kapaszkodóul szolgálnak a távolabblépéshez. A kozmológiai törvények sikeressége azon múlik, hogy mennyire képesek előre láttatni a kozmikus múlt feltáruló jelenségeit.

A térben és időben egyre távolabbi tartományokból származó információk beépítése a kozmológia törvényrendszerébe két alapvető nehézséggel küzd. A gyakorlatiasabb az, hogy a megfigyelt jelenségek körében és a megfigyelések pontosságában az elmúlt évtizedben bekövetkezett robbanásszerű fejlődés ellenére a kozmológiai paraméterek természetére vonatkozó elképzelések helyességét ellenőrző eljárások száma épp hogy elegendő a paraméterek közötti kapcsolatok megállapítására. Egyelőre szó sincs

a kozmológiai rendszer ellentmondásmentességének sokszorosan „túlbiztosított”, keresztül-kasul teszteléséről. Az „elmaradás” a fizika mintaadó ismeretrendszereinek helyzetétől jelentős fejlődést igényel és ígér.

A legfontosabb kozmológiai paraméterek értékeinek bizonytalanságát az ún. precíziós kozmológia korszakának beindulását követően sikerült 5 % alá szorítani. Ehhez a kijelentéshez azonban egy alapvető, alig lektüzdhető elvi probléma kapcsolódik. Vajon minősíthető-e a megfigyelhető egyetlen Univerzumunk egészének természetéről végzett észlelések értelmezésének helyessége a matematikai statisztika segítségével? Ha csak egyetlen mérést végezhetünk, vajon van-e mód a paraméter pontos értékének meghatározására? Ha az átlagra vonatkozó elméleti előrejelzéstől eltérő eredményt mérünk, vajon rossz az elmélet, vagy a várható érték körüli statisztikai ingadozás jól ismert esetével állunk szemben?

Ez a *kozmosz variancia* problémája, amely a kozmológia fejlődésének történetét átjárja. Az egyediség, az egyszeri megfigyelhetőség természetes az emberi társadalom történetében lejátszódó folyamatok jelentős részével kapcsolatban. Ez a hasonlatosság megkérdőjelezheti a kozmológiának a természettudományos kutatások közé való besorolhatóságát. Soha nem veszíthetjük sze-

münk elől Willem de Sitternek, a kozmológia egyik megalapítójának mondását: „Minden, az Univerzum egészére vonatkozó állítás hihetetlen extrapoláción alapszik, amely nagyon veszélyes művelet!”

„*A távolságot mint üveggyölyöt...*”

Az 1920-as évekre visszatekintve méltán állítható, hogy a Világegyetemre akkor nyert ismeretek jelentősége vetekszik a kvantummechanika megalkotásával. A kvantumfizikához vezető úton a hidrogénatom vonalas színképe volt az „arkhimédeszi pont”. A korabeli csillagászok a spirális ködöknek nevezett égi objektumok természetéről és a megfigyelőtől mért távolságukról folytatott vitában ragadták meg azt a gondolati konstrukciót, amely mindmáig a kozmológia vezérfonalaként szolgál. Az európai természettudomány teljesítményét kiemelő tudománytörténeti neveltetésünk számára meghökkentő módon a kozmológia kialakulásához vezető megfigyeléseket és az értelmezésükről folytatott vitákat javarészt az Újvilág csillagászainak köszönhetjük. E körülmény megértéséhez megjegyzendő, hogy a korszak legnagyobb távcsöve, amely végül felismerhetővé tette a spirális ködök szélein elhelyezkedő önálló csillagokat, a Mt. Wilson Observatórium 100 hüvelykes tükrös teleszkópja volt.

A XX. század elejére a csillagászati távolságmérésnek a csillagok látszólagos parallaktikus mozgásán alapuló közvetlen módszere elérte teljesítőképességének korabeli<sup>1</sup> határait. A látszó fényességek összehasonlítása

<sup>1</sup> A modern asztrometria mesterséges holdas észleléssel jelentősen kiterjesztette a trigonometriai parallaxis alkalmazhatósági határait. Az 1989-től 1993-ig adatokat gyűjtő Hipparcos szonda 1500 fényévre növelte az ezzel a módszerrel történő pontos távolságmérés lehetőségét, mintegy 120 ezer csillag távolságát határozva meg. Utódja a méréseit 2010-ben megkezdő GAIA lesz, amellyel milliárdnyi csillag parallaxisát határozzák meg az eddigit több nagyságrenddel meghaladó pontossággal.

lehetővé teszi a relatív távolságok meghatározását. A csillagok természetére vonatkozó fizikai ismeretek lényegi hiányában az abszolút fényességre és ezzel az abszolút távolság standardjainak távolabbi tartományban is használható kialakítására még nem nyílt lehetőség. A távolságbecslés javasolt módszerei mindegyikének háttérben az a megalapozatlan feltevés húzódott meg, amely szerint a mi galaktikus környezetünk csillagainak tulajdonságai (méret, tömeg, spektrum) tipikusak, azaz a távoli csillagrendszerekben is azonos az egyes fajták előfordulási gyakorisága. Erre alapozva a következő távolságbecslési javaslatok születtek:

- A különböző tartományokban található legfényesebb csillagok összegzett látszó fényességeinek arányítása ahhoz a hozzánk közeli tartományéhoz, amelyben a parallaxis módszere alkalmazható;
- A cefeida típusú változócsillagok periódusa és abszolút fényessége között Henrietta Leavitt által felfedezett összefüggés érvényességének általános elfogadása és alkalmazása a két Magellán-felhőn túl terjedő, távoli tartományokra is;
- A spirális ködökben észlelt csillagfel-fényesedések, a növő természetének azonosítása a szűkebb környezetünkben fellépett hasonló jelenségekkel, és relatív fényességük használata távolságbecslésre.

Harlow Shapley az 1910-es évek végén mindezen módszerek széleskörű alkalmazásával arra következtetett, hogy a Tejútrendszer az addigi becsléseknél egy nagyságrenddel nagyobb. A spirális ködök kivételével minden addig észlelt objektumot a mi galaxisunkba sorolt, és a Tejútrendszernek 300 ezer fényéves méretet javasolt. A spirális ködöket a galaxisunkból éppen kiszakadó objektumoknak vélte. Anyagukra tisztázatlan eredetű taszító erő hatását feltételezte, amely magyarázná egy másik amerikai csillagász, Vesto Melvin Slipher 1914-es észrevételét, miszerint e ködök javarészt távolodnak tőlünk.



1920. áprilisában, a Harvard Smithsonian Intézetben szervezett nyilvános vitán e nézetek opponense, Heber Doust Curtis ízeire szedte a távolságmeghatározás fenti módszereinek elvi és gyakorlati bizonytalanságait, és kiállt a Tejútrendszer méretének előző, néhány tízezer fényévre becsült értéke mellett. Érvelése középpontjában a spirális ködök önálló, a mi galaxisunkhoz hasonló szerkezetű univerzum-szigetként való értelmezése állt. Az ellentmondások feloldása nélkül zárult vitában 1923-ban Edwin Hubble megfigyelése hozott szintézist. A Mt. Wilson óriástávcsövével ő talált rá az Androméda-köd szélén egy cefeida típusú változócsillagra, amelyre a periódusidő – abszolút fényesség reláció alkalmazásával kétmillió fényév távolság adódott. Bebizonyosodott, hogy a spirális ködök önálló galaxisok.

AXX. sz. elején kezdeményezett távolságbecslési módszerek tökéletesítése mindmáig folytatódik, immár a csillagok természetére vonatkozó nukleáris fizikai ismeretek birtokában.<sup>2</sup>A „kozmiukus kilométerkövek” még nagyobb távolságokon való észleléséhez hamarosan a szupernóvák felvillanási fényességénél is nagyobb energiát felszabadító objektumok megfigyelésére lehet szükség. Komoly erőfeszítések történnek a gammakitérők természetének megismerésére. Végül a fény által 12-13 milliárd év alatt bejárható távolságokig lehet képes a csillagászat fényességen alapuló távolságmérésre.

A Shapley-Curtis-vitából visszamaradt utolsó rejtélyt, a spirális galaxisokat „távolító erőhatás” mibenlétét igyekezett tisztázni Hubble, amikor a húszas években felfedezett galaxisok távolodási sebességét jelző színképvonal-eltolódás (az ún. vöröseltolódás) és a fényességi távolság kapcsolatát kutatta.

<sup>2</sup> A pulzáló változócsillagok instabilitásait egyre sikeresebben tanulmányozzák a magneto-hidrodinamikai áramlási egyenletek alkalmazásával. E vizsgálatok egyik nemzetközileg elismert központja az MTA Csillagászati Kutatóintézet.

1929-ben közzétett cikkének [1] ábrája világosan mutatja, hogy a két mennyiség között pozitív korreláció van. Mindazonáltal óriási bátorságra volt szüksége a két mennyiség közötti egyenes arányosság, a Hubble-törvény kimondásához. Ezen a ponton kapcsolódhatott be az észlelések értelmezésébe az elméleti fizika. Az ún. kozmológiai elvet – a newtoni(!) gravitáció hatása alatti gázáramlásnak azt a feltételezett tulajdonságát, hogy az áramlási kép független a megfigyelő vonatkoztatási rendszerétől – alkalmazva, azonnal adódik a Hubble-törvény. Ehhez a felismeréshez „csak” arra volt szükség, hogy állandósult állapotú helyett radiálisan táguló-összehúzódo Univerzumot leíró megoldást keressünk. E lehetőséget már a XIX. század végén leírták, de az 1960-as évek végéig folyt az állandósult állapotú világegyetem híveinek utóvédharca. A Hubble által megfigyelt galaxisok igen közeli (spektrumuk vöröseltolódása nem haladja meg a 0,01 %-ot), távolodási sebességük a fénysebesség töredéke, azaz a klasszikus newtoni mechanika jól írja le a mozgásukat. A galaxisok globális távolodó mozgásának a relativitáselmélet által jósolt eltérése(!) a Hubble-törvény eredeti alakjától csupán az elmúlt évtizednek két-három nagyságrenddel nagyobb mélységű megfigyeléseinek értelmezésekor vált bizonyíthatóvá.

A táguló Univerzum jövőbeli történetének megjósolásában még határozottabb szerepet kap az általános relativitáselmélet. A tágulás során a fotonokban és neutrínóknak tárolt energia sűrűsége a nagy tömegű részecskékből álló, nem-relativisztikus anyagban tárolt értéknél gyorsabban csökken (mert vöröseltolódást is szenved). Ha a részecskéfajtáknak van egy olyan állapotú komponense, amely igen kis energiasűrűségénél fogva akár mindmáig észrevehetetlen járulékot adott, ám a nem-relativisztikus anyagnál is lassabban hígul, akkor ez a komponens egyszer meghatározóvá válhat (esetleg már azzá is vált). Ha ez a komponens nincs

egyensúlyban, amit például negatív nyomása is jelezhet, akkor gravitációs hatása az általános relativitáselmélet szerint akár gyorsulást eredményező tasztításba (antigravitációba) is átfordulhat. E komponens jelenlétét a galaxismozgásnak a Hubble-törvénytől való sajátos eltérése jelezheti. Ez az eshetőség tovább növeli a kozmikus távolságskala minél pontosabb és minél távolabbi tartományokra való kiterjesztésének jelentőségét.

A galaxisok abszolút fényességének meghatározásában a globális mozgás leválasztása után a galaxist alkotó csillagok (avagy a galaxishalmazt alkotó galaxisok és a galaxisközi gáz) visszamaradó saját (pekuliáris) mozgása jelentős szerepet kap. Ennek a mozgásnak a tulajdonságai annál inkább közelítenek egy gáz részecskéinek (véletlenszerű) hőmozgásához, minél régebbi a galaxis (elliptikus galaxisokban sokkal jobban teljesül, mint a fiatalabb spirálisokban). A mozgás sebességének négyzetes átlaga egyfajta hőmérsékletként értelmezhető, és arányos a galaxis sugárzásának abszolút intenzitásával (ezt a kapcsolatot spirális galaxisok esetére a Tully-Fisher-, elliptikusokéra a Faber-Jackson-relációk számszerűsítik). A mozgás részletes tanulmányozása tehát önmaga is ad eszközöket, amelyek a távolságok meghatározásához, illetve a különböző módszerrel történt becslések összhangjának ellenőrzéséhez járulnak hozzá.

Érdeemes figyelni itt arra, hogy egy-egy galaxis alakí, belső dinamikai megjelenése mai felfogásunk szerint immár függ keletkezésének időpontjától. Azaz az állandósult állapotú univerzumról való lemondással együtt azt a feltételezést is feladtuk, hogy az Univerzum tetszőleges kozmikus téridő-tartományban azonos képet mutatna számunkra. A galaxisok és galaxishalmazok képe időben visszafelé haladva szisztematikusan változik, amelynek észlelésére vonatkozó várakozásaink kidolgozása és összevetése a legősből galaxisokon végzendő megfigyelé-

sekkel a modern csillagászat egyik nagyon nehéz feladata.<sup>3</sup>

„...száz ezer éve  
nézem, amit meglátok hirtelen...”

A galaxisok és az azokat alkotó csillagok keletkezése és fejlődése összetett folyamat, amelyet nem-lineáris módon befolyásol a gravitáció. Ez a kutatási irányzat ma elsősorban az elemzésre használható egységes formátumú adathalmaz nagyságának növelésére (például a nagy galaxiskatalógusok létrehozására) koncentrál. Az Univerzum történetének a galaxisok létrejöttét megelőző korszakaiból származó jelei jóval egyszerűbb fizikai helyzetet tükröznek, amelyben az elemi kvantumok kölcsönhatások csupán lineárisan csatolódnak a gravitációval.

Ebből az időszakból két jól azonosítható kozmológiai öszelet (relikviát) lehet egyre részletesebben vizsgálni: a könnyű elemek atommagjainak őszintézéséből származó anyagfajták kozmikus elterjedtségét és a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzást (KMH). Utóbbinak mai állapota nagyon nagy (~10<sup>-5</sup>) relatív pontossággal megfelel az Univerzumot homogén módon kitöltő, T=2,725 K hőmérsékletű termikus elektromágneses sugárzásnak, amely a tágulás következtében hűlt erre a hőmérsékletre a kibocsátásakor fennálló kb. 2800 K-ról. Csakis ebben az atomfizikai szempontból magas hőmérsékletű korban, az atomi rekombináció korában volt a fény és anyag kölcsönhatása elég intenzív a hőmérsékleti egyensúly kialakításához. Tehát biztosak lehetünk abban, hogy az őszobbanás után 3–400 ezer évvel az Univerzum egészét termikus egyensúlyban lévő gázkeverék töltötte ki.

<sup>3</sup> 2004 márciusában tették közzé a Hubble Ultra Deep Field felvételt, amely mindmáig a legmélyebbre hatol be az Univerzum múltjába. A galaxisok morfológiai vizsgálatának eredményét az első rápillantás is megelőlegezi: a legkorábbi galaxisok jóval szabálytalanabb alakúak, mint azt a Hubble-mélyvizsgálatok néhány éve kapott felvételein tapasztalták.

A könnyű atommagoknak az ősrobbanást követő első húsz percben végbement ős-szintézisből származó nukleáris anyag a csillagok fúziós reaktoraiiban újraprocesszálódott, s ez megnehezíti a következtetést az eredeti izotóparányokra. A későbbi kozmikus korszakokból származó „ráradásokról” megtisztított ősi (primordiális) nukleáris anyagkoncentráció észlelt értékeit a termikus egyensúlyi állapotú proton-neutron keverékben végbemenő folyamatokra vonatkozó jóslatokkal vetik össze. Egyetlen paraméter alkalmas értékű megválasztásával a hidrogén mellett további négy könnyű mag (D,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  és  $^7\text{Li}$ ) primordiális elterjedtségére adható becslés. A lejátszódó magreakciók átmeneti valószínűségeinek kiszámításához használt termikus modell fizikai elvei egyeznek a Napban folyó, illetve a földi laboratóriumokban tanulmányozott fúziós folyamatok értelmezésére és tervezésére használtakkal. Az észlelésekkel sikeresen összevetve az ősrobbanást követő első perc végétől a huszadik percig tartó korszakra vonatkozóan elvégzett számítások eredményeit, bizonyítottan vesszük a forró egyensúlyi Univerzum egészen korai létezését. Az egyensúlyhoz vezető még korábbi út az elméleti spekuláció terepe volt a legutóbbi időkig. . .

Jelenleg és a közeljövőben számos megfigyelési projektet hajtanak végre e két korszak növekvő részletességű megismerésére. Mindkettőből információk szerezhetők a legfontosabb kozmológiai paraméterekre (elsősorban a teljes anyag és azon belül a barionikus anyag sűrűségére és összetételére). A kozmológia tudományos elméletének első nagy vizsgálja abban áll, hogy e két egészen különböző fizikai jelenséggel meghatározott korszakból a paraméterekre levont következtetések az egyre pontosabb észlelések tükrében is megtartják-e koherenciájukat. A cikk hátralévő részében a projektekből 2003 végéig leszűrt konklúziókat foglalom össze. A galaxistérképekből levonható következtetések kozmológiai jelentősége egyre nő, de

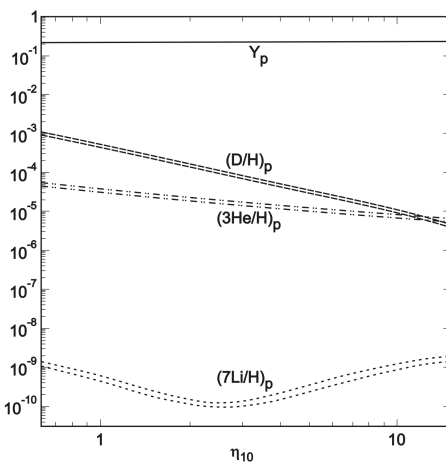
alább (terjedelmi korlátok és az értelmezésnek fentebb jelzett némely kevésbé értett vonatkozása miatt) csak utalok rájuk.

A könnyű elemek atommagjainak felépülése [2] akkor kezdődhetett meg, amikor a proton és a neutron ütközéséből kialakuló deuteron magot (a nehézhidrogén, azaz a deutérium atommagját) az igen nagyszámú, de a tágulás miatt csökkenő energiájú fotonok nem tudták szétverni. Ez jóval azután következett be, hogy a protonokat és neutronokat egymásba átalakító gyenge kölcsönhatási folyamatok sebessége a tágulás üteme alá csökkent. Ettől kezdve a proton és a neutron koncentrációjának hányadosa közel állandó, amelyet a két nukleon közötti tömegkülönbség egyértelműen meghatároz. A neutron gyenge bomlása miatt ez a hányados lassan változik, amit a deuteron eredményező reakció tárgyalásakor figyelembe vettek. Miután a nukleonok kötési energiája az említett magok közül a hélium  $^4\text{He}$  izotópjában a legnagyobb, a deuteron, a triton (a trícium magja) és a hélium  $^3\text{He}$  izotópja szinte teljes egészében ebbe a magba alakult át. Az a tény, hogy az Univerzum barionikus anyaga tömegének 23-25 %-a a stabil héliumizotópban található, a forró Univerzum hipotézisének egy igen korán megszületett kvalitatív bizonyítéka, mivel a csillagokban zajló magfizikai folyamatokkal az ős-szintézisből származó hélium mennyiségénél csak két nagyságrenddel kevesebb jelenlétét lehet megmagyarázni.

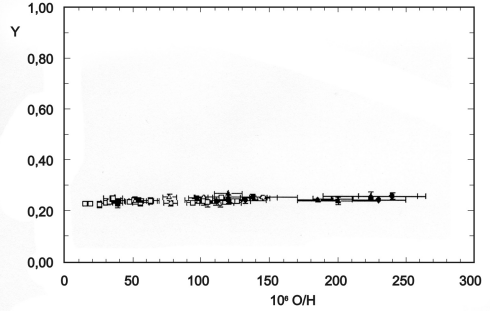
A könnyű magok ős-szintézisének reakciói mindaddig tartanak, amíg sebességük nagyobb, mint a tágulásé.<sup>4</sup> Miután a reakciósebességek a hőmérséklet ötödik

<sup>4</sup> A releváns reakciók rátájának meghatározása nehéz kísérleti fizikai feladat, mivel részben instabil radioaktív nyálábokkal kell ütközési kísérleteket végezni, másrészt a gyorsító ütközési energiákhoz képest jóval alacsonyabb energiákon kell mérni. Az asztrofizikai fontosságú nukleáris reakciók kísérleti és elméleti vizsgálatának hazai központjai az ATOMKI és az ELTE Atomfizikai Tanszéke.

hatványával arányosak, az első fúziós reaktor működése a tágulás következtében igen gyorsan véget ért. A tágulás sebességét a tömeg nélküli szabadsági fokok – a foton és a neutrínók – száma szabályozza. Bármilyen hipotetikus könnyű szabadsági fok jelenléte extra neutrínóként is értelmezhető, amelynek következtében a gyorsabb tágulás miatt több neutron maradna meg, és állna rendelkezésre  ${}^4\text{He}$  termelésére. A többi könnyű mag elterjedtsége az Univerzum teljes barionsűrűségének (a protonok és neutronok együttes sűrűségének) érzékeny függvénye. Minél nagyobb a barionsűrűség/fotonsűrűség hányados – amelyet  $h$ -val jelölnek –, annál tökéletesebben alakul át a deuteron és a  ${}^3\text{He}$  izotóp  ${}^4\text{He}$ -be. A lítium 7-es tömegszámú izotópjá két mechanizmussal jöhet létre. A közvetlen triton+ ${}^4\text{He}$  fúziós reakcióból létrejövő lítiumot a protonokkal való ütközés szétveri, ezért  $h$  növekedésével a lítium kozmikus elterjedtsége csökken. Azonban  $h$ -t tovább növelve, a  ${}^7\text{Be}$  izotóp termelési rátája indul növekedésnek, amely később elektronbefogással lítiummá alakul. A röviden vázolt tendenciák jelennek meg az 1. ábrán, amelyen a közel párhuzamos vonalak alkotta sávok a becslés elméleti bizonytalanságának mérté-



1. ábra



2. ábra

két jellemzik.

A nehezebb elemek magjai csak csillagok belsejében, illetve nagyon nagy energiájú csillagrobbanásokban (szupernóvák, hiper-nóvák) keletkezhetnek. A könnyű elemek színképének azonosítása és a vonalak intenzitásának mérése lehetővé teszi elterjedtségük becslését. Annál alkalmasabb valamely mérés az  $\bar{h}$ -szintézisből származó elterjedtség mérésére, minél kisebb a megfigyelés irányában a nehezebb magok előfordulási gyakorisága. Az eredményeket e magok zérus gyakoriságához extrapolálják, és az így adódó értékeket használják a könnyű elemek elterjedtségét meghatározó kozmológiai paraméterek rögzítésére. Ezt az eljárást a  ${}^4\text{He}$  esetére a 2. ábra illusztrálja. A többi atommagra a hibák jóval nagyobbak, a különböző csoportok méréseinek ellentmondásmentessége sem nyilvánvaló.

A deuteronnak a hidrogén elterjedtségéhez viszonyított értékére  $y_D = 10^5 [D/H] = 2,6 \pm 0,4$  adódik a mérések átlagaként. Az 1. ábrával összevetve, ebből az értékből a bariion/foton arányra  $h = (6,1 \pm 0,6) 10^{-10}$  értéket kapunk. Ezt átfordíthatjuk a barionsűrűségnek az ún. kritikus sűrűséghez viszonyított értékére (lásd a kozmikus mikrohullámú sugárzásról szóló, következő fejezetet), ami 0,05-nél kisebb. A  ${}^3\text{He}$  gyakoriságát jellemző, a deuteronhoz hasonlóan definiált mennyiségre vonatkozóan az  $y_{\text{He}^3} = 1,1 \pm 0,1$  becslésre jutunk a számításból, ami szintén jól egyezik

a megfigyelt értékkel. A  ${}^4\text{He}$  részeseződésére a bariontömegből a fenti barionsűrűség alapján  $0,248 \pm 0,001$  kapható, amely 4 %-os eltérést mutat az eddigi mérésekből becslült  $0,238 \pm 0,005$  értékhez képest. Bár egyesek az eltérés mögött eddig ismeretlen, új fizikai kölcsönhatásokat keresnek (például a teridő négy dimenzió fölötti extra kiterjedését), a sietség helyett célszerű megvágni a nukleáris reakciók rátáinak vagy a hélium koncentrációjában a csillagfejlődés során elszenvedett változásoknak pontosabb ismeretét. Hasonló mértékű a relatív eltérés a lítium jóslott és mért elterjedtségi értékei között is. Összefoglalóan: a 11 nagyságrendet átfogó elméleti jóslat és az észlelések közötti összhang mai szintjét is már a kozmológia kiemelkedő teljesítményeként értékelhetjük.

A barionikus anyagnak az Univerzum teljes energiasűrűségében képviselt súlyától érzékenyen függnék a kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás egyes sajátosságai is. Mi több, a kozmológiai mérések mai technikai szintjén a barionikus anyagsűrűsége a legpontosabb becslést immár a KMH adja. Az ebből adódó értéket (lásd alább) használhatjuk az összes könnyű elem előfordulási gyakoriságának számítására. A jelenlegi helyzet az, hogy az előző ábrán nem tudnánk egyetlen közös barion/foton hányadossal reprodukálni a mért elterjedtségi értékeket. Azonban az eltérés mértéke még nem követeli az őszintézis jelenlegi elméletének korrekcióját.

„...kész az idő egésze...”

Amo Penzias és Robert Wilson már 1978-ban Nobel-díjat kaptak a Ralph Alpher és Robert Hermann által 1950-ben megőszolt kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás (KMH) létezésének 1965-ös felfedezéséért. Ez a jelenség George Gamow őszobbanási elméletének egyenes következménye, a KMH mégis csak az 1990-es években foglalta el helyét az „általánosan kötelező” természettudomá-

nyos ismeretek között mint a kozmológia legfontosabb információforrása. Ugyanis az átlagos intenzitást jellemző (fentebb közölt) hőmérséklet körüli ingadozás mértéke egy rész a százezerhez, ezért évtizedes tervező és elméleti fejlesztő munkára volt szükség, amíg az ingadozások kimérésére alkalmas Cosmic Background Explorer (COBE) mesterséges holdat a NASA 1989-ben pályára állíthatta. A háttérsugárzás intenzitásában az egymással 7 fokos szöget bezáró irányok közötti különbség megmérésére alkalmas műszeregyüttest, több amerikai egyetem összefogásával, George Smoot irányításával alkották meg. Megfigyeléseikkel elsőként sikerült kimutatniuk, hogy a KMH intenzitása függ a megfigyelési iránytól. A műhold mérései alapján húsz független iránykarakterisztikájú multipólus-antenna sugárzási képé-  
ből állították össze az átlagos sugárzástól való eltérés első égbolttérképét, és kimutatták az ingadozások közötti koherens kapcsolat létét még 60 fokot meghaladó szögtávolságra is [3]. A COBE által készített mikrohullámú égbolttérképet mutatja a 3. ábra.

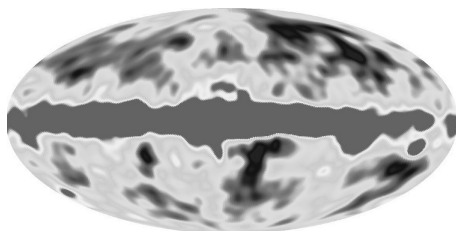
Ez a nagyszögű korreláció immár kísérletileg is szembesítette a kutatókat a KMH egy rejtélyes tulajdonságával, amit 1981-ben Alan Guth hangsúlyozott elsőként [4], rámutatva az akkor még mérési határ alatti ingadozások hiányának hihetetlen természetellenességére. Olyan távoli szögtartományok között mérhető ki koherencia, amelyek nem állhattak egymással kauzális kapcsolatban az őszobbanás és a KMH kibocsátása között eltelt, nem több, mint 400 ezer évben. A Guth által javasolt *inflációs mechanizmus*maig az egyetlen, elméletileg ellentmondásmentes, az észlelésekkel összeigazítható koncepció. Az infláció az őszobbanást közvetlenül követő, elképzelhetetlenül rövid fejlődési szakaszban kialakíthatta az energiasűrűség azon térbeli ingadozásait, amelyek később, a közvetlen kauzális kapcsolatban nem álló tartományokat is átfogva, koherensen

vezérelhették a rekombináció korszakában emittált fény intenzitásának ingadozásait. Az elmúlt húsz évben matematikailag igen részletesen és sok, egyaránt működőképes változatban kidolgozott elképzelésben egy, a kozmikus látóhatárunkat sok nagyságrenddel meghaladó kiterjedésű Univerzum szerepel, amelynek mérete az ősrobbanást követő exponenciális felfűvődésben alakult volna ki, miközben a horizont állandó maradt. A felfűvődés során a kiindulási tartománybeli anyag sűrűségének kvantumingadozásai az általános relativitáselmélet törvényeit követve makroszkopikussá növekedhettek, és kiterjedtek a felfűvődött világegyetem egészére. A kozmikus láthatár (a horizont) ezt követően már a forró Univerzum tágulási ütemét követve, lassan „beletágulhatott” a Világegyetem óriásira felfűvődött térségeibe, és a horizonton belüli anyag érzékelhette az inflációs korszakban „előkészített” sűrűség-ingadozásokat.

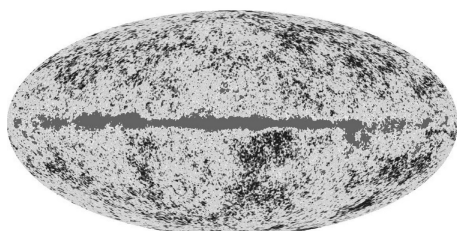
A fenti mechanizmusnak, azon túl, hogy megoldja a látszólagos akauzalitás paradoxonát, van néhány, a sokféle megvalósítás részleteitől független jóslata. Ez nagy szerencse, mert az inflációban részt vevő őanyag (amit inflatónnak kereszteltek) valódi természetéről mindmáig nincs semmiféle információ. Az infláció legközismertebb következménye az, hogy az exponenciális felfűvődés során a tér geometriájának minden korábbi görbülete nagy pontossággal kisimul. A térnek mai állapotában tehát

nagyon lapos, közel euklidészi a geometriája (nem tévesztendő össze a térdő geometriájával!). A geometria az általános relativitáselmélet szerint meghatározza a világegyetem anyagának átlagos energiasűrűségét, ami lapos világegyetemre az ún. kritikus sűrűség. A Hubble-állandó legutóbb meghatározott értékének felhasználásával ez  $9,21 \times 10^{-30}$  g/cm<sup>3</sup>. Ennek az értéknek mintegy 5 %-a a nukleáris őszintézisben meghatározott átlagos barionikus sűrűség. Az infláció elmélete tehát megköveteli a (nem-barionikus) sötét anyag létezését, amely nem vesz részt elektromágneses kölcsönhatásban.

Az inflációhoz szorosan kapcsolódó másik jóslat a sűrűség-ingadozások erősségének hullámhosszfüggő változására vonatkozik. A makroszkopikussá növekedett kvantum eredetű fluktuációk azt jósolják, hogy az erősségeloszlás skálainvariáns. Zenei hasonlattal, a hullámhossz minden oktávjára ugyanakkora ingadozási fényerősség esik. A fenti tulajdonságú ingadozásokra mint az őanyag állóhullámaira gondolhatunk, amelyek horizontunk tágulásával folyamatosan fejtik ki hatásukat az azon belül elhelyezkedő anyagra. Minél nagyobb hullámhosszon tudunk megfigyeléseket végezni, az azokat befolyásoló őingadozások annál később léptek be a horizont alá, tehát annál kevésbé torzul el az eredeti ingadozások jellege a kauzális kölcsönhatások következtében, hatásuk értelmezésére annál jobb a gravitációs elmélet lineáris közelítése.



