

# HOGYAN VIGYÜNK CSILLAGÁSZATOT A LABORATÓRIUMBA?

Kereszturi Ákos

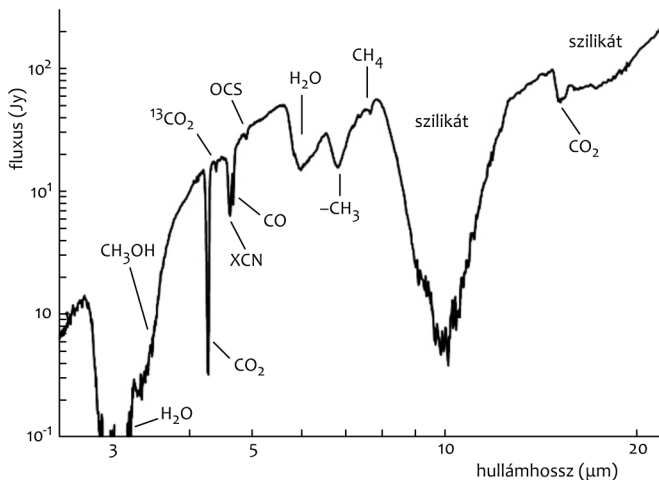
PhD, MTA CSFK Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézet  
kereszturi.akos@csfk.mta.hu

Az interdiszciplináris kutatások korát éljük: nemcsak gyümölcsöző, de időnként elengedhetetlen is az eltérő tudományterületek közötti együttműködés. Gondoljunk csak a modern orvosi diagnosztikai izotópszelzés keretében a kémia és a biológia kölcsönhatásaira, vagy a matematikai módszereken alapuló komplexológiai elemzésekben egyes élőlények, személyek viselkedésének értelmezésére, avagy az internetes hálózatok kölcsönhatásrendszerének megértésére. Nem kivétel ez alól a csillagászat és a földtudomány sem, ahol az űrszondás kutatások révén ma már csillagászok geológusokkal, vegyészekkel, néha még biológusokkal is együtt dolgoznak. Az alábbiakban rövid áttekintést adunk arról, melyek azok a fő területek, ahol a műszeres laboratóriumi mérések csillagászati témakörökben segítenek. Érdemes megjegyezni, hogy az itt említett témakör nem azonos a részecskefizikai vonatkozású asztrofizikai kutatásokkal, amelyeknél már régóta használnak részecskegyorsítókat és különböző detektorokat a nagyenergiájú folyamatok elemzéséhez.

A cikkben bemutatandó témakörnek még nincs meghonosodott neve, sokat laboratóriumi asztrofizikának, szilárdtest-asztrofizikának, vagy asztromineralógiának nevezik, illetve néha egyszerűen csak a planetológiához

(bolygótudományhoz) sorolják. Széles témakör ez, ide tartozik a meteoritok elemzése, a távoli jeges égitestek színképének vizsgálata, a születő bolygórendszerek porkorongjainak vagy a csillagközi szilárd szemcséknek a kutatása. Jellemzőjük, hogy laboratóriumi viszonyok között nyert ismeretek segítenek a távcsöves és űrszondás mérések értelmezésében. Az alábbiakban példa jelleggel mutatunk be néhány témakört, elsősorban az interdiszciplináris kapcsolatokra, összefüggésekre fektetve a hangsúlyt.

Laboratóriumi vizsgálatok keretében a csillagászatban is megfigyelt anyagfejlődés minden legfontosabb lépcsőfokát tanulmányozni tudjuk. A hűvös csillaglégkörökben és csillagok anyagkiáramlásaiban kezdődik a szilárd szemcsék összeállása, ami a csillagközi anyagban folytatódik. Mindezek elemzését a laboratóriumban vákuum és alacsony hőmérséklet segíti. Az ilyen viszonyok között „legyártott” ásványszemcsék a csillaglégköröket vagy a csillagközi sugárzást befolyásoló ritka anyagot leíró modellek pontosításában segítenek (Tóth et al., 2000). A módszerrel a csillagoknál a kiáramlás jellege, az eltérő mélységű rétegek közötti keveredés mikéntje jellemezhető, megállapítható, hogy zajlik-e egyensúlyi kristályosodás. Az is vizsgálható, hogy meny-



1. ábra • A W33A jelű protocsillag körüli anyagfelhőben infravörös színképelemzéssel kimutatott jegek. A keskeny csúcsokat létrehozó anyagok pontos összetétele könnyebben, a szélesebb minimumokat létrehozóké nehezebben azonosítható (Gibb et al., 2000).

nyire gyakoriak az oxigénatomok, amelyektől oxidálódhat a gyakori szén. Míg oxigénbőség esetében oxidok és szilikátok, az ellenkező esetben grafit, gyémánt és karbid keletkezik nagy mennyiségben. Így születik az alapanyag, amiből a sűrű, átlátszatlan csillagközi felhők összeállnak.

