

ULRICH OTT–BENKÓ ZSOLT

# Csillagközi por: a Naprendszer előtti világ hírmondói

A Naprendszer történetéről és anyagáról, az űr- és meteoritkutatás, valamint a spektroszkópiai módszerek rohamos fejlődésének köszönhetően hatalmas és egyre bővülő tudásunk. Egyre pontosabban tudjuk modellezni, hogyan képződött az ősi csillagközi porból a Nap, a bolygók, a bolygók holdjai, a kisbolygók és az üstökösök. Mindaz az ősi-primitív anyag azonban, amiből Naprendszerünk 4,6 milliárd évvel ezelőtt megszületett, jelentős átalakuláson ment át. A Napban beindult a termonukleáris reakció, amelynek során a hidrogénből hélium képződik, a bolygók ősi anyaga pedig a folyamatos meteorit-beecsapódások, lemeztectonikai vagy a légköri folyamatok hatására szerkezetében és összetételében jelentősen átalakult, illetve homogenizálódott. Ősi, primitív azaz a Naprendszer születése előtti anyagot, amely a Naprendszer képződése előtti időről adna információt – tehát sem a Napban, sem pedig a bolygókon nem találhatunk. 1964-ben azonban a kaliforniai Berkeley Egyetem két professzorának, John Reynoldsnak és Grenville Turnernek sikerült meteoritok vizsgálata során nemesgáz izotópos vizsgálatokkal bizonyítékot találni arra, hogy a meteoritok tartalmazhatnak még a Naprendszer képződésénél is idősebb származó ősi-primitív anyagot.

## De mit jelent az, hogy primitív?

A Naprendszer szempontjából minden meteorit primitív. Ez azt jelenti, hogy elsősorban a szenes kondritok (a meteoritok egyik altípusa) a Naprendszer képződésének első tíz-százmillió évében képződött anyagot képviselik, még akkor is, ha később hő vagy víz hatására kisebb-nagyobb átalakuláson mentek keresztül. További primitív anyag még a sztratoszféra magasságában utazó repülő által befogott, illetve a mélytengeri üledékekben vagy a sarki jégtakarókon talált bolygóközi eredetű finom por (Ott, 2014). De létezik-e ennél is idősebb anyag?

Reynolds és Turner 1964-ben a Berkeley Egyetemen végzett kutatásaik során szenes kondritokat hevítettek fokozatosan és arra

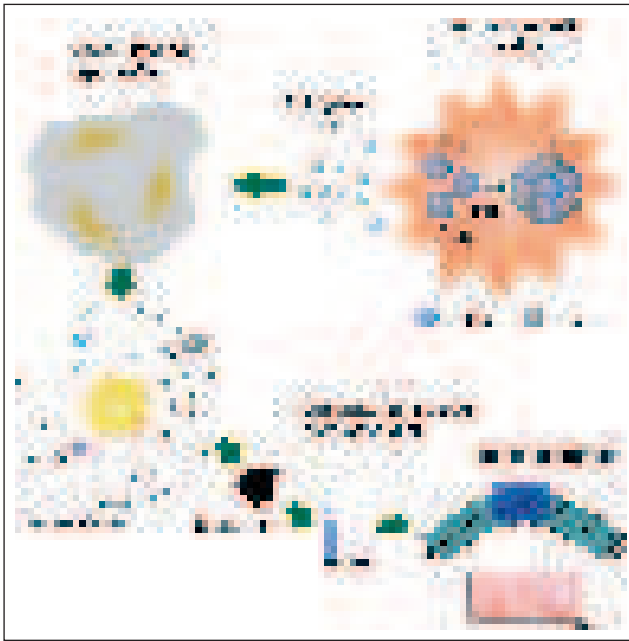
Ásvány	Gyakoriság [ppm]	Méret [ $\mu\text{m}$ ]	Forráshely	Százalékos arány [%]
Gyémánt (C)	$\approx 1500$	$\approx 0.002-0.003$	Szupernóvák	?
Szilícium-karbid (SiC)	$\approx 30$	$\approx 0,1-10$	AGB-csillagok Szupernóvák Nóvák	> 90 1 0,1
Grafit (C)	$\approx 1$	$\approx 0,1-11$	Szupernóvák AGB-csillagok, Nóvák	80 < 10 2
Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	$\approx 0.2$	$\approx 0,1-5$	vörös óriások és AGB-csillagok AGB csillagok Szupernóvák	> 70 20 < 1
Spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_3$ )	$\approx 50$	$\approx 0,1-5$	vörös óriások és AGB-csillagok AGB csillagok	> 70 20
Szilikátok (meteoritokban)	$\approx 100$	$\approx 0,1-1$	vörös óriások és AGB-csillagok AGB csillagok	> 80 10
Szilícium-nitrit ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )	$\approx 0.002$	$\approx 1$	Szupernóvák	100