3. ábra



4. ábra

Az inflaton-ősanyagtól a sötét anyag megörökölte az ingadozásokat (erről egy dinamikai eredetű megmaradási tétel „gondoskodik”). A struktúrák kialakulásának kezdetéről az a jelenlegi képünk, hogy a kisebbségi barionikus anyag behullik a már csomósodni kezdő sötét anyag potenciálgödreibe (a nagyobb sűrűségű helyekre). Miután a forró, gyorsuló barionikus anyag fényt sugároz és nyel el, ezért a protonok, atommagok és az őket elektromosan semlegesítő elektronok között állandósultan fotonok gáza van jelen. Ez a szoros csatolású plazma állandó rezgésben van, amelynek rezgési modulációi tükrözik a sötét anyag sűrűség-ingadozásai által alakított gravitációs háttér ingadozásait.

A foton-anyag kölcsönhatás rátájának lemaradása a tágulás üteme mögött lezárja a plazmakorszakot, stabilizálódnak az atomok. A stabilizáció pillanatában létező fotongáz, amelynek intenzitásbeli ingadozásai tükrözik a gravitációs tér ingadozásait, alkotja a KMH-t. A legnagyobb hullámhosszakon a horizont alá éppen visszalépő energiasűrűségbeli ingadozások szabályozzák a KMH ingadozásait a fent leírt áttételeken keresztül. Így a KMH az inflációs őanyag sűrűségfluktuációról ad hírt!

Ennek az ingadozási képnek a részletes kimérésére az 1990-es évtizedben legalább tucatnyi földi és magaslégtéri mérés végeztek el, amelyek az égboltnak csak egy kis tartományát térképezték fel, ám a COBE teljesítményét messze meghaladó felbontási érzékenységgel. Ezek a mérések már jelezték, hogy a kis szögkülönbségű tartományban fellépnek a koherens plazmarezgések interferenciájából várt effektusok. Az interferencia-mintázat számszerűen igen érzékeny a teljes anyagsűrűsége és a barionikus rész nagyságára is. A legrészletesebben a 2001-ben felbocsátott Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) mesterséges hold [5] mérte ki a kozmikus háttérsugárzás ingadozásainak égtérképét, amelyet a 4. ábrán mutatunk be.

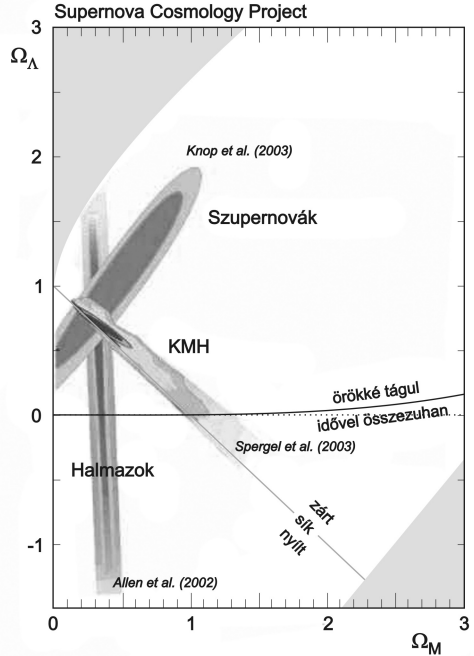
Az ingadozási szerkezet finom részleteiből olyan pontosan határozták meg a barionikus anyagsűrűséget, amely meghaladja a nukleáris ős-szintézisből kapott pontosságot:  $\eta = (6,14 \pm 0,25) \cdot 10^{-10}$ . Ez nagyon jól egyezik a deuteron megfigyelt elterjedtségéből származó, fentebb közölt becsléssel, amely egyezés az eddigi legerősebb érv a kozmológiai elmélet tudományos jellege mellett.

Vajon az anyagsűrűség hiányzó része mind nem-relativisztikus sötét anyag? Ha feltételezzük, hogy a sötét és a világító anyag összege (indexe:  $m$ ) mellett van egy nem csomósodó anyagfajta (például kozmológiai állandót) reprezentáló járuléka is (indexe:  $\Lambda$ ), akkor a KMH mért tulajdonságaira a  $\rho_m + \rho_\Lambda = \rho_{\text{kritikus}}$  egyenletet jól kielégítő összetételű univerzummodellek mindegyike elég jó leírást ad. Az 5. ábrán a feltételezett két komponensnek a kritikus sűrűséghez viszonyított energiasűrűségét  $\Omega$ -val jelölve, a különféle sűrűségkombinációk esetén megvalósuló globális mozgásokhoz az  $m-\Lambda$  sík különböző tartományait rendeljük hozzá. A „KMH” jelzésű csóva sötéttel színezett tartománya felel meg ezen a síkon a KMH legjobb leírását adó lehetséges összetételeknek. Érdekes, hogy a jelenlegi adatok egészen kis mértékben nem a teljesen lapos, hanem az igen enyhén gömbi zártaságú görbülettel jellemezhető univerzumot preferálják.

A leírásnak a különböző energiahordozó komponensek összetételére mutatott lineáris elfajultságát csak a KMH-től különböző kozmológiai jelenségek megfigyelésével lehet feloldani. Erre az egyik érdekes javaslat a galaxisok lehetséges legnagyobb skálákon mért eloszlásának összevetése a sötét anyag eloszlásának inflációs ingadozásaival. Bár a galaxisok kialakulása erősen nem-lineáris folyamat, az a remény, hogy a legnagyobb skálákon, ahol az ősingadozások horizont alá lépése a legkésőbb következett be, még nem állt elég idő rendelkezésre az ősi ingadozási spektrum eltorzulására. 2003-ban két

nagy galaxistérképező projekt, a 2dFGRS [6] és az SDSS<sup>5</sup> [7] kollaboráció is elvégezte ezt az elemzést. Az 5. ábra „halmazok” jelzésű csóvája mutatja a kétféle energiahordozónak a galaxisok eloszlását legjobban reprodukáló megoszlását, amely szintén nagyjából lineáris elfajulást mutat. Elég természetes, hogy ennek az elemzésnek a nem csomósodó anyagra való érzékenysége kicsi, viszont igen határozottan megjelöli a  $\rho_m = (0,2-0,4)\rho$  kritikus tartományt a newtoni gravitációban részt vevő anyagfajta legjobb egyezést adó sűrűségére. A két csóva metszése a mindkét jelenséget leírni képes anyagi összetétel szűk tartományát jelöli ki, amelynek létezése nem nyilvánvaló. Még kevésbé biztos, hogy ugyanezt a tartományt jelöli-e ki valamely újabb független jelenség leírása is, amely szintén érzékeny a gravitáló és nem csomósodó anyag arányára.

1998-ban tették közzé a Hubble-diagram ki egészítését a szupernóvák egy osztályának, az Ia típusúaknak negyvenkét nagy vöröseltolódású tagjával. Ezt 2003 nyarán a Supernova Cosmology Project további tizenegy, a CfA Deep Survey pedig huszonhárom, ugyanebbe az osztályba tartozó, még nagyobb vöröseltolódású szupernóva megfigyelésével egészítette ki [8]. Ezek a robbanások azonos mechanizmusok által azonos abszolút fényességűeknek tekinthetők, ezért alkalmasak a standard kozmikus fényforrás szerepére. Az 5. ábra „szupernóvák” jelzésű csóvája azt a tartományt jelzi a két energiahordozó komponens energiasűrűségeire, amely adatok az általános relativitás egyenleteibe helyettesítve jól írják le a szupernóvák látszólagos fényességének és a vöröseltolódásuknak együttes



5. ábra

változását. Örömmel látjuk, hogy létezik a három független, különböző fizikai elvek által értelmezhető jelenséget egyidejűleg reprodukálni képes közös metset, amely szerint a mi Univerzumunkat 30-35 %-ban alkotja gravitáló anyagsűrűség és 65-70 %-ban nem gravitáló, nem csomósodó anyagfajta. Ez utóbbit, ha energiasűrűsége nem szigorúan független a tágulástól, kvintesszenciának szokás nevezni.

Miután a jövőben a gravitáló anyag sűrűségének további hígulásával a nem csomósodó rész súlya egyre nő, a jelzett tartományban elhelyezkedő paraméterekkel jellemezhető Univerzum mindörökké folytatni látszik táguló mozgását.

*Megoldottuk-e a kozmológiát?*

A tapasztalati ismeretek elmúlt másfél évtizedbeli gazdagodása elsősorban a KMH esetben vezetett az elméleti interpretáció belső konzisztenciáját is ellenőrizni képes részletességre. Jósolatainak összevetése a

<sup>5</sup>A Sloan Digital Sky Survey (SDSS) 13 amerikai és japán egyetem együttműködése. 117 „alkotó” és 21 „külső” (más intézményben dolgozó) munkatársa között a következő magyar fizikusok találhatók: Csabai István (ELTE), Kunszt Péter (CERN), Szalay Sándor (Johns Hopkins Univ.), Szapudi István (Univ. of Hawaii) és Szokoly Gyula (Max Planck Inst., Garching).



könnyű atommagok elterjedtségére vonatkozó becslésekkel fontos motiváció ez utóbbiak észlelési módszereinek javítására. A jelen évtizedben a KMH spektrumának részleteiről tovább finomodik ismeretünk, és nagy jelentősége lesz a kozmikus távolságskala Ia típusú szupernóvákkal történő szisztematikus kiszélesítésének.

Ez az ismeretbővülés lehetővé teszi a sűrűségfluktuációk inflációs eredetének kritikus elemzését is. Mindazonáltal elméleti erőfeszítések várhatók a gyorsulva táguló Univerzum képehez olyan alternatívák (például ciklikus időtörténetű Univerzum) kidolgozására, amelyek versenyre kelhetnek a KMH és a galaxisstatisztikák leírásában az inflációval.

A kozmikus variancia problémája nehezíti annak eldöntését, hogy vannak-e például a KMH analízisében szisztematikus hibák. Ilyen lehet például az a tény, hogy az eddigi mérések szerint a nagy szögtávolságú tartományok közötti korreláció 5-10 %-kal alacso-

nyabb, mint a részletes inflációs számítás azt jósolja. Egyes kutatók alternatív globális mozgási képet javasolnak (például gömbi szimmetriájú helyett ellipszoidális szimmetriájú tágulást), mások ezen effektusok statisztikai marginalizálódását várják a még finomabb felbontású mérések eredményeit követően.

A kozmológia jelenlegi elméleti rendszere és minden elképzelt alternatívája számára vitális fontosságú, hogy a részecskefizikusok mielőbb kimutassák a sötét anyag elemi részecskéinek gravitációs hatáson túli kölcsönhatásait, továbbá a jelenleginél sokkal pontosabban határolják körül az antigravitációs hatású „sötét energia” természetét.

Kulcsszavak: *csillagászati távolságskala, Hubble-törvény, kozmológiai elv, kozmikus infláció, kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás, kritikus sűrűség, atommagok ős-szintézise, kozmológiai állandó, sötét anyag, sötét energia*

## IRODALOM

- [1] Hubble, Edwin (1929). A Relation between Distance and Radial Velocity among Extragalactic Nebulae. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. Vol. 15, No. 3. A cikk elektronikusan hozzáférhető a [http://antwpr.gsfc.nasa.gov/diamond\\_jubilee/1996/hub\\_1929.html](http://antwpr.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/1996/hub_1929.html) címen.
- [2] A kémiai elemek asztrifikai eredetéről szóló újabb összefoglalás: Heinz Oberhummer, Patkós András és Thomas Rauscher cikke a Handbook of Nuclear Chemistry 2. kötetéből, 1-48., Kluwer Publishing Inc. 2003, Szerk.: Klencsár Zoltán, Nagy Sándor és Vértés Attila. A cikk részletes listát tartalmaz a terület mértékadó publikációiról 2003 elejéig.
- [3] A COBE űrprojekt eredményeit összefoglaló archív honlap: <http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/cobe/>

- [4] Guth, Alan (1981). The Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems. Physical Review. D23, 347-356
- [5] A WMAP eredményeit a <http://map.gsfc.nasa.gov> honlapon részletes technikai ismertető és közzétehető, illusztrált ismertetések mutatják be.
- [6] A 2dF Galaxy Redshift Survey adatait 2003. júniusában tették közzé. Az adatok és kozmológiai elemzésük ismertetése a <http://magnum.anu.edu.au/~TDFgg> honlapon férhető hozzá.
- [7] A Sloan Digital Sky Survey adatgyűjtése 2005-ben fejeződik be. Az eddigi adatok és értelmezésük a <http://www.sdss.org> honlapon található meg.
- [8] A két, egymással párhuzamosan végzett szupernóva-megfigyelési kampány honlapjai: Supernova Cosmology Project: <http://panisse.lbl.gov>, High Redshift Supernova Search: <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/oir/Research/supernova/HighZ.html>

## Tanulmány

# GENETIZMUS: GÉNEK ÉS TÁRSADALOM<sup>1</sup>

Boros János

az MTA doktora, egyetemi tanár, PTE BTK – boros@btk.pte.hu

Guttman András

az MTA külső tagja, tudományos kutató, Diversa, San Diego, CA, USA  
aguttman@diversa.com

A molekuláris biológia és a géntechnológia fejlődése oda vezethet, hogy megváltozik az emberről alkotott felfogásunk, miközben átalakul olyan fogalmaink értelmezése is, mint a tudás, a szubjektum, az én, a történelem, a múlt, a tudomány vagy az etika. Az „én” hagyományos eszméje többé nem lesz a gondolkodás végső vonatkoztatási pontja, miután maga a szubjektum is mint biológiai vagy pszichológiai struktúra változni fog, mégpedig előre megjósolhatatlan módon. A géntechnológia arra fog kényszeríteni bennünket, hogy újraértelmezzük olyan fogalmainkat, mint a szaporodás, individualitás, történelem, szabadság és szubjektivitás.

Sokan világtörténelmi fordulópontnak tekintik az 1989-es évet, amikor az európai társadalmak mindegyikében demokratikus politikai rend alakult ki, és a történelem és a társadalom korszakát felváltotta a biotechnológia, a genetikus tervezés és az evolúciótechnológia korszaka. Egészen biztosan állíthatjuk, hogy napjainkban genetikus korszak (génkorszak), vagy ahogy Manfred Eigen mondta, „a molekuláris biológia korszaka”

kezdődik. (Eigen, 1992) A történelem ilyen felfogása szerint, miután a demokrácia elméletével és gyakorlatával megoldottuk a társadalom történelmileg vitatott kérdéseit, a társadalmi korszak után a génkorszak kezdődik. Avantgárd filozófusok már a régi kérdések genetikus struktúráinak vizsgálati lehetőségeit kutatják ahelyett, hogy a korábbi paradigmáknak megfelelően továbbra is a társadalom, a nyelv, a tudás vagy a fizikai világ vizsgálatára fordítanák energiájukat. Jürgen Habermas egyik legújabb könyvében a géntechnológia lehetséges következményeit vizsgálja. (Habermas, 2001) Az új paradigma képviselői úgy vélik, míg a filozófia korábbi vezérelvei a demokrácia, a szubjektum és a kauzális tudományok voltak, addig az új vezéreszme a neuronalizmus és a kognitívizmus mellett a genetizmus lesz.

Nem célunk itt, hogy a génkutatás és a géntechnológia fejlődésének valamennyi lehetséges (például orvosi, társadalmi) implikációját megvizsgáljuk. Inkább az emberre mint szabad, döntésképes és autonóm lényre, a talán nem is távoli jövőben váró lehetséges kihívásokra kívánunk utalni.

Egy szabad szubjektum saját cselekvéseinek főbb szabályait maga határozhatja

---

<sup>1</sup> Eredeti megjelenés: Genetism: Genes and Society. Guest Editorial. Genomic/Proteomic Technology. 3, 3, 6–10. www.iscpubs.com

meg, képes olyan történéseket bizonyos határok közt ellenőrizni, amelyek aztán további cselekedeteket és eseményeket befolyásolnak. Ebben a korlátozott és gyakorlati értelemben a szabadság minden ember számára lényegi adottság. Másodlagosnak tekinthetjük itt azokat a kérdéseket, melyek a valamitől vagy a valamire való szabadságot vetik föl. Véleményünk szerint a legfontosabb kérdés, amit ma föl kell vetnünk: „*Kinek* vagy *minek* a szabadságáról beszélhetünk?” – a társadalom, az egyének vagy a gének szabadságáról? A társadalomnak az egyének feletti szabadságát az elmúlt évszázadban a kelet-európai országokban gyakorolták, minden említésre méltó siker nélkül. Az egyének szabadságát a társadalommal szemben vagy afölött nagyobb sikerrel valósították meg a nyugati demokráciákban.

Mi a helyzet a gének szabadságával? Elismerjük, kicsit fura ez a kérdés, de mégis beszélhetünk róla akkor is, ha itt a szabadságot nem a szokásos összefüggésben tárgyaljuk. Daniel Dennett beszélt analóg módon a nem emberi lények intencionalitásáról, bevezetve az intencionális beállítottság (*intentional stance*) kifejezést. (Dennett, 1987) Az intencionalitás a klasszikus filozófiában a tudatos állapot irányítottságát, valamire vonatkozását jelenti. Dennett kitérít a fogalmat, és intencionális beállítottságnak nevezi egyetlen sejtnek vagy bármilyen élőlénynek az aktivitását, amikor célorientált (teleologikus) kapcsolatba lép környezetével. Egy adott populációnak túléléséhez ténylegesen szüksége van ilyen típusú interakcióra. Ehhez hasonlóan esetünkben is megkérdezhetjük: vajon a gének „döntenek” az alternatív reakciók közt? Ha nem, akkor nincs evolúció, és következésképpen nem fejlődnek ki új fajok vagy fajták. Ha a gének „döntenek” alternatívák közt, mint ahogy valóban ez történik, akkor lehetséges a gének szabadságáról beszélni, még ha átvitt értelemben is. Dennett állítja, hogy a gének mint intencionális lények

szabadabbak, mint az ember, mivel „ők” kódnak bennünket, ahogy különböző szkevenciákba rendeződnek. Virtuálisan a gének célorientált viselkedést mutatnak, ami nem csak lehetővé tette túlélésüket, de biztosította az evolúciót is. Továbbá mi, emberek, géneink által nagyon is korlátozottak vagyunk cselekvéseinkben és megismerésünkben, de, mint erre utalni fogunk, mégsem vagyunk kizárólag az önző géneknek kiszolgáltatva, ahogy azt Richard Dawkins állította. (Dawkins, 1990) A *Human Genome Project* feltárta azon struktúrák típusainak tervrajzait, melyektől az emberek függenek. A kérdés: ha minden gén minden implikációját, funkcióját és hatását föltárjuk, milyen fajta szabadság marad meg az emberiség és az individuumok számára?

A szabadság fogalma az emberi tudat produktuma. Ennek megfelelően az emberi szabadság bizonyos értelemben a gének produktuma, még ha nem is ismerjük az ösz-szes lehetséges kapcsolódást. A molekuláris biológia és a géntechnológia azt az izgalmasnak mondható lehetőséget hordozza magában, hogy az evolúció során egy faj először vívhat vagy vívott ki magának hatalmat és szabadságot a gének fölött. A gének az emberi szabadság függvényei lesznek, miközben korábban ez volt a gének függvénye. A matematikai analízis terminológiáját használva, többé nem dönthető el egyértelműen, hogy melyik lesz a független és melyik a függő változó. Természetesen a génektől való és a gének fölötti szabadság új típusú szabadság. Ha a történelem az emberi szabadság evolúciójától függ, akkor nemcsak jelentős mérföldkövet értünk el, de egy olyan pontot is, amikor a történelem terminológiájának a genetikát is tartalmaznia kell. A géntechnológia lehetőségei és tevékenysége révén az ember kevésbé lesz kiszolgáltatva a természet nyers erőinek; ennél fogva az emberiség szabadsága nagyobb lehet, mint bármikor korábban. Ez nem jelenti, hogy az egyed teljesen képes lesz manipulálni saját genetikai struktúráját,

de idővel és óvatos genetikus átalakításokkal az emberek megváltoztathatják génjeiket, és végső soron szabaddá válhatnak tőlük.

A természetes kiválasztás és az evolúció kétségtelenül új fázisához érkezett, amikor a történelemben először, öntudatos lények (maguk is a gének produktumai) képesek megváltoztatni saját genetikus kódjukat. Bár olyan környezeti hatások, mint sugárzás és szennyezés, mindig változásokat okoztak ezekben a szervezetekben, ezek a véletlenszerű hatások mintegy kívülről jöttek a gének által „ellenőrzött” tartományhoz képest. Most viszont valami, ami a génekből magukból ered, ami a géneken alapul és a gének irányítását követi, nevezetesen az emberi tudat (ami természetesen nem közvetlen eredménye a géneknek, hiszen társadalmi-nyelvi interakciók révén fejlődik ki, és mint ilyen, virtuális szervnek tekinthető), megváltoztatja a géneket, vagyis saját biológiai mélystruktúráját. Így a tudattalan evolúció értelmesen tervezett tudatos evolúcióvá válhat. Ráadásul, a gének nukleotid szekvenciájának megváltoztatása alapvetően átalakíthatja az emberi agy, tudat és tudatosság eredeti genetikai felépítését, és nyilvánvalóan az ember biológiai struktúráját. Itt tevődik föl a kérdés, vajon a génátalakító tudat a gének környezeteként fog működni, avagy mint olyasmi, ami belül van a genetikai rendszeren, mint annak sajátja. Erre a kérdésre jelenleg természetesen nem tudunk válaszolni.

A géntechnológia az emberiség számára újfajta szabadságot és újfajta történelmet eredményez, habár nem biztos, hogy ezt még a hagyományos értelemben történelemnek lehet nevezni. Ha emberek megváltoztatják a genomot, akkor megváltozik a történelemhez és az időhöz való viszonyuk, úgy, hogy a mai, az evolúciós értelemben közeli jövő „közelmúltjában” történő változtatás egyben a közeli jövő – a közelmúlttól gén-archeológusok által is szétválaszthatatlan – régmúltjának is sajátos része lesz. Napjainkig

a jelent mint a hosszú múltbeli evolúciós folyamat eredményét és/vagy következményét tekintettük. Most olyan új eredményeket és következményeket tudunk a jövő számára létrehozni, amelyek később az élőlények és az ember biológiai szerkezetében nem lesznek elkülöníthetők az évmillióig tartó evolúciós folyamatok eredményeitől és következményeitől. Senki, egyetlen gén-archeológus sem fogja majd megmondani, hogy melyik szekvencia vagy melyik szénatom került egy adott helyre az évmilliók evolúció során, és melyik laboratóriumi beavatkozással, néhány évszázaddal azelőtt. Más szavakkal, a genomban történő minden változtatás, a genetikai struktúra bármely befolyásolása olyasmit eredményezhet, mintha az évmilliókat igénybe vevő fejlődésüket és annak mélystruktúráját alakítottuk volna át, mintha abba nyúltunk volna bele – mintha „visszanyúltunk volna az időben”. A genomba való behatolásunkkal virtuálisan behatolunk a történeti és evolúciós folyamatok évmilliók dimenziójú időbeli tartományaiba, legalábbis azokba a struktúrákba, amelyek évmilliók alatt alakultak ki, és ennél fogva évmilliók „megkövült” időbeli szerkezeteit jelentik. Mindebből előre látható, hogy a géntechnológia megváltoztatja az idő és a történelem szemléletét, tapasztalatát és megértését. Átalakítja a történelem episztemológiáját. A jövő történelme többé nem annyira interpretáció, mint mélystruktúrális, bizonyos értelemben szemmel nem látható manipuláció eredménye és témája lesz. Lehetséges, hogy meg fogjuk változtatni az evolúció ritmusát, sebességét és irányát.

Mint említettük, a tudat virtuális szervként fogható föl, a gének makroszkopikus kifejeződésének és manifesztációjának, amely megváltoztatja az evolúció során kialakult mélybeli szerkezeteket, a sajátját is. Ugyanakkor nem ismeri és nem is tudja reprodukálni az evolúció időszükségletét, és az átalakítások még virtuálisan sem tudják

ezt a szükségletet kielégíteni. Miközben a tudat nem képes reprodukálni a hosszú evolúciós időt (lehetetlen újra évmilliókat vámi), felgyorsítja az evolúció idejét és megváltoztatja irányát anélkül, hogy tudná, vajon a gének struktúrája vagy egész „testülete” támogatja-e azt. Megtörténhet, hogy a szervezetek, az agy és a tudat olyan nagy evolúciós sebességgel fognak változni, hogy nem fogják tudni megőrizni saját azonosságukat. Más szervezetek, más agyak és tudatok jöhetnek létre.

Az időhöz való sajátos viszony miatt megmarad a bizonytalanság, vajon a tervezett beavatkozások következményeit előre lehet-e látni és meg lehet-e jósolni. E kérdések sikeres kezelése érdekében közös erőfeszítésekre van szükség tudósok, jogászok és politikusok részéről, hogy az idő, a felelősség, a szabadság, a történelem és a szubjektum új fogalmai és megjelenésmódjai „fölött őrkdjenek”. E fogalmak folyamatos meghatározásával és értelmezésével lesz lehetséges, hogy kifejezzük igényeinket és megfogalmazzuk evolúciós szükségleteinket és vágyainkat. Milyen fajta szabadságot, milyen jövőt, milyen időt, milyen történelmet, milyen szubjektumot és milyen embereket akarunk vagy milyen lények akarunk lenni? Mik *nem* akarunk lenni? Mit kellene megtiltani jogi eszközökkel? Ténylegesen lehetséges az evolúciót etikai megfontolásokkal vagy jogi eszközökkel szabályozni? Vajon valamennyi klasszikus fogalmunk, az alacsony sebességű evolúciós idő strukturális fogalmai el fognak tűnni ezzel a lehetséges nagy sebességű evolúcióval? Az alacsony sebességű evolúciós struktúrák tűrik és túlélnek majd a nagysebességű evolúciós változásokat? Alacsony sebességű struktúráink túl fogják élni a sikerért dúló harcot és a természetes szelekció nyomását a nagy sebességű mutánsokkal vagy vad fajtákkal szemben? Ha nem, akkor ez még mindig a *mi* evolúciónk lesz? (A dinoszauruszok is uralták egykor a földet, a mai evolúció azonban már régóta nem az övék.)

Amint a genetikus tervezés új lehetőségeket nyit meg, a filozófiának, az etikának, a pszichológiának és a szociológiának egyre kevesebb lesz a szabadsága a témaválasztást illetően, és a konstruktív tudományokkal együtt kell a géntechnológia felé fordulnia. A klasszikus filozófia, a humántudományok és a természettudományok hagyományos felfogása végéhez közeledik, ahogy a kortárs amerikai filozófus Richard Rorty felhívja figyelmünket. (Rorty, 1998) A filozófiának, a humántudományoknak és a természettudományoknak – a korábbi, kis sebességű elődök nagy sebességű mutánsaiként – az új technológiák következményeit kell kutatniuk, és felelősen kell részt venniük az előttünk álló tudományos, társadalmi, etikai és jogalkotói vitákban. Ahogy Kant „antropológiai fordulatában” a tizennyolcadik század során a gondolkodást az emberre irányította, úgy kell ma a gondolkodásnak a gének manipulációja felé fordulnia. A különféle tudományágak képviselőinek együtt kell keresniük a szabadság, az individuuum, az evolúció új fogalmait, hogy azok egy jobb emberi lét és ne evolúciós felszámolásunk felé siettessenek bennünket. A tudományoknak és a politikának minden korábbinál jobban nyitottnak kell lenniük a humántudományok és a filozófia felé. Eszünkbe juthat a klasszikus intés, ha a filozófia és a tudományok nem hoznak valódi és a korábbinál jobb gyümölcsöket az emberi közösségeknek és a társadalom egészének, akkor nem érdemlik meg a figyelmet és a támogatást. Ha viszont a társadalom elfordul a tudományoktól, akkor visszasüllyedhet egy már magunk mögött hagyott és nem kívánt múltba.

---

Kulcsszavak: *genetizmus, génkorszak, genetikus tervezés, géntechnológia, evolúció-tervezés, evolúció-technológia, történelem, idő, beavatkozás a történeti idő struktúrájába, szabadság, nagy sebességű versus ala-*

*csönys sebességű evolúció, evolúciós időigény  
versus laboratóriumi idő, nagy sebességű*

*evolúciós tudományok versus alacsony  
sebességű tudományok, tudósok felelőssége*

---

**IRODALOM**

Dawkins, Richard (1990): *The Selfish Gene*. University Press, Oxford

Dennett, Daniel C. (1987): *The Intentional Stance*. MIT Press, Cambridge

Eigen, Manfred (1992): *Steps toward Life*. University Press, Oxford

Habermas, Jürgen (2001): *Die Zukunft menschlicher Natur*. Suhrkamp. Frankfurt

Rorty, Richard (1998): *Megismerés helyett remény*. Jelenkor, Pécs



# A XXI. SZÁZADI BŰNÜLDÖZÉS-TUDOMÁNY NEMZETKÖZI TENDENCIÁI

Fenyvesi Csaba

PhD, egyetemi docens, PTE  
fenyvesi@ajk.pte.hu

A cím szóhasználatát tudatos; kerültem a „kriminalisztika” kifejezést, miután a világ nem egységes a kriminalisztika, mint *terminus technicus* értelmezésében és használatában. Az angolszász országokban, kiemelten az Egyesült Államokban a „kriminalisztikán” pusztán a helyszíni szemléhez kötődő nyomozási (nyomkutatási, összegyűjtési, rögzítési, megvizsgálási stb.) szakcselekményeket értik, és a *forensic science* a felderítési-bűnügyi-bűnüldözési tudomány egyik ágának (branch) tekintik. Szemben a kontinentális országokkal, ahol a *kriminalisztika* terminust részesítik előnyben, és beleértik az összes bűnüldözést szolgáló technikát, taktikát, metodikát, stratégiát.

Mindkét fogalomrendszer egyetért abban, hogy a bűnüldözés tudományáról van szó, amelynek területe rengeteg, a természet- és társadalom- (azon belül viselkedéstudományok) körébe tartozó diszciplínát tartalmaz. Ezeket tudományos tételek és analitikai módszerek segítségével jogi és társadalmi konfliktusok megoldására használjuk fel.

A bűnüldözés-tudomány térnyerése és a jogrendszer általi elfogadottsága bizonyítja egyrészt a (civilizált) társadalmak hajlandóságát arra, hogy a problémák megoldásában –szemben a századokkal ezelőtti tudománytalanságokkal, babonákkal– a tudományra és technológiára támaszkodjon, másrészt abbéli meggyőződését, hogy a tárgyi bizonyíték (physical evidence, hard evidence) és a gyakran hozzá kapcsolódó szakértői vélemény

minden más bizonyítéknál és vallomásnál nagyobb bizonyító erővel rendelkezik.

E ponton el is jutottunk az első és talán legfontosabb, századunk kezdetére világsá vált, nemzetközileg is érzékelhető és az elkövetkezendő évtizedeket és századot is jellemző bűnüldözés-tudományi sajátosságához, tendenciához. Nevezetesen a krimináltechnika elsődlegességéhez.

## 1. A krimináltechnika elsődlegessége (*primátusa*)

a.) A bűnüldözés-tudomány klasszikus, nemzetközi szinten is elfogadott felosztása szerint a krimináltechnika mellett krimináltaktikáról, kriminálstratégiáról, illetve mintegy a különös részeként kriminálmotodikáról beszélhetünk. Ez utóbbi az egyes bűncselekmények nyomozási sajátosságait, speciális módszertanát dolgozza ki, ám alapját a krimináltechnika és a krimináltaktika adja. És miután a kriminálstratégia mint a pillérek legfiatalabbika a bűnözés csökkentését célzó valamennyi intézkedés megtervezését és kivitelezését foglalja magába, az alapvető irányvonalakat a kriminálpolitika nyújtja számára. A kriminálpolitikai tervezetek és megfontolások éppúgy átfogják a reagáló (represszív), mint a megelőző (preventív) intézkedéseket a bűnözés ellenőrzése és csökkentése érdekében, egyúttal magas fokú együttműködést feltételeznek, illetve kezdeményeznek a különböző tudományágak között.