### Csillagfűsttől poros világűr

A csillagközi anyag ásványi szerkezetére a rajta áthaladó sugárzásban mutatkozó elnyelési vonalak alapján lehet következtetni (1. ábra). A 0,22 μm hullámhossz körül mutatkozó kioltás szerint gyakoriak az amorf szén szemcsék, a 9,7 és 18 μm-es vonalak SiO<sub>4</sub>-tetraéderek jelenlétére is utalnak. Emellett még számos anyag előfordulására következtetnek a különféle színképvonalakból, a fontosabkról az 1. táblázat ad áttekintést.

A csillagközi anyagban tovább alakulnak a korábban kivált szilárd szemcsék. Lassú amorfizáció zajlik; a kozmikus sugaraktól, a fiatal csillaghalmazok közelében az UV-sugár-

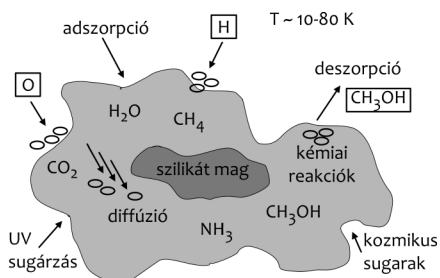
zástól fotoevaporáció lép fel (szilárd szemcsék felszíne gázfázisba szublimál), emellett főleg a szupernóvák lökéshullámainak fűtő hatása is érezhető. Az UV-sugárzástól nemcsak bomlik a molekulaszervezet, de polimerizáció is fellép.

A csillagközi anyag elemzése *mesterséges szimulációkkal* is lehetséges. Ennek keretében laboratóriumban szimulált csillagközi viszonyok között port kondenzálnak ki, majd annak jellemzőit, szerkezetét és a használt „alapanyagok” függvényében kialakuló összetételét, ásványi szerkezetét vizsgálják. A vákuumban lézerrel elpárologtatott, többnyire szilikát- vagy széntartalmú anyag mikroszkopikus részecskék formájában szabadul fel. Vizsgálható az így létrehozott kristályok „felhője”, vagy azok egy hideg felületre kicsapathatók, és így elemezhetőek a mesterségesen képzett kristályok. A mikroszkopikus szemcseméretű por legyártásához lézert, fotolízist, plazmasugarat használnak. Az eddigi elemzések során kiderült például, hogy az amorf csillagközi

összetevő	színképi jellemzők, elnyelési csúcsok
amorf szén, sokgyűrűs aromás szénhidrogének (PAH)	≈200 nm: UV-elnyelés, 3,4 μm: C-H abszorpció
nanogyémántok	2,9 μm: C-H abszorpció, távoli UV-abszorpció, 22 μm-es csúcs
grafitszemcsék	217,5 nm-es csúcs
szilícium-karbid	11,2 μm körüli széles csúcs
amorf szilikát ((Fe,Mg)SiO <sub>x</sub> )	9,7 és 18 μm-es csúcs
korund (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	12–13 μm-es csúcs
spinell ((Fe,Mg)Al <sub>2</sub> O <sub>4</sub> )	12–13 μm-es csúcs
kristályos szilikát ( kozmikus sugárzástól amorfizálódik)	11,3 μm-es olivincsúcs a 10 μm-es szilikátcsúcsban, 33 és 69 μm-nél
poláros vízjég	3, 6, 12, 45, 60 μm-es csúcsok
nem poláros jegek (N <sub>2</sub> )	indirekt hatás más vonalaknál
nem poláros jegek (CO, CO <sub>2</sub> )	4,67 μm: CO, 4,27 és 15,2 μm: CO <sub>2</sub> csúcsa
MgS, CaS, SiS <sub>2</sub>	28, 40 és 22 μm-es csúcsok

1. táblázat • Csillagközi szemcsék ásványtani felosztása

vízjégben az oxigénatomok és szén-monoxid-molekulák a szublimációs hőmérsékletük felett is a H<sub>2</sub>O-molekulák között kötötten megmaradhatnak, és a szilárd közegben könnyen alkotnak CO<sub>2</sub>-molekulákat, akár UV-sugárzás és kozmikus sugarak hiányában is (2. ábra).