**A Naprendszer születése előtti csillagközi por jellemző anyagi összetétele és tulajdonságai. AGB-csillag: aszimptotikus óriás ági csillag (A vörös óriás egyik fejlődési állapota, amelyben a csillag magjából már elfogyott a H-tüzelőanyag, a csillag felfúvódott, gravitációja csökkent. A mélyebb rétegekből konvekcióval szén kerülhet a csillag külső rétegeibe, ahonnan az könnyen a világűrbe lökődhet, csillagközi port alkotva) Ott és Hoppe (2005) után módosítva**

jutottak, hogy a meteorit xenon (Xe) izotópeloszlásában eltérés tapasztalható a Naprendszerre jellemző értékekhez képest: a meteoritból felszabadított gáz mind a Xe két legkönnyebb (124-es és 126-os), mind két legnehezebb izotópjában (134-es és 136-os) dúsulást mutatott. A neon (Ne) nehéz izotópjának, nevezetesen a Ne 22-esnek hasonlóan extrém dúsulást sikerült egy sor kondritból David Blancknak és Robert O. Pepinnek kimutatnia 1969 és 1972 között. Bizonyítottá vált tehát, hogy a meteoritok kőzetanyagában van(nak) valamilyen ásvány(ok) amelyek a nemesgáz izotópok eloszlása alapján különbözik a befogadó kondrit és a Naprendszer többi anyagának összetételétől. Kö-

vetkezésképpen, ezen ásványok nem a Naprendszerből, hanem az annak kialakulása előtti időből származnak. De melyek ezek az ásványfázisok?

A rejtélyes ásványfázisok azonosítására bonyolult feltárási technikákat kellett kidolgozni, a titokzatos anyagot ugyanis el kellett választani a befogadó meteorit anyagától (**1. ábra**). Ez történhet fizikálisan és vegyi úton is, a titokzatos anyag igen kis méretére való tekintettel azonban elsősorban a különböző tömény savas (sósavas, perklórsavas, salétromsavas, hidrogénfluoridos), majd az ezt követő kolloidális feltárási és sűrűség szerinti ülepítési feltárási módok bizonyultak hasznosnak (Ott és Hoppe,



1. ábra. A csillagközi por útja megszületésétől a laboratóriumi vizsgálatokig. A kép módosítva Ott és Hoppe (2005), valamint Ott (2014) publikációja alapján

2005). Az első ásványok, amelyeket azonosítani lehetett, a gyémánt (C; szabályos kristályrendszerű szénmódosulat) és a szilícium-karbid (SiC) voltak (2.a ábra). További kutatások során sikerült grafitot (hexagonális kristályrendszerű szénmódosulat; 2.b. ábra), spinellt ( $MgAl_2O_4$ ), korundot ( $Al_2O_3$ ), hibonitot ( $CaAl_{12}O_{19}$ ), rutilt ( $TiO_2$ ) és szilikon-nitridet ( $Si_3N_4$ ) kimutatni. A felsorolt rendkívül agresszív savakkal azonban csak a savban nem oldódó komponenseket sikerült kinyerni, a meteoritok anyagával egyező primitív szilikátokat viszont nem. A Naprendszer képződése előtt kristályosodott szilikátok kimutatását a nagyfelbontású ionmikroszkopok új generációjának (NanoSIMS = Nano- Secondary Ion Mass Spectrometry) megjelenése tette lehetővé. Ilyen berendezéssel az egyedi kristályfázisok a befogadó közet feloldása nélkül tanulmányozhatóak.