A bűnüldözés-tudomány ügy is körülírható ezek után röviden és tömören, hogy valamennyi a bűncselekményekkel szembeni védelmet és a konkrét felvilágosítást szolgáló technikai és taktikai módszerek-eszközök összessége. Tehát míg a kriminálstratégia egy tevékenységre (míg a metodika egy bűncselekmény-csoportra) vonatkozó összkoncepciót dolgoz ki, addig a krimináltechnika és taktika az egyedi esetekre szóló felderítési-bűnüldözési eljárási lehetőségekre koncentrálnak.

b.) A bűnüldözés-tudomány a kriminál-tudományok rendszerében már gyökereitől, a XX. század elejétől fogva különleges helyzetet foglal el. Egyfelől egy nagyon gyakorlatias, alkalmazásorientált tudomány, amelynek pontos terjedelme és tartalma az eltelt kb. száz év alatt is folyamatosan vitatott, másfelől a tudományággal kapcsolatos tudásanyag növekvő mértékben és egyre nagyobb sebességgel változik. Ez a változás legfőképpen a természettudományi ismeretekre alapozódó krimináltechnika esetében szembetűnő és szinte mindennapos. Ilyen mérvű haladásról és „fomadalomról” a viselkedési és kommunikációs tudományra alapuló krimináltaktikánál nem beszélhetünk, és ez a jövőben sem várható az alaptudományok jellege miatt. Ugyanakkor itt kell megjegyezni azt a nemzetközileg is egyre inkább elfogadott jelenséget, hogy a krimináltaktikai módszerek segítségével produkált adatok bizonytalanabbá válnak, forrásuk, megszerzésük módja és valóságtartalmuk egyre inkább megkérdőjeleződik a büntetőeljárások során. Gondoljunk csak itt a legtöbb ajánlást tartalmazó kihallgatási módszertanra, illetve az ebből keletkezett – akár helyszínen vagy szembesítésen tett – vallomásokra. Az Egyesült Államokból indult tendencia, hogy eleve megkérdőjelezhető a fogvatartott terhelt vallomásának értékelhetősége, tisztességes felhasználhatósága a büntetőeljárásban. Hasonló aggályokat vet fel a szabadlá-

bon védekező, de különböző pszichikai (alkalmanként testi) befolyásolásnak kitett terhelt vallomása, akinek még igazmondási kötelezettsége sincs. Számos felmérés illetve gyakorlati tapasztalat bizonyítja, hogy a – szintén krimináltaktikai módszerekkel – kihallgatott, később felismerést végző, esetleg bizonyítási kísérletben is aktívan részt vevő tanúk (alkalmanként terhelték), jószándékuk ellenére tévednek, objektíve valótlanságokat állítanak, és akkor még nem beszélünk az akaratlagosan hamisan vallók (tanúk és terhelték egyaránt) nagy csoportjáról. Az angol-szász államokban a szembesítést, mint kihallgatási módszert nem is ismerik, nem is alkalmazzák, az igazságkeresés más – legfőképpen technikai – eszközeit (például poligráf) használják fel.

Ha folytatjuk a krimináltaktikai felhasználási ajánlások és alkalmazások áttekintését, akkor a teljes kör láttán egy másik jelenséget és felfedezhetünk. Nevezetesen, hogy javarésztük napjainkban már krimináltechnikai, de legalább technikai alapokra épül.

Elsőként kiemelhető, mint ahogyan az életben is általában elsőként történik meg, az alapos, szakmailag igényes, XXI. századi helyszíni szemle, amelynek során a nyomok és (sokszor szabad szemmel nem látható) anyagmaradványok felkutatása, rögzítése, biztosítása és vizsgálata széleskörű technikai bázisra, eszközrendszerre és módszerre épül. Csakúgy, mint egy korszerű házkutatás, amelynek lefolytatásakor a legkorszerűbb kereső eszközök, technikai berendezések (detektorok, falon átlátó készülék, UV-lámpa stb.) állnak a gyakorta speciális tárgyat (aranyat, fém elkövetési eszközt, kábítószert, uránt, hamis pénzt stb.) vagy (szökésben levő, rejtőző) embert kereső bűnüldözők rendelkezésére. De ide sorolhatjuk a bizonyítási kísérleteket is; ezeknél a legfőbb kérdés mindig az eredeti, bűncselekménykori állapothoz legközelebb álló, optimális esetben azonos körülmények megteremtése. Ez alapvetően technikai kér-



dés szintén, és csak erre épülhet valamiféle krimináltaktika. Még a napjainkban újdonságnak ható profilalkotási módszer (crime profiling) vagy bűnelemzés (crime-analysis) mögött is hallatlan technikai apparátus rejlik az adatok rendszerezése, a számítógépesített feldolgozás következtében.

Majdhogynem az marad igazán krimináltaktikai módszertan, ami – feltehetően – sohasem lesz felcserélhető technikával, legfeljebb segíthető (például számítógéppel), a nyomozás tervezése, szervezése, irányítása, az adatok rendszerezése, analízise és szintézise, végső soron a gondolkodás. Valamint ami széppé, izgalmassá teszi a tudományág művelését, az intuíció, a bele- és megézés, a megsejtés misztikuma, a szenvedéllyel és emberi érzelmekkel teli bűnüldözés.

c.) A jelen századra egyértelművé vált, hogy a szervezett bűnözés a legnagyobb kihívás a bűnüldözés számára. Területei szinte felölelik a mindennapi élet minden szektorát. Kiemelkedő helyet tölt be a kábítószer-, műkincs-, fegyver-, prostitúciós kereskedelemben, valamint a terrorista cselekedetek végrehajtásában. Megfigyelhető jelenség, hogy ezzel párhuzamosan a sértetti kör mintegy elszemélytelenedik, elmosódik az egész bolygóra kiterjedő hatalmas tömegben, ami csökkenti a krimináltaktikai elemek bevetésének lehetőségét. A szervezett elkövetés, mint ahogyan megnevezéséből is látható, jól szervezett, kimunkált, technikailag is erőteljesen támogatott, magas szintű. Ezzel szemben hatékony megelőzést, illetve felderítést is csak szintén magas szintű technikai apparátussal lehet folytatni, amelynek domináns része titkos eszközöket jelent. A műholdas követő rendszeren keresztül, az egész világot lehallgatni képes, épületeket, személyeket átvilágító és rögzítő készülékek mind technikai csúcsteljesítmények, amelyek nélkül nem lehet sikeres korunk bűnüldözése.

d.) A bűnüldözés-tudomány eredményessége a tárgyalótermekben dől el, ott

zajlik le a végső „eredményhirdetés”. A tapasztalatok azt mutatják; a civilizált világ minden pontján a „megvásárolható tanúk”, a tárgyi bizonyítékok, a nyomok és anyagmaradványok tudományos megalapozottságú hitelt érdemlősége a legfontosabb bizonyíték, a bűnüldözés aduja. Ezek pedig természettudományi ismeretekre, hallatlanul elmélyült és sebesen fejlődő tudásra, kutatási tapasztalatra, tudományos ismérrendszerre épülnek. Amilyen mértékben fejlődnek a természettudományi alapágak (biológia, fizika, kémia, matematika stb. és ezek alágai) olyan mértékben – némi, néhány éves, de mindenképpen egyre rövidülő késéssel átveve – fejlődik az alkalmazott tudományok körébe tartozó bűnüldözés-tudomány (kriminalisztika) is. Az is tapasztalati tény, hogy ilyen fejlődésre a természettudományok esetében számíthatunk, a társadalomtudomány terén vajmi kevésé.

Úgy tűnik, a terheltek is érzékelik az igazságszolgáltatás „szeizmográfját”, a nemzetközi tendenciát, mivel egyre inkább csak olyat ismernek el illetve be, ami természettudományi tényekre épül, és amit krimináltechnikai szakértők közreműködésével támad elélbük, minden más (szubjektív) adat megkérdőjelezhető, vitatható, aggályos. A tapasztalati tények azt sugallják, nem is tévednek alapvetően.

## 2. Minucializálódás (mikroszkopizálódás, miniatürizálódás)

Az előző pontban foglaltakkal van összhangban, hogy a szélesebb értelemben vett bűnüldözés számára egyre nagyobb jelentőséggel bírnak a bűncselekményhez, illetve az elkövetőhöz kötődő nyomok és anyagmaradványok. Világtendencia – nézetem szerint –, hogy miközben egyre fejlettebb a bűnfelderítési technika, ezzel ellentétes irányban mozog a bűnelkövetők által hagyott, ejtett nyomok, anyagmaradványok mennyisége és minősége. Vagyis a minél fejlettebb krimi-

náltechnikával szemben egyre inkább kvalifikációt mutató bűnelkövetési módszertan is kialakult. A bűnüldözés szomorú ténye, hogy valóban, mint ahogyan a fogalma, az elnevezése is mutatja: „üldözés”. Ez szükségszerűen egy követő magatartást feltételez, így a bűnüldözés-tudomány képviselői mindig a bűnelkövetők mögött járnak. A krimináltechnikai módszerek sem előzik meg a bűnelkövetési módokat. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a bűnelkövetési módszertan ez idáig fejlettebb, gazdagabb volt, mint a bűnfelderítési.

Ebből adódóan a világ krimináltechnikai eszköztárának bővülésével, jelentős fejlődésével egyidejűleg, ellentétes tendenciaként a bűncselekményekkel kapcsolatos nyomok-anyagmaradványok csökkenését, szűkülését tapasztaljuk. Az igazságszolgáltatás (mint szélesebb körben értelmezett bűnüldözés) szemszögéből vizsgálva úgy is megfogalmazhatjuk, hogy bizonyítékínség van az eszközbőséggel szemben. A bizonyítékínségben felerősödnek a nem látható, miniatürizált nyomok és anyagmaradványok, amelyek jelentősége egy-egy ügy felderítésében, megítélésében perdöntő lehet. Ilyen nem látható, csak mikroszkóppal vagy ehhez hasonló „feltáró”, a külvilág számára értékelhetővé tevő eszközzel nyilvánosságra hozott, a büntetőeljárásba bekapcsolt, felkutatott, rögzített, majd azonosított minuciáknak (apróságoknak) felértékelődött és még inkább felértékelődik a szerepük. (Példaként említem csak meg a DNS sejtmagot tartalmazó, helyszínen hagyott nyál- vagy verejtékcseppet.)

### 3. Nemzetköziesedés (internacionalizálódás)

AXXI. században már nincs kétség afelől, hogy a bűnelkövetések régen átnyúltak már az országhatárokon, de még a kontinenseken is. Globalizált a bűnözés is, mint a profitszerzés egyik módja, miért lenne másként, mint a gazdaság egészében. Ilyenformán ezzel

szemben a bűnüldözésnek is globalizálnak kell lennie, ha sikert kíván elérni. Szükség van tehát az államok (kontinensek, nemzetközösségek) közötti együttműködésre. Ismét egy „mögöttes-üldöző” cselekvési kikényszerítettségről van szó. Előbb volt a bűnözés határátlépése, mint a bűnüldözése. Minden ország elemi érdeke a fokozottabb nemzetközi együttműködés, mind a bűnüldözésben, mind a bűnüldözés-tudományban. Az előbbi adatáramoltatást, kölcsönös informálást jelent, a másik a komplex felderítési-vizsgálati eljárások, metódusok egységes sztenderdjeinek kidolgozását. Ez csak az államok széles körére kiterjedő kooperációval valósítható meg. Mind az alapkutatásokat, mind az alkalmazotti technikák kipróbálását, mind az egyes mintagyűjteményeket (fegyver-, lőszer-, cipőtalp-, autógumi-, gépkocsifesték és lakk-, kézírás-, gépirás-, hang-, dialektus, DNS-gyűjtemény) össze kell kapcsolni, ezeket nemzetközi egységben kell koordinálni. Tovább kell szorgalmazni az egyes szakterületek nemzetközi egyesüléseit. (Például ENFSI-FITEH – Forenzikus Tudományokkal Foglalkozó Intézetek Európai Hálózata; Európai DNS-Laborok Egyesülete; EDNAP – Európai DNS-Profil Csoport, EAFS-EFTA – Európai Forenzikus Tudományok Nemzetközi Akadémiája stb.)

### 4. Komputerezálódás (számítógépesítés)

A számítógép megjelenése és térhódítása kétirányú. Egyrésztől megjelent és fokozottan megjelenik a bűnelkövetések körében, mint elkövetési eszköz, illetve mint az elkövetés tárgya. Számítógépekkel követnek el valóban „határtalan” csalásokat, illetve számítógépeket (programokat, chipeket) „térítenek el” eredeti parancsaiktól, rendeltetésüktől. Továbbá a számítógép válik az egyetlen íróeszközzé, miután a múlt század – muzeális – jellegzetességévé válik – az írógépet követően – az író kéz is. E század jel-

lemzője a nyomtatott írás és az elektronikus írás. A bűnüldözés tudományának ki kell dolgoznia a számítógépes bűncselekmények, a számítógép-nyomtatók azonosításának, az elektronikus írás- és aláírás-hamisítások felderítését, mindenekelőtt krimináltechnikai módszertanát.

Másrészről felderítési illetve bűnüldözés-tudományi eszköz. Eszköz az alap kutatásokban és eszköz a krimináltechnikai módszerek alkalmazásában is (például AFIS, nyom- és anyagmaradványok azonosítás, személyazonosítás, hangazonosítás stb.). Ugyanakkor a komputer adattároló-rendszerező és elemző is egyúttal, miután óriási kiterjedésű adathalmaz jön létre mind a hazai, mind a nemzetközi bűnüldözés révén. Minden bűnüldöző (bűnüldözés) annyit ér, amennyi adata van. Ebből azonban igazán a minőségi, a releváns adat az értékes, vagyis a számítógépben levő adatot elemezni, szűrni, összefüggéseiben kell használhatóvá tenni. Itt is megjelenik a fent leírt paradoxon: a nagy általános (generális) adathalmaz mögött az egyedi (speciális) eseteknek gyakran adatfűrésze van.

Egyúttal itt is el kell végezni a nemzetköziesítést; össze kell kapcsolni az egyes nemzetek adatállományát. Ezt folyamatosan bővíteni és intenzifikálni szükséges. Ennek konkrét megvalósulását láthatjuk az Interpol, Europol, EuroJust, Eurodac és Schengen keretében. A legutóbbi rendelkezik a nyomozást segítő ún. schengeni információs rendszerrel (SIS), amely lehetővé teszi a keresett személyekkel, tárgyakkal (pl. gépjárművekkel) kapcsolatos adatok gyors cseréjét.

Az adatoknak összehasonlíthatóknak kell lenniük, ami a legkomolyabb problémát jelenti az eltérő jog-, statisztika- és informatika alapú nemzetek között. Tekintve az egymástól nagymértékben eltérő nemzeti büntetőjogi rendszereket, nem várható a közeljövőben átfogó egységesítés (homogenizáció), ugyanakkor az egyes bűncselekmények (tényállásaik) kapcsán – különösen, ami

a szervezett bűnözést illeti –, már most is tapasztalható és a jövőben nagy valószínűséggel még erősödni fog a törekvés egy legalább európai szintű egységesítésre.

A komputerizálódás tette és teszi lehetővé – az Egyesült Államokból elterjedt – értékes, ún. bűnözési térképek (crime-mapping) készítését is, amelyet GIS (Geological Information System – Geographisches Informationssystem) néven ismerhettünk meg. Ez különböző adatbankokból származó információkat dolgoz fel és kapcsol össze egymással. Az eredmény egy optikai képes ábrázolás arról, mikor, hol és milyen típusú bűnözés lépett fel. Lehetővé teszi a „hot spot”-ok, a „forró helyek”, vagyis a magas koncentrációjú bűnözéssel bíró kis területi egységek azonosítását, az egyes megjelenési formák modellezését, valamint a hatásait. A rendszer előnye, hogy nem utólag, „üldöző” módon, hanem szinte egyidőben olvasható a bűnözési helyzetkép. Ennek alapján mind represszív, mind preventív intézkedések tehetőek.

A bűnözési térképezés jövőbeni súlypontja a teljesen komputerizált, szinte önműködően lefutatható adatelemzés és az erre épülő automatikus előrejelzés a várható fejleményekre. A „hot spot” megfigyelt változásából például levezethető, hol és milyen valószínűséggel számíthatunk új „forró hely” felbuklására. Minél nagyobb teljesítményűek lesznek a számítógépek, annál hatékonyabban vethető be a mesterséges intelligencia ezen rendszere.

### 5. Minőségi specializálódás

A bűnüldözés-tudomány elmúlt száz éve alatt annyi ismeret halmozódott fel, hogy egyáltalán nem túlzó állítás, hogy nincs olyan személy, aki ma minden alkalmazott krimináltechnikai (-taktikai) módszert ismerne vagy akár birtokolna. Ahogyan a szintén rohamosan fejlődő alkalmazott tudományban, az orvostudományban is fikció az „orvos” kifejezés, úgy a

bűnüldözés-tudományban sincs polihisztor szintű „kriminalista”. Legfeljebb egy-egy területre, egy-egy tudományos mezőre rálátó, abban szakértőként részt vevő személyekről beszélhetünk. Ilyen „mezők” lehetnek a bűnüldözés-tudományban:

*traszológián belül:* ujj-, láb-, ajak-, homlok-, fül-, fog-, cipő-, fém-, fémbeütés-, közlekedési eszköz, egyéb eszköz, keréknyom;

*anyagmaradványok körében:* szag, haj, szőr, textil, vér, (szerológia), vizelet, ondó, egyéb emberi anyagmaradványok, állati anyagmaradványok, festék, üveg, talaj, műanyag, fém, gyertya, por, kábítószer (már azon belül is alcsoportok – kábítószerkémia), ásvány (forensic geology), bogár-rovar (forensic entomology), DNS-azonosítás;

*egyéb krimináltechnikai metódus körében:* okmány, (questioned document) írás, gépírás, aláírás, nyomtatóírás, grafológia, festmény, fegyver, lőszer, robbanószer, tűz, hangazonosítás, személyazonosítás, poligráf, számítógép-azonosítás, számítógépfeltörés-elhárítás, számítógépvírus-elhárítás, daktiloszkópia, fénykép-videoazonosítás, orvostan (criminal anthropology), tervezési-építési balesetek vizsgálata (engineering failure);

*krimináltaktika körében:* bűnözés-elemzés (crime analysis), bűnelkövetői profilalkotás, (criminal profiling), viselkedéstudomány (Behavioral Science Unit – USA), bűnügyi ügyintézés (forensic nursing).

A felsorolásból is kitűnik, hogy a megváltozott tudásmennyiség által kikényszerített specializálódás megy végbe, melynek keretében a bűnüldözés-tudomány képviselői vagy a vizsgálat tárgya és/vagy módszere alapján néhány területen mozognak, kutatnak, adnak szakvéleményt. Minél magasabb szintűvé, minél elmélyültebbé válnak az adott részterület tudományos ismeretei, módszerei, annál inkább szűkül az egy személy által a század követelményeinek megfelelően,

megbízhatóan művelhető egységek száma, egyúttal annál magasabb szintűvé is válik egy-egy képviselő produktuma. A folyamat megállíthatatlanul a minimális egységszám, az egy felé közelít. Egyre inkább csak igen szűk területen, azon belül azonban széles skálán és nagy precizitással képesek és alkalmasak a bűnüldözés-tudomány szakemberei biztos válaszokat nyújtani a bűnüldözési (kriminalisztikai) fő kérdésekre.

Folyamatos minőségi képzésüket a világ legfejlettebb államaiban alapkutatásokat végző egyetemek, (igazságügyi tudományos felsőoktatás) kutatólaboratóriumok, tudományos programok segítik.

A bűnüldözés-tudományban is jelentős eredményeket felmutató Amerikai Egyesült Államokban például több mint hatszáz igazságügyi intézet kínál forenzikus tudományos képzést, és több mint húsz egyetem, illetve főiskola pedig doktori (*bachelor* vagy *master* vagy PhD) képzést. A tendenciát jól mutatja, hogy a 80-as évektől kezdve – helyi egyetemi támogatottsággal – már amerikai középiskolákban is beindítottak forenzikus kurzusokat. Itt az első két évben általános biológiát, kémiát, fizikát, szerves kémiát, biokémiát, fizikai kémiát és matematikát, a második két évben bírósági eljárásjogot, műszaki tudományokat és kriminalisztikai ismereteket tanulnak, az utolsó két félévben pedig szerológiát, ballisztikát, fényképezést, toxikológiát, fénymikroszkópos vizsgálatokat, üvegvizsgálatokat. A már végzetek posztgraduális képzésében szerepel az analitikai kémia, genetika, immunológia, igazságügyi orvostan, okmányvizsgálat, ujjnyomanalízis, a fénymikroszkópok több fajtájának kezelése, elektronmikroszkópia, eszköznyom-összehasonlítás, lövedék-azonosítás, elemi szálak összehasonlító elemzése, optikai krisztallográfia (optikai ásványtan), fúziós (kvantitatív) mikroszkópia, gyújtogatások vizsgálatának módszerei, fizikai bizonyítékok gyűjtése és elemzése,

különböző anyagok (papír, festék, tinta, fa, pollen, föld stb.) azonosítása, igazságügyi elmeorvostan, poligráf technikák, hangazonosítás. Ezeket a tanulmányokat kiegészíti némi egyéni kutatómunka is, amelynek eredményeit gyakran szakdolgozatba foglalják. Ezek után következhetnek a felsőfokú képzések, majd a tudományos fozokozatokhoz vezető kutatások.

Szinte bizonyossággal állíthatjuk, hogy az ilyen tematikájú, szerkezetű rendszeren nevelődött és később szinte csak egy „mezőre” képzett szakemberek egyedi véleményei megbízhatóbbak, mint a korábbi „polihistoroké”.

### 6. Privatizálódás (magánosítás)

A specializálódás is szerepet játszik abban, hogy egy-egy szűk bűnüldözés-tudományi területen megjelentek – és számuk csak növekszik – a magánszektor képviselői. Ezek közé sorolhatók az elsősorban proaktív, bűnmegelőzést szolgáló (járőrözés, fegyveres szolgálat, videokamerás rendszerek széleskörű telepítése), de alkalmanként (reaktív) felderítést is elősegítő (magánnyomozó) biztonsági cégek megjelenése szinte az egész világon, valamint az egyes szakterületek privát specialistái. Utóbbiak ügyfélmegbízások alapján járnak el a birtokukban levő technikai eszközökkel és specializálódtak, kvalifikált tudásukkal. A fentebb felsorolt összes „mezőn” megtalálhatjuk őket.

A felkészült szakemberek által előállított „biztonság”, illetve vélemény piacgazdasági körülmények között áruként (product) jelenik meg. Alkalmanként, és ez erősödni látszik, nagy marketingcsaták folynak piaci szegmensekért. Minden államnak magának kell meghatároznia, mekkora teret ad az egyébként alapvetően állami feladatú bűnüldözésben a magánszektornak. Ám világosan látható, hogy szinte minden fejlett állam felismerte, hogy szükség van a növekvő és egyre szervezettebb bűnözéssel szemben

segítségre. Az állampolgárok megvédése mindenki számára közügy, és erre az állami apparátusok nem tudnak optimálisan reagálni. Tehát a magánszektor képviselői mintegy az állami akarat „meghosszabbított karjaként” megjelennek a mindennapi életben. És egyre inkább megjelennek. Ahogyan a közterületek rendjének fenntartásában is szerepet játszanak, úgy megjelennek a bűnüldözés-tudomány egyes kérdéseinek kutatásában, de leginkább alkalmazásában. Legfőképpen a védelem (terhelt, védő) él azzal a sok helyen törvényileg szabályozott lehetőséggel, hogy ún. „felkért” vagy „védszakértőt” alkalmazzon saját költségére, aki adott ügyben bűnüldözés-tudományi ismeretei alapján válaszol releváns kérdésekre. Ezzel mintegy „konkurenciájává” válik az állami szakembereknek, ez a „konkurálás” azonban egészséges versenyhelyzetet teremt, a többszemponútáság csak segítheti a gyors és eredményes bűnüldözést, végső soron pedig a helyes igazságszolgáltatást. Ez pedig mindannyiunk érdeke.

### Zárógondolat

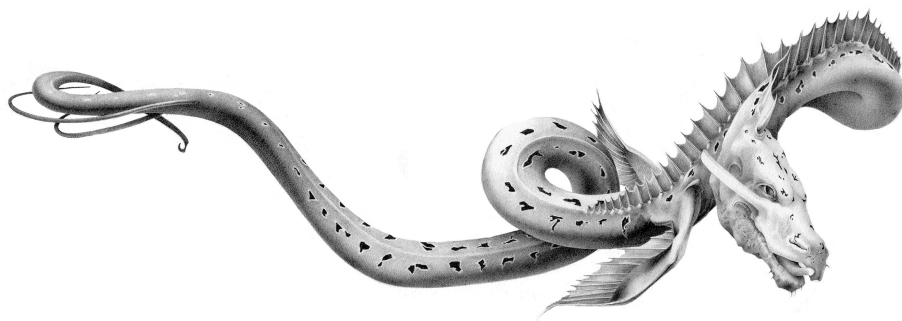
A felsorolt tendenciák nem kimerítő jellegűek, de mindenképpen alapvető irányvonalakat tartalmaznak századunkban. Közöttük is számtalan összekapcsolódás fedezhető fel. Mindenekelőtt, hogy a kiindulópontot jelentő technikai előretörésen alapszik az összes többi, miközben kölcsönhatás is van. Hiszen maga a számítógép az egyik olyan vívmány, amely lehetőséget ad a technikai primátusra, nemzetköziesedésre, a minőségi specializációra, és erőteljesen megjelenik a magánszektor munkájában is.

Az összekapcsolódás, szoros kölcsönhatás mellett az is érzékelhető, hogy irányuk, a haladásuk fókuszja ugyanaz. A bűnmegelőző és felderítő eszközök mennyiségi és főleg minőségi növelésével egy biztonságosabb világ megteremtése. Ezt a törekvést csak támogatni lehet.

Kulcsszavak: *bűnüldözés-tudomány, kriminalisztika, krimináltechnika, krimináltaktika, minucializálódás, nemzetköziesedés, komputerizálódás, specializálódás, magánosítás*

#### IRODALOM

- Alamoreanu, Sorin (2000): *Elemente de Criminalistica*. Editura Alma Mater, Cluj-Napoca
- Burghard, Waldemar–Hamacher, H. W. –Herold, H. –Horka, H.–Kube, E. –Schreiber, M. (1996): *Kriminalistik-lexikon* 3. Auflage, Kriminalistik Verlag, Heidelberg
- Campbell, Andrea (2000): *Forensic Science: Evidence, Clues, and Investigation*. Chelsea House Publishers, Philadelphia
- Fenyvesi Csaba (2002): *A védőügyvéd (A védő bűntetőjárás szerepéről és jogállásáról)*: Dialóg-Campus, Budapest–Pécs
- Geer, J. (1986): Forensic Science Training and Research in the Federal Bureau of Investigation. in: Davies, Geoffrey (ed.): *Forensic Science*. 2<sup>nd</sup> Edition, American Chemical Society, Washington DC, 85-93
- Grafl, Christian (2002): Perspektiven der Kriminalistik. *Kriminalistik*, **6**, 379-394
- Hartwig, M-A. (2001): Geographische Informations-systeme. (GIS): *Kriminalistik*, **5**, 435-439
- Higgins, Kathleen M. – Selavka, Carl M. (1988): Do Forensic Science Graduate Programs Fulfill the Needs of the Forensic Science Community? *Journal of Forensic Sciences*. JFSCA. **33**, **4**, 1015-1021
- Katona Géza (2002): *A kriminalisztika és a bűnügyi tudományok* BM Kiadó, Budapest
- Kube, Edwin – Störzer, Hans U. – Timm, Klaus J. (Hrsg.) (1992/1993): *Kriminalistik. Handbuch für Praxis und Wissenschaft*. Band 1-2. Boorberg Verlag, Stuttgart
- Lindquist, Charles A. – Liu, R. H. – Jenkins, K. – Yates, L. (1994): Graduate Education in “Conventional Criminalistics”: A Proposal and Reactions. *Journal of Forensic Sciences*. JFSCA. **39**, **2**, 412-417
- Makszimovics, R. (2000): *Kriminalisztika-Technika*. Policijszka Akadémija, Beograd
- Mircea, Ion (1999): *Criminalistica*. Editura Lumina Lex, Bucuresti
- Modly, Duško – Korajlic Nedžad (2002): *Kriminalisticki rječnik*. Tesanj
- Pavišić, Berislav – Modly, Duško (1999): *Kriminalistika*. Pravni Fakultet Sveucilista U Rijeci, Rijeka
- Peterson, J. L. – Angelos, Sanford A. (1983): Characteristics of Forensic Science Faculty Within Criminal Justice Higher Educational Programs. *Journal of Forensic Sciences*, **28**, **3**, 552-559
- Peterson, J. L. (1998): Teaching Ethics in a Forensic Science Curriculum. *Journal of Forensic Science*. JFSCA. **33**, **4**, 1081-1085
- Siegel, Jay (1988): The Appropriate Educational Background for Entry Level Forensic Science Students: A Survey of Practitioners. *Journal of Forensic Science*. **33**, **4**, 1065-1068
- Siegel, Jay M. – Sauldko, Pekka J. – Knupfer, Geoffrey C. (2000): *Encyclopedia of Forensic Sciences*. (Volume 1-2-3) Academic Press, San Diego – San Francisco – New York – Boston – London – Sydney – Tokyo
- Tremmel Flórián–Fenyvesi Csaba (2002): *Kriminalisztika tankönyv és atlasz*. 3. kiadás, Dialóg–Campus, Budapest–Pécs
- Waard de Jaap (1997): The Private Security Industry in International Perspective. *European Journal on Criminal Policy and Research*. **7**, 143-174



## Tudós fórum

# BESZÁMOLÓ AZ MTA 2004. ÉVI RENDES KÖZGYŰLÉSÉRŐL

A Magyar Tudományos Akadémia 173. rendes közgyűlését 2004. május 3-4-én tartotta. A közgyűlés nyilvános köztestületi üléssel kezdődött, amelyet Vizi E. Szilveszter rendes tag, az MTA elnöke nyitott meg, köszöntve a jelenlevőket, köztük Mádl Ferenc köztársasági elnököt, az MTA rendes tagját, Holló Andrást, az Alkotmánybíróság elnökét és Hiller István minisztert. Az Európai Unióhoz való csatlakozásunk alkalmából az MTA elnöke utalt arra, hogy az EU az összeurópai béke igénye nyomán jött létre olyan jelentős politikusok kezdeményezésére, mint Robert Schuman és Sir Winston Churchill. Megszűnt Magyarország komország jellege, kikötöttünk, s ezúttal magunk választottunk, nem mások választottak helyettünk.

A díszvendégek közül Jürgen Mittelstrass, az Academia Europaea és Heinrich Nöth, a Bajor Tudományos Akadémia elnöke is köszöntötte a közgyűlést, majd Hiller István kapott szót.

A kormány üdvözlését tolmácsoló miniszter utalt a mindenkori kormány és az MTA közötti együttműködésre, amelynek folytatása közérdek. Az MTA jóval megelőzte az ország EU-csatlakozását, mert a tudás soha nem szakadt ki a nemzetközi vérkeringésből. Az Akadémia a magyarság mellett eddig is őrizte és ápolta az európaiságot. A csatlakozás után a kultúra ügye nemzeti hatáskörben marad, és a nemzeti kulturális örökség to-

vábbra is bővülni fog. Ezen örökség alapja az anyanyelv, amelynek ápolása az Akadémia egyik alapvető feladata. Ebben és a valós tudomány legszélesebb körben való hirdetésében a kormány partnerséget kér és együttműködést ajánl.

Az üdvözlő beszédek után Holló András *Európa az Alkotmányról – egy Alkotmány Európáról* című előadását hallgatták meg a jelenlevők. Az előadásban az Alkotmánybíróság elnöke előbb az alkotmányveszme és az alkotmányozás kialakulását vázolta fel történelmi – európai – példákkal, majd a most kidolgozás alatt álló EU-alkotmánnyal kapcsolatos problémákat ismertette. Az alkotmányos állam eszméjén túllépve, de annak mintájára az Európai Unióban az alkotmányozás most államok feletti szintre kerül. A megalkotandó európai alkotmány egyes elemei nemzetközi szerződés jellegűek, más elemei viszont az alkotmányokban megszokottak. Ezek részletesebb kifejtése, sőt az előadás teljes szövege – és a közgyűlésről szóló egyéb tájékoztatók is – olvashatók az MTA honlapján (<http://www.mta.hu>). Az európai alkotmányozás eredménye azon múlhat, hogy mindenki számára elfogadható legyen az alkotmányozás célja.