2. ábra • A csillagközi jég szemcsék növekedésében és változásaiban szerepet játszó fontos reakciók (Ehrenfreund et al., 2005)

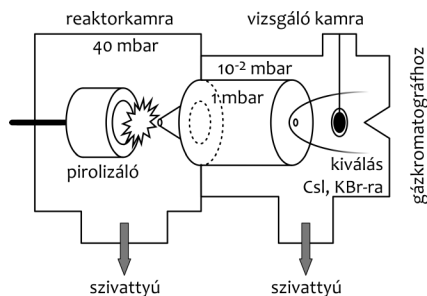
A szimulációk során alkalmazott laboratóriumi módszerek változatosak, de általános a vákuum (10<sup>-8</sup>–10<sup>-10</sup> bar nyomás), és az alacsony hőmérséklet (folyékony nitrogén-hűtéssel -196 °C, folyékony hélium-hűtéssel -268 °C és az alatti hőmérséklet). Az így legyártott anyagokat részben ebben az extrém közegben vizsgálják (ez a drágább módszer), avagy utólag, légköri oxigéntől elzárva, de szobahőmérsékleten, esetleg légkörrel érintkezve elemzik jellemzőit, lassú átalakulását és oxidációját, továbbá a H<sub>2</sub>O megkötésének, leadásának jellemzőit (3. ábra).

A bolygók összeállása a születő csillagok körüli *protoplanetáris korongokban* zajlik. Itt a megnövelt anyagsűrűség közepette gyakran ütköznek a szilárd szemcsék, és a gázanyaggal, esetleg az előforduló mágneses mezővel is kölcsönhatásba lépnek (Moór et al., 2011). A

születő központi csillag és a közeli csillagszomszédok sugárzása erősen befolyásolja az anyagi összetételt, főleg az illékony komponensek gyakoriságát. Az ilyen korongokban zajló fontos folyamat a szemcsék összetapadása, emellett kristályos szerkezetűvé alakulása. Az összetapadás kezdeti fázisában kiemelt szerepet játszanak a mikroskálájú folyamatok, főleg, hogy valószínűleg porózus a szerkezetük. Az ütközések mikéntjét fizikai kísérletek során üreges szerkezetű céltárgyak összeállításával tanulmányozzák.

Emellett mikrogravitációs környezetben, például ejtőtornyokban is követik rövid ideig a szemcsék összetapadásának jellegét. A mérések rámutattak, hogy a mikrométeres méretskálán a tömeg növelése nem csökkenti, hanem javítja az ütközés utáni együttmaradás esélyét. Eszerint a bolygókeletkezés során az apró testek nehezebbé válása nem feltétlenül jelenti azt, hogy egymást „széttörik” ugyanakkora ütközési sebességgel, mint a kisebb szemcséknél. A sebesség növelésével változik a helyzet: a nagyon laza aggregátumok tömörödnek, s közben sajátos belső szerkezet jelenik meg bennük. Ugyanakkor egyelőre nehezen érthető, hogy a 0,1-1 m nagyságrend környékén és felette miért nem darabolják szét egymást a testek, leállítva a további növekedést.

A fentiekben kialakult laza testek összeolvastásában, a kristályosodott szerkezet kialakításában több folyamat is közreműködhet, amelyek laboratóriumban elemezhetők. Ezek főleg a központi, születő csillag sugárzásának hőhatásával, annak időszakos kitöréseivel kapcsolatosak (Ábrahám et al., 2009). A heves energiefelszabadulások alkalmával a központi égítést megemelkedett sugárzása, valamint a belőle kidobott forró részecskék felhők átforrósítják a poranyagot, ami kristályosabb szerkezetűvé alakulhat. Ennek laboratóriumi



3. ábra • Infravörös elnyelés vizsgálatára szolgáló, széntartalmú, csillagközi szimuláns „porgyártó” berendezés vázlata. Az 50 bar gázsűrűségű reaktorkamrából a 0,01 mbar nyomású kamrába juttatott forró anyag kondenzálódik. A nagysebességű anyagsugarat CsI- vagy KBr-üvegre csapatják ki és infravörös spektroszkópiával vizsgálják (Pino et al., 2008).