A rendkívül nagy felbontásra a szemcsék nagyon kis mérete miatt van szükség: a leggyakoribb gyémántok mérete a nano (milliomod milliméter; 2.c ábra), a SiC kristályok mérete a mikro (ezred milliméter) mérettartományban mozognak.

Az egyedileg elkülönített kristályszemcsék izotópeloszlását már jóval biztosabban lehetett elvégezni és egyértelműen bebizonyosodott, hogy azok nem Naprendszer eredetűek, hanem valamely idősebb csillagból kilöködve és túlélve a csillagközi utazást a Naprendszer kialakulásának korai időszakában csapdázódtak a meteoritok anyagában. Ezeket a szemcséket nevezzük tehát szűk értelemben véve primitív anyagnak (Ott, 2014).

## A csillagközi por eredete

A csillagközi por, vagyis az ősi primitív anyag két forrásból származhat: vagy szupernóva-robbanásból vagy olyan vörös óriásokhoz hasonló csillagokból (csillagfejlődés késői állapota), amelyek a Hertzsprung-Russell csillagfejlődési diagram aszimptotikus óriáságán helyezkednek el. Angol nevük AGB stars (Asymptotic Giant Branch), avagy Aszimptotikus Óriások.

### Az aszimptotikus óriások pora

Az aszimptotikus óriások sokféle csillagközi por forrásai. Belőlük származik a szilícium-karbid, az oxidásványok (spinell, korund) és a szilikátok nagy része, míg a grafitnak csak kis hányadát szolgáltatják. Míg a SiC minden egyes szemcséje ősi, primitív, addig az oxidásványok csak egy kis töredéke (1%-a) primitív, nagy része pedig a befogadó meteorit gyakori közetalkotó ásványa (Táblázat). Az ásványfázisok mennyiségének aránya és izotópos jellemzői számos titkot árulnak el az aszimptotikus fejlődéséről. A vörös óriások a Napnál általában nagyobb tömegű csillagok, amelyek magjában az úgynevezett CNO (szén-nitrogén-oxigén) ciklus zajlik le. Ennek lényege, hogy a hidrogén magfúzió során héliummá alakul a szén a nitrogén és az oxigén mint katalizátorok segítségével. A folyamat végén a szén, a nitrogén és az oxigén izotópjainak relatív gyakorisága megváltozik és ez kihatással van a csillag későbbi életére is. A CNO ciklus során keletkezett hélium ugyanis később összeolvad  $^{12}C$  magokká, illetve további reakciókban  $^{16}O$ -tá. A  $^{14}N$  két  $^4He$  befogással  $^{22}Ne$ -ná alakul. Ez a  $^{22}Ne$ , amelyet Neon-E(H)-nak vagy Neon-G-nek is neveznek lesz az aszimptotikus óriások He üzemyanyagának egyik leggyakoribb eleme.