A köztestületi ülés az Akadémia díjainak átadásával folytatódott. Az MTA elnöksége a 2004. évi *Akadémiai Aranyéremmel* Halász Béla rendes tagot, a Semmelweis Egyetem

emeritus professzorát, az MTA-SE Neuroendokrin Kutatócsoport kutatóprofesszorát tüntette ki nemzetközileg elismert, eredményes tudományos kutatómunkásságáért, iskolateremtő tevékenységéért, valamint széleskörű tudományos szervező és tudománypolitikai munkájáért, amelynek jelentős részét a Magyar Tudományos Akadémián fejtette ki.

Az MTA legmagasabb elismerésével kitüntetett Halász Béla köszönő szavaiban kifejezte, hogy munkásságát az oktatás, képzés, tudomány és kutatás érdekében végzett szolgálatnak tekinti.

Az egy évszázad szünet után 2003-ban felújított *Wahrmann Mór-érmét* a Magyar Tudományos Akadémia elnöksége a Magyar Távközlési Részvénytársaságnak, Straub Elek elnök-vezérigazgatónak, Pásztory Tamás vezérigazgató-helyettesnek és Sallai László oktatási igazgatónak ítélte oda a tudomány társadalmi elismertsége és a tudás alapú társadalom fejlesztése érdekében kifejtett tevékenységéért. A kitüntetett MATÁV vezérigazgatója rövid köszönőbeszédében megemlítette, hogy gazdasági tevékenységük mellett fontosnak tartják a kultúra támogatását, és folytatják az együttműködést, mert érdemes volt erre az útra lépni.

A kitüntetési ceremónia az Akadémiai Díjak és az Akadémiai Újságírói Díjak átadásával folytatódott.

#### **Akadémiai Díjat** kapott:

**Szovák Kornél**, a nyelvtudomány kandidátusa, a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Klasz-szika-Filológia és Medievalisztika Intézet vezetője, aki az Union Académique International által támogatott és egy nemzetközi vállalkozás részeként készülő *Magyarországi középkori latinság szótára* munkálatait vezeti. Az általa szerkesztett szótár már most nélkülözhetetlen eszköze a magyar kutatóknak, és magas tudományos színvonalával a nemzetközi kritika tudományos elismerését is kivívta;

**Fodor Pál**, a történettudomány kandidátusa, az MTA Történettudományi Intézete tudományos főmunkatársa, akinek az oszmán-török történelemről írt munkái (*In Quest of the Golden Apple, Isztambul és A szultán és az aranyalma*) kitűnő filológiai elemzéssel mutatják be az oszmán-török birodalom egyetemes történeti összefüggéseit: a felemelkedés és a hanyatlásba vezető stagnálás belső okait;

**Páles Zsolt**, az MTA doktora, a Debreceni Egyetem Analízis Tanszékének egyetemi tanára, a függvényegyenletek és -egyenlőtlenségek, a konvex, nemsima és nemlineáris analízis, az optimális irányítás és nemlineáris optimalizálás, valamint a középértékek elméletében elért, nemzetközileg is elismert eredményeiért;

**Faragó Sándor** egyetemi tanár, rektor, a Vízgazdálkodási Intézet igazgatója, **Koloszár József** egyetemi tanár, az Erdőművelési Tanszék vezetője és **Mészáros Károly** egyetemi tanár, dékán, az Erdővagyon-gazdálkodási Intézet igazgatója, mindhárman a mezőgazdasági tudomány kandidátusai, a Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Karának munkatársai, a természetközeli erdő- és vadgazdálkodási kutatásokban az ökológiai szempontok kutatása és oktatása terén elért eredményeikért, a témakör komplex kutatásának megszervezéséért, kiemelten a hazai szálalóerdő-gazdálkodás lehetőségeinek feltárásáért, az apróvad- és vízivad-élőhelyek fejlesztéséért és a természetközeli erdő- és vadgazdaság erdészeti politikai vonatkozásainak kimunkálásáért, az ide kapcsolódó ökonómiai kérdések kutatásának koordinálásáért, a kutatási eredmények gyakorlati bevezetésében és az MTA Erdészeti Bizottságában kifejtett tevékenységükért (megosztott díj);

**Balla György**, az orvostudomány doktora, a Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centruma Neonatológiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi



tanára és **Balla József**, az orvostudomány doktora, a DE OEC Belgyógyászati Intézet Nephrológia Tanszékének tanszékvezető egyetemi docense, akiknek a gyógyító és oktatómunka mellett közösen végzett kiemelkedő tudományos tevékenysége az érbetegségek keletkezésének jobb megértéséhez vezetett. Nevükhöz fűződik az érfal stresszadaptációjának felfedezése, amely által a szervezet képes önmagát védeni a különböző ártalmakkal, elsősorban a toxikus oxigén-metabolitokkal szemben. A felfedezésnek többek között az érlemezéssel, a vesebetegségekkel, a gyulladással járó folyamatokkal, valamint a koraszülöttek szem- és tüdőbetegségeivel kapcsolatban van jelentősége. Eredményeik új utat nyitottak az egyes szervek védelmi rendszereinek kutatásában (megosztott díj);

**Tisza Miklós**, a műszaki tudomány doktora, a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára, az MTA–Miskolci Egyetem Technológiai Kutatócsoport vezetője, a különleges képlékenyalakító eljárások fejlesztése, a számítógépes memóriamódszerek, szakértői rendszerek képlékenyalakítási folyamatokra alkalmazásának területén elért tudományos eredményeiért. Tisza Miklós a tudás alapú szakértői rendszerek és a numerikus modellezés integrálásával új alapokra helyezte a képlékenyalakítási folyamatok számítógépes technológiai és szerszámtervezését. Az irányításával kidolgozott programrendszereket a hazai ipar és felsőoktatás mellett több külföldi intézmény is sikerrel alkalmazza;

**Keglevich György**, a kémiai tudomány doktora, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szerves Kémiai Technológia Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára, aki új reakciók és reakciótipusok felfedezésével, az ezekkel összefüggő példátlan intenzitású publikációs teljesítményével (az utóbbi öt évben

hetvenhét közleménye jelent meg) hazai és nemzetközi ismertséget és elismertséget szerzett. Tudományszervező aktivitása is példaszerű;

**Nagy Ferenc**, az MTA doktora, a Gödöllői Mezőgazdasági Biotechnológiai Központ főigazgatója és **Burgyán József**, az MTA doktora, a GMBK főigazgató-helyettese. Nagy Ferenc a növényi gének kifejeződését szabályozó molekuláris mechanizmusok megismerésének területén ért el úttörő jelentőségű és nemzetközileg is kimagasló eredményeket, amely iskolateremtéssel párosult a fény és a biológiai óra által szabályozott ritmikus génexpresszió feltárásában, valamint a cisz- és transzgenetikai szabályozó elemek szisztematikus megismerésében. Burgyán József a növényi génexpresszió szabályozása és a növényi virológia területén ért el kiemelkedő eredményeket, amely szintén iskolateremtéssel párosul az RNS-interferencián keresztül történő géncsendesítés különböző funkcióinak meghatározásában (megosztott díj);

**Losonczi Ágnes**, a szociológiai tudomány doktora, az MTA Szociológiai Kutatóintézetének tudományos tanácsadója, a magyar szociológia háború utáni újrarendezésének nagy alakja, akinek munkássága úttörő jelentőségű egy sor területen. Kiemelkedő fontosságú könyveket publikált zeneszociológiában, az életmódkutatásokban, az egészség-betegség és az egészségügy szociológiájában;

**Márton Péterné Szalay Emőke**, a földtudomány doktora, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet Laboratóriumának vezetője, akinek tudományos eredményei főként a Pannon-medence, a Kárpátok, a Déli- és a Keleti-Alpok, illetve a Dinaridák térségében a nagyszerkezeti változások tisztázásához járultak hozzá. Különösen fontosak, és a korábbi tektonikai modellek jelentős módosítását vonták és vonják maguk után az elmúlt 80 millió évre vonatkozó megállapításai, amelyek 1992-től kezdődően az adriai terti-

lettől a Kárpáti-előmélységig illetve a Bohémiai-masszívum északi pereméig terjedő szisztematikus kutatás eredményei;

**Sarkadi László**, a fizikai tudomány doktora, az MTA Atommagkutató Intézetének tudományos osztályvezetője, egyszerű atomi ütközési rendszerekben nagy energiájú bombázó lövedékekkel elért, különösen a kilépő elektronok spektrumában jelentkező ún. *cúps*-ra vonatkozó úttörő eredményeiért, amelyek az ütközési mechanizmus részleteinek megismerése szempontjából is nagy fontosságúak.

**Akadémiai Újságírói Díjat** kapott:

**Csonka Erzsébet**, a Duna Televízió főszerkesztője, az Iskolatelevízióban, majd a Duna Televízióban készített rendkívül színvonalas irodalomtörténeti filmjeiért, a *Hungaria Litterata* című – a televíziós ismeretterjesztésben eddig példátlan horderejű – sorozatáért, amelyen keresztül egyik fontos feladatának tartja az anyaország és a nemzetrészek történelmi és kulturális összetartozásának bemutatását;

**Gózon Ákos**, a Magyar Rádió vezető szerkesztője, a Rádióban és a Duna Televízióban a magyar irodalomtörténet, filozófiatörténet és művelődéstörténet legfontosabb kérdéseiről készített magas színvonalú portréműsoraiért, sorozataiért. Munkája során számos akadémiai taggal készített műsort, különös figyelemmel az akadémiai díjazottak bemutatására;

**Hovanyecz László**, a Népszabadság kulturális rovatának szerkesztője, az MTA tevékenységének tárgyilagos, hiteles, felkészült bemutatásáért, a társadalmi és történeti kérdésekről írott önálló, színvonalas publicisztikájáért, amelyben mindig érzékelhető a tudomány legújabb eredményeiben való jártassága, széles nemzetközi kitekintése és speciálisan a közép-európai térség alapvető társadalmi, politikai és kulturális kérdéseiben való rendkívül jó tájékozottsága.

\*

A Magyar Tudományos Akadémia a Magyarországgal szomszédos államokban, illetve a nyugat-európai és tengerentúli diaszpórában élő külföldi magyar tudósok munkájának elismerésére és jutalmazására *Arany János-díj a tudományos kutatásért* néven díjat alapított, amelyet az MTA Magyar tudományosság külföldön elnöki bizottsága ítél oda három kategóriában: tudományos életműért, kiemelkedő tudományos teljesítményért és kiemelkedő teljesítményt nyújtó fiatal kutató elismerésére. A most első ízben odaítélt díjat életművéért **Faragó József**, tiszteleti tag kapta a magyar néprajz területén több mint fél évszázadot átfogó, nemzetközi elismeréssel övezett, egyedülállóan eredményes kutatómunkájáért; kiemelkedő tudományos teljesítményéért **Nagy László**, a fizikai tudomány doktora, a Babes-Bolyai Tudományegyetem rektorhelyettese, az MTA köztestülete határon túli tagja kapta az atomi és molekuláris ütközések elméleti tanulmányozása terén elért, nemzetközileg is elismert tudományos eredményeiért; a kiemelkedő tudományos teljesítményt nyújtó fiatal kutató elismerésére létesített díjat pedig **Cserniczkó Istvánnak** (PhD), a II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola rektorhelyettesének, a kárpátaljai magyar társadalomtudomány kiemelkedő képviselőjének adományozta a bizottság a magyar nyelvtudományt gazdagító, egyben a magyar közösség mindennapi életében is kitűnően hasznosítható nyelvészeti kutatásaiért.

\*

A közgyűlés délután szekcióülésekkel folytatódott. Az akadémikusok gyűlésének napirendjén a tagválasztás szerepelt; a doktor-képviselők az elnökségbe delegálandó három közgyűlési doktort választották meg.

Az akadémikusok gyűlése zárt ülésen az MTA rendes tagjává választotta *Kulcsár Szabó Ernő*, *Maróth Miklós*, *Somfai László*, *Vizke-*

lety András (I. Osztály), Pléh Csaba (II. Osztály), Hatvani László, Rutza Z. Imre, Sárközy András (III. Osztály), Heszky László, Nagy Béla, Solymos Rezső (IV. Osztály), Besznyák István, Dobozy Attila, Kovács László, Makara B. Gábor (V. Osztály), Haszpra Ottó, Sitkei György (VI. Osztály), Fonyó Zsolt, Gál Sándor, Hollósi Miklós, Orbán Miklós, Szabadváry Ferenc (VII. Osztály), Fésűs László, Freund Tamás, Mahunka Sándor (VIII. Osztály), Fergéné Kecskeméti Zsuzsa, Palánkai Tibor, Szabó András, Zalai Ernő (IX. Osztály), Ádám József, Árkai Péter, Pápay József (X. Osztály), Horváth Zalán, Németh Judit, Ormos Pál és Pálinkás József (XI. Osztály) levelező tagok.

Az MTA újonnan választott levelező tagjai: Bitskey István, Honti László, Nyomárkay István (I. Osztály), Kelemen János, Orosz István, Török László (II. Osztály), Füredi Zoltán, Major Péter, Pálffy Péter Pál, Pintz János (III. Osztály), Bedő Zoltán, Kőműves Tamás, Mátyás Csaba, Solti László (IV. Osztály), Kovács L. Gábor, Mandl József, Tulassay Zsolt (V. Osztály), Domokos Gábor, Kurutzné Kovács Márta, Roósz András, Székely Vladimír (VI. Osztály), Antus Sándor, Hargittai Magdolna, Nyiredy Szabolcs, Pukánszky Béla (VII. Osztály), Erdei Anna, Gergely Pál, Sarkadi Balázs, Somogyi Péter, Vigh László (VIII. Osztály), Bayer József, Bélyácz Iván, Hamza Gábor (IX. Osztály), Klinghammer István, Lakatos István, Vörös Attila (X. Osztály), Lovas Rezső, Rácz Zoltán, Szabó Gábor és Vincze Imre (XI. Osztály).

Az Akadémia új külső tagjai: Péntek János (Románia), Schubert Gabriella (Németország) (I. Osztály), Forgács József (Ausztrália), Held József (USA) (II. Osztály), Balas Egon (USA), Beck József (USA), Lempert László (USA) (III. Osztály), Bojko Miklós (Ukrajna), Camprag Dusan (Szerbia és Montenegró) (IV. Osztály), Gosztonyi György (Németország), Gyermek László (USA), Hortobágyi Gábor (USA), Jólesz Ferenc (USA), Kovács

Kálmán (Kanada), Pasternák Alfréd (USA) (V. Osztály), Gyenge Csaba (Románia), Simonyi Charles (USA) (VI. Osztály), Csizmadia Imre (Kanada), Guttman András (USA), Pavláth Attila (USA) (VII. Osztály), Kárpáti George (Kanada), Krocskó Gyula (Ukrajna), Márkus Gábor (USA), Petrusz Péter (USA), Tigyi Gábor (USA) (VIII. Osztály), Fellegi Iván (Kanada), Király Béla (USA), Rezsőházy Rudolf (Belgium) (IX. Osztály), Barabási Albert László (Románia), Csernai László Pál (Norvégia), Hajdu János (Németország) és Ribár Béla (Szerbia és Montenegró) (XI. Osztály).

Az MTA újtiszteleti tagjai: Clifford Edmund Bosworth (Nagy-Britannia), Wolfgang U. Dressler (Ausztria), Gherardo Gnoli (Olaszország) (I. Osztály), Johannes Fried (Németország), Elisabeth du Reau (Franciaország) (II. Osztály), Walter Benz (Németország), Jurij Szergejevics Oszipov (Oroszország), K. Dwijendra Ray-Chaudhuri (USA) (III. Osztály), Gottfried Brem (Németország), Ingo Potrykus (Németország), Johannes van Staden (Dél-Afrika) (IV. Osztály), Thomas Hökfelt (Svédország), Narinden Mehra (India), Ole Petersen (Nagy-Britannia), Snorri S. Thorgeirsson (USA) (V. Osztály), Tadeusz Kaczorek (Lengyelország), Yonxiang Lu (Kína) (VI. Osztály), Frieder W. Lichtenhaler (Németország), Henk C. van der Plas (Hollandia), Kurt Wüthrich (Svájc) (VII. Osztály), Jean-Pierre Changeux (Franciaország), Peter Dallos (USA), Nicholas Mascie-Taylor (Nagy-Britannia), Stanley G. Nathenson (USA), Sir Paul Nurse (Nagy-Britannia), Yutaka Oomura (Japán), Friedrich Spener (Németország), Robert G. Wetzel (USA) (VIII. Osztály), Antoine S. Bailly (Svájc), Kari Polanyi-Levitt (Kanada) (IX. Osztály), Hermann Lühr (Németország) és Horst Wagner (Ausztria) (X. Osztály).

Az MTA elnökségébe választott doktor-képviselők: Gósy Mária, Jolánkai Márton és Horvai György.

\*

A közgyűlés második napi ülését megnyitva Vizi E. Szilveszter elnök köszöntötte az újonnan megválasztott levelező tagokat és közgyűlési doktor-képviselőket, majd a jelenlévők kegyeletük jeléül néma felállással emlékeztek az előző közgyűlés óta elhunyt *Farkas Tibor, Ferenczy Lajos, Horn Artúr, Kollár Lajos, Kozma Pál* rendes tagokra, *Krisztó Gyula* levelező tagra, *Balázs Nándor, Bori Imre, Horváth Csaba, Kékedy László, Zoltai Tibor* külső tagokra, *Julesz Béla, Frans Stumpers, Teller Ede* és *David de Wied* tiszteleti tagokra, valamint a holokauszt áldozataira.

Az ülést levezető Keviczky László rendes tag, az MTA alelnöke megállapította a közgyűlés határozatképességét. A tárgysorozat elfogadása után a közgyűlés kiküldte a jegyzőkönyv-hitelesítő, a határozatszövegező és a szavazathitelesítő alkalmi bizottságokat.

Az előző napi választások eredményének ismertetése után a közgyűlési bizottságok tagjainak megválasztására került sor, majd az elnöki expoze következett.

Vizi E. Szilveszter először arra utalt, hogy az alkotó értelmiség dönti el az ország helyét, sorsát, jövőjét. Csatlakozásunk az Unióhoz egy folyamat kezdete, és az uniós versenyképesség egyik legfontosabb tényezője a K+F. Míg az EU-ban 1,9% a K+F részesedése a nemzeti jövedelemből (az USA-ban és Japánban még magasabb), Magyarországon csupán 1,1%, amivel az újonnan csatlakozó országok között is a sereghajtók közé tartozunk. Más fontos mutatókat (például az ezer lakosra jutó kutatók/fejlesztők számát) tekintve is le vagyunk maradva. Mivel a gazdaság érdekeltsége következtében az innovációs lánc lerövidült, csak a fejlett országokénál gyorsabb növekedéssel zárkozhatunk fel az európai centrumhoz.

A hazai helyzetről szólva az elnök megemlítette a kormány mellett működő Tudománypolitikai Kollégium és a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal létrehozását,

és politikai bravúrnak nevezte az innovációs alaptörvény megalkotását.

Az európai tudománynak az alap kutatás az erőssége, ebben az öreg kontinens jobb, mint az Amerikai Egyesült Államok vagy Japán. Hiba volt hazánkban leépíteni az ipari kutatóintézeteket, amelyek a gazdaságot serkentő kutatásokat végezhetnének. A tudományt most leginkább az interdiszciplináris kutatások viszik előre, ezért az ilyen kutatások funkcionális kereteinek biztosítására van szükség.

Tovább kell nyitni a társadalom felé – az előző évek ez irányú tevékenységét folytatva. Példaként a *Mindentudás Egyeteme* és annak sikere említendő: négy milliő látogató kereste fel az előadásokat is tartalmazó web-oldalakat. Ami a tudósok fejében van, az köztulajdon, annak megosztása pedig közérdek – fogalmazott az MTA elnöke. A *Mindentudás Egyeteme* jó módszer a tudományellenesség és az áltudományok ellen is, továbbá a határon túli magyar kultúra számára is nélkülözhetetlen eszköz. Az Akadémia amúgy is sokat tesz a magyar nyelv érdekében: az elnökség külön bizottságot hozott létre a szakmai nyelv és a magyar nyelv védelmében. A nyitottság további jele az MTA megújult honlapja, amely kitűnik frissességével, és angol nyelven is olvasható.

A 2003 novemberében Budapesten tartott *World Science Forum* sikerét bizonyítja, hogy felkértek bennünket a folytatására.

Az MTA korábbi elnökei által megkezdett tevékenységre utalva Vizi akadémikus megemlítette, hogy az MTA a nemzet tanácsadója szerepét is betölti, a kormányzat sok alkalommal kérte a tudós testület tanácsait. Az MTA pedig saját – tudományosan megalapozott – véleményét mondja, függetlenül attól, hogy a politika és a hatalom mit vár tőle. Az ilyen tanácsok megfogadása következtében keletkező nyilvánvaló gazdasági haszon ellenére sajnos pénzügyi hátrányok érik az Akadémiát és a felsőoktatási szférát. A tudó-

mányos kutatást már csak azért is támogatni kell, mert a tudománypolitika nem más, mint rövid, közép- és hosszú távra szóló gazdaságpolitika. Az OTKA költségvetését érintő elvonást elfogadhatatlannak minősítette az MTA elnöke.

Az Akadémia kutatóhálózata jól működik, és az egyetemekkel való kapcsolat is megfelelő. Ennek szellemében az MTA kiáll a felsőoktatás érdekében, és viszonyosságot vár el az egyetemi szférától.

Az MTA elnöke kedvező fejleményként értékelte a fiatal kutatók arányának növekedését, ez az arány azonban még tovább növelendő. Ugyancsak fontos eredmény a regionális akadémiai központok bővítése. Vizi akadémikus itt Sopron és Kaposvár példáját említette.

Végül az elnök közölte, hogy az Akadémia felméri egykori ingatlan- és erdővagyonát, mert arra törekszik, hogy azokat (vagy megfelelő értékű más vagyont) visszakapja.

Az elnök beszédét a *főtitkári exposé* követte: Kroó Norbert rendes tag szerint az írásban közreadott beszámolóból is kiderül, hogy az MTA-n tisztességes munka folyik. A tudomány a globalizációban élenjáró szerepet játszik, és maga a tudomány is versenyszférává vált. A nagy felfedezések újabban a határterületeken történnek, de az interdiszciplináris válás ellenére folytatni kell a diszciplína menti kutatásokat is. A kutatás és az oktatás finanszírozása hagyományosan diszciplináris, ezért a kutatók nincsenek felkészülve az interdiszciplináris kutatásokra, sőt egymás szakmai nyelvét sem értik. Kedvezőtlen tény az is, hogy az interdiszciplináris kutatások eredményeit közlő folyóiratok impakt faktora alacsony. Fokozott figyelmet kell fordítani a gazdaság és a kutatás közötti kapcsolatra. A világhelyzet ismeretében elvárható, hogy a gazdaság fokozottan támogassa a tudományos kutatást.

Az európai helyzetet ismertetve a főtitkár megemlítette a kutatás felértékelődését, az

Európai Kutatási Térség létrehozását, a tudománypolitikák összehangolását, a 7. Keretprogramot, amelyhez az előzőre biztosított összeg duplája áll majd rendelkezésre. Életre hívják a European Research Councilt, amely önkormányzati elven működik majd, a politika csak felügyeleti szerepet kap.

Megtörtént a kutatóintézetek értékelése. A főleg egyetemi kollégák által végzett átvilágítás megállapításai közül kiemelendő, hogy a kutatóhálózatban dolgozó kutatók átlagéletkora csökkent, az intézetek készek az új befogadására, a témaváltásra, és jól tudnak igazodni a 21. század követelményeihez. Az egyes intézetek egyedi értékelése szóban, az igazgatókkal négy szemkörtörténik. Az intézetekben elért tudományos eredmények három összefoglaló kötetben jelentek meg. Gyengének nevezhető a kutatóhálózat szabadalmi tevékenysége. Többet kell tenni a külső elvárások teljesítése – az eredmények aprópénzre váltása – érdekében. És természetesen gondot jelent a költségvetési zárolás. Az MTA által támogatott kutatócsoportokra mindezen problémák mellett az egyetemeket sújtó egyéb gondok is jellemzőek.

Az Akadémia nemzetközi kapcsolatai egészségesen fejlődnek, de az EU-csatlakozás további változtatásokat igényel. Az MTA foglalkozik jövőképeinek kidolgozásával, amelyben EU-kompatibilis kutatóhálózat szerepel majd.

Expozéjában a főtitkár kérte az MTA 2003. évi költségvetésének végrehajtásáról szóló (írásban részletezett) beszámoló elfogadását, majd ugyancsak elfogadásra ajánlotta a 2005. évi akadémiai költségvetés tervét. Ez utóbbival kapcsolatban Kroó Norbert megemlítette azt a jogi gondot, hogy a költségvetést a közgyűlésnek kellene elfogadnia, amit viszont az időzítés nem tesz lehetővé. A 2004. évi akadémiai költségvetés érdekében folytatott tárgyalások tapasztalataiból kiindulva az MTA vezetői a következő prioritásokat tűzték ki a 2005. évi költségvetés tervezésekor: a

kutatóhálózat alapellátásának javítása (ez elengedhetetlen az EU-környezetbeli versenyképességhez és pályázóképeséghez), a fiatal kutatók számának növelése (a kutatói létszám amúgy is alacsony), a kutatási infrastruktúra fejlesztése (a jelenlegi 30 %-os használhatósági szint további agyelszívást indukál). Három tervezetet dolgoztak ki az MTA vezetői, és ebből a legkedvezőbbet szeretnék elfogadtatni (a Felügyelő Bizottság is azt támogatja), a másik kettő főként annak bemutatására szolgál, hogy miként lehetetlenül el a kutatás a megfelelő költségvetési támogatás hiányában.

Az Akadémia belső ügyeire térve a főtitkár megemlítette, hogy az Akadémiai Kutatóhelyek Tanácsa, a Vagyonkezelő Kuratórium, a Felügyelő Bizottság, a Doktori Tanács és a többi közgyűlési bizottság is rendben működött. Mandátumuk lejártával köszönet illeti e bizottságok valamennyi tagját. Jól működött az Akadémia titkársága is, amelynek munkáját egy külső céggel átvilágították.

A főtitkár megemlítette a három „örök” gond megoldásában történt előrelépést is: a székház előtti gépjárműparkolónál a parkolási díj csökkentését próbálják elérni, a Martonvásár melletti vállalkozás (Martonseed) ügyében szerződés született, a nyugdíjsház pedig valószínűleg Nagykovácsiban épül fel.

Végül a főtitkár kérte a közgyűlés jóváhagyását néhány intézeti alapító okirat módosításához, illetve felhatalmazást kért a közgyűléstől, hogy az Akadémia által fenntartott költségvetési szervek alapító okiratait – ha az alapítást követően hatályba lépett jogszabály azt szükségessé teszi, és az alapítónak törvényben meghatározott jogát nem érinti – saját hatáskörében eljárva módosítsa, a módosításokkal egységes szerkezetbe foglalva kiadmányozza, és az Akadémiai Értesítőben közzétegye.

Az elnöki és a főtitkári expozé fölötti vitában tizenhatan szólaltak fel. A hozzászólások közül itt csak néhányat ismertetünk.

Detrekői Ákos rendes tag javasolta, hogy a költségvetési tárgyalásoknál az elmaradt haszonnal mint a megszorítások egyik súlyos következményével is érveljen az MTA, továbbá próbálja elérni a két vagy három évre vonatkozó költségvetés biztosítását, mert méltatlan az évenként ismétlődő harc a kutatás támogatásáért. A Rektori Konferencia elnökeként köszönetét fejezte ki az egyetemek érdekében kifejtett akadémiai támogatásért.

Kálmán Alajos rendes tag felsorolta azokat az ingatlanokat, erdő- és földbirtokokat, amelyek tudomása szerint egykor az MTA vagyonát képezték.

Keszthelyi Lajos rendes tag az interdiszciplináris kutatások támogatására és elismerésére javasolta egy további Akadémiai Díj odaítélését a diszciplináris szempontok szerint kiosztandó eddigi tizenegy mellé.

Lipták András rendes tag az OTKA költségvetését tekintette át az 1991-es kezdet óta. Jelenleg reálértékben feleakkora a támogatás, mint kezdetben volt. Ez veszélyes tendencia, mert kiürülhetnek a hazai kutatóhelyek.

Gergely János rendes tag a Bolyai-ösztöndíj eddigi hatéves történetéről adott áttekintést. A jelenlegi nehézségek ellenére ez a kutatástámogatási forma sikeresnek nevezhető.

Gáspár Zsolt rendes tag a BMGE akadémikusai és közgyűlési képviselői nevében nehezményezte egyes pályázatok túlszabályozottságát, megkötöttségeit és azt, hogy az OM által kezelt Békésy- és Széchenyi-ösztöndíjakat 2004-re nem hirdették meg.

Bazsa György, a Felsőoktatási Tudományos Tanács elnöke megemlítette, hogy egész Európában visszaszorulóban vannak a természettudományok (részeseledésük a közoktatásban, presztízsük a közvéleményben), valamint utalt arra, hogy a felsőoktatási képzés átalakításába be kell vonni az Akadémiát is.

Michelberger Pál rendes tag tájékoztatta a közgyűlést, hogy a Felügyelő Bizottság a 2005.

évi költségvetési javaslat első variánsát tekinti tárgyalási alpnak, a másik kettő a megszorításokkal járó következményeket mutatja be.

Paládi Kovács Attila levelező tag a tudományos könyvek kiadásának nehézségeiről szólt.

Németh Judit rendes tag annak adott hangot, hogy meg kell akadályozni a középiskolai természettudományos oktatás csökkentését.

Berényi Dénes rendes tag hozzászólásában a határon túli magyar tudományossággal foglalkozott, a pozitívumok mellett megemlítve az integrálódást elősegítő közös projektek hiányát.

A vitában elhangzottakra először a főtitkár reagált. Kroó Norbert szerint is jó ötlet a több évre vonatkozó költségvetés, már csak a kiszámíthatóság miatt is. A pályázatokkal kapcsolatban kedvező, hogy az EU-pályázatok áfamentesek, és áfa-ügyben további előrelépés várható. A Bolyai-ösztöndíjak összegét nem sikerült egy szorzószámmal a mindenkori minimálbérhez rögzíteni, de az legalább kedvező, hogy ez évre sikerült 6%-kal növelni az ösztöndíj összegét (míg a kutatói bérek nem emelkedtek). A pályázatok túlszabályozottságát valóban csökkenteni kell, de profi pályázatírók bevonására is szükség van a pályázás sikeressége érdekében. A könyvkiadási nehézségek nem függenek össze a költségvetési elvonással. A könyvkiadásra nagyobb összeget kell fordítani, s ez a tervben is szerepel.

A válaszadást az MTA elnöke folytatta, kifejtve, hogy a sok hozzászólás a közgyűlés bizalmát és őszinteségét mutatja. Az elnök szólt a külső tagokkal folytatott előző napi tanácskozásról is, amelyen a kormány képviselői is részt vettek. Vizi E. Szilveszter itt említette meg az expozéjából kimaradt azon fontos tény, hogy befejezéséhez közeledik a *Magyar Nagylexikon* kiadása. A Nagylexikon ügye lelkiismereti kérdés volt az MTA számára. A következő hasonlóan fontos

feladat a *Magyar nyelv nagyszótárának* kiadása. Jogászcsoport dolgozik az MTA vagyonának feltárásán. Ami abból nem szerezhető vissza, annak ellenértékére tart igényt az Akadémia a tartalékvagyonból. A tudománypolitikát illetően az MTA nincs defenzívában, az akadémiai vezetők levelei is a kiállást tükrözik. Az elnök azt kérte, hogy a közgyűlés is álljon ki az MTA vezetői mellett. Az Akadémia országos megítélése szempontjából kedvező, hogy a társadalmi intézmények iránti közbizalom rangsorában az MTA áll az élen egy felmérés szerint.