viszonyok között végzett elemzése az annelálás nevű folyamat speciális formájaként zajlik, amin itt az amorf szerkezetű anyag kristályosodás alakulását értik. Utóbbi szimulálása rámutatott, hogy míg 1000 K körül gyors kristályosodás indult az amorf  $\text{MgSiO}_3$  esetében, a hőmérséklet további növelése egészen 1173 K-ig nem hozott változást, majd ezt követően az amorf szerkezet „összeomlott”, és folytatódott a kristályosodás. Emellett először forszterit ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ) keletkezett a korai, gyors változás keretében, s később indult meg enstatit kialakulása, ami az eredeti amorf keverék sztöchiometrikus összetételét tükrözi. A kísérletek alapján a hőhatástól a magnézium-szilikátok könnyebben alakulnak kristályos szerkezetűvé, mint a vas-szilikátok, ugyanakkor a sokkhatásra bekövetkező átalakulás során közel egyforma a kristályosodás sebessége.

#### *A Naprendszer mikroszkóp alatt*

Az anyagfejlődés következő lépése, a bolygók felé vezető összeállás folyamatának elemzésé-

ben a meteoritok nyújtanak segítséget. Itt különböző anyagok keverékével van dolgunk: a meteoritok tartalmazhatnak preszoláris szemcséket a csillagközi térből, kalciumban és alumíniumban gazdag zárványokat (CAI) a protocsillag korai, kondrumokat a későbbi kitéréseiből, valamint ezek között ún. mátrix anyagot, amely részben még később vált ki.

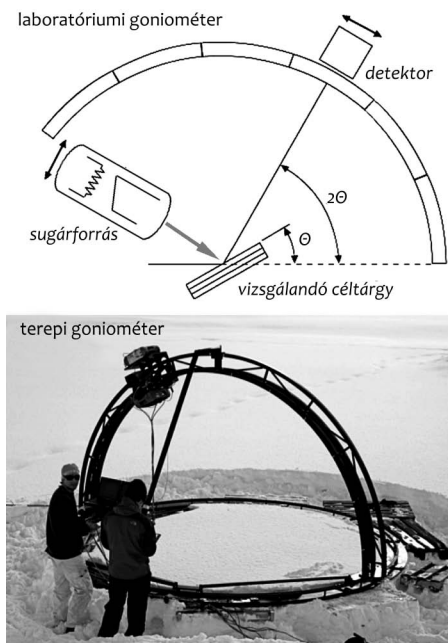
A meteoritok anyagának legfeljebb 0,1%-át *preszoláris szemcsék* teszik ki. Ezek primitív meteoritokban, gyakran IDP-szemcsékben (*Interplanetary Dust Particle*, sztratoszférában gyűjtött mikrométeres testek) jellemzőek. Utóbbiak gyakran amorf szerkezetűek (első sorban grafit szemcsék), de lehetnek kristályosak is (nanogyémántok). Emellett karbid szemcsék (SiC), különféle oxidok (korund  $[Al_2O_3]$ , titán-oxid  $[TiO_2]$ ), illetve szilikátok (spinell  $[MgAl_2O_4]$ , olivin  $[MgFe]_2SiO_4$ ) is jellemzőek. Erős és változatos izotópanomáliát mutatnak, sok magas olvadáspontú elemet (például: Ti, Zn, Cr, Os, Si) tartalmaznak, és főleg csillagok külső légkörében képződtek. Pásztazó elektronmikroszkóppal gyakran elemzik a felszín mikroskálájú topográfiáját, esetenként kémiai összetételüket. A vizsgált eltérő szerkezetű és összetételű szemcsék hosszú utat jártak be a csillagok különböző rétegei között. Anyagukban a szén- és titánizotópok mérése alapján például sikerült igazolni, hogy az életük vége felé járó felfúvódott, ún. aszimptotikus óriásági (AGB) csillagokban a hélium fúziójával szenet gyártó belső héj anyaga időnként keveredik a csillag felszínével.