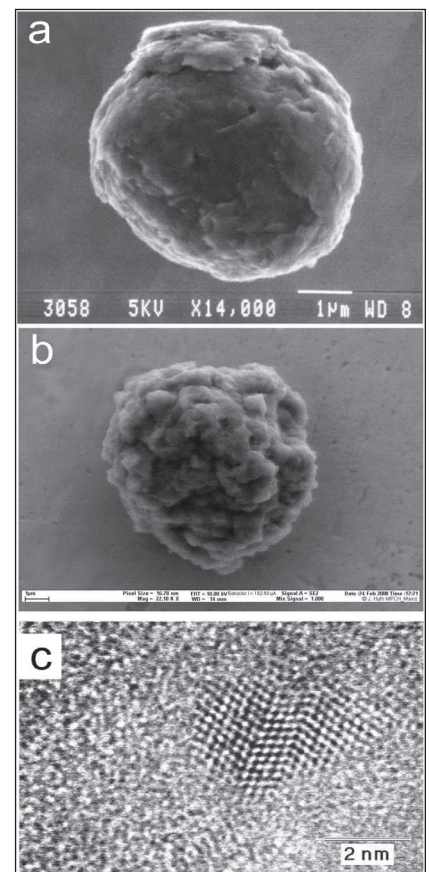
Konvekciós folyamatok eredményeképpen, a hélium-égés során képződött, jellegzetes izotóp összetétellel jellemezhető elemek (O, N, C, nemesgázok) összekeverednek a vörös óriás külső burkával, ahonnan azokat a napszél könnyen magával ragadhatja, azaz kilökheti a világűrbe (3. ábra).

Egy másik fontos folyamat, amelyre a nemesgázok (xenon, kripton) segítségével lehetett először bizonyítékot szolgáltatni, az a

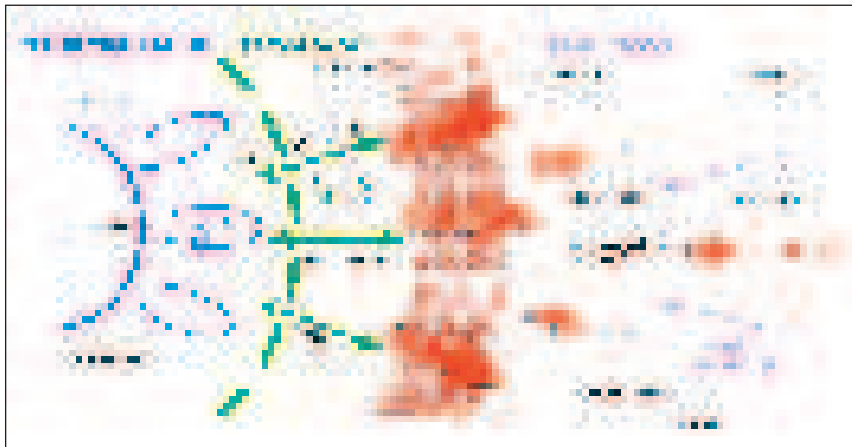
s-folyamat (s-process = slow neutron capture process). A lassú neutronbefogási folyamat lényege, hogy a csillagban szabadon repkedő lassú neutronok befogásával egy stabil atommagból egy eggyel nagyobb tömegszámú atommag keletkezik. A befogott neutron az atommagban  $\beta$ -bomlással protonná alakul, ezáltal egy stabilis új, a kiindulási atomnál eggyel nagyobb rendszámú atom képződik. A vasnál nagyobb tömegszámú elemek elsősorban ennek a folyamatnak köszönhetik létezésüket aszimptotikus óriásokban. Ezen nehéz elemek (bárium, stroncium, neodímium, szamárium, molibdén, cirkon, diszpróziúm) a SiC-hoz vagy nanogyémánthoz kötődve és a csillagból kilöködve magukon viselik az s-folyamat nyomait, amelyek vizsgálata alapján az s-folyamat fizikai jellegét lehet meghatározni (sűrűség, neutronfluxus, hőmérséklet; Ott és Hoppe, 2005).