Az Akadémia vezetőinek válasza után a közgyűlés nyílt szavazással elfogadta a 2003. évi akadémiai költségvetés végrehajtásáról szóló beszámolót és a 2005. évi akadémiai költségvetés irányelveit, az intézeti alapító okiratok módosítását és a főtitkár felhatalmazására vonatkozó kérést az ilyen jellegű módosításokkal kapcsolatos eljárásra, továbbá az írásos és szóbeli beszámolókat, illetve a vitában elhangzottakra adott elnöki és főtitkári választ.

Az MTA 2003. évi tevékenységéről a kormány számára készített tájékoztatót Meskó Attila rendes tag, főtitkárhelyettes terjesztette elő. Az írásban közreadott dokumentumhoz fűzött szóbeli kiegészítésében elmondta, hogy a dokumentum még korántsem végleges, csupán munkaanyagról van szó. Már a sokszorosítás óta is változott a szöveg, például Simai Mihály rendes tag írásban benyújtott észrevételeit is figyelembe véve. A korábbi évektől eltérően a kiemelkedő kutatási eredmények most a főszövegbe kerülnek, nem a függelékbe, mert így remélhetőleg jobban felkeltik az olvasók figyelmét. A beszámolóhoz kapcsolódó előterjesztés szövege erőteljes, amire a saját maga által végrehajtott konszolidáció jogosítja fel az Akadémiát. A kormány számára készített tájékoztatót a közgyűlés elfogadta.

A közgyűlés ezután két indítvánnyal foglalkozott. Tomcsányi Pál rendes tag az idegen

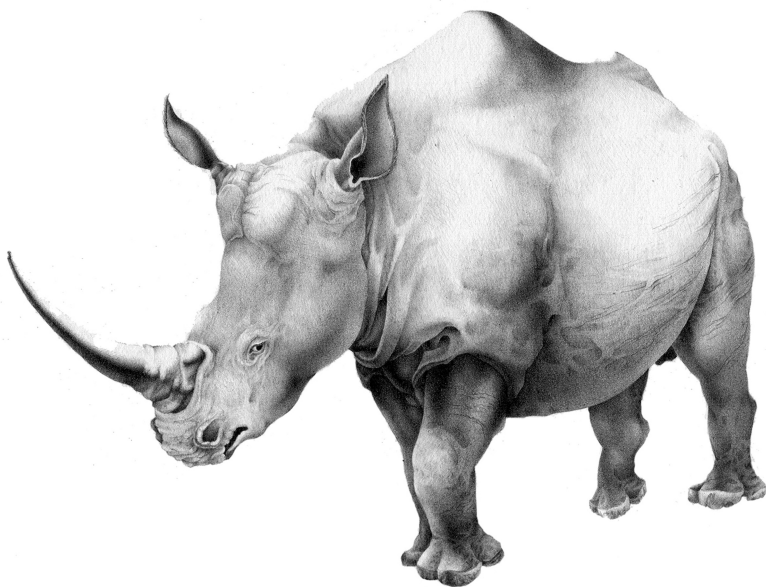
nyelvű cikkekben közölt fontosabb eredmények magyar nyelvű közzétételét javasolta az MTA honlapján, Kiefer Ferenc rendes tag pedig a magyar nyelvű tudományos könyvek és folyóiratok kiadásának helyzetét vélte áttekintésre érdemesnek. Az MTA vezetői a javaslatokat kissé módosítva tartották elfogadhatónak, s a közgyűlés e változtatásokkal mindkét indítványt megszavazta.

A határozathozatal előtt Demetrovics János rendes tag, a szavazatszámlláló bizottság

elnöke ismertette a közgyűlési bizottságok most megválasztott tagjainak névsorát.

A közgyűlés végül elfogadta a határozat-szövegező bizottság elnöke, Bálint Csanád levelező tag által beterjesztett *határozati javaslatot*. A közgyűlési határozat szövegének véglegesítésére – az elfogadott javaslat tartalmi változtatása nélkül – az elnökség kapott felhatalmazást.

*Szabados László*





# *A világ tudománya magyar diplomaták szemével*

## **A FINN AKADÉMIA NEMZETKÖZI STRATÉGIÁJA**

Grosschmid Péter

tudományos és technológiai attasé, Helsinki  
science@unkari.fi

A Finn Akadémia a Magyar Tudományos Akadémiával ellentétben nem tudományos köztestület, hanem az Oktatási Minisztériumhoz tartozó kutatásirányító, -szervező és -finanszírozó szervezet. Teljes körű felelőssége van az egyetemi kutatások pályázati finanszírozásában, és jelentős szerepe az ország tudománypolitikájának alakításában. Az akadémia elnöke tagja a miniszterelnök által vezetett Tudomány- és Technológiapolitikai Tanácsnak. Ez utóbbi háromévenként tekint át a tudományos kutatás és a technológiafejlesztés helyzetét Finnországban, és fogalmazza meg ajánlásait a következő hároméves periódusra. A legutóbbi tanulmány már címében – Knowledge, Innovation and Internationalisation – is tükrözi a nemzetközi együttműködés szerepének felértékelődését. Az ajánlások nyomán a K+F irányításában és finanszírozásában részt vevő szervezetek, így elsősorban a Finn Akadémia és a TEKES Technológiafejlesztési Központ újragondolták a nemzetközi együttműködéssel kapcsolatos stratégiájukat, és rendelkezésre álló eszközeik tervezésénél a korábbinál nagyobb figyelmet szenteltek a határokon átnyúló két- és sokoldalú együttműködésnek.

Az akadémia vezetése megbízott egy munkacsoportot, hogy Reijo Vihko, az akadémia akkori elnökének vezetésével alakítsa ki a Finn Akadémia nemzetközi stratégiáját, amelynek alkalmazásával a finn kutatók az ország számára legelőnyösebb módon vehetnek részt az Európai Kutatási Társág kialakításában, és leghatékonyabban tudják kihasználni a nemzetközi együttműködésben rejlő lehetőségeket. A stratégia kialakítása során a munkacsoport tagjai kikérték az egyetemek és az ipar képviselőinek véleményét.

A stratégiát összegző tanulmány bevezetőjében megállapítják, hogy az ipar és a kereskedelem globalizációjával együtt a tudományos kutatás is egyre inkább globálissá válik. A kutatásban és a műszaki fejlesztésben a határok elmosódnak, és a nagy kihívásoknak a kölcsönös előnyök alapján együttműködő nagyobb csoportok tudnak igazán megfelelni. A tudomány nemzetközivé válásának folyamatát elemezve arra következtetésre jutnak, hogy a gazdasági és technológiai globalizáció folyamata a kutatás elé új feladatokat állít, és átalakítja a tudomány fejlődésének folyamatát is. Ennek

során az egészséges és hatékony nemzeti és regionális innovációs rendszerek minden korábbinál fontosabbak a gazdasági növekedés és a jólét fenntartása szempontjából. Azoknak a problémáknak a jelentős része, amelyekkel az emberiségnek szembe kell néznie, szintén globális természetű, azaz leküzdésükre az egyetlen sikerrel kecsegtető út a nemzetközi kutatási együttműködésen keresztül vezet.

A tudományos kutatás világára sokkal inkább jellemző a verseny, mint korábban; a kutatók versenyeznek a támogatásokért, de a finanszírozó szervezetek is versenyben állnak egymással az alapokért. Ugyanakkor a kutatói munkaerőpiac is globálissá vált, a legjobb kutatók és kutatócsoportok ma már maguk választhatják meg a legjobb körülményeket kínáló kutatási környezetet.

A Finn Akadémia alapfeladata, hogy a finn tudományos kutatás színvonalát emelje, az ország tudományos és technológiai fejlődéséhez, a folyamatos innovációhoz a feltételeket biztosítsa. A stratégiai tanulmány megállapítja, hogy *a nemzetközi együttműködés a finn tudomány érdekében áll*. Ennek érdekében kívánják átalakítani a finanszírozási és támogatási rendszert. A nemzetközi együttműködés segíti a finn eredmények megismertetését a világgal, valamint felhívja a nemzetközi kutató társadalom magas szintű képviselőinek figyelmét a finnországi kutatási lehetőségekre. Fontos célként jelölik meg azt, hogy a közeli jövőben legalább *egy-két nemzetközi tudományos szervezet székhelye és intézete Finnországba kerüljön*.

A Nemzetközi Stratégia 2007-ig jelöli ki az Akadémia teendőit.

---

## A FINN AKADÉMIA TERVEI A NEMZETKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉS TERÉN

### *1. A Finn Akadémia mint az európai kutatópolitika aktív tényezője*

1.1 Az Európai Kutatási Térség (ERA) létrehozásában vállalt szerep  
Ahhoz, hogy az európai kutatási együttműködésből Finnország a legtöbb haszonhoz jusson, feltétlenül szükséges, hogy a finn tudománypolitikusok bekapcsolódjanak annak alakításába.

Finnország elfogadja, és fontosnak tartja az Unió Bizottságának az Európai Kutatási Térség megvalósítása érdekében tett intézkedéseit és irányelveit, melyek egyik megállapítása szerint a harmadik országokkal való együttműködés is növeli az európai tudomány és technológia színvonalát.

Mivel az európai (közös) versenyképesség az egyes országok teljesítményén múlik, ezért a nemzeti finanszírozási szervezetek szerepe rendkívül nagy. Az Európai Kutatási

Alap jól szolgálja az alapkutatás fejlesztését és az együttműködés különféle formáit, valamint nagyon fontos szerepe van az ERA létrehozásában.

A Finn Akadémiának szándékában áll a számos országgal működő együttműködési megállapodásait tovább erősíteni. Ugyanakkor a belföldi együttműködések kialakításában (is) fontos szempont az európai K+F akciókban való részvétel.

- A Finn Akadémia álláspontja szerint az Európai Kutatási Térség létrehozásának kulcsfontosságú területei a kiválósági központok, a hálózatépítés, a nemzeti kutatási programok megnyitása, a kutatói mobilitás és a női kutatók támogatása.

- A Finn Akadémia nemzetközi tudománypolitikai szemináriumokat fog szervezni a legfontosabb témákról.

- Az akadémia támogatni kívánja azon területek fejlesztését, amelyeken a hazai verseny hiánya miatt a tudományos kutatás még nem érte el a legmagasabb nemzetközi szintet.

### *1.2 A kutatási programok és a kiválósági központok hálózata*

Az EU Bizottság nagy fontosságot tulajdonít a kiválósági központok hálózata kialakításának. Finnországban a hálózatépítés már néhány éve a nemzeti kutatási programok elválaszthatatlan része. A kiválósági központok nemzetközi hálózatokba történő integrálása jelenleg is folyik.

A Finn Akadémia és a TEKES 2001-ben tanulmányt készített a nemzeti kutatási programok megnyitásának lehetséges hatásairól és módszeréről. Ennek eredményeként a 2003-ban kiírt finn programok már jelentős nemzetközi elemeket tartalmaznak, és többségük nyitva áll a külföldi résztvevők előtt is. Finnországban nincs törvényi akadálya a külföldi résztvevők finanszírozásának. A kiválósági központok létrehozását célzó program az akadémia legfontosabb tevékenységei közé tartozik. A kiválósági központok jelentős szerepet vállalnak a kutatóképzésben is, valamint a belföldi és nemzetközi hálózatok létrehozásában. Az EU 6. Keretprogramja ugyancsak kitűnő körülményeket teremt a kiválósági központok együttműködéséhez.

- A Finn Akadémia bátorítja a finn pályázókat, hogy vegyenek részt a Keretprogram nagy projektjeiben, és ebben esetenként pénzügyileg is támogatja őket.

- A Finn Akadémia célul tűzte ki kiválósági központok nemzetközi hálózatának kialakítását.

### *1.3 Oroszország, a balti államok, Közép- és Kelet-Európa*

A finn kutatóknak hagyományosan szoros kapcsolataik vannak orosz, balti és közép-kelet-európai kollégáikkal. Sok területen ez az együttműködés az elmúlt néhány évben jelentősen erősödött is. Az Akadémia az Orosz Alaputatási Alappal közös értékelési projektet indított, és növelni kívánja ilyen típusú tevékenységét. Az Európai Kutatási Térség

kialakulásával az Oroszországgal fenntartott kapcsolatok erősítésének különös jelentősége van. Finnország Oroszországgal kapcsolatos ismereteit uniós partnerei rendelkezésére bocsátja. Az EU által is támogatott *Northern Dimension* stratégia erre a területre is kihat.

- A Finn Akadémia tovább fogja fejleszteni együttműködését Oroszországgal, a balti államokkal, valamint Kelet- és Közép-Európa országaival, és ezen országok kutatóit fel fogja kérni, hogy vegyenek részt a finn projektek értékelésében.

- Finnország Oroszországgal kapcsolatos ismereteit az eddiginél nagyobb mértékben fogja felhasználni egyéb nemzetközi együttműködéseiben.

### *1.4 Finn szakértők a főbb nemzetközi szervezetekben*

Kívánatos, hogy finn kutatók minél többen vegyenek részt a nemzetközi, elsősorban európai tudományos szervezetek és testületek munkájában. Problémát okozhat azonban, hogy a tudósok egy viszonylag szűk köre vállal szerepet a legtöbb jelentős szervezetben, ami egyrészt a tudás/információ halmozódásához vezethet, ám másrészt egy-egy személy kezében túl sok feladat összpontosul, ami hátrányosan befolyásolhatja a az együttműködést. Az akadémia minden lehetőséget megragad, hogy a nemzetközi szerepre pályázó tudósokat megfelelően felkészítse feladatukra.

- A Finn Akadémia támogatja a finn szakemberek nemzetközi szervezetekben való tisztségvállalását.

- Az akadémia arra törekszik, hogy minél több nemzetközi tudományos szervezet titkársága működjön Finnországban.

- A finn kutatókat ösztönözni fogják a kutatási projektek nemzetközi értékelésében való részvételre.

- A Finn Akadémia személyes szintű kapcsolatokat is ápol a legfontosabb európai kutató- és kutatásfinanszírozó intézményekkel.

## 2. A Finn Akadémia együttműködési kapcsolattrendszere

Nemzetközi ügyekben a Finn Akadémia szorosan együttműködik belföldi partnereivel, köztük az *Oktatási Minisztériummal*, a *Kereskedelmi és Ipari Minisztériummal* és a többi főhatósággal, az egyetemekkel, a kutatóintézetekkel, a *TEKES* technológiafejlesztési ügynökséggel, a *SITRA* csúcstechnológiai kockázatitőkealappal és a *CIMO* mobilitási központtal. Ezen együttműködések jó példája az EU kutatási együttműködések finnországi koordinációja. Fontos, hogy a vállalkozások nagyobb szerepet kapjanak a nemzetközi kutatáspolitikában és kutatási együttműködésben.

Az európai együttműködések mellett az akadémia szorosan együttműködik a korábbi Szovjetunió országai, a távol-keleti országok, Dél-Amerika országai, valamint az USA és Ausztrália kutatásfinanszírozó szervezeteivel is. Ebből a körből külön kiemelésre érdemesnek tartják a Kínai Nemzeti Természet-tudományos Kutatási Alapot (NSFC).

Az akadémia kiválósági központokat támogató programjai keretében – az EU Bizottság céljaival összhangban – harmadik országok ilyen központjaival való együttműködést is támogatja.

Az akadémia olyan szervezetekkel is együttműködésre törekszik, amelyek a finn kutatók és kutatócsoportok számára lehetővé teszik szolgáltatások, műszerek, információforrások, adatbázisok, laboratóriumok, virtuális hálózatok stb. elérését és használatát. A fontosabb nemzetközi „infrastruktúrák” közé sorolják a CERN, az ESO, az EISCAT és az ESRF által nyújtott kereteket. Újabb lehetőségeket kínál a GBIF (Global Biodiversity Information Facility), a DATAGRID és az Európai Bioinformatikai Intézet (EBI).

Az akadémianak erőfeszítéseket kell tennie, hogy a tudománypolitika és a kutatás irányainak jövőbeli változásait előre tudja jelezni. Az ehhez szükséges proaktív

megközelítést a felhasználókkal történő párbeszédre keresztül kell elérni.

- Az akadémia képzési programot állít össze a nemzetközi együttműködés fokozásának érdekében. A cél az akadémia hivatali állományának felkészítése, hogy a belföldi tevékenység támogatásáról át tudjanak állni a nemzetközi együttműködés támogatására.

## 3. A finn kutatók felkészültsége a nemzetközi együttműködésre

### 3.1 A kutatóképzés és a doktori iskolák nemzetközivé válása

A finn kutatás nemzetközi hálózatokba való bekapcsolódása már a kutatóképzésnél kezdődik, ami egyre inkább nemzetközi jelleget mutat. A finn felsőoktatási intézményekben nagy és egyre növekvő számban tanulnak külföldi hallgatók. (Finnország vonzó a doktori disszertációjukon dolgozó fiatal kutatók és a friss doktorok számára.) A doktori iskolákat arra ösztönzik, hogy építsenek ki szorosabb kapcsolatokat hasonló külföldi intézményekkel, és a nemzetközi együttműködésben vállaljanak koordinátori szerepet. Az új doktori iskolák akkreditációjánál a nemzetközi együttműködési készség fontos szemponttá válik. A Finn Akadémia támogatja a doktori iskolák nemzetközi hálózatainak kialakításához szükséges mobilitást. Az Oktatási Minisztérium javaslata szerint a doktori iskolákban a helyek legalább 15%-át külföldi hallgatók számára kell fenntartani.

### 3.2 A kutatói mobilitás előtt álló akadályok eltávolítása

A mobilitás növeli a kutatók érdekeltségét és a finn kutatás ismertségét a világban. A tanulmányutak során létesített új személyes kapcsolatok megkönnyítik a „virtuális” kapcsolattartást is. A mobilitás előtt álló akadályok közül megemlíthető az adórendszerek közötti különbség, valamint az egyes országokkal aláírt kétoldalú megállapodások, amelyek nem

mindig biztosítják, hogy minden országban minden kutatónak egyenlő elbánásban legyen része. A finn nyelv és kultúra is akadály lehet a mindennapi életbe való beilleszkedés során. Néhány országgal kapcsolatban felmerülhet vízumprobléma is. Az adórendszerek harmonizációja és az egyszerűsített vízumkiadási eljárás növelhetné Finnország vonzerejét a külföldi kutatók szemében.

- A Finn Akadémia szorosan együttműködik a hazai és külföldi szervezetekkel és hatóságokkal annak érdekében, hogy a fennálló akadályokat el lehessen gördíteni a kutatói mobilitás elől.
- Az akadémia intézkedéseket hoz a külföldi kutatók Finnországba vonzására és a finn kutatók hazatérésének előmozdítására.
- Az akadémia aktívan részt kíván venni az EU Keretprogramok mobilitási programjainak fejlesztésében.

### *3.3 A finn K+F környezet vonzóbbá és versenyképessé tétele*

Bár a kutatás feltételei tudományáganként különböznek, a finnországi kutatási lehetőségek a világ minden részéből vonzzák a kutatókat. Finnországban sok magas színvonalú kutatócsoport működik, bennük több száz külföldi szakember. A kulcselemek az infrastruktúra minőségi és mennyiségi mutatói, amelyek hálózatépítéssel és megfelelő finanszírozási intézkedésekkel javíthatók. A hosszú távon biztosított finanszírozás az egyik legfontosabb tényező, amely a külföldi kutatók szemében a finnországi kutatóhelyeket vonzóvá teszi.

- A Finn Akadémiának megfelelő pénzügyi háttérrel biztosítani kell a kutatók számára a megfelelő hálózatépítést.
- Az akadémia célul tűzi ki, hogy megkönnyíti a magas színvonalú külföldi kutatócsoportok áttelepülését.
- Az akadémia erősíti a finn kutatás és know-how ismertebbé tétele érdekében folytatott kommunikációs tevékenységét.

### *3.4 Finn kutatók és szakértők mint a nemzetközi projektek koordinátorai*

Az akadémia támogatja kutatók és szakértők képzését a Finnországon kívüli, nemzetközi szervezetekben betöltendő feladatok ellátására. Azok a kutatók, akik már eddig is bizonyították koordinátori alkalmasságukat a finn nemzeti kutatási programok szervezése és lebonyolítása során, valamint tapasztalatot szereztek a kiválósági központok szervezése és irányítása terén, alkalmasak a nemzetközi szerepvállalásra is. Az ilyen szakemberek képzésére megfelelő forrásokat kell allokálni.

- A Finn Akadémia teljes munkaidőben foglalkoztatott programkoordinátorokat fog alkalmazni, hogy ezzel is elősegítse kutatási programjainak nemzetközivé válását.

### *3.5 A finanszírozási rendszer igazítása a kitűzött célokhoz*

A finanszírozó szervezeteknek fel kell készülniük arra, hogy finanszírozási rendszerüket az ERA koncepció megvalósulásával összefüggésben is, változó követelményekhez idomítsák. Bár a nemzetközi finanszírozási rendszer kialakítása és a nemzeti kutatási programok megnyitása bonyolult tárgyalásokat igényel, minden remény megvan rá, hogy pár éven belül egyszerűbb és célratoróbb rendszerek szülessenek. Ugyancsak feltételezhető, hogy a kutatási programokon túlmutató együttműködések alakulnak ki, mind az ERA keretein belül, mind azon túl. Fontos, hogy a Finn Akadémia finanszírozási rendszerét a jelenlegi és a jövőbeli céloknak megfelelően fejlesszék tovább, előnyben részesítve a kutatók közti nemzetközi együttműködést is elősegítő formákat. Erőfeszítéseket kell tenni a kétoldalú megállapodásokon alapuló kutatócsere intézményének továbbfejlesztésére is.

Kulcsszavak: *nemzetközi együttműködés, akadémiai stratégia, Európai Kutatási Térség, kiválósági központ*

**IRODALOM**

- Suomen Akatemian kansinvälisen toiminnan strategia, Academy of Finland, Helsinki, 2002.
- Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee of the Regions. Making a Reality of the European Research Area: Guidelines for EU Research Activities (2002-2006). COM (2000) 612 final. Brussels, 2000.
- Communication from the Commission. The International Dimension of the European Research Area. COM (2001) 346 final. Brussels 2001.
- Knowledge, Innovation and Internationalisation. Science and Technology Policy Council of Finland, Helsinki, 2003.
- [www.aka.fi](http://www.aka.fi)
- [www.research.fi](http://www.research.fi)
- National Strategy for Centres of Excellence in Research. Publications of the Academy of Finland 6/97
- Centre of Excellence Policies in Research. Aims and Practices in 17 Countries and Regions. Publications of the Academy of Finland 2/01



## AZ OROSZ K+F HELYZETE 2003/2004 FORDULÓJÁN

Erdélyi Árpád

kandidátus, tanácsos, tudományos és technológiai attasé  
a Magyar Köztársaság moszkvai nagykövetsége  
aerdelyi@huembmow.macomnet.ru

Oroszország kutatás-fejlesztési tevékenységének legfontosabb irányadó dokumentuma a 2002-ben aláírt, *Az Oroszországi Föderáció tudományos és technológiai fejlesztési politikájának 2010-ig terjedő és hosszú távú alapjai* című elnöki rendelet.

E dokumentum alapján 2003-ban a tudomány és technológia fejlesztésének kiemelt irányai és feladatai az alábbiakban foglalhatók össze: az alaptudományok fejlesztése, az alkalmazott kutatás és fejlesztés ösztönzése, az e tevékenységekkel kapcsolatban állami szabályozás tökéletesítése, nemzeti innovációs rendszer kialakítása, a tudományos és műszaki eredmények felhasználásának tökéletesítése, a tudományos és műszaki értelmiség megtartása és továbbképzése, a tudomány és az oktatás integrációja, valamint a nemzetközi tudományos és technológiai együttműködés fejlesztése.

A rendelet meghatározta az oroszországi tudomány és technológia fejlesztésének *kilenc prioritásos tématerületét*: információs-telekommunikációs technológiák és elektronika; űrhajózási és repülési technológiák; új anyagok és kémiai technológiák; új szállítási és közlekedési technológiák; fegyverfejlesztés, hadi- és speciális technikák; gyártástechnológiák; élő rendszerek technológiai; környezetvédelem és ésszerű gazdálkodás a természeti erőforrásokkal; valamint energiatakarékos technológiák.

E prioritások gyakorlati megvalósítását szolgálta 2003-ban ötvenkét szövetségi célprogram, amelyek finanszírozására a központi költségvetés 143 milliárd rubelt (4,76 milliárd USD) biztosított. A 2004-es állami költségvetés tervezete ötvenhárom szövetségi célprogramra 173,9 milliárd rubelt (5,8 milliárd USD) irányoz elő, ami 21,6 %-os növekedést jelent.

A célprogramok sorában 2004-ben kiemelt helyet foglal el az ország közlekedési hálózatának korszerűsítése, az e-Oroszország program, az űrprogram, a nemzeti technológiai bázis megeremtése, a védelmi ipar átalakítása és fejlesztése, valamint a tudomány és a felsőoktatás integrációja.

Oroszországban a nemzetközi gyakorlattal ellentétben a K+F-re fordított összegeket nem a GDP-hez, hanem a költségvetési kiadásokhoz viszonyítják. Az 1996-ban elfogadott tudomány- és technológiapolitikai törvény értelmében kutatás-fejlesztésre a mindenkori költségvetési kiadások 4 %-át kellene fordítani. E mutató elérése eddig még egyszer sem sikerült, sőt, az elmúlt öt évben csökkenő trend figyelhető meg. A K+F-re 2003-ban fordított 40,2 milliárd rubel (ezen belül alapkutatásra 19,85, alkalmazott K+F-re pedig 20,35 milliárd rubel) a központi költségvetés kiadásainak mindössze 1,7 százalékát jelenti.

2004-ben a költségvetési tervezet szerint 46,2 milliárd rubel (1,54 milliárd USD) fordít

ható K+F-re (alapkutatásra 23,4 milliárd rubel, alkalmazott K+F-re pedig 22,8 milliárd rubel), ez nominál értékben 15 százalékos növekedést jelent a 2003. évihez képest. Mivel azonban a költségvetés összes kiadásai is növekednek, a K+F-re fordítható arányszám pontosan megegyezik a 2003. évvel (1,7%).

Megjegyzendő, hogy az úrkutatásra fordítható pénzek 2003-ban és 2004-ben is önálló fejezetként szerepelnek (2003-ban évi 8 milliárd rubel, 2004-ben ötven százalékkal több: 12 milliárd, ami 400 millió USD-nek felel meg). A kiadások növelése egyrészt katonai-biztonsági okokkal, másrészt az orosz fél nemzetközi úrkutatási projektekben tervezett aktívabb részvételével magyarázható. (Együttműködés az Európai Úrkutatási Szervezettel, valamint orosz szerepvállalás a nemzetközi úrrállomás fejlesztésében és üzemeltetésében.)

A számadatok értékeléséhez fontos adalék, hogy 2003-ban az éves infláció elérte a 12 %-os szintet. 2004-re a szakértők 8-10 % közötti értéket prognosztizálnak, ugyanakkor a rubel/dollár árfolyam három éve stabilan 1:30 szinten áll.

A K+F intézményrendszer szerkezetében 2003-ban a megelőző évihez képest lényeges változás nem történt.

2003 decemberétől 2004 márciusáig az Ipari, Tudományos és Technológiai Minisztérium vezetését a leváltott Ilja Klebanov helyett addigi első helyettese, *Andrej Furszenko* látta el megbízottként. A 2004 márciusában tartott elnökválasztást megelőző kormányátalakítás során a megszüntetett Ipari, Tudományos és Technológiai Minisztérium tudományos funkcióit az újonnan létrehozott Oktatási és Tudományos Minisztérium vette át. Az új minisztérium vezetője Andrej Furszenko lett.

A kutatási intézményrendszer helyzetében a megelőző évekhez képest nem történt jelentős változás. A hat, államilag elismert akadémia (Orosz Tudományos Akadémia, Orosz Orvostudományi Akadémia, Orosz Mezőgazdasági Akadémia, Orosz Oktatási

Akadémia, Művészeti Akadémia, Orosz Építőművészeti és Építészeti Akadémia) közül továbbra is az Orosz Tudományos Akadémia (OTA) a legnagyobb, mind a létszámot, mind a költségvetési részesedést illetően.

A 2004-es központi állami költségvetés az OTA részére 18,2 milliárd rubelt juttat, ami névértékben 19 %-os emelkedést mutat az előző évihez képest. Ha azonban figyelembe vesszük az előre jelzett inflációt, az összeg reálértékben kismértékű csökkenést jelent. Kedvező fordulat, hogy az OTA kutatóintézetei 2005 végéig mentesülnek a vagyondadó alól.

2003-ban sem történt előrehaladás a rendkívül alacsony kutatói bérek emelése ügyében. Az akadémia vezetőinek értékelése szerint a havi 2000-3000 rubeles alapfizetéseket legalább a négyszeresükre kellene emelni ahhoz, hogy megállítsák a kutatók elvándorlását, és biztosítsák az utánpótlást. Pozitívumként könyvelhető el ugyanakkor, hogy 2003-ban megállt a kutatói gárda létszámának 1990 óta tartó csökkenése, a létszám 116 ezres szinten stabilizálódott. Kritikus viszont a kutatók kor szerinti megoszlása, az átlagos életkoruk meghaladja az ötven évet.

#### *Következtetések*

- A finanszírozásában évek óta nem sikerül elérni, hogy a költségvetési kiadások 4 %-át fordítsák a K+F finanszírozására, az évek óta csökkenő arány most az 1,7 %-os szinten látszik stabilizálódni.

- Amennyiben a K+F finanszírozásában jelentős változás nem következik be, úgy fennáll annak a veszélye, hogy Oroszország kikerül a fejlett technológiákat kidolgozó, hasznosító és exportáló országok sorából. Ez oda vezethet, hogy Oroszország egyszerű nyersanyag-exportáló állammá válik.

- A világ évi 60 milliárd dollár körüli innovációs piacából (= az új technológiák értékesítéséből származó összeg) Oroszország mindössze 40 millió dollárral részesedik. Szükséges lenne egy *innovációs törvény*



elfogadása, de nem ismeretes, hogy erre mikor kerül sor.

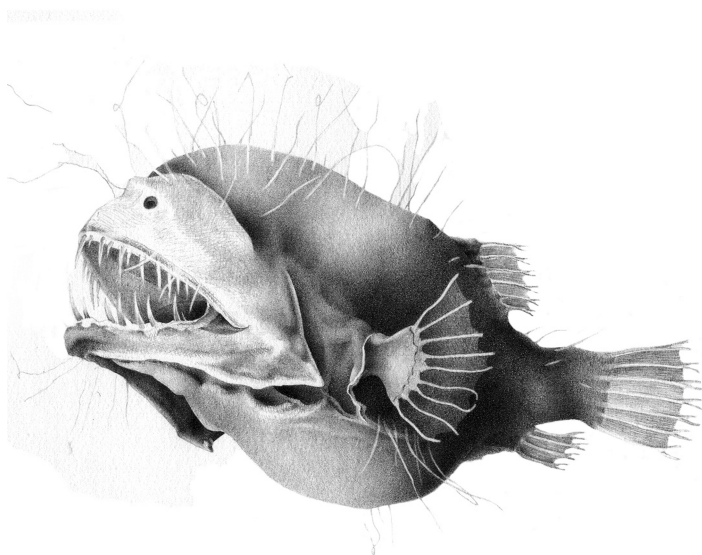
- Az előregedett tudóstársadalom fiatalítása terén érezhető eredmények nincsenek. Ez, valamint a fiatal kutatók külföldre vándorlása néhány éven belül komoly problémákat okozhat az ország tudományos életében.

- Változatlanul megoldandó kérdés az elavult műszer- és eszközpark korszerűsítése.

- A kívánatosnál lassabban halad az úgynevezett „konverziós program”, vagyis a hadiüzemek polgári termelésre történő átállítása.

- 2003 novemberében a felek meghosszabbították az EU és Oroszország közötti tudományos-műszaki együttműködési egyezményt. Oroszország részéről érezhető a törekvés az európai kutatási programokban való minél aktívabb részvételre (pályázatokba való bekapcsolódás révén).

- Az EU részéről jogos igény, hogy az orosz fél tegye lehetővé, hogy kutatási programjaiba az EU-tagok és a csatlakozó országok kutatói bekapcsolódhassanak (reciprocitási elv), ezen a téren azonban a kölcsönösség egyelőre nem tapasztalható.