A kisbolygók és üstökösök által szét-szórt mikroszkopikus por a Naprendszer fősíkjában halmozódik, és űrszondák nélkül is „mintázható”, majd laboratóriumban vizsgálható. Az ún. *bolygóközi por szemcséket* (IDP) a sztratoszféra alsó részét meglátogató kutatórepülőgépekkel gyűjtik, ahol porózus szilikát-

gélbe ragadnak bele, majd onnan mikroszkóp alatt preparálják ki őket. Az ilyen, 100 mm alatti szemcsék laza aggregátumok, főleg üstökös eredetű testek. A „klasszikus” meteoritoknál sokkal lazább a szerkezetük, több illóanyagot tartalmaznak, de mégis kondritos jellegű (a legprimitívebb meteoritokra hasonlító) az összetételük. A gyakran ion-mikroszondával vizsgált szemcsék izotópösszetétele jellegzetesen eltér bármely földi anyagétól. Deutériumarányuk igen változatos, ami a nitrogénizotópokkal együtt csillagközi eredetre utal – a szemcsék ősi eredetükből sokat megőrizhettek, de nem csak preszoláris eredetűek. Keletkezési körülményeik változatosak, nem mutatnak jelentős vizes vagy hóhatású átalakulást, esetenként széntartalmú réteg borítja őket.

#### *Jegek és porok a nagyobb égitesteken*

A már összeállt *égitestek* elemzésében is hasznosak a laboratóriumi eszközök. Itt gyakori célpont a különféle jegek elemzése, amelyek az égitestek differenciációjával halmozódnak a felszínen, és a későbbi külső hatások nyomait is magukon viselik. Maga a vízjég is változatos színképi jellemzőket mutat a kristályosodottság mértéke, a jellemző kristállyméretek, valamint a belekeveredett szennyező anyagok szerint, de emellett egyéb jegek (például metán-, széndioxid-jég) is fontos célpontok. A laboratóriumi elemzések segítenek a jégoldakról készült űrszondás mérések, valamint a földi és űrtávcsovekkel rögzített színképek értelmezésében (Kiss et al., 2013). Mindezzel következtetni lehet az anyag frissességére (a vízjég kristályszerkezete a kozmikus sugárzástól idővel amorfizálódik), az albedóval kapcsolatban a felszíni összetételre, a kristályszerkezet alapján a keletkezési viszonyokra stb.



4. ábra • Egy laboratóriumi spektrogoniométer elvi vázlata (fent), és egy nagy terepi változat a hó fényvisszaverő képességének mérésére (lent) (Specchio).

Az ilyen mérésekben fontos eszközök a különféle infravörös spektrométerek, illetve az ún. spektrogoniométer (4. ábra). Utóbbi egy olyan, sötétkammerában felállított mozgatható spektrométer, amelynél a tárgyasztal mozdulatlan, a sugárforrás és a detektor is térben kívánság szerint állítható, tetszőleges szögben érkező besugárzást és megfigyelési orientációt szimulálva. A mérések jelentősen segítik az űrszondás megfigyelések értelmezését, a felszíni összetétel pontosabb meghatározását.

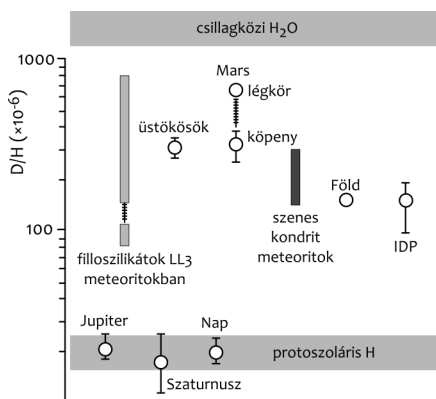
Sok űrszondás eredmény értelmezésében játszanak kulcsszerepet azok a laboratóriumok, ahol részben mesterséges standardokat, részben földi analóg mintákat vizsgálnak a kérdéses űrszondán elhelyeztethez hasonló

detektorral. Ezeknek például színképi elemzéseivel közelítik, mennyi a víztartalom, a Mg/Fe-arány egyes ásványokban, sugárzástani viselkedésüket összekapcsolják az albedó és a szemcseméret, kristályszerkezet jellemzőivel, esetleg hevítéssel becsülik (például a Marson, a Curiosity rover minilaboratóriumában) a mért gázfelszabadulásból a kémiai kötések jellemzőit. A legnagyobb, geokémiailag „legfejlettebb” égitestek felszíni viszonyait is szimulálhatjuk laboratóriumban, például a Mars-szimulációs kísérletek során a vörös bolygón jellemzőhöz hasonló hőmérséklet, nyomás, gázösszetétel között elemzik, hogy a víz- és szén-dioxid-jegek színképéből miként becsülhetők a kristályosodás viszonyai. Laboratóriumi standardokkal állapították meg például a szulfátok hidratáltságát, és sikerült a Mars űrszondás színképi mérései alapján kideríteni, hogy a téli jégsapka vízszahúzódása után meddig marad „nedves” a marsfelszín anyaga.