### Szupernóva-kondenzátumok

A Reynolds és Turner által azonosított nemesgáz-anómália (Xenon-HL) feltehetően egy szupernóva-robbanáshoz



2. ábra. Meteoritokból szeparált csillagközi por pásztázó elektronmikroszkopos (SEM) és Transzmissziós Elektronmikroszkopos (TEM) felvételei. a - szilícium-karbid SEM felvétele, b - grafit SEM felvétele, c - nanogyémánt TEM felvétele (Ulrich Ott felvételei)



3. ábra. Egy AGB (Asymptotic Giant Branch), azaz aszimptotikus óriás sematikus ábrája a csillagban végbemenő folyamatok feltüntetésével (Forrás: J. Hron: [www.univie.ac.at/agb/agbdetail.html](http://www.univie.ac.at/agb/agbdetail.html))

kapcsolható. Szupernóva-robbanások során a nehéz elemek nukleoszintézise *r-folyamatok* (r-process = rapid neutron capture process – gyors neutronbefogási folyamat) során képződik, rendkívül magas hőmérsékleten és magas neutron-sűrűség mellett. A folyamat során kifejezetten neutrongazdag, de instabil elemek jönnek létre, amelyek magjában a neutronok gyors  $\beta$ -bomlással stabilisabb elemekké alakulnak. Az r-folyamat szerepe nagyon jelentős, hiszen az Univerzumban található összes vasnál nehezebb elem jelentős része e folyamat során képződött. A szupernóva-robbanásokor ezek a nehéz elemek kilökődnek a felfúvódott csillagból. A kilöködött, nehéz elemekkel szennyezett por új, akár a szupernóva-robbanás által generált csillag(rendszer) képződésének alapanyagát szolgáltatja. A Földön található nehéz elemek is több, a Nap születésével egyidős szupernóva-robbanásból származhatnak.

A szupernóva-robbanás egyik legfontosabb hírnöke a nanogyémánt. A SiC 1%-a, a csillagközi porban talált grafit nagy része és az összes szilícium-nitrid belőlük származik. Közös szupernóva eredetükre a magas  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ , az alacsony  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  és a Naprendszernél szignifikánsan magasabb  $^{28}\text{Si}/^{29}\text{Si}$  és  $^{28}\text{Si}/^{30}\text{Si}$  arány a bizonyíték. A  $^{28}\text{Si}$  és a  $^{44}\text{Ti}$  gyakorisága egy különösen fontos bizonyítéka a szupernóva eredetnek (Ott, 2014). Ezek az elemek csak olyan csillagok nagysűrűségű belső magjában képződhetnek, amelyek életüket szupernóvaként fejezik be. A szupernóvakban uralkodó rendkívül magas hőmérséklet bizonyítéka a grafitzemeszkben talált, csak magas hőmérsékleten képződő titán-karbid zárványok jelenléte is, amelyek kondenzációs magokként viselkedhettek a robbanás során.

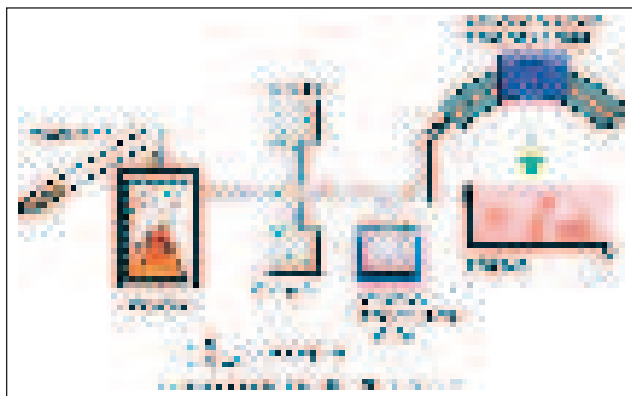
### A csillagközi por eredetének kulcsa: a nemesgázok és vizsgálatuk

Mint említettük, a kozmogén eredetű nemesgázok és izotópjaik aránya fontos szerepet játszanak a csillagközi por azonosításában és eredetének kiderítésében. Vizsgálatukat ugyanakkor két tényező nehezíti. Egyrészt ugyan az Univerzum anyagának jelentős részét alkotják, de kőzetekben csak egészen kis mennyiségben vannak jelen, ezért komoly műszeres háttérre van szükség a kőzetekben lévő kis mennyiségű gáz felszabadításához és szeparálásához. Másrészt nemesgázok a kőzetekben is képződnek spontán radiogén bomlás során (például K-ból Ar), így a vizsgált mintákban a radiogén és a kozmogén eredetű nemesgázok egyszerre vannak jelen és a tömegspektrométerrel mért nemesgáz izotóparány kevert eredetű lesz. Olyan ásványokat érdemes tehát kiválasztani vizsgálatra, amelyekben a radiogén nemesgázizotópok aránya elenyésző.