## *Vélemény, vita*

# **NÉHÁNY GONDOLAT A TERMÉSZETTUDOMÁNYI KUTATÁSOK FI- NANSZÍROZÁSÁRÓL MAGYARORSZÁGON**

Péter László

PhD, tudományos főmunkatárs, MTA Szilárdtestfizikai és Optikai Kutatóintézet  
lpeter@szfki.hu

Az alábbi gondolatokat ajánljuk azok figyelmébe, akik maguk is részt vesznek a magyar tudományos kutatás finanszírozási rendszerének kialakításában – törvényhozóként, a források elosztási szempontjainak meghatározójaként, bírálóként vagy akár a források felhasználójaként.

A kutatás egyik jellemző vonása, hogy nincs az az összeg, ami ne volna képes gazdát találni magának. A felhasználás hatékonyságára vonatkozó objektív – vagy legalább a nagy többség számára tartósan elfogadott – szempontok azonban sokszor hiányoznak. Az utóbbi másfél évtizedben hazánkban elterjedt bizonyos mutatók mellett – úgymint a közlemények száma, ezek impakt faktora stb. – a pénzfelhasználás egyik fontos mutatója a beszerzett eszközök színvonala és értéke.

A kutatás finanszírozásában sok restriktív hatás érvényesült az utóbbi két évtizedben, különösen a makrogazdaság szempontjából kifejezetten nehéz időkben. A megszorítások ellenére megmaradt források felhasználására vonatkozóan ezekben az időkben valószínűleg indokolatlanul maradt fenn az a szocializmus idejéből megörökölt gyakor-

lat, hogy a kutatás finanszírozása a kutatási eszközök megvásárlásának lehetőségét jelenti. A beruházások folyamata így, ha meszse nem is ideális mértékű, de folytonosságát tekintve töretlen maradt.

A kutatói létszám mindeközben folyamatosan apadt, így végül egyre több eszközre jutott egyre kevesebb kutató. Az ez irányú változás hatását erősíti az, hogy az újonnan beszerzett eszközök teljesítőképessége nemcsak felbontás tekintetében, de a produkált adatok mennyisége tekintetében is messze felülmúlja a korábbi eszközkészletét. Vagyis elmondható, hogy jó eszközgazdálkodással adott típusú kutatási eszköz segítségével több kutató kaphatna munkát ma, mint mondjuk két évtizeddel ezelőtt.

A kutatók munkájának finanszírozása azonban kényes kérdés maradt, és erre ma is rányomja a bélyegét a szocializmus idejéből örökölt szegyenlősség és érzéketlenség. Szegyenlős a rendszer abból a szempontból, hogy a befektetett munkát nem ismeri el befektetésnek, csak a konkrét fizikai valóságában megjelenő kutatási eszközt magát. Legyünk őszinték: ilyen szemlélettel nem lehet úgynevezett „tudásalapú társadalmat” létrehozni, lévén a tudást nem az eszköz

hordozza, hanem az azt felhasználó kutató. A finanszírozás rendszere nagyon maradi abból a szempontból is, hogy roppant szorosan köti meg a témavezető kutató kezét abban, hogy a kutatási pályázaton elnyert összegeket mire fordíthatja. Bérköltségből dologit bármikor lehet csinálni, a fordított folyamat viszont szinte lehetetlen.

A beruházási törekvéseknek a forrásfelhasználás kötöttségei által történő ösztönzése oda vezet, hogy az eszközkijelhasználás mint olyan ismeretlen szempont marad. A beszerzett műszerekre vonatkozóan üzemidő-kimutatás sohasem készül. A szükségességet csak a beszerzés előtt kell megvizsgálni, a hasznosulás nem biztos, hogy fontos egyáltalán valakinek. Emiatt mindannyiunk előtt ismertek szinte közmondásos példák büszke kutatókról, akik hosszú távon mást sem tudnak felmutatni, mint azt, hogy „mijük van”. És ez így nincs jól.

Nézzük meg a kérdést egy más szempontból. A doktori iskolák finanszírozása még úgy-ahogy megoldott, de Magyarországon csak csíráiban létezik a posztdoktori rendszer. Az elérhető ösztöndíjak száma igen csekély – noha külföldi posztdoktori tapasztalattal rendelkező kutatók sokasága tudhatja, milyen fontos a szerepe az egyén fejlődésében a posztdoktori tapasztalatoknak. Tegyük fel, pályázat útján próbálnánk kutatási ötleteinket megvalósítani, és ehhez speciális tapasztalattal rendelkező fiatal kollégát keresnénk ideiglenes alkalmazásra. Akadémiai kutatóintézetben ilyen kollégát tudományos munkatársi munkakörben lehetne foglalkoztatni, járulékokkal együtt mintegy évi 3,5 MFt költséggel. Kétéves időtartamban ez már 7 MFt. Figyelembe véve, hogy egyes belföldi pályázati források a személyi kifizetések arányát erőteljesen korlátozzák, ez a projekt kétéves költségére 20-30 millió forintot is jelenthet, holott nem biztos, hogy a fennmaradó összeg az adott kutatásban értelmesen felhasználható. Sőt,

több olyan kutatási projekttámogatási forrás is van, ami személyi költséget egyáltalán nem enged meg. Pedig nem másról van szó, mint arról, hogy a munka elvégzésével (elvégeztetésével) kapcsolatos bérköltség ugyanolyan költség, mint egy eszköz beszerzéséé, leszámítva persze azt, hogy emberrel és eszközzel alapvetően másképp bánunk.

A meglévő posztdoktori ösztöndíjak egy része tartalmaz kutatási eszközre szánható forrást is, más része viszont nem. Így könnyen előállhat olyan helyzet, hogy van pénz a kutatás tárgyi eszközeire ott, ahol nem oldhatók meg a személyi feltételek, és előfordulhat a fordítottja is: bőven akad munkaerő ott, ahol szegényes a kutatási infrastruktúra. Be kellene látnunk, hogy a tárgyi és személyi feltételeket csak együtt van értelme finanszírozni, mert csak így erősíthetjük egymást, és a kutatás hatékonyságán csak így lehet javítani. Jelenleg azonban a projektpályázatok benyújtóinak meg van kötve a kezük: csak olyan témák iránt érdemes érdeklődniük, amelynek kutatásához a személyi feltételek eleve adottak. Ez közvetve a kutatói mobilitás alacsony szintjének fennmaradásához is hozzájárul.

Érdekes például összehasonlítani, hogy OTKA műszerpályázatok és posztdoktori pályázatok során milyen összegek kerültek elosztásra az utóbbi években. A 2002. márciusi határidővel beadott műszerpályázatokon a kutatóhelyek 1,391 milliárd forinthez jutottak. A 2003-ban indult OTKA által támogatott kutatások 5,08 milliárd forint támogatást kapnak. A 2003 januárjában meghirdetett posztdoktori ösztöndíjakra huszonnégy díjazottnak ellenben csak kb. 130 millió forint jutott (ez utóbbinak kb. egyharmada ugyancsak eszközbeszerzési forrás). Ezt állítsuk szembe azzal az adattal, hogy számos amerikai ipari kutatási projekt költség szerkezetében a személyi költségek hányada jóval 50 % felett van, és az állami

forrásokból elnyerhető támogatások is megengedik a nem állandó alkalmazások finanszírozását.

Nem szabad azonban elfeledkeznünk a külföldi posztdoktori állások anyagi fedezetéről. Ez ugyanis döntően nem az akadémiai szférából, hanem az iparból származik. Egyrészt, van bizalom az ipari kutatóhelyek részéről az akadémia szféra felé. Másrészt, vannak a hosszú távra tekintő ipari kutatásnak olyan fázisai, amelyek „alvállalkozónak” kiadva hatékonyabban kivitelezhetők, és nem teremtik meg a tárgyi háttérrel ott, ahol nem muszáj. Hamadrészt, az ipar maga is igényli a posztdoktori tapasztalattal rendelkező kollégákat is, nemcsak a frissen végzett PhD-hallgatókat. Magyarországon, sajnos, az előző három feltétel szinte teljes egészében hiányzik. Ettől azonban az akadémiai (egyetemi) szféra is sokat szenved.

Meg kell említeni a posztdoktori alkalmazások anyagi háttérével kapcsolatban azt is, hogy míg az akadémiai szféra költségvetéséből származó posztdoktori kutatásra szánt források erősen megkötik a felhasználók kezét, az ipari eredetű források sokkalta nagyobb szabadságot nyújtanak az akadémiai kutatóhelyeknek, és hozzájárulhatnak a hosszú távú stabilitásuk megteremtéséhez. Például magyar költségvetési forrásból származó posztdoktori ösztöndíjas állásra csak magyar állampolgár vehető fel. Az ipart viszont egyáltalán nem érdekli, hogy az akadémiai intézet vagy egyetem részére

kiajánlott kutatási témán ki dolgozik, így mód nyílna külföldi kolléga alkalmazására is. Erre a kínálat oldaláról bőségesen megvolna a fedezet. Csak a közvetlen környezetemben évente hat-nyolc érdeklődőt kell elutasítanunk amiatt, mert témát ugyan tudnánk ajánlani, amihez a tárgyi feltételek adóttak, de a munkaerő árát már nem tudjuk megfizetni. Pedig az érdeklődők számából nyilvánvaló, hogy rendelkezünk olyan tudományos presztízzsel, ami a külföldiek számára vonzó, és ami által ők hosszabb távon is jól értékesülő tudáshoz remélnék jutni.

A fenti elemzés után persze kérdéses, mi következik az elmondottakból. Szerintem a következők lehetnek a legfontosabbak:

1. Az eddigieknél erőteljesebben kell állami eszközökkel is segíteni az ipari kutatóhelyeket, az ipari kutatóbázisok Magyarországra telepítését, valamint a kapcsolatot az ipari kutatóhelyek és az akadémiai és egyetemi kutatóhelyek között. A szándékokon kívül ennek a kezdeményezésnek komoly anyagi (például adókedvezményekben megnyilvánuló) háttére is kell hogy legyen.

2. Az állami forrásokon nyugvó kutatási pályázati lehetőségek elbírálásában egyenrangúan kell kezelni a személyi és dologi költségeket, mert az egyre gyorsabban elavuló tárgyi eszköz-környezet bővítésének üteme nem megfelelő fokmérője a források felhasználási hatékonyságának. Különösen igaz ez a viszonylag kis beruházás- és anyagszükséglettel elvégezhető kutatásoknál.

# MIT MÉRJÜNK ÉS HOGYAN?

HOZZÁSZÓLÁS PAPP ZOLTÁN  
ÉS BRAUN TIBOR VITÁJÁHOZ

Bencze Gyula

KFKI Részecske és Magfizikai Kutató Intézet

*Si tacuisses, philosophus mansisses.*

Érdeklődéssel vegyes várakozással olvastam Papp Zoltán cikkét (MT 2004/2, 232–240.) a tudományos teljesítmény mérésének problémájáról, annál is inkább, mert a szerző tiszteletre méltó őszinteséggel jelenti ki: „Be kell vallanom, hogy nem ismerem a téma nemzetközi irodalmát. Saját – meglehetősen hiányos – ismereteim az utóbbi években magyarul (főként folyóiratokban) közölt írásokból, valamint gyakorlati tapasztalataimból származnak.” A szerzőnek Braun Tiborral folytatott vitájához csak igen röviden, néhány apró, de lényeges tényrel szeretnék hozzájárulni.

A kutatók között egyetértés alakult ki abban, hogy a tudományos teljesítmény értékelésére feltétlenül szükség van, ha az adófizetőket meg akarjuk győzni arról, hogy nem kidobott pénz a tudományt támogatni. A tudománymetria csupán eszköz ehhez az értékeléshez (nem erre találták ki), az értékelés alapelveit a kutatói közösségnek kell kidolgoznia. Ha tehát valaki elégedetlen az értékeléssel, nem a tudománymetriát

kell hibáztatnia, hanem utána kell nézni, milyen szempontok alapján történik (történt) az értékelés. Az egyéni teljesítmény értékelésével Berényi Dénes akadémikus vezetésével egy külön akadémiai bizottság évekig foglalkozott. A bizottság hosszas megfontolásainak eredményét egy hazai folyóiratban tette közzé (Bencze et al., 1996). Az egyéni teljesítmény értékelésén kívül még értékelni lehet (és kell is) kutatócsoportok, nagyobb kutatói közösségek, illetve kutatóintézetek teljesítményét is. Ebben az esetben természetesen az értékelés szempontjainak igazodnia kell a vizsgált struktúra alapvető jellemzőihez. Ezt a kérdést az Akadémiai Kutatóhelyek Tanácsa által kijelölt bizottság vizsgálta meg és dolgozott ki ajánlásokat. Ezek a megfontolások is hazai folyóiratban kerültek közlésre ugyancsak magyar nyelven (Bencze et al., 1997).

Ha Papp Zoltán vette volna a fáradságot, hogy (Debrecenben) felkeresi Berényi Dénes akadémikust, sok munkát takaríthatott volna meg, nem is beszélve az első kézből kapható releváns (és remélhetően megnyugtató) információról.

---

## IRODALOM

Bencze Gyula – Berényi Dénes – Tolnai Márton (1996): Az egyéni tudományos teljesítmény értékelésének problémái. Magyar Tudomány, 7, 862–869.

Bencze Gyula – Fazekas Károly – Makara Gábor (1997): Az akadémiai kutatóintézetek 1992–1995. évi felmérése: az értékelés alapelvei. Magyar Tudomány, 3, 323–328.

## A TUDOMÁNY ÉS A METRIA

Marton János

A biológiai (informatika) tudomány kandidátusa, könyvtárigazgató  
SZTE ÁOK Könyvtár – marton@celib.szote.u-szeged.hu

„*Ki minnek nem mestere,  
hóhéra az annak.*”  
(Magyar közmondás)

Papp Zoltán szerint visszásságok vannak a magyar hivatalos fórumok tudományértékelő tevékenységében (*Magyar Tudomány*, 2004. április, 532-533.). Sajnos, e nagyon is igaz véleményének kifejtésekor (*M.T.* 2004. február, 232-240.) felemás érveléssel előadott kifogásai olvastán könnyen arra a következtetésre juthatunk, hogy szerinte a tudományometriai értékelés általában alkalmatlan e feladatra. Így következtetett Braun Tibor is, joggal számon kérve a kritikustól a deklaráltan nélkülözött alaposabb ismereteket.

Papp Zoltán kritikájának legtévesebbelemetalan a tudományometriai értékelés statisztikai érvényességének mellőzése volt. Ha a statisztikusság nem kerülte volna el figyelmét, nem próbálta volna meg egyes (elképzel) esetek konstruálásával általánosságban halomra dönteni a tudományometriát. Mellesleg mintha ő maga is szívesebben válna szakszerű tudományometriai értékelés tárgyává, mint hogy saját kollégái *peer review* bírálatának legyen kitéve. Idézzük: „az értékelő eseti bizottságokat az értékelendő kutató szakterületén

jártas szakemberekből próbálják összeállítani (...) e bizottságok olyan, felsőbbségek által megállapított határszámok (közleményszám, IF-összeg, hivatkozásszám) alapján dolgoznak, amelyek a társszerzős közlemények esetén nem az egyéni részesedések összegére vonatkoznak (mindenki mindent teljes egészében megkap)”.

Egy tudományometriai szakértő sokkal több jogos kifogást is megfogalmazhatna. Itt tartva, milyen szakmai bíráló az, aki nemhogy szakmai bírálatot nem ad, hanem másoktól rátukmált és kritikátlanul elfogadott, nyers mérőszámok alapján értékeli, azaz kétszereesen is lemond a szakértelemről. Igaz, a „mások” nem akárcik, hanem felsőbbségek...

Kedves Braun Tibor, kedves Papp Zoltán! Önök egy táborban vannak követelésüket illetően: legyen szakszerű az, aminek szakszerűnek kell lenni. Már csak a felsőbbségeknek kell jobb belátásra jutni, netán arra a felismerésre, hogy szükségtelen magukra venni a tudományometriai hályogkovács szerepét. (Felsőbbség alatt az összes, „hivatalból” tudományometriai adatokat bekérő, illetve azokkal szakértők alkalmazása nélkül, kénykedve szerint operáló hatóságot, testületet, intézményt értem.)

# ADALÉKOK A TUDOMÁNYMETRIA NÉHÁNY KÉRDÉSÉNEK MEGÉRTÉSÉHEZ

Vinkler Péter

az MTA doktora

MTA Kémiai Kutatóközpont

A Magyar Tudomány 2004/2. számában jelent meg Papp Zoltán *A tudományos teljesítmény mérésének problémáiról* című írása, majd a 4. számban Braun Tibor tollából ezzel kapcsolatosan néhány bíráló észrevétel, amelyekre a Szerző válaszolt. A vitából kiderül, hogy a Szerző elsősorban nem a tudományos publikációk tudománymetriai módszerekkel történő értékelésének lehetőségét és szükségességét vitatja, hanem a módszerek alkalmazóinak eljárásait kifogásolja.

Teljesen egyetérték a Szerzővel, hogy a „tudományos közösségeknek érdeke és erkölcsi kötelessége”, hogy magukat a teljesítményüket alkalmas módon mérni tudó eljárásoknak vessék alá, „végső soron az anyagi források igazságosabb elosztása érdekében”. Bizony helyesen írja: gyakorta hiányzik az értékelés kultúrája, mivel az értékelők híjával vannak az ehhez szükséges ismereteknek. Írása azonban – függetlenül attól, hogy a folyóirat mely rovatában jelent meg, sőt attól is, hogy a Szerző szokatlan módon a témában való járatlanságát is kinyilvánítja – megtevesztő, mert az olvasó a továbbiakban a tudományos közleményekre emlékeztetően állításokat, bizonyítási kísérleteket, következtetéseket és hivatkozásokat talál. Le kell szögezmem, hogy a tudománymetria ma már éppolyan terület, mint a tudományozsziológia, a pszicholingvisztika vagy a biometria, amelyek megfelelő szakmai ismeretek nélkül nem művelhetők.

Ha a Szerző arról írt volna, hogy egy bizonyos pályázat bírálati rendszerének vagy egy

intézményi, csoport-, esetleg egyéni szinten történő értékelés tapasztalatai szerint a szerzői hozzájárulási mértékek megállapítását vagy bármely egyéb tényezőt ezért vagy azért nem tartja megfelelőnek, akkor az elfogadható és érthető lenne. Ha viszont arról értekeznek, miért nem adott valaki a kezébe magyar nyelven egy olyan tudománymetriai alapművet, amelyben az általa kifogásolt kérdésekre egyértelmű választ találhatott volna, akkor nem cselekszik tudományos kutatóhoz méltóan.

Braun Tibor kritikájára válaszul megjegyzi, „a tárgyalt problémákat alulnézetből” szemlélve a „Braun Tibor által leírt tudomány magassága” nem látszik. Nem sportszerű egy viszonylag fiatal tudományterülettel – mint a tudománymérés – számon kérni: miért nincs „az alapvető állításokat tömören összefoglaló” mű, főként annak nem, aki bevallottan nem is kutatott a megfelelő szakirodalom után. Ha csak a magyar nyelvű irodalmat tekintjük, megemlíthetjük, hogy G. M. Dobrov: *A tudomány tudománya* (Gondolat – Kosuth, Budapest) című munkáját 1973-ban adták ki, 1979-ben jelent meg Derek J. de Solla Price alapvető műve: a *Kis tudomány – nagy tudomány* (Akadémiai, Budapest), 1980-ban látott napvilágot a ma már szintén klasszikusnak számító Vaszilij Vasziljevics Nalimov – Zinaida Makszimovna Mulcsenko szerzőpáros *Tudománymetria* című könyve (Akadémiai, Budapest). A Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárának *Informatika*

és tudományelemzés című sorozatában eddig nyolc kötet jelent meg, ezek közül 1984-ben adták ki *A tudományos kutatás minősége* című kötetet (Braun Tibor és Bujdosó Ernő szerkesztésében), amelynek fejezetei közül egyet a Debreceni Egyetem kutatói (Beck Mihály és Gáspár Vilmos) írtak. Több neves külföldi szerző cikkét (például Cole, Martin, Davidson-Frame, Koenig, Garfield, Moravcsik) magyarul is olvashatjuk ebben a kiadványban. 2001-ben jelent meg a *Kis tudománymetria, nagy tudománymetria... és azon túl* című kötet (Glänzel Wolfgang – Schubert András – Vasvári Lilian szerkesztésében), amelynek írói a Szerző által felvetett számos kérdést érintenek, illetve részletesen tárgyalnak. Sok tudománymetriai cikk jelent meg korábban – a jelen írás szerzőjének tollából is – a *Kutatás-Fejlesztés, Tudomány-szervezési Tájékoztatóban* és az *Impakt*-ban. Ezeket a folyóiratokat azonban anyagi okokból néhány évvel ezelőtt megszüntették. Számos cikk jelent meg már a *Magyar Tudományban* is a tudománymetria különböző témaköreiben, de úgy tűnik, a tudományos cikkeket inkább írják, mintsem olvassák. A tudománymetriát Magyarországon rendszeresen és nemzetközi színvonalon művelő öt-hat kutatótól nem hinném, hogy több lenne várható, hiszen cikkeiket elsősorban nemzetközi folyóiratokban közlik, aminek alapján hazánk a világ első tíz országa között szerepel az informatikai és könyvtartudományi kutatások területén. Különben néhány hazai egyetemen és főiskolán *tankönyvként* használják a *Bibliometria és tudománymetria* (Bujdosó Ernő, OSzK–MTA, 1986) c. könyvet, amely az alapoktól kezdve vezet el a magasabb szintű tudománymetriáig. Ebben a Szerző sok hasznos információt találhatott volna: a tudomány növekedéséről, a tudományos publikálásról és kommunikálásról, a tudományos szakirodalom szóródásáról: Samuel C. Bradford törvényéről, a tudományos szakirodalom elévüléséről, a szerzők

produktivitásáról, a *társszerzőségről* és az *együtműködésről*, a tudományos idézetek indexrendszeréről és ennek tudománymetriai alkalmazásáról, a tudományos kutatás szerkezetének felderítéséről, az együttidézési klasztertechnikáról.

Lehetetlen elemezni itt a Szerző által felvetett összes kérdést, csupán néhány dologra térek ki.

- A tudományos közleményeknek a különböző publikációs csatornák közötti megoszlását elsősorban nem egyének vagy csoportok szokásai, vágyai, hanem az illető szakterület bibliometriai sajátosságai határozzák meg. Ismeretes, hogy például a számítástudományokban a *proceedings*-típusú közleményeknek (konferenciabeszámolóknak) lényegesen nagyobb szerepük van, mint a fizikában, kémiában, matematikában. Az egyes publikációs formák külön-külön történő értékelésének csak összehasonlító vizsgálatokban van értelme, de ott is csak akkor, ha nagyobb számú közleményről van szó.

- A természettudományban az új tudományos információ leggyakoribb közvetítője a *folyóiratcikk*, ezért a folyóiratcikkek száma viszonylag jól tükrözi a létrehozott új információ mennyiségét. Csoportok, országok tudományos teljesítményének megítélésakor ezért elegendő csupán a folyóiratcikkek elemzése. Egyének esetében viszont nagy jelentősége van például a könyvfejezeteknek és a könyveknek abban, hogy az illető összes tudományos hozzájárulását számba vehessük.

- Fontos megjegyeznünk: csak azon tudományterületek publikációit értékelhetjük összehasonlító módon, amelyeknek tudománymetriai sajátosságai hasonlóak. Talán az említettek figyelmen kívül hagyása indíthatta a Szerzőt arra a megállapításra, hogy „A mutatók és a teljesítmény közötti kapcsolat túl laza”, s így „a mutatók nem megbízható mércéi a teljesítménynek”. – Sajnos bizonyítás nélkül marad az állítás. Pedig elvárható



lenne, hogy a Szerző adatokkal támassza alá súlyos kijelentését. Milyen független (nem tudománymetriai) mutatókkal mérte a teljesítményt, és ezeket a cikkek számával, a közlő folyóiratok Garfield-tényezőjével vagy az idézetek számával összevetve, milyen korrelációs koefficiens értéket számolt? Közismert, hogy a *tudománymetria statisztikai törvényszerűségekre épít*. Ez azt jelenti például, hogy általában minimum negyven-ötven folyóiratcikk tekinthető olyan méretű publikációs halmaznak, amely az adott szakterületre jellemző bibliometriai tulajdonságokat mutat(hat)ja, azaz racionálisan elemezhető. Éppen ezért nehezebb az egyének publikációs tevékenységének értékelése az országotéval szemben.

- Az egy-egy közlemény létrehozásához szükséges munka mennyiségét (időráfordítást) céltalan és kilátástalan feladat lenne szakterületenként elemezni. A tudományos kutatás kegyetlen, abszolút, nemzetközi verseny. Az eredmények megítélésekor nem veszik figyelembe, kik, hol, milyen körülmények között dolgozva, mennyi idő alatt, mennyiért érték el azt. Kizárólag az eredmény számát. (Nem tekinthetjük jellemzőnek az ettől eltérő egyedi eseteket.)

- Remélem, a Szerző csak figyelmen kívül hagyta a fogalmazott így: „a tudományos közösség a közlemények számolásának olyan – helytelen, igazságtalan – módját alkalmazza...”. A Szerzőnek talán inkább a tudományos kutatások irányítóival, a pályázati források odaítélőivel s nem a kutatók közösségével lenne baja. A publikációs etikáról viszont (társ szerzőségi kritériumok) érdemes lenne vitát kezdeni. Megjegyzendő, hogy szerzői hozzájárulás mértéke vizsgálatának, a cikk „*credítje*” szerzőnkénti meghatározásának óriási irodalma van (lásd például a *Scientometrics*-ben megjelent cikkeket).

Magam azt a gondolatot is felvettem, nem lenne-e etikusabb, ha a publikációk szerzői nevük mellett zárójelben feltüntetnék – közös

megegyezés alapján – a közleményhez való *kutatói hozzájárulásuk mértékét*, például (K. Nagy (40 %), T. Erős (30 %), F. Kiss (20 %), B. Szürke (10 %)). (Megjegyzendő, hogy a szabadalmakban a feltalálók nevei mellett szerepelnek a szellemi tulajdon létrehozásának mértékére vonatkozó hányadok.)

- Szerző azon állításával, miszerint minden kutatónak csak a tudományhoz való egyéni hozzájárulását szabadna figyelembe venni, ha értékeljük az illető munkáját, például – a több társszerzővel közös cikkek esetében – egyetérték.

- A *Magyar Tudomány* 2003. decemberi számában jelent meg egy cikkem arról, mit is jelent valójában a folyóiratok nemzetközi hatásának jellemzésére általánosan használt *hatástényező* adat (Garfield-factor, impact factor). A folyóiratok hatástényezői csak formálisan jellemzik az illető folyóiratban megjelent cikkek átlagos idézettségét. Valójában a hatástényező egy-egy *adott folyóirat egésze által az adott szakterület összes folyóiratának a tudományra gyakorolt együttes nemzetközi hatásához való hozzájárulás mértékére jellemző*. Az előzőekből kiemelendő: *kizárólag egy adott szakterülethez rendelhető folyóiratok mérhető össze (a bibliometriai különbségek miatt)*. Azoknak a folyóiratoknak az *átlagos, súlyozott hatástényezője*, ahol egy kutató vagy egy csoport dolgozatait megjelentette, az illető vagy az illető csoport átlagos *publikációs stratégiájára* (PS) jellemző. (A súlyozás az illető(k) cikkeinek folyóiratonkénti számával történik.) A PS-mutató tehát nem „várható idézettséget”, „megelőlegezett hatást” stb. jelent, hanem azt jellemzi, ami a neve: hol jelentették meg a cikkeket.

Ha egy-egy tématerület vagy szakterület folyóiratait, mint egyetlen *virtuális meta-folyóiratot* tekintünk, és így számolunk egy átlagos hatástényező-értéket, akkor olyan alkalmas *viszonyítási alaphoz* jutunk, amellyel a publikációs stratégiát elosztva *relatív*

*mutató*t nyerhetünk. A relatív mutatók tudományterületek közötti összehasonlításokra is lehetőséget kínálnak. További előnyük, hogy nem lép fel a Szerző által felvetett társszerzőségi probléma (az idézetek megosztása) sem. Nem könnyű feladat viszont a megfelelő viszonyítási alapok megválasztása.

- Általában nem igaz, hogy a tudomány-metriai mutatószámokat tekintve egy kisebb vagy nagyobb szakterület előnyben lenne a másikhoz képest. Ha például több a kutató egy területen, mint egy másikon, több a publikált cikk is, több az idézet is, de az *egy cikkre jutó idézetszám* nem változik.

- A Szerző kifogásolja, hogy számokkal meghatározott bibliometriai követelményeket állítanak az MTA Doktora cím elnyerését igénylő vagy egyetemen habilitálni kívánó jelöltek elé. (Megszabják például a minimálisan szükséges dolgozatok, idézetek, folyóirat-hatástényezők számát, illetve összegét.) A Szerzővel szemben állítom, vannak olyan bibliometriai követelmények, amelyek joggal állíthatók azok elé, akik deklaráltan a tudomány elitjéhez szeretnének tartozni. A *Web of Science* révén bárki kikeresheti azoknak a nemzetközi hírű kutatóknak az idézeteit, cikkeit, akik a szakterületén publikálnak. Tessék összevetni a látottakat a saját adatokkal! Ha az egy-egy területen dolgozók átlagához viszonyítunk, megfelelő összehasonlító eljárást alkalmazunk.

Biztosan vannak a különböző nemzetközi, országok tudományos teljesítményére vonatkozó statisztikákban (például *Science Citation Index*; OECD-országok mutatói; *Science and Engineering Indicators*, US; *Science and Technology Indicators for the European Research Area*) hibák, de ezeket az adatokat látja a világ. Nem tehetjük meg, hogy semmibe vesszük ezeket a mutatószámokat.

Abban viszont igaza van a Szerzőnek, helytelen lenne, ha ugyanannyi idézetet vámának el egy matematikustól, mint egy

biokémikustól. Helyes a feltételezése, hogy ugyanakkora nemzetközi hatás különböző számú (és megjelenési helyű) publikáció illetve idézet révén váltható ki más-más szakterületen. Nehéz a kívülről számára elhinni, hogy például a matematikai tárgyú cikkek révén kapott ötven idézet hasonló nemzetközi hatást mutathat, mint a molekuláris biológia területén dolgozó kutató mintegy százötven-kétszáz idézete.

Az MTA Kémiai Tudományok Osztálya nagyon helyesen, annak ellenére, hogy néhányan nem értenek ezzel egyet, figyelembe veszi a *társszerzőség* mértékét. Erről itt most nincs módom részletesen írni, de annál, hogy minden társszerző a publikáció teljes eredményét, „pontszámát” (ha tetszik, a publikáló folyóirat teljes hatástényezőjét, illetve az idézeteket) „megkapja”, a hivatkozott osztály által használt egyszerű frakcionálás is jobb ( $1/N$ , ahol  $N$  az összes szerző száma). Hasonlóképp az idézetekre vonatkozóan. Az említettek miatt is ajánlhatók a *relatív mutatók*, amelyek kiküszöbölik a szerzőségi megosztási gondokat. Egyének értékelésénél pedig már régóta ajánlják a tudomány-metriai szakemberek, hogy ne csak az idézetek számát, de a pályázó, a jelölt által kiválasztott idézetek *szövegkörnyezetét* is mutassák be (ami a Kémiai Osztályon szintén gyakorlat).

- A Szerzőnek sajnos igaza van abban, hogy élelmes kutatók többféle technikát alkalmaznak a cikkek számának gyarapítására. Ezért is kell több és többféle mutatószámot használnunk, továbbá a mutatókat szakértői értékeléssel együttesen bírálunk. A tudományos kutatás sem mentes kisebb-nagyobb csalásoktól. De mert ilyenek előfordulnak (lásd a *Nature* és a *Science* a tárgyban olvasható cikkeit), attól még a tudomány egésze nem eszerint működik.