Főleg vákuumban, de különböző összetételű és nyomású mesterséges légkörök alatt elemzik egyes ásványok színképi jellemzőit. A 200 km-es Themis kisbolygó felszínén például  $H_2O$  és szerves anyag is mutatkozik színképelemzések alapján. Laboratóriumi vizsgálatokkal nemcsak meteorit típusokkal párhuzamosítják a kisbolygócsaládokat, de mesterségesen létrehozott anyagokat is vizsgálnak, amelyek színképét ismert összetevők hozzák létre, és a csillagászati megfigyelés értelmezésében segítenek. Az ásványösszetétel, a szemcseméret, a hőmérséklet és egyéb tényezők is befolyásolják a színképvonalak alakját és mélységét, laboratóriumi mérések kellenek a színképek értelmezéséhez. Perspektivikus terület például a hidratált víztartalommal összefüggő, 2,5 és 3,5 mm közötti széles elnyelési minimum elemzése.

Mind a légkörrel bíró, mind az anélküli égitesteken kulcsfontosságú témakör az izotópmérések értelmezése, ami az égitest, valamint egyes részeinek fejlődéstörténetébe (múltbeli halmazállapotok, jellemző hőmérsékletek, fluid és gázmozgások, anyagvándorlás a környezet felé stb.) nyújtanak bepillantást (5. ábra). Itt a laboratóriumi mérések a megfigyelt eloszlások és az azokat létrehozó fizikai, valamint kémiai viszonyok becslésében segítenek. Ez a nagyobb égitestek belső differenciációjának követéséhez, az egykori körülmények rekonstrukciójához ad viszonyítási pontokat.

Hasonlóan nélkülözhetetlenek a laboratóriumi kontrolladatok például a Hold felszíni törmeléktakarójának (regolit) mechanikai és termodinamikai ismeretéhez. Európai laboratóriumok összefogásával holdi regolitot szimuláló anyagokat készítettek, amelyek szinképelemzésével sikerült korrelálni a SMART-1 és a Clementine űrszondák méréseit (Shkura-



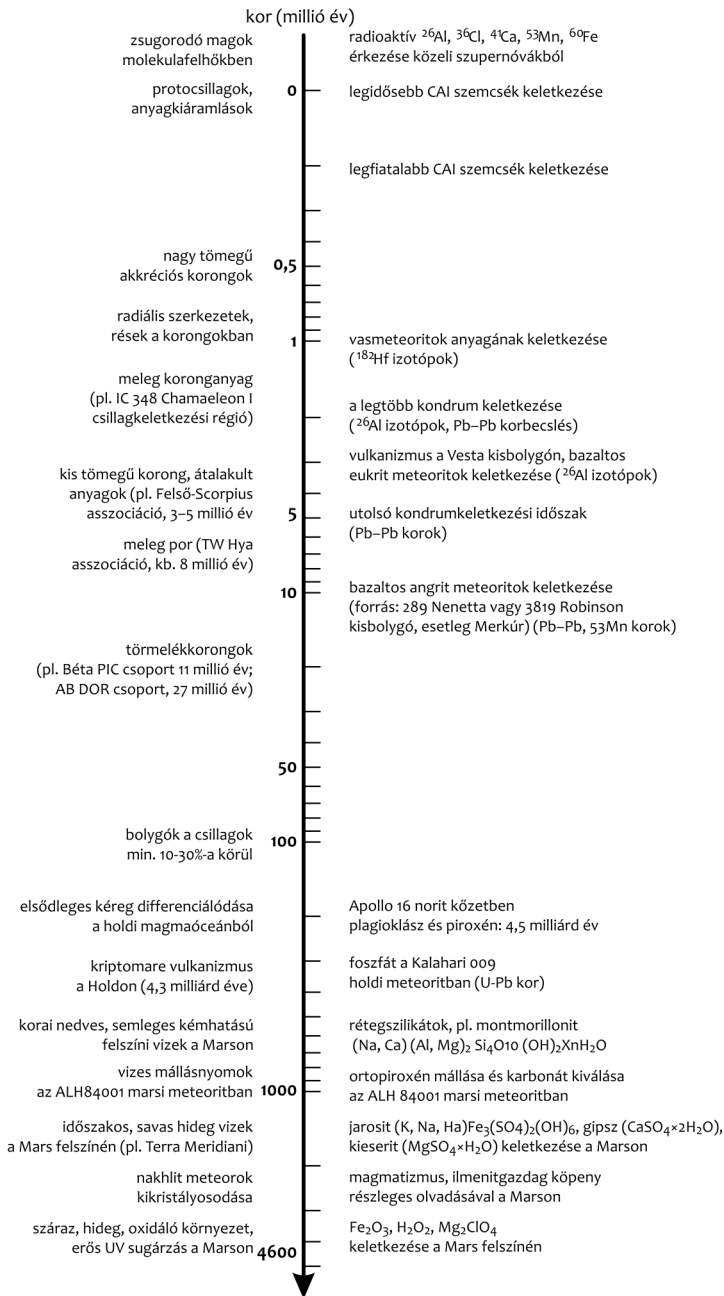
5. ábra • Az izotópok vezérfonalként szolgálnak különböző égitestek anyaga eredetének és fejlődéstörténetének rekonstruálásához. A fenti ábra a deutériumizotóp előfordulási gyakoriságát (függőleges tengely) hasonlítja össze különböző égitesteknél (Richter, 2007).