A SiC és grafitba befogódott Kr és Xe nemesgázok aszimptotikus óriásokban végbemenő lassú neutronbefogási folyamatokról nyújtanak információt, míg a nanogyémátokba csapódott Kr és Xe a gyors neutronbefogási folyamat és a p-folyamat (melynek során protogazdag elemek képződnek) hírnökei lehetnek. Egy példa: lassú neutronbefogási folyamat során az aszimptotikus óriás He-égető burkában a kis neutronfluxus miatt, a  $^{85}\text{Kr}$  gyorsan elbomlik (felezési

ideje 10,8 év) mielőtt még egy neutron befogásával stabilis  $^{86}\text{Kr}$ -á alakulna. Ha nemesgáz tömegspektrométerrel megmérjük a  $^{86}\text{Kr}/^{84}\text{Kr}$  arányát, akkor ebből a neutronbefogási folyamatok sebességére következtethetünk.

De hogyan tudjuk a nemesgázok izotóparányait meghatározni a laborban? A nemesgázokat a vizsgálandó ásvány vagy kőzetszemcséből először fel kell szabadítani. Ez a gyakorlatban az ásvány magas hőmérsékleten 1000–1600 °C-on történő feloldását és elgázosítását jelenti (4. ábra). A felszabaduló gázok (nemesgázok,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , szerves gázok) ezek után egy gázcsapdákkal ellátott tisztítórendszerbe kerülnek. A nem nemesgázok eltávolítását krio- (fagy) csapdákkal, ad- és abszorpciós elvén (felszíni megkötés vagy elnyelés) vagy elektromos elven működő getter-ion szivattyúkkal lehet elvégezni. A csapdákban el-nem nyelődő nemesgázok ezek után bejutnak a mágneses tömegspektrométerbe, ahol egy ionforrás a nemesgázokat ionizálja. Az ionokra a mágneses tér már hatással van, így az ionizáció során keletkező ionnyaláb egy íves mágneses térben meghajlik a mágneses tér és a gyorsító (ionizáló) feszültség függvényében. Miután az egyes nemesgázoknak és ionjaiknak más és más a tömegük, a mágneses tér a tömeg függvényében eltérő pályán mozgatja az egyes ionizált nemesgázokat. Az ionnyaláb végébe egy megfelelő detektort helyeznek, amely többnyire egy Faraday-kalitka vagy elektronsokszorozó. A mágnesbe vezetett áram változtatásával a mágneses tér erőssége is szabályozható, így a legkönnyebtből a legnehezebb ionig minden, a detektorba becsapódó nemesgáz relatív mennyisége, avagy izotópjaik aránya megadható (4. ábra).



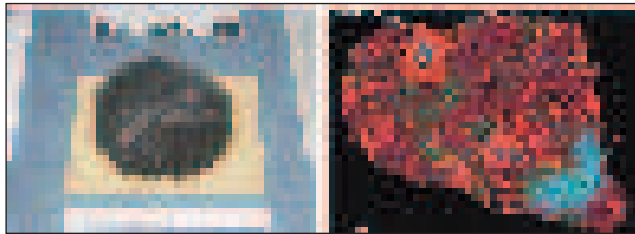
4. ábra. Nemesgáz analizáló rendszer idealizált képe. A getterek jó ad- és abszorpciós képességekkel rendelkező fémek

Nemesgázizotópok mérésére alkalmas berendezésből az MTA Atommagkutató Intézetében három is működik. A legrégibbi az 1970-es évek óta, míg a legújabb üzembe helyezése és tesztelése 2014-ben kezdődött meg. Míg a két régebbi nemes-

gáz tömegspektrométert kormeghatározásra és a környezeti minták vizsgálatára alkalmazzák, a harmadik kifejezetten meteoritok vizsgálatára lett kialakítva, így talán hamarosan Magyarországon is lehetőség lesz csillagközi por vizsgálatára.