- Bevallom, bánt, hogy Magyarországon évek óta állandóan „védeni” kell a tudomány-metriát, bizonygatni, hogy tudomány, hogy szükséges tudomány, amelynek a gya-

korlatban alkalmazott vagy alkalmazható részét elméletileg alá kell támasztani. Megértem, hogy a tudomány egyszerre konzervatív és forradalmi. Gyakran igen nehezen épülnek be az új ismeretek a tudomány bástyáiba, a már bennlévő, intézményesült szakterületek nehezen engednek maguk közé újakat. Ezt a csatát Magyarországon újra és újra meg kell vívni. Németországban, Angliában, Franciaországban, az USA-ban, Belgiumban, Finnországban stb. már tizenöt-húsz éve nem kérdés, hogy a tudománymetria és annak egyik fontos területe, az értékelő tudománymetria tudomány-e. Az MTA vezetői is felismerték, hogy a tudományos publikációk tudománymetriai adatai fontos informatikai és tudománypolitikai következtetések levonására alkalmasak. A közelmúltban létrehozott MTA Tudományos Publikációs Adattár 1992-től kezdve tartalmazza az akadémiai kutatóhelyek összes tudományos publikációját és az ezekre érkezett idézeteket. Az adattár még nincs teljesen kész, de ha ezt elérjük, bárki megítélheti, hogy kinek milyen gazdag tudományos tevékenysége van.

A tudományos munka eredményeinek értékelésénél a gond általában nem a tudománymetriai szakemberekkel és módszerekkel van, hanem a tudománymetria eredményeit meggondolatlanul, hozzá nem értő módon alkalmazó hivatalnokokkal, esetenként tudományos vezetőkkel és kutatókkal. Az értékelő tudománymetria is olyan, mint az erős orvosság, helyes diagnózis alapján, hozzáértő módon alkalmazva segíti a gyógyulást, ellenkező esetben több bajt csinál, mintha nem használták volna.

• A tudományos teljesítmény értékelése a következő feltételezéseken alapul:

- a tudomány információit előállító rendszer,
- a tudományos információt a tudományos közvélemény elé tárják,
- az előállított tudományos információ *meny-nyisége* és nemzetközi *hatása* kvantitatív módon jellemezhető.

Az értékelésre nincs általános recept, ám vannak általános szabályok – ha tetszik, törvények; ismereteseek mutatószámok és módszerek, de *minden tudománymetriai rendszer egyedi*; értékelését egyedileg kell megtervezni. Ennek során fontos feladat az értékelés céljának meghatározása, az értékelendő egyének, szervezetek, témák stb. sajátosságainak felmérése, a célnak megfelelő mutatók kiválasztása, érvényességi körük meghatározása és az alkalmas adatok összegyűjtése. A tudományos kutatás eredményeinek értékeléséhez a kvantitatív módszerekkel párhuzamosan az illető szakterület szakembereinek szakértői véleményére is szükség van. Ám ne felejtjük: a tudományban *kizárólag szakértői vélemény* alapján történik mindenfajta értékelés. Hiszen az idézés nem más, mint a publikált információk nem formális (nem szervezett, nem hivatalos) módon történő értékelése, aminek eredménye, az illető kutató véleménye, a hivatkozás megtételében (és annak módjában), illetve a hivatkozás elhagyásában manifesztálódik. A tudományos publikációk megjelenítése pedig bírálók közreműködése nélkül nem lehetséges. Ezen értékelések eredményeit (idézetek, cikkek száma, megjelenés helye) vesszük figyelembe tudománymetriai módszerek alkalmazásakor.

Érdekes ellentmondás: a tudományos publikációk fontos részét képező hivatkozásokat minden kutató lényegesnek tartja és felhasználja, hiszen ezeknek révén táruznak fel a tudományos kutatás információi. Ugyanakkor azt, hogy azok, akik több, deklaráltan felhasznált (tehát hivatkozott) információhoz juttatják pályatársaikat, több elismerést kapjanak, számosan vitatják. – Általában azok, akiknek kevesebb jutna az ilyen módon osztott elismerésből.

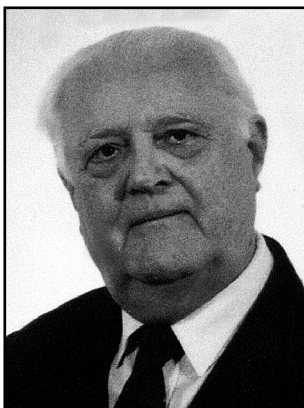
Értékelni szükséges, de még inkább szükséges szakértői módon, jól értékelni. Abban, hogy ezt megvalósíthassuk, mind az oktatásnak, mind a helyi és az országos tudománypolitikának még sok tennivalója van.

## Megemlékezés

Megrendülten hallottuk és vettük tudomásul a megváltozhatatlan hírt, Kozma Pál professzor, akadémikus, a számtalan tudományos és társadalmi elismeréssel rendelkező tudós tanár, iskola-teremtő, tudományszervező és megszámlálhatatlan szervezet tisztségviselőjének, tagjának halálhírét. Kozma Pál az MTA rendes tagja, a volt Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem egykori rektora, az MTA Kertészeti Bizottságának tiszteletbeli elnöke, a Berlini Humboldt

Egyetem díszdoktora, a Magyar Bor Akadémia rendes tagja, a Magyar Növénynevelők Egyesülete tiszteleti tagja, a Zsigmond Király Borlovagrend tagja, az Accademia Italiana della Vite e del Vino külső tagja, a Jugoslovensko Vinogradarsko Naucsno Društvo tiszteletbeli tagja, az Association Internationale pour l'Optimisation de la Nutrition des Plantes állandó bizottsági tagja volt, birtokosa a Magyar Köztársaság Zászlórendje és az Álami Díj mellett számos hazai és nemzetközi elismerésnek, kitüntetésnek.

Távolról zárkózott, sőt esetleg túl szigorú emberek tűnt, egészen az első kézfogásig. Pedig anekdotázó, jó humorú, kedves, művelt, széles olvasottsággal rendelkező, nagy szaktekintélyű egyetemi oktató-kutató volt. Megjelenése, egyenes tartása, magabiztos, kissé peckes terpeszállása *két lábbal földön állást*, a realitást, a magyar szőlő-bortermelő egészséges lelki állapotát tükrözte.



**KOZMA PÁL**

1920 – 2004

Szemében mindig ott fénylett egy derűs mosoly, a paraszti öntudat és a mindent megismeremi akaró kíváncsiság. Erre nagy szüksége is volt, hogy az északkelet-magyarországi kis falu, Gyulaháza szülőteként olyan „kozmosz” magasságokba verekedje fel képletesen szólva magát, mint a falu másik híres szülötte, az első magyar űrhajós. Kortársai, iskolatársai előtt szinte beláthatatlan üstökösi pályát futott be. Ennek az útnak a megtétele óriási erőfeszítést és óriási örömet

jelentett számára. Élvezte a tudás egyre mélyülő kútját, azt a tiszta kutat, amellyel csillapíthatatlan tudásszomját elégíthette ki. Nemcsak jó fejű, jó képességű ember volt, hanem bámulatos szorgalommal vetette bele magát a tudomány és a kultúra mindennapjaiba. Paraszti őseinek tett fogadalma szerint nem hátrált meg semmi feladattól sem. Mesés szorgalma a diákévek után csak fokozódott, amikor az egyre gyarapodó kis családja már hét gyermeket számlált, és mindenben hű támaszával és társával, Mincsik Erzsébettel gondozták nagy szeretetben fészekaljukat ötvennyolc éven keresztül, egyetértésben. A gyerekzsivaj és lárma mellett, a kelő nap sugarai már az íróasztalánál találták, amint szépen formázott betűit rötta a gyarapodó papírlapokra. A nagy munkák, az 50-es, 60-as, 70-es években ekkor fogalmazódtak meg először, és alapozódott meg a későbbi időszakok szakmai-emberi alap gondolata

is. Nem zavarta, hogy hideg volt, hogy behűzött a szél az ablak alatt, pokrócba csavartan a tudományos megfogalmazás izgalma fűtötte, és tudta, hogy reggel nyolc órától a tanszéke, az egyeteme, majd az igazgatóhelyettesi, rektorhelyettesi, rektori teendői várnak rá, számos megoldandó kérdéssel. E feladatok mellett születtek meg monográfiái, egyetemi tankönyvei, cikkei, beszámolói, kutatási eredményei, előadásai. Előadóként nem volt különösebben magával ragadó és népszerűségajhászó, de mély és alapos tudása, mint az egyre dagadó és hömpölygő Duna, megkerülhetetlen volt. Előadásaiiban, írásaiban a népi-paraszti szőlő-bortermelési tudást, tapasztalatot ötvözte a magas szintű, új, saját, valamint mások kutatási eredményeivel. Rendkívüli olvasottsága segítségével pedig európai vagy esetenként még tágabb kitekintést tudott adni egyetemi óráin is a vizsgált témakörben. Nemesgyzer ámultam el mint már a Magyar Mezőgazdasági Múzeum kutatója, hogy milyen alaposan ismeri a 18-19. századi vagy akár a korábbi évszázadok szakirodalmát, a magyarországi, közép-európai szőlészeti-borászati kezdeményezéseket, eredményeket, nem is beszélve az antik, görög-római szerzők munkásságának pontos ismeretéről. Mindezt párosítani tudta olyan kutatási témáival, ahol nemzetközileg is elismert, figyelemreméltó eredményeket ért el, így:

- a szőlővirág- és virágzásbiológia (virágmorfológia, szövettan, a virágtípusok divergenciája, evolúciója, a virágtípusok és típusváltozatok termékenyülési, termésképzési sajátosságai, fény- és elektronmikroszkopikus bélyegei területén,

- a szelekciós és keresztezéses szőlőnemesítés (intra- és interspecifikus hibrid fehér- és vörösbor-szőlő- és csemege-szőlő-fajták előállítására terén,

- a szőlő szerves és ásványi anyagcseréje, tápanyagforgalma, optimális tápanyagellátottságának diagnosztizálásában levélanalízissel. Foglalkozott továbbá a szőlő transzspirációjával, a fitotechnikai műveletek (tökeművelésmódok, metszésmódok, zöldmunkák) fiziológiai hatásával, a szőlővesszők fiziológiájával, a csemege-szőlő-termesztés fejlesztésével.

Tanári munkássága során több mint hatezer agrár- és kertész-mémök és több száz szakmémök képzésében vett részt. Tanítványai derekasan állnak helyt, és kimagasló eredményességgel vesznek részt a magyar agráriumban, a szőlő-borágazat átalakításában és mindennapjaiban. Mind tanári, oktatói-kutatói, tudósi munkássága elképzelhetetlen lett volna a családi megértő háttér és a kollegiális segítség nélkül. A tanszékén olyan kimagasló tudós-tanár személyiségekkel dolgozott együtt, mint Csepregi Pál, Zilai János, Polyák Dezső, Sz. Nagy László, majd Tompa Béláné, Sesztákné Urbányi Márta, Juhász Olga, és az akkor még fiatal tanárutánpótlásként számon tartott Balogh István, Bényei Ferenc.

Munkáját, eredményeit, emberségét, jobbítani és tenni akarását tanítványai, egykori kollégái, munkatársai megőrzik emlékeztükben. Azok, akik nem ismerhették életében, sokat veszítettek, de hatása, tanítványai és tanítványai révén formálja tovább a magyar szőlő-bor ágazatot, a magyar kertészeti temelést, és tágabban véve a magyar agráriumban az európai nagy megmérettetésben is. Kozma Pál tanítványai emberséget, akaratot, látásmódot, magyarságtudatot, kitartást, hivatástudatot, tudományos érzékenységet, látásmódot tanulhattak, sajátíthattak el tőle.

Emlékezzünk Rá, és hajtsunk fejet európai léptékű tudományos teljesítménye előtt.

*Csoma Zsigmond DSc.*

Károli Gáspár Református Egyetem,  
Gazdaság és Művelődéstörténeti Tanszék

## Kitekintés

### A NANOVILÁG ÚJDONSÁGAIBÓL

Elektromossággal vagy fénnel mozgatható nanoszerkezetet hoztak létre amerikai és izraeli kutatók a Kaliforniai Egyetemen. A nanoszerkezet egyetlen fémkarborán molekula, amely külső hatásra megváltoztatja alakját. A korábbi molekuláris motorokat biomolekulákra alapozták. A molekulában egy nikkelatom foglalja el a központi helyet. Két szembenlevő oldalán egy-egy karborán szerkezet kapcsolódik hozzá. (A karboránok olyan boránok (bór-hidrogének), amelyekben két bóratomot szénatomok helyettesítenek.) A karboránmolekula olyan, mint egy csúcsos kalitka, a szénatomok az alaplap börgyűrűjében foglalnak helyet. A kalitkák alaplapjukkal fordulnak a nikkelatom felé. A kiinduló nyugalmi állapotban a börgyűrűk olyan pozíciót foglalnak el, hogy a bennük levő szénatompárok azonos oldalon foglalnak helyet. Ha a nikkelatom felvesz egy elektront a környezetéből, akkor az egyik karboránkalitka 140 fokkal elfordul, a másik viszont a helyén marad. Ha a nikkelatom leadja a felvett elektront, akkor a kalitka visszaforgó, és helyreáll az eredeti állapot. Ugyanezt a változást megfelelő hullámhosszú fénnel is elő lehet idézni. A fény hatására a nikkelatom egyik elektronja magasabb energiállapotba kerül, és ez váltja ki az egyik karborán elfordulását.

Széles lehet az új szerkezet alkalmazási köre: egyszerű ki/be kapcsoló, szelep, molekuláris memória (az egyik állapot a digitális 0-nak, a másik az 1-nek felel meg). Ha egy nagy szénhidrogénmolekulát kötnek a karboránhoz, akkor zsilipként, csapóajtó-

ként is használható a molekula: megengedi vagy megakadályozza a hozzáférést egy kis, például kémiai katalizátoranyaggal bevont felülethez.

Hawthorne, M. Frederick et al.: Electrical or Photocontrol of the Rotary Motion of a Metallo-carborane. *Science*. **303**, 19 March 2004, 1849-1851

Photon-powered Nano-motor Does the Twist. *New Scientist*. 27 March 2004. 23.

A szén nanocsöveket általában merev rudaknak képzeljük. Megnedvesítve viszont teljesen megváltoznak, rendkívül rugalmassá válnak, és változatos alakokat vesznek fel száradás közben. Vladimir V. Tsukruk és munkatársai (Iowa State University) a nanocsövek nedvesítésének és szárításának többszöri ismétlésével hurok, kampó, tekercs és más nanoalakzatokat hoztak létre. A változatos alakúra görbült csövekből mintázatokat alakítottak ki. Ehhez egymást váltó hidrofil és hidrofób tulajdonságú csíkokra helyezték a nanocsöveket. Az azonos „kezelésen” átesett nanocsövek 90%-a azonos irányultságot vett fel, az azonos irányba mutató csövek 40%-a pedig pontosan egyforma alakú volt. Kísérleteikben milliméter nagyságrendű felületen 1 nanocső/mikron sűrűséget értek el. A nanocsövek rendezettsége még nagyobb lehet, ha a hidrofil és hidrofób felületeket négyzet-rácsos mintázatba, sakktáblaszerűen rendezik el. Feltárták a nanocsövek görbülésének részleteit is. A nanocső először hozzátapad a hidrofób felülethez, majd a kiszáradó mikrocseppecske alakját követve görbül meg. Minden nanocső csak kisebb részben hajlott meg, mindig maradt egy hosszabb egyenes

szakasza is. A visszahajlott csőszakasz szilárdan hozzátapadt az egyenes részhez.

A hajlított nanocsövek nyilvánvalóan sokféle nanoszerkezet építőelemei lehetnek. Szenzorokként is alkalmazhatók lesznek, mert a korábban egyenes nanocső meghajlásával optikai tulajdonságai is megváltoznak.

Tsukruk, Vladimir V. et al.: Nanotube Surface Arrays: Weaving, Bending, and Assembling on Patterned Silicon. *Physical Review Letters*. **92**, 065502 (13 February 2004)

Ausztrál kutatók szén nanohabot állítottak elő. Az Amerikai Fizikai Társaság március 22-i ülésén elhangzottakról a *Nature* hírszolgálatja tudósított. Canberrában, az Ausztrál Nemzeti Egyetemen szén céltárgyat bombáztak lézernyalábbal. A másodpercenként tízezer impulzust kibocsátó lézer mintegy tízezer fokig hevítette fel a szenet. A szénből eközben parányi nanocsövek jöttek létre, amelyek egymással véletlen eloszlásban összekapcsolódva laza szerkezetet vettek fel. Ezt nevezték el a kutatók nanohabnak. A nanohab szerkezetét elektronmikroszkóp alatt tanulmányozták, és megállapították, hogy a szén eddigi ismeretlen módosulatát sikerült létrehozniuk a már ismert grafit, gyémánt, a labda formájú fullerének és a nanocsövek mellett. Az igazi meglepetés a váltotta ki, hogy széntől szokatlan módon a nanohab mágnesesnek bizonyult. Mágneses állapota viszont nem tartós, szobahőmérsékleten néhány óra alatt megszűnik.

Az új anyag tulajdonságait megismerve néhányan rögtön a lehetséges alkalmazásokon kezdtek gondolkodni. Két, messze vezető ötlet merült fel. A mágneses nanohabot a véráramba kellene juttatni, és a mozgást mágneses rezonancia képalkotóval lehetne nyomon követni. A nanohab rossz hővezető-képessége esetleg rosszindulatú daganatok célzott elpusztításában lenne felhasználható. Injekcióval nanohabot juttatnának a

daganatba, majd infravörös sugárzással hőt adnának át. A nanohab elnyeli a hőt, és azt úgy adná át a daganatsejteknek, hogy a környező szöveteket nem melegítené fel, nem károsítaná.

Nature Science Update. 23 March 2004.  
<http://www.nature.com/nsu/040322/040322-5.html>

J. L.

## TOVÁBB BŐVÜLT A PERIÓDUSOS RENDSZER

Az oroszországi Dubnában, az Egyesített Atomkutató Intézetben Jurij Oganyeszjan vezetésével egy orosz-amerikai kutatócsoport két új szuperelemhez elemet állított elő, a 113 és 115 rendszámút. Az U400 ciklotronban kalcium-48 atommagokat gyorsítottak 248 MeV energiára, majd ezek amerícium-243 céltárgyba ütköztek. (Az amerícium *target* az amerikai Lawrence Livermore Nemzeti Laboratórium hozzájárulása volt.) A 20-as rendszámú kalcium és a 95-ös rendszámú amerícium fúziójával jött létre a 115-ös rendszámú új elem. A 115-ös elem nyolcvan milliszekundum elteltével alfa-bomlással alakult át a 113-as rendszámú, szintén új elemmé. A bomlás ezzel nem állt meg, húsz másodpercnél rövidebb idő alatt további négy alfa-bomlás követte egymást, így jött létre a 105-ös rendszámú, Dubnáról dubniumnak nevezett elem 268 tömegszámú izotópja. A dubnium később spontán hasadással bomlott el. Az új elem mindössze négy atomját (!) hozták létre, ezek közül három azonos bomlási soron ment végig. A negyedik atom egymást követő alfa-bomlásai 0,5 másodpercen belül a dubnium-267-hez vezettek, ennél a reakciósorozatnál kissé nagyobb energiára (253 MeV) gyorsították a kalcium atommagokat. Eddig az 1996-ban Darmstadtban előállított 112 rendszámú és a Dubnában 1999-ben előállított 114 rendszámú elem zárta a periód-

duos rendszert. (Berkeleyben 1999-ben bejelentették a 116. és a 118. elem létrehozását, de a kísérletet nem sikerült megismételni, ezért 2001-ben visszavonták az állítást.)

Oganessian, Yuri. Ts. et al.: Experiments on the Synthesis of Element 115 in the Reaction  $^{243}\text{Am} (^{48}\text{Ca}, xn) ^{291-x}115$ . *Physical Review C*. **69**, 02, 1601-1 (2004)

*J. L.*

## ANTIPROTONOS HÉLIUM ÉS REAKCIÓK A HIDEG VILÁGEGYETEMBEN

A CERN-ben az ASACUSA együttműködés az anyag és az antianyag különbségeinek feltárására végez érzékeny kísérleteket. Antiprotonos héliumatomot hoztak létre, a hagyományos héliummal szemben az egyik elektront antiproton helyettesíti. A hélium atommag – elektron – antiproton rendszer a hidrogén atomra emlékeztet, mert az atommag töltése +1. Az antiprotonos hélium eleendően hosszú ideig él ahhoz, hogy tanulmányozni lehessen reakcióit más atomokkal. Széles hőmérséklettartományban (25–300 kelvin) vizsgálták az antiprotonos hélium- és hidrogén- valamint deutériummolekulák reakcióit, kölcsönhatását. Megállapították, hogy alacsony hőmérsékleteken az átalakulásokban jelentős szerepe van a kvantummechanikai alagúteffektusnak. Korábban semmiféle kísérleti adat sem volt a hidrogén- és deutériumatomok, -molekulák alacsony hőmérsékleten végbemenő reakcióiról. Ezek viszont roppant érdekesek a Világegyetem történetének megértéséhez. A csillagközi ködök, a csillagállapotot megelőző hideg anyagkoncentrációk hőmérséklete jellemzően 30 kelvin körüli. Ilyen környezetben egyes tartományokban összetett molekulákat figyeltek meg (víz, kén-hidrogén, metil-alkohol, etil-alkohol) nagy mennyiségben. Az összetett molekulák kialakulásához vezető reakciók ebben a hőmérséklettartományban

csak alagúteffektussal mehetnek végbe. Az ASACUSA kísérlet éppen ezt a lehetőséget igazolta kísérletileg. A mérést Juhász Bertalan vezette, aki most doktorál a Debreceni Egyetemen, témavezetője Horváth Dezső, a KFKI Részecske- és Magfizikai Kutatóintézet tudományos tanácsadója.

Juhász Bertalan – Eades J. – Hayano R.S. – Hori M. – Horváth D. et al. (2003): Quantum Tunneling Effects Revealed in Collisions of Antiprotonic Helium with Hydrogenic Molecules at Low Temperatures. *Chemical Physics Letters*. **379**, 91–98  
ASACUSA Probes the Astrophysical „Ice Age”. *CERN Courier*. April 2004, 7.

*J. L.*

## SEJTDOKTORRAL A RÁKOS SEJTEK ELLEN

Az izraeli Weizmann Intézetben Ehud Shapiro vezetésével olyan molekuláris sejtdoktor fejlesztettek ki, amelytől azt várják: a szervezetben körbejárva felismeri majd a rákos sejteket, és azonnal azokat elpusztító anyagokat bocsát ki. Azonnal hozzá kell tenni, hogy ez a rendszer egyelőre csak kémcsőben működik, és senki nem tudja, hogy a bonyolult emberi testben képes lesz-e bármilyen tevékenységre. Egy parányi, nanoméretű bioszámítógépről van szó, olyan kicsiről, amelyből egyetlen esőcseppben egy billió darab férne el. Ez képes érzékelni olyan örökítőanyag-darabkákat, amelyek az egészséges sejtekben nem fordulnak elő, csak a daganatos sejtekben. Az ellenséges DNS- (RNS) szálakat felismerve a sejtdoktor ezeket ártalmatlanító „ellen” DNS (RNS) molekulákat gyárt le, majd bocsát ki, és így – legalábbis elvileg, csapdába ejti, lefegyverzi a rákos sejteket.

Egyelőre a prosztata- és a tüdőrák egyes formái ellen működő modellek készültek el, és a Weizmann Intézet kutatói szerint hosszú



évekig tart, mire a betegekbe fecskendezett apró komputerek millióival fognak dagantokat elpusztítani.

(Benenson, Yaakov – Gil, B. – Ben-Dor, U. – Adar, R. – Shapiro, E. (2004): An Autonomous Molecular Computer for Logical Control of Gene Expression. *Nature*. 28 April 2004. Online. doi:10.1038/nature02551).

G.J.

## BÉBIK – RENDELÉSRE

Szabályosan rendelésre született öt kisbaba az Egyesült Államokban. Öt különböző családról van szó, amelyekben a szülők azért vállaltak ismét gyermeket, hogy az megmentse halálos betegségben szenvedő testvére életét.

A gyerekek lombikbébik, szervezeten kívüli megtermékenyítéssel fogantak. A megtermékenyített petesejtekből háromnapos korukban eltávolítottak egy-egy sejtet, és ún. preimplantációs, azaz beültetés előtti genetikai vizsgálatot végezve megállapították, hogy a fejlődő gyermekek megfelelő őssejt-donorai lennének-e testvéreiknek. (Ennek esélye húsz százalék.) Csak azokat az embriókat ültették vissza az édesanyák méhébe, amelyek megfeleltek a genetikai kívánalmaknak.

A kisbabákat rendelő párok egyike angol, akik azért fordultak a Chicagói Szaporodás-genetikai Intézet munkatársaihoz, mert Nagy-Britanniában nem volt lehetőségük a „gyermekrendelésre”. Ott ugyanis ezt az ún. beültetés előtti genetikai vizsgálatot csak abban az esetben végzik el, ha egy családban gyógyíthatatlan genetikai betegség van, és tudni akarják, hogy a születendő gyermek egészséges-e. Ilyenkor mesterséges megtermékenyítés után elvégzik a genetikai vizsgálatot, és csak az egészséges embriókat ültetik vissza az anyába. Szóval ebben az esetben a születendő gyerek egészségéről

van szó, és a módszerrel meg lehet előzni azokat az abortuszokat, amelyeket azért hajtanak végre, mert a terhesség során derül ki, hogy a gyermek beteg. A most Amerikában született öt kisbaba története azért váltott ki máris éles etikai vitákat, mert ők azért fogantak és születtek meg, hogy a tőlük nyert őssejtekkel meggyógyítsák leukémiában, illetve egy másik vérképző betegségben szenvedő testvérüket. És ez etikailag még akkor is vitatható, ha egy magasztos célról van szó. Az is igaz azonban, hogy a beteg gyerekeknek ez az egyetlen esélyük az életben maradásra, mert más donort egyikük számára sem találtak.

A babáknak egyébként semmiféle szenvedést és fájdalmat nem kell elviselniük azért, hogy segítsenek testvéreik megmentésében. Születésükkor nem dobták ki a köldökzsinórban lévő vért, hanem izolálták belőle a megfelelő őssejteket. Ezeket juttatják be a halálos betegségben szenvedő testvérek szervezetébe, azt remélve, hogy az őssejtek felépítenek majd egy egészséges vérképző rendszert, és a gyerekek meggyógyulnak.

Az Anver Kuliev doktor (Reproductive Genetics Institute, Chicago) által vezetett programról 2004. május 5-én beszámolt a *New Scientist Online*, és tudományos közlemény is megjelent róla.

*Journal of the American Medical Association*  
(2004. 291, 2079.)

G.J.

## VADÍTÓ SZÓJA

Ne egyenek a férfiak túl sok szóját – ez a figyelmeztetés az elmúlt években már többször elhangzott, hiszen a szójában lévő ún. növényi ösztrogének, azaz a szervezetben a női hormonhoz hasonlóan működő anyagok gátolhatnak bizonyos férfiúi működéseket, pl. jelentősen csökkenthetik az ondóban lévő hímivarsejtek számát. Az amerikai

Wake Forest University kutatói, köztük Jay R. Kaplan most arra figyelmeztetnek, hogy az éveken át történő rendszeres szója fogyasztás jelentősen megváltoztathatja a viselkedést, türelmetlenné, agresszívvá teheti a férfiakat. Pontosabban: egyelőre a kísérletek alapján csak annyit tudni biztosan, hogy a sok szója a hím majmokból agresszivitást és intoleranciát vált ki – írta a *MedlinePlus* 2004. április 29-én.

G.J.

### ŐSSEJTEK SZÍVBETEGEKNEK

Az Amerikai Mellkassebészeti Társaság április végi torontói kongresszusán újabb, őssejtekkel kapcsolatos terápiás sikerekről számoltak be infarktusos betegek kezelésében. (Nature Science Update, április 27.) Amit Patel (University of Pittsburgh School of Medicine) kollégáival tíz áthidaló műtéten át esett – ilyenkor például egy lábból kioperált

érdarabkával „kikerültek” az elhalt területet, és így biztosítják a szív vérellátását – páciens szívébe harminc különböző sérült pontra őssejteket fecskendezett be. Az őssejtek saját csontvelőből származó őssejteik voltak, így kilökődéstől nem kellett tartani. A beavatkozás után fél évvel azt tapasztalták, hogy az őssejtterápián is átesett betegek szíve nagyobb teljesítményre volt képes, mint annak a tíz, kontrollcsoportba tartozó páciensé, akik csak *bypass* műtéten estek át.

Az őssejtterápiához nagy reményeket fűznek az infarktuson átesett betegek kezelésében, de az eddigi eredmények nem egyértelműek. Volt ugyanis olyan klinikai vizsgálat, amelyet ez év elején Dél-Koreában leállítottak, mert az őssejtek beültetését követően nem tudták kontroll alatt tartani az új érsejtek kialakulását.

G.J.

Jéki László – Gimes Júlia



## Könyvszemle

*A mikroszintű rendszerváltás  
krónikája –*

*Szabó Katalin – Kocsis Éva:*

*Tanulás és felejtés vegyes  
vállalatokban*

A szerzőpáros új monográfiája folytatása a tanuló vállalatról korábban írt tanulmányaiknak: az ott leírt tételek empirikus igazolására tett kísérlet. Legalábbis az a felmérés, aminek az eredményeit a könyv ismerteti, erre irányult. Csakhogy menetközben, a vállalati vezetőkkel folytatott mélyinterjúk során olyan tömegű információ halmozódott fel a rendszerváltás során átalakuló vállalatokról, hogy a címet teljes joggal változtathatták volna meg a szerzők a fenti címre. Nagyon izgalmas munkát tart kezében az olvasó. A rövid elméleti bevezető után, az alkalmazott kutatási modell logikája szerint rendezve, a vállalati vezetők szájából elhangzott „valomások” sorozata vezet be minket a vállalati lét vagy nemlét dilemmájába, melyet a rendszerváltás mozgalmas éveiben oly sok magyar vállalatnak kellett megválaszolnia. Ebben a munkában sikeres példák sorozatán követhetjük nyomon, hogy miként válhattak korábbi állami vállalatok sikeres, piacgazdasági körülmények között is helyüket megálló korszerű vállalatokká. (A sikertelen kísérletek tanulmányozása is érdekes lehetne, de erre ma már érthető okok miatt aligha nyílik mód!)

A könyv tehát néhány elméleti tétel megfogalmazásával indít. Ezek közül legfontosabb a kettős tanulás. A tanulási folyamat kettőssége három dimenzióban is értelmezhető. Egy-

részt, a magyar vállalatoknak egyidejűleg kellett általában véve a piaci környezet szabályaihoz alkalmazkodniuk, a „piacot megtanulniuk”, és bevezetni a mai kapitalizmus korszakos újításait. Olyan ismereteket is el kellett sajátítaniuk, amelyek a hagyományos piacgazdaságok vállalkozásai számára is újdonságot jelentettek. Másrészt, a tanulási folyamat kettőssége azt is jelenti, hogy az információ áramlása kétirányú. A magyar vállalatok átveszik környezetükből a korszerű piaci, műszaki, szervezési, stb. ismereteket, de ezzel egyidejűleg partnereik is „tanulják” a magyar piac, gazdasági környezet sajátosságait. Harmadsorban pedig, amint a mű címe is mutatja, a tanulás felejtéssel jár együtt. A rendszerváltás előtti vállalati működés rutinjait a szervezet memóriájában törölni vagy felülírni szükséges.