tov et al., 2003). Az így vizsgált piroxén ásványok eloszlása alapján sikerült kiválasztani a Hold ún. *mare* bazaltsíkságain a fiatal területeket, és azonosítani a piroklasztikumban (robbanásos vulkáni törmelékben) gazdag vidékeket. A  $\text{TiO}_2$  és  $\text{FeO}$  eloszlása alapján a nagyobb kristálméretű porban gazdag vidékeket jelölték ki, ezek szintén fiatal anyagra, és recens felszínalakító folyamatokra utalnak.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy a laboratóriumi vizsgálatok az űrtávcsöves és űrszondás méréseket kiegészítve segítenek az eltérő eredetű szemcsék pillanatnyi állapotának (kristályosodottság, kristálméret, víztartalom stb.) és a keletkezési körülmények (hőmérséklet, oxidatív/reduktív környezet, ütközéses sokkhatások, kitettség a kozmikus sugárzásnak stb.) becslésében.

Noha a laboratóriumi mérések többnyire költséges berendezést igényelnek, mégis előnyös a helyzet a témakör hazai művelésére. Lévén új kutatási terület, jól tervezett kísérletekkel egyszerű és olcsó műszerparkkal is elérhetőek komoly eredmények. A laboratóriumi munka legnagyobb előnye, hogy az ott kifejlesztett és összeállított műszerek más kutatási területeken is használhatóak, valamint innovációt jelentenek műszaki szempontból. Egy-egy laborban gyakran sok, egymástól eltérő témakörön dolgoznak (például csillagközi szemcsék, meteoritok, bolygófelszíni anyagok viselkedése), mivel ezek hasonló technológiát igényelnek, és a már működő eszközöket praktikus több témakörben kihasználni.

A cikk megszületését az OTKA PD 105970 pályázata, valamint az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontban megalakult Asztrofizikai és Geokémiai Laboratórium kutatócsoport támogatta.



6. ábra • Fontos csillagászati események (balra) és azok laboratóriumi módszerekkel megfigyelhető nyomai a Naprendszer fejlődése során (Apai – Laurretta, 2010; Kereszturi, 2012)



Kulcsszavak: *asztrofizika, planetológia, bolygókeletkezés, meteoritok, anyagvizsgálat, laboratóriumi műszerek*