### A csillagközi por kora – azaz milyen idős a viláágúr legrégebbi anyaga

Közetolvadékból, azaz lágából vagy magmából képződött ásványok és közetek korának meghatározására rutinszerűen a radiometrikus kormeghatározást alkalmazzák. Az ásványok szerkezetébe hűlésük során kis mennyiségben olyan elemek izotópjai is beépülnek, amelyek ismert valószínűséggel egy időn belül egy leányelemre bomlanak el, miközben egy  $\alpha$  vagy  $\beta$  részecskét löknek ki magukból. Ha ismerjük, hogy az adott izotóp egységnyi mennyisége mennyi idő alatt feleződik



5. ábra. A kabai meteorit. Balra a meteorit vitrinben a Debreceni Református Kollégiumban (Forrás: [www.geoaching.hu](http://www.geoaching.hu)). Jobbra a kabai meteorit egy metszete. Rövidítések: CAI = kalcium-alumínium gazdag zárvány, AOA = amóiboid olivin aggregátum, mx = mátrix (alapanyag), POI = plagioklász-olivin zárvány. A CAI magas térfogataránya ( $\approx 10$  tf %) a CV meteoritban, így a kabai meteoritban is azok ősi voltát bizonyítja

le (felezési idő) és ismerjük a kiindulási elemek, valamint a keletkezett leányelemek arányát, akkor a radiogén izotópelem ásványba fogódásának ideje nagyon jó közelítéssel megadható. Az egyik legrégebben ismert és alkalmazott kormeghatározási módszer a K 40-es izotópjának Ar 40-es izotópjává való bomlásán alapszik (felezési idő=1,25 milliárd év). Ez az úgynevezett K/Ar módszer, amelyet Kelet-Közép-Európában egyedül az MTA Atommagkutató Intézetében végeznek. Ennek továbbfejlesztett változata az Ar/Ar módszer, amely azonban a minta reaktorban történő besugárzását teszi szükségessé. Egy másik módszer az U 238-as izotópjának több köztes lépcsővel ólom 206-os izotópjává való bomlására alapszik. Az  $^{238}\text{U}$  felezési ideje 4,47 milliárd év, ami nagyjából egybeesik a Naprendszer korával, azaz a módszer kiválóan alkalmazható igen idős közetekre is. Kiindulási feltétel ásványok kormeghatározása során, hogy legyen bennük a je-

len kor színvonalán mérhető mennyiségben azokból az anyaelemekből, amelyek aztán radiogén bomlással leányelemekké bomlanak.

Ha sorra vesszük a csillagközi por leggyakoribb ásványait (nanogyémánt, szilícium-karbid, spinell, grafit), azt láthatjuk, hogy főelemként sem az U, sem pedig a K nincsen bennük, de a tapasztalatok azt mutatják, hogy még nyomelemként is csak olyan kis mennyiségben vannak jelen, hogy azokból megbízhatóan radiogén kormeghatározást végezni nem lehetséges. Van belőlük viszont nagy mennyiségben a befogadó meteorit anyagában, így azok korának meghatározására mind az Ar/Ar, mind az U/Pb módszer alkalmas.

Egy másik lehetőség a csillagközi por korának meghatározására az lenne, ha meg tudnánk vizsgálni azoknak a nemesgázoknak a mennyiségét, amelyek a kozmikus sugárzás hatására képződtek a por fő- vagy nyomelemeiből, már jóval születésük után. Mivel azonban az egyes szemcsék olyan kicsik, hogy azok egyenként nem vizsgálhatóak, ezért csak több szemcse átlagértékét tudnánk meghatározni.