A tanulás feltétele nyilvánvalóan az, hogy a „tanulóhoz”, a magyar vállalathoz a „tananyag”, vagyis a korszerű ismeretek eljussanak. A kutatás alapötlete az volt, hogy a tudásátadás leginkább közvetlen módon, talán leghatékonyabban, de mindenképpen a legjobban nyomon követhetően a vegyes vállalatoknál megy végbe. Vegyes vállalat alatt hagyományosan olyan céget érthetünk, amelynek magyar és külföldi tulajdonosai közel azonos mértékben bírnak a tulajdonosi jogokkal, és ezért (elméletileg) egyformán befolyással vannak a vállalat irányítására. Tehát egy cégen belül egyidejűleg van jelen a „tanuló” és az „oktató”, kettejük együttműködése közvetlenül megfigyelhető. Itt szükséges megjegyezni, hogy a vegyes vállalatok a 80-as évek végétől a 90-es évek közepéig terjedő szűk tíz évben játszottak szerepet Magyarországon. Létrehozásuk oka való-

ban a kettős tanulás igénye volt: a külföldi befektetők így tudtak szert tenni a szükséges helyismeretre (és esetenként kapcsolattrendszere). Amint azonban ezeket az ismereteket megszerezték, nem haboztak a cégek vegyes jellegét megszüntetni. Ahogy a könyv is fogalmaz: a vegyes vállalatok a 90-es évek második felére „felszívódtak”. Mindebből az olvasó számára az a következtetés adódik, hogy bár a vizsgálat szempontjából a vegyes vállalat ideális terep, a valós gazdasági folyamatok szempontjából csak marginális epizód.

A könyv kvalitását jelzi, hogy az olvasó, aki személyes tapasztalatai szerint ítéli meg a tartalmat, ennek ellenére úgy érzi, hogy pontosan így történt minden. A vegyes vállalatok sikertörténeteinek elemei hasonlóan fellelhetők más cégek átalakulási folyamataiban is. Szinte a szeme előtt látja azokat az interjúalanyokat, akiknek a szájából a kis történeteket, részleteket hallja. Olyan hangulata van az egész könyvnek, mintha az olvasó a „rég motorosok” baráti összejövetelén elhangzó beszélgetések hallgatója lenne. A „rég motorosok” számára a könyv azért lehet érdekes olvasmány, mert saját hasonló élményeik, ismereteik számára egyfajta rendszert, keretet biztosít. Azok az olvasók viszont, akik a nyolc-tíz éve lezajlott folyamatban személyesen nem vettek részt, azért profitálhatnak sokat ebből a könyvből, mert a tanulási folyamat sajátosságait, tökéletlenségeit megismerve magyarázatot kaphatnak a mai magyar gazdaság működési sajátosságainak néhány mélyebb összefüggésére. Ez a könyv ugyanis nem egyetemi jegyzet vagy kutatási jegyzőkönyv, hanem alapvetően visszaemlékezések, személyes benyomások izgalmas gyűjteménye. Ezeket találja a két szerző az általuk kialakított elméleti keretekbe ágyazottnak.

Ugyanakkor a könyv fontos kutatási dokumentum is. A mai közgazdasági kutatások egyre inkább kvantitatív jellegű főáramával szemben üde színfolt ez a kizárólag kvalitatív

információkat összegyűjtő munka. Módszertani kérdések hosszas taglalása nélkül is megállapítható, hogy az inkább a szociológia területéről ismert, mélyinterjúkon alapuló kutatási módszer meggyőzően, hatásosan írta le a „kettős tanulás” elméleti rendszerébe foglalt, kiemelkedően fontos vállalati alkalmazkodási folyamatot. Egy területen érez hiányt az olvasó, amit a szerzők maguk is említenek. Csak nagyon kevés információt sikerült összeszedni a külföldi cégek tanulási folyamatáról, arról a tudásanyagról, amely összegyűjtése után általában a vegyes vállalati működést már indokolatlannak találták és megszüntették. Szintén hiányzik az olvasó számára, szinte magától értetődő következtetés, hogy a könyvben leírt tanulási (alkalmazkodási) folyamat lényegében minden rendszerváltó magyar vállalatnál megfigyelhető volt, még ha kevésbé koncentráltan is. Az új ismeretek áradata ugyanis sok csatornán keresztül a rendszerváltás órájában, sőt már azt megelőzően megindult, és az új tudás átvételének kényszerítője is ugyanolyan intenzíven kényszerített minden vállalatot tanulásra, mint a vegyes vállalatokat. Csak két példát említnék, ahol a tudásátadás ugyanolyan közvetlen és intenzív volt: az aktív bémunkázóknál és a külföldi cégek rendszeres beszállítóinál. De minden sikeresen alkalmazkodó cég fejlődése a tudásgyarapításon múlt.

A könyv sok izgalmas részletéből néhány, továbbgondolásra is érdemes összefüggést érdemes itt is megemlíteni. Az első mindjárt a tanulás és a felejtés kettőssége. Szükséges-e mindent elfelejteni, ami régen volt? Nincs-e abban is sok hasznosítható elem? A könyv utal több ilyen értékes elemre, és sajnálja, hogy ezek jelentős részben veszendőbe mennek. Például a magyar (műszaki) szakemberek invenciózus munkavégzése. Tény, hogy az individualizmus „dolgozom, ha kedvem tartja” típusú vadhajtsáit el kell felejtetni. Ugyanakkor a hiánygazdaság körülményei között

kialakult ötletességet, problémamegoldó készséget kár lenne kivésni hagyni a magyar mérnökökből, munkásokból. Ezeket a készségeket a külföldi cégek is értékeli. Ugyanakkor a mai napi működésre jellemző megbízható termelésellátás, a pontosan specifikált alkatrészek inkább mechanikus reprodukciót igénylő beszállítási igényei, általában véve a gyártásra kerülő munkadarabok egyszerűsödése a kreatív készségeket egyáltalán nem teszik próbára, nem igénylik azokat.

Egy másik ilyen terület a vállalat szociális szerepének újraértelmezése. Tény, hogy a munkahely, mint „második otthon” a rendszerváltás előtt egyáltalán nem azt jelentette, mint amit ma jelent. Akkor az „otthon” kedélyes időtöltést, alacsony hatékonyságú és intenzitású munkavégzést, a dolgozók személyes vagy családi problémáinak figyelembe vételét jelentette. A mai értelmezésben a második otthon inkább az egyén azonosulását jelenti a céggel. Erről az egyik interjúalany szinte megdöbbentő kontrasztként számolt be. Japán főnöke ugyanis egy vacsorán félrevonta, irigykedve gratulált neki, úgy látta ugyanis, hogy a magyar vezetőnek jó kilátásai vannak arra, hogy egy szép napon munkahelyéről „a tepsis kocsi” vigye majd el – a halottasházba! A munkaintenzitás rendkívüli mértékű növekedését a szerzők sem tudták pozitívan kommentálni, bölcs módon nem foglaltak állást ebben a kérdésben. Az olvasó viszont felteheti magában a kérdést: vajon most megint olyan „modern időköt” élünk, mint Charlie Chaplin filmjében az egyszeri gyári munkás? Az elkalandozó gondolat egymás után veti fel a foglalkoztatás, a demográfiai hullámvölgy, az oktatás- és egészségügy súlyos problémáit, és megkérdezi, van-e alternatívája a tepsis kocsinak, a társadalmat dúló értékválságnak, az iskola-bezárásoknak?

Egy további gondolat a tudásátadás módjával függ össze, és az átalakuló országok

gazdasági teljesítményei közötti, szemmel láthatóan nagy különbségek hátterét vizsgálja. A sikeres tudásátadás egyik fontos tényezője ugyanis az adaptáció. Vagyis az átadásra kerülő ismereteket előbb a helyi viszonyokra kell alkalmazni, utána érdemes csak bevezetni. Az adaptációban Magyarországnak sok évtizedes tapasztalata halmozódott fel. Nem véletlen, hogy az itt-ott fennmaradt vállalati kutatói és fejlesztési kapacitás is elsősorban adaptációs feladatokkal foglalkozik. Kicsiben olyan ez, mint a COCOM, a műszaki embargó fennállása miatt korábban tömegesen végzett koppintás, „körülinnoválás”, vagyis létező technikai megoldások helyi körülmények között történő előállításának, alkalmazási módszereinek a kitalálása. Schumpeteri értelemben véve ez a tevékenység is innováció. Mielőtt még bárki lesajnálóan nézne a koppintásra, mint egyfajta innovációra, megemlíthetjük, hogy a japán csoda alapjai is ezzel a módszerrel, koppintással és továbbfejlesztéssel jöttek létre. Magyarország ebben a tevékenységben kiemelkedő szerepet játszott a szocialista országok között. Ausztria (és más országok) közvetítésével ugyanis a legtöbb „körülinnoválandó” műszaki megoldás Magyarországra érkezett. Ezért nálunk halmozódott fel a legtöbb adaptációs ismeret, és a többi átalakuló ország ezen a téren feltétlenül hátrébb van (egyelőre).

Egy további érdekes folyamat is alátámasztja a magyar vállalatok és gazdaság különleges szerepét a tanulási folyamatban, tudásadaptációban. Magyar vállalatok elsőként jelentek meg ugyanis más átalakuló országok piacain, mint nagyobb volumenű tőkebefektetők és tudásátadók. A MOL és a MATÁV külföldi érdekeltségeinek magyar igazgatói többször is nyilatkoztak arról, hogy milyen formában adják át ugyanazt a gazdálkodási, műszaki, szervezési stb. szaktudást, amit külföldi tulajdonosuktól, partnereiktől néhány évvel korábban

vettek át, és alkalmaztak a közép-európai kontextusra.

Hosszasan lehetne tovább sorolni az érdekesebbnél érdekesebb gondolatokat, ötleteket, amelyek ennek a rendkívül informatív könyvnek az olvasása közben felmerülnek. A legjobb, amit az olvasó tehet, hogy veszi magának az időt, elhelyezkedik egy kényelmes fotelben, kikapcsolja a napi feladatait. Előveszi

ehelyett ezt a könyvet, saját tapasztalatait, és megpróbálja szintetizálni a kettőt. Lehet, hogy mai problémáinak megoldásához is közelebb kerül így! (*Szabó Katalin – Kocsis Éva: Tanulás és felejtés vegyes vállalatokban. Oktatási Minisztérium, Budapest, 2003, 322 p.*)

*Szanyi Miklós*

kandidátus, tudományos főmunkatárs  
MTA Világgazdasági Kutató Intézet

## *Kultúra és pszichológia*

A kötet 13. javarészt az angolszász szakirodalomból fordított, de a szerzők kb. felénél más kultúrák hagyományait is érintő tanulmányt mutat be a hazai közegben úttörő módon. A pszichológia, miközben gyakorlatában többnyire a második éves angolszász egyetemista lelki jelenségeinek megismerésére épít, már a 19. sz. vége, a néplélektani program óta igyekszik kitérni ebből, többnyire a laboratóriumi pszichológiától eltérő eljárásokat, a megfigyelést, történeti rekonstrukciót, majd a kérdőíves összehasonlításokat vagy a kulturális témák tartalomelemzését használva. A kötet két területet mutat be, Lan Anh tájékozott eligazító tanulmányában lágyan, de mégiscsak szembeállítva őket. Az egyik a kultúrközi pszichológia, mely kultúrák mindenáron való összevetésével foglalkozik, s kissé kockázatmentes tudomány, hiszen különbségeket mindig találunk. A másik, a kulturális pszichológia a kultúrában élő embert mint a természeti ember alternatíváját ismerteti elméleti általánosításként. A válogatás erénye, hogy ezt az elméleti perspektívabeli alternatívát jól mutatja be. Világosan exponálja az összehasonlító szemléletet a felvilágosodás óta mozgó kettőséget, a kulturális relativizmus és univerzalizmus vitáját, ahol a lélektan nem kitalálja a dilemmákat, hanem új, adatvezérelte módon teszi kezelhetővé őket. Nagyon izgalmasak azok a tanulmányok, amelyek a személy-személyiség kulturális eltéréseiről szólnak, s ezzel egyben a kultúra és pszichológia átfogó témáit

is új megvilágításba helyezik. Vajon öröktől s mindenütt ugyanolyan-e a személy elképzelése önmagáról? Hasonlóan jók s naprakészek a nemekről, a párkapcsolatokról, egyén és közösség viszonyáról szóló munkák. Összességében jól bemutatja a kulturális összehasonlító szemlélet személyiség- és szociálpszichológiáját. Ezzel a hazai szakmai közönségnek s pl. a globalizációs viták lélektani értelmezésével foglalkozóknak jól használható anyagokat kínálunk a szerkesztők.

Hadd legyen azonban a recenzens telhetetlen. A könyv szociálpszichológia marad, mind a tanulmányok módszertanában, mind a vizsgált kérdésekben. A fordított tanulmányokból kimaradnak azok a kulturális pszichológia szerzők, akikre maguk a szerkesztők is sokat hivatkoznak – Michael Cole vagy Richard Shweder – s kimarad az egész evolúciós pszichológiai kultúra elmélet, mely radikális (például Steven Pinker) vagy megfontolt (Michael Tomasello) változataiban idehaza is ismert. Számomra ennél nagyobb gond, hogy a relativizmus egész kérdésköréből kimarad a nyelv és a megismerés, az a terület, ahol Alexander von Humboldt óta az elmélet, Edward Sapir óta az empiria terén talán a legtöbb munka születik a relativizmus témában. Sapir és Benjamin Lee Whorf még a mutatóból is hiányoznak, de sajnos maga a mutató is hiányzik. (*Kultúra és pszichológia. Szerkesztette Nguyễn Lưu Lan Anh és Fülöp Márta. Osiris, Budapest, 2003, 481 p.*)

*Pléh Csaba*

az MTA I. tagja, egyetemi tanár, BME

## *Az értékek pszichológiája*

A köznapi beszéd, mint már oly sokszor, ismét tele van az értékválságról szóló siránkokkal. Jó tudni, hogy ebben a közegben az értékek szaktudományos vizsgálata is új erőre kapott. A pszichológiát illetően a 19. század vége óta kísért az a vita, hogy a szaktudomány nem tud mit kezdeni az értékekkel. De lassan száz éves az a hozzáállás is, amely az értékeket, éppen kétarcúságuk, változékonyságuk és stabilitásuk miatt a tudomány tárgyává teszi. Ez a válogatás – tizenhárom kortárs tanulmány fordítása – sokat tesz azért, hogy a magyar pszichológia korszerű képet kapjon az értékekről, s egyben be is mutassa saját megközelítését más értékutatók számára. A kötet a nagy hagyományú *Pszichológiai Tanulmányok* Hunyady György szerkesztette sorozatának méltó, XIX. kötete. A kötet szerkesztője, Váriné Szilágyi Ibolya két évtizede a hazai értékutatók letéteményese. Monográfiái (*Az ember, a világ és az értékek világa*. Gondolat, 1987, *Az erkölcs a néző és a cselekvő szemszögéből*. Scientia Humana, 1884) sokat tettek

nemcsak a fogalomrendszer meghonosításáért, hanem eredményekért is.

Mit tudunk meg a mai értékutatókról a könyvből? Az első részből azt, hogy az értékek a természettudományos és társadalomtudományi pszichológiai kutatás izgalmas érintkezési területét alkotják, s fontos elemük a kulturális összevetés. A második rész írásai, az újabb törekvéseket bemutató betegegek, a kisebbségek, az emberi jogok előtérben lévő napi kérdéseinek bemutatása mellett az érték és sztereotípa, érték és személyiség örök kérdéseinek új elemzéseit mutatják be.

Hasznos könyv ez, melynek olvastán az olvasóban egy hiányérzet keletkezik. A modern értékutatók egyik ága az erkölcs kutatásából bontakozott ki. A visszatérő szerző mindenki számára Lawrence Kohlberg. Sokáig senki nem gondolt rá, hogy az olvasóknak Kohlberget is meg kellene ismerniük magyarul. (*Értékek az életben és a retorikában*. Szerkesztette Váriné Szilágyi Ibolya. Akadémiai, Budapest, 2003, 369 p.)

*Pléh Csaba*

az MTA I. tagja, egyetemi tanár, BME

## *Kozári Mónika: Tisza Kálmán és kormányzati rendszere*

A magyar történészek az elmúlt években különös előszeretettel fognak a polgári kori miniszterelnökök, politikusok korábban tilalomfákkal, előítéletekkel körülfont életútjának feltárásához. Megidézésüket nemcsak a valaha reflektorfényben mozgó személyiségek alaposabb megismerésének vágya teszi vonzóvá, hanem rajtuk keresztül olyan ablakot nyithatnak, amelyeken át a korabeli gazdasági, társadalmi élet egésze is láthatóvá válik. Eközben azonban több veszély is leskelődik a kíváncsi és igényes kutatóra. Megszépítheti vagy éppen a valóságostól eltérően sötétebb

színekkel rajzolhatja választott alakját személyiségjegyeinek keresése közben. A szóban forgó biográfiák szerzőinek – ide tartozik Tisza Kálmán életrajzírója, Kozári Mónika is – sikerült elkerülniük ezeket a végleteket.

A Tisza Istvánról, Bethlen Istvánról, Gömbös Gyuláról, Andrássy Gyuláról s most Tisza Kálmánról írott könyvek természetesen felhasználott forrásbázisuk, szerkezetük, kiemelt témáik, színvonaluk, terjedelmük szerint különböznek egymástól. Miként a kormányfők is más-más adottságokkal, képzettséggel, emberi és társadalmi kötődéssel, eltérő kül- és belpolitikai viszonyok közepette töltötték be cseppet sem irigylésre méltó tisztségüket. Az említett életrajzok azonban ennek ellenére elérték fő célkitűzéseiket. Megismertetik a hálás utókorral választott „hősük” életútját,

kormányzati működését, benne sajátos vezetői tulajdonságait, választott módszereit.

Tisza Kálmán a magyar történelemben a leghosszabb ideig, tizenöt évig töltötte be a miniszterelnökséget, viszonylag csendes, nyugodt körülmények között, amikor az ipari forradalom nekilendülése után Budapesten és a vidéki városokban is nagyarányú építkezések folytak. (Kórházak, klinikák, egyetemek, utak, rakpart, városházák, bírósági épületek stb.) Tisza Kálmán regnálásának a kezdete és a vége tűnik a legnehezebbnek s egyben rejtélyesnek is. Mert az abszolutizmus jegyeivel, intézményeivel is védett, körülbástyázott kiegyezési rendszerben a miniszterelnök és a miniszterek kinevezése és leváltása kizárólagosan az uralkodó felségjogai közé tartozott. Tisza Kálmán pedig immár hagyományosan a kiegyezés ellenzékéhez tartozott, s az efféle politikai magatartást Ferenc József nem kedvelte. Csakhogy a kiegyezést követő években a kormányzó Deák-párt megroppant, miközben ellenzéke az egymást váltó képviselőválasztásokon egyre több mandátumot szerzett. Szükségserűen előtérbe került ezért a fúzió a kormányzó párt és lojális ellenzéke, a balközép között. S miután Tisza Kálmán elfogadta a kiegyezés rendszerét s az uralkodó széleskörű hatalmát, megnyílt számára a miniszterelnökséghez vezető út, s 1875 októberében beköltözhetett a Sándor-palotába. Eltávolítására is különös körülmények közepette került sor. Amikor ugyanis az 1880-as évek végén az elhúzódó európai agrárválság, illetve a véderőfejlesztés uralkodói sürgetése miatt Magyarországon is nagy belső politikai konfliktusok törtek felszínre, Tisza Kálmán a hadvezetőség akaratának úgy akart eleget tenni, hogy közben népszerűségét is megőrizze. A konfliktust azonban nem tudta feloldani, és 1890-ben Bécsben kegyvesztetté vált. A kinevezése és a leváltás közötti másfél évtizedben azonban számottevő gondok nélkül, a maga sajátos módszereivel vezette a magyar kormányzatot.

De milyen okok, miféle körülmények tették lehetővé hosszú ideig tartó, szilárdnak tekinthető kormányzását? S ebben milyen szerepet játszottak Tisza Kálmán személyes tulajdonságai, adottságai, vezetői elvei és módszerei? Egyáltalán miként vonhatjuk meg miniszterelnökségének mérlegét? Kozári Mónika könyvét megelőzően kellő komolysággal és szakmai hozzáértéssel még nem keresték a válaszokat. Tisza Kálmán alakja ezért maradt homályban, a hozzábiggyesztett semmitmondó jelzők, szavak, mondatok szűrkeségében. A miniszterelnököt gazdag államigazgatási és közigazgatási ismeretei, taktikai elemekre építő politikája, ügyes kombinációs készsége, az ügyek fontossági sorrendjének és kezelésének felismerése, a súlyosabb hibák elkerülésének, illetve korrigálásának képessége, munkabírása egyaránt alkalmassá tette arra, hogy éljen a kor által számára biztosított lehetőséggel. Választási győzelmeit éppen sajátos kormányelnöki felfogásának és módszereinek köszönhette. Nem dolgozott ki nagyívű távlati terveket, nem mérhető tehát Széchenyihez, Kossuthoz, Deákhoz vagy Andrássyhoz.

A hatalom megőrzésének azonban széles eszköztárával rendelkezett. Jó érzékű taktikus, rutinos szónok, ügyes vitázó volt. Gratz Gusztáv írta róla: Folyékonyan, nagy szóbőséggel, de lassan beszélt, mintha előbb behatóan mérlegelné minden szavának súlyát. Mindig a tárgyilagos érvelésre ügyelt. A szónoklás sohasem vált számára öncélúvá. De – miként parlamenti szereplése bizonyítja – a gúny, az ironia és a replika erősítette mondanivalójának súlyát. Kivételes személyes adottságait az államgépezet számos ágában kamatoztatta. Különös figyelmet fordított a megyék élén álló főispánok kinevezésére, irányítására, pártja egységének megőrzésére, különösképpen a parlamentben. A megyék élén álló, a központi akaratot biztosító és végrehajtó, a képviselőházi, valamint a helyi választások lebonyolítását vezető



főispánokat mindig a hozzá hű, számára feltétlenül megbízható hívei közül választotta ki. Eközben arra is ügyelt, hogy a főispánok kormányzati rendszerének kulcsfigurái lehetőleg ismerjék a helyi-megyei viszonyokat és a közéletre nagy befolyással bíró hatalmasságokat. A miniszterelnök azután a mandátumhoz segített képviselőket erős pórázon tartotta, igényelte viszontszolgáltatásukat. Így alakult ki a Szabadelvű Párt mameluk serege, amely-lyel a miniszterelnök – a kedvező gazdasági viszonyok közepette – viszonylag könnyedén megszavaztathatta törvényjavaslatait a parlamentben. Köztük egyébként számos hasznos, előremutató, a modernizációt segítő gazdasági, közigazgatási, jogi, sőt a parlamentarizmust is érintő javaslat született. A generális – ahogyan Tisza Kálmánt Mikszáth nevezte – pártja egységét különböző eszközökkel biztosította. Vezető tagjait a különböző állami intézmények, közigazgatási egységek élére állította, ennek fejében azonban feltétlen engedelmességet követelt tőlük. Ha kellett, nyegletességekkel, emberi-közéleti gyengeségeik, mulasztásaik számontartásával, zsarolással.

A 48-as közjogi ellenzék az ő miniszterelnöksége idején vesztette el maradék radikalizmusát is, és mindenféle számottevő tartás nélkül, immár alakatlan masszaként olvadt a magyar politikai közéletbe. A szellemi, a művészeti élet nagyjait pedig baráti körébe vonta. Itt találhatjuk Jókait, Mikszáthot, az építőművészek legjobbait vagy a Magyar Tudományos Akadémia vezető tisztségviselőit. A népszerűsége ekkor valóságos teljhatalommal párosult. Mindennek csúcspontja a külsőségek tanúsága szerint is az 1885. évre, miniszterelnökségének tizedik évfordulójára esett. A „generálist” az ország minden részéből „hódoló” küldöttségek keresték fel, mint valami misztikus erejű keleti fejedelmet. Csillaga ekkor ragyogott a legfényesebben. Átmenetileg az udvar is kegyeibe fogadta. Megszűnt a „furfangos kálvinistával” szem-

beni kezdeti bizalmatlanság. Mindazonáltal a Tisza Kálmán politikai karakterét meghatározó jellemző vonások megragadása nehéz feladat. Mert nem szerette felfedni kártyáit, s azt sem tűrte, hogy mások bepillantassanak rejtélyes játékműveleteibe. Szorgos munkájában a pillanat adta elhatározások játszották a főszerepet. Ezek pedig gyakran a fehér asztalok rendszeres baráti társalgásai közepette születtek. A kortársak körében, egymástól eltérő vélemények terjedtek róla. Egyfelől erőszakos, durva despotának tartották, másfelől Isten kegyelméből adott nagy államférfinak nevezték, aki folytatta Deák és Andrássy művét. Az a nézet is terjedt róla, hogy nem is tekinthető igazán kiemelkedő képességű politikusnak, vagy miként ezt gyakran ismételték, miniszterelnökségét az alkotások hiánya jellemzi. Mindkét vélemény nehezen tartható, hiszen a gazdasági élet látványos eredményei, a nagyarányú építkezések, a modern törvényalkotás vagy közigazgatás polgári átalakítása éppen ennek az időszaknak a termékei. Inkább arról van szó, hogy a maga alkata szerint kerülte a hangzatos nyilatkozatokat, a nyilvánosságot, s inkább a kulisszák mögött, pártjára támaszkodva folytatta kormányzati tevékenységét.

A dualizmus virágkora nem is kényszerítette a kormányt „újszerű” döntésekre. A már mozgásba lendült gépezet gondos karbantartásához pedig éppen Tisza Kálmán személyes tulajdonságai bizonyultak a legalkalmasabbnak, hiszen a kiegyezés szerinti kormányzás képességeivel rendelkezett. Eközben őrizhette egyéni ambícióit, és szenvedélyeiről – a tarokról, a vadászatokról, a baráti társaságok cigányzenével kísért szórakozásairól – sem kellett lemondania. A hatalmat kezében tartva soha nem hozták zavarba az ellenvélemények, általában kivonta magát a viták gyűrűjéből. Hosszú ideig szinte játszi könnyedséggel siklott át a legnehezebb akadályokon is. S jól választotta meg minisztereit. Nem véletlenül kapta meg például Trefort

Ágoston a kultuszminiszteri, Baross Gábor a közlekedési, Széll Kálmán, majd Wekerle Sándor a pénzügyminiszteri tárcát.

A békés nyugalmi időszak, az uralkodó támogatása és sajátos vezetési adottságai, eszközei, a hozzá szorosan kötődő mamelukserége lehetővé tették számára hosszú miniszterelnökségét, de a társadalom nagy részének rokonszenvét sohasem nyerte el, holott sokat tett ennek érdekében. Ez a konfliktus okozta bukását is, mert népszerűségét közjogi kompromisszumaival sem sikerült erősítenie, ám elvesztette Ferenc József bizalmát.

Bukása nem is pusztán személyi ügye volt, mélyebb és nagyobb feszültségeket jelzett. Végző soron az 1867. évi kiegyezés kez-

dődő válságát jelezte. Benne a kormányzati mechanizmus nehézségeit, amelyeket a felgyülemelő szociális és nemzeti-nemzetiségi ellentétek tovább fokoztak, s gyors egymásutánban újabb és újabb kormányválsághoz, bukásokhoz vezettek. Jórészt más forrásokból táplálkoztak, de hasonló folyamatok zajlottak Ausztriában is. Eduard Taaffe ugyancsak hosszú ideig, 1879-től 1893-ig tartó miniszterelnökségét ugyanis újabb és újabb kormányok kinevezése, majd távoztása követte. *(Kozári Monika: Tisza Kálmán és kormányzati rendszere. Napvilág Kiadó, Budapest, 2003. 572 p.)*

*Pölsöskei Ferenc*  
professor emeritus



---

## CONTENTS

### *Universe – That We Live In*

László Szabados: To Bring the Farther Closer .....	678
Béla Kálmán: An "Ordinary" Star .....	689
Imre Tóth: Comets and Asteroids .....	699
Erzsébet Illés: Planetary Bodies in the Solar System .....	710
Mária Kun – László Szabados: Changing Face of the Milky Way Galaxy .....	722
Sándor Frey: Extragalactic Astronomy .....	732
András Patkós: Cosmology: Science of the History of the Universe .....	741

### *Study*

János Boros – András Guttman: Genetism: Genes and Society .....	752
Csaba Fenyvesi: International Tendencies of Forensic Science in the 21st Century .....	757

<i>Academy Affairs</i> .....	765
------------------------------	-----

### *The Science of the World as Seen by Hungarian Diplomats*

Péter Grosschmid: The International Strategy of the Academy of Finland .....	775
Árpád Erdélyi: State of the Art of R+D in Russia (2003/2004) .....	871

<i>Discussion</i> .....	784
-------------------------	-----

### *Obituary*

Pál Kozma ( <i>Zsigmond Csoma</i> ) .....	794
---	-----

<i>Outlook (László Jéki – Júlia Gimes)</i> .....	796
--	-----

<i>Book Review</i> .....	801
--------------------------	-----

---

## 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 téma-összefoglaló, magas szintű ismeretterjesztő, illetve egy-egy tudományterület újabb eredményeit bemutató tanulmányokat; a társadalmi élet tudományokkal kapcsolatos eseményeiről szóló beszámolókat, tudománypolitikai elemzéseket és szakmai szempontú könyvismertetőket.

**2.** A kézirat terjedelme szöveges tanulmányok esetében általában nem haladhatja meg a 30 000 leütést (a szóközökkel együtt, ez kb. 8 oldalnak felel meg a MT füzetében), ha a tanulmány ábrákat, táblázatokat, képeket is tartalmaz, a terjedelem 20-30 százalékkal nagyobb lehet. Beszámoló, recenzió esetében a terjedelem ne haladja meg a 7-8 000 leütést. *A teljes kéziratot .rtf formátumban, mágneslemezen és 2 kinyomtatott példányban kell a szerkesztőségbe beküldeni.*

**3.** A közlemények címének angol nyelvű fordítását külön oldalon kell csatolni a közleményhez. Itt kérjük a magyar nyelvű kulcsszavakat (maximum 10) is. A tanulmány címe után a szerző(k) nevét és tudományos fokozatát, a munkahely(ek) pontos megnevezését és – ha közölni kívánja – e-mail-címét 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*, (esetleg **félkövér** – bold) betű alkalmazható; ritkítás, VERZÁL betű és aláhúzás nem. A jegyzeteket lábjegyzetként kell megadni.

**5.** A rajzok érkezhetnek papíron, lemezen vagy email útján. Kérjük azonban a szerzőket: tartsák szem előtt, hogy a folyóirat fekete-fehér; a vonalas, oszlopos, stb. grafikonoknál tehát ne használjanak színeket. Általában: a grafikonok, ábrák lehetőség szerint minél egyszerűbbek le-

gyenek, és vegyék figyelembe a megjelenő oldalak méreteit. A lemezen vagy emailben érkező ábrákat és illusztrációkat lehetőleg .tif vagy .bmp formátumban kérjük; értelemszerűen fekete-fehérben, minimálisan 150 dpi felbontással, és a továbbítás megkönnyítése érdekében a kép nagysága ne haladja meg a végleges (vagy annak szánt) méreteket. A közlemény szövegében tünnessék 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). Ha azonos szerző(k)től ugyanabban az évben több tanulmányra hivatkozik valaki, akkor a közleményeket az évszám után írt a, b, c jelekkel kérjük megkülönböztetni mind a szövegben, mind az irodalomjegyzékben. Kérjük, *fordítsanak különös figyelmet a bibliográfiai adatoknak a szövegben, illetőleg az irodalomjegyzékben való egyeztetésére!* Miután a Magyar Tudomány nem szakfolyóirat, a közlemények csak a legfontosabb hivatkozásokat (max. 10-15) tartalmazzák.

**7.** Az irodalomjegyzéket abc sorrendben kérjük. A tételek formája a következő legyen:

- Folyóiratcikkek esetében:

Alexander, E. O. and Borgia, G. (1976). Group Selection, Altruism and the Levels of Organization of Life. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **9**, 499-474

- Könyvek esetében:

Benedict, R. (1935). *Patterns of Culture*. Houghton Mifflin, Boston

- Tanulmánygyűjtemények esetén:

vonBertalanffy, L. (1952). Theoretical Models in Biology and Psychology. In: Krech, D., Klein, G. S. (eds) *Theoretical Models and Personality Theory*. 155-170. Duke University Press, Durham

**8.** Havi folyóirat lévén a *Magyar Tudomány* kefelevonatot nem küld, de az elfogadás előtt minden szerzőnek elküldi egyeztetésre közleménye szerkesztett példányát. A tördelés során szükséges apró változtatásokat a szerző egy adott napon a szerkesztőségben ellenőrizheti.

---

---