## IRODALOM

- Ábrahám P. – Juhász A. – Dullemond, C. P. – Kóspál Á. – van Boekel, R. – Bouwman, J. – Henning, Th. – Moór A. – Mosoni L. – Sicilia-Aguilar, A. – Sipos N. (2009): Episodic Formation of Cometary Material in the Outburst of a Young Sun-like Star. *Nature*. 459, 7244, 224–226.
- Apai Dániel – Lauretta, Dante S. (eds.) (2010): *Protoplanetary Dust*. Cambridge University Press
- Ekrenfreund, Pascale – Charnley, S. B. – Botta, O. (2005): A Voyage from Dark Clouds to the Early Earth. In: Livio, Mario et al. (eds): *Astrophysics of Life*. (STScI Symposium Series 16.) Proceedings of the Space Telescope Science Institute Symposium, Held in Baltimore, Maryland May 6–9, 2002. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1–20. • [http://books.google.hu/books?id=UiBintloqzYC&dq=Livio+M.et+al.+&source=gbs\\_navlinks\\_s](http://books.google.hu/books?id=UiBintloqzYC&dq=Livio+M.et+al.+&source=gbs_navlinks_s)
- Gibb, Erika L. – Whittet, D. C. B. – Schutte, W. A. – Boogert, A. C. A. – Chiar, J. E. – Ehrenfreund, P. – Gerakines, P. A. – Keane, J. V. – Tielens, A. G. G. M. – van Dishoeck, E. F. – Kerkhof, O. (2000): An Inventory of Interstellar Ices toward the Embedded Protostar W33A. *The Astrophysical Journal*. 536, 347–356. DOI:10.1086/308940 • <http://iopscience.iop.org/0004-637X/536/1/347/>
- Kereszturi Ákos (2012): *Mars – fehérek könyve a vörös bolygóról*. Magyar Csillagászati Egyesület, Budapest
- Kiss Csaba – Szabó Gy. – Horner, J. – Conn, B. C. – Müller, T. G. – Vilenius, E. – Sárneczky K. – Kiss L. L. – Bannister, M. – Bayliss, D. – Pál A. – Góbi S. – Verebélyi E. – Lellouch, E. – Santos-Sanz, P. – Ortiz, J. L. – Duffard, R. – Morales, N. (2013): A portrait of the extreme solar system object 2012 DR30. *Astronomy & Astrophysics*, 555, A3, 13 pp. <http://arxiv.org/pdf/1304.7112v1.pdf>
- Moór Attila – Pascucci, I. – Kóspál Á. – Ábrahám P. – Csengeri T. – Kiss L. L. – Apai D. – Grady, C. – Henning, Th. – Kiss Cs. – Bayliss, D. – Juhász A. – Kovács J. – Szalai T. (2011): Structure and Evolution of Debris Disks around F-type Stars. I. Observations, Database, and Basic Evolutionary Aspects. *The Astrophysical Journal Supplement*. 193, 1, 4, 25. DOI:10.1088/0067-0049/193/1/4 • <http://iopscience.iop.org/0067-0049/193/1/4/>
- Pino, Thomas – Dartois, E. – Cao, A.-T. – Carpentier, Y. – Chamaillé, Th. – Vasquez, R. – Jones, A. P. – d’Hendecourt, L. – Bréchnignac, Ph. (2008): The 6.2 Mum Band Position in Laboratory and Astrophysical Spectra: A Tracer of the Aliphatic to Aromatic Evolution of Interstellar Carbonaceous Dust. *Astronomy & Astrophysics*. 490, 665–672. DOI: 10.1051/0004-6361:200809927 • [http://www.ias.u-psud.fr/pperso/edartois/2008\\_c.pdf](http://www.ias.u-psud.fr/pperso/edartois/2008_c.pdf)
- Righter, Kevin (2007): Not so Rare Earth? New Developments in Understanding the Origin of the Earth and Moon. *Chemie der Erde*. 67, 179–200. • [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070005032\\_2007004871.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20070005032_2007004871.pdf)
- Shkuratov, Yuriy G. – Stankevich, D. G. – Kaydash, V. G. – Omelchenko, V. V. – Pieters, C. M. – Pinet, P. C. – Chevrel, S. D. – Daydou, Y. H. – Foing, B. H. – Sodnik, Z. – Josset, J.-L. – Taylor, L. A. – Shevchenko, V. V. (2003): Composition of the Lunar Surface as Will Be Seen from SMART-1: A Simulation Using Clementine Data. *Journal of Geophysical Research (Planets)*. 108, E4, 1–1, CitelID 5020, DOI 10.1029/2002JE001971
- Tóth L. Viktor – Hoztel, S. – Krause, O. – Lehtinen, K. – Lemke, D. – Mattila, K. – Stickel, M. – Laureijs, R. J. (2000): ISOPHOT Serendipity Survey Observations of Interstellar Clouds I. Detection of the Coldest Cores in Chamaeleon. *Astronomy & Astrophysics* 364, 769–779. • [http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle\\_query?bibcode=2000A%26A...364..769T&db\\_key=AST&page\\_ind=0&data\\_type=GIF&type=SCREEN\\_VIEW&classic=YES](http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?bibcode=2000A%26A...364..769T&db_key=AST&page_ind=0&data_type=GIF&type=SCREEN_VIEW&classic=YES)