A csillagközi por kormeghatározásának egy új módszerét Maria Lugaro, az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpontjának új, Lendület-ösztöndíjas kutatója és társai publikálták a Science tudományos folyóirat hasábjain 2014-ben. A hafnium (Hf) 182-es és a jódi (I) 129-es izotópjának meteoritokban észlelt gyakorisága nem volt összeegyeztethető azzal a modellel, amely ezen elemek képződését kizárólag szupernóva robbanások során végbemenő r-folyamatokra vezette vissza. Lugaróék kutatócsoportja kimutatta, hogy a  $^{182}\text{Hf}$  részben képződhet s-folyamatokkal aszimptotikus óriásokban is. A radiogén  $^{181}\text{Hf}$  és a  $^{129}\text{I}$  felezési idejének ismeretében (8,9 millió, valamint 15,7 millió év) két, a Naprendszer képződése előtti eseményt különítettek el, amely nehez (a vasnál magasabb tömegszámú elemeket) termelhetett a születésük előtt 100 millió évvel bekövetkezett szupernóva-robbanás, amelyik  $^{129}\text{I}$ -ot termelt, a második pedig egy 30–10 millió éves (a Naprendszer születése előtt), vörös óriásból vagy aszimptotikus óriásból történő porszenyezés lehetett. (Lugaro és társai)

### Egy unikális, nemesgázvizsgálatra váró jelölt: a kabai meteorit

A kabai meteorit (5. ábra) Magyarország egyetlen, nemzetközi szinten is közismert meteoritja, amelynek eddig komoly izotópos vizsgálata nem történt meg. A körülbelül 4 kg tömegű meteorit 1857-ben hullott Kaba település határában és egy Szilágyi Gábor nevű pásztor találta meg. Jelenleg a Debreceni Református Kollégiumban őrzik. Megtalálásának kalandos történetét és első leírását Török József a Magyar Akadémiai Értesítőben 1858-ban örökítette meg, majd első tudományos leírását a Természettudományi Közönlönyben szintén ő, 1882-ben adta meg. Besorolás szerint a meteorit egy oxidált, Bali-típusú, CV3 szenes kondrit, azaz széntartalmú ásványokat, elsősorban grafitot tartalmaz. Különlegessége, hogy anyaga primitív, sem hő sem fluidumok nem, vagy csak nagyon kis mértékben alakították át, így a benne megőrzött ásványok, csillagközi por hiteles információt adhatnak a Naprendszer képződéséről és az azt megelőző eseményekről. Ha a kabai meteoritot összevetjük a hozzá hasonló egyébként igen ritka meteoritokkal (Allende-meteorit, antarktisz CV3 meteoritok), akkor feltételezhetjük, hogy igen magas a nemesgáz-tartalma, feltehetően nanogyémánt- vagy SiC-tartalmú és tartalmazhat csillagközi por eredetű oxidokat és szilikátokat is. Ismeretlen ugyanakkor képződésének és metamorfózisának kora, valamint kozmikus kitettsége időtartama is bizonytalan. Remélhetőleg az MTA Atommagkutató Intézetében működött új nemesgáz-tömegspektrométer segítségével, a kabai meteoriton tervezett vizsgálatok eredményeképpen hamarosan új, fontos adatokkal gazdagodhat ismeretünk a Naprendszer korai és születése előtti eseményekről.

### Irodalom

- Lugaro, M., Heger, A., Osrin, D., Goriely, S., Zuber, K., Karakas, A.I., Gibson, B.K., Doherty, C.L., Lattanzio, J.Z. és Ott, U., 2014, Stellar origin of the  $^{182}\text{Hf}$  cosmochronometer and the presolar history of solar system matter. *Science* 345, 650-653.
- Ott, U., 2014, Planetary and pre-solar noble gases in meteorites. *Chemie der Erde* 74, 519-544.
- Ott, U. és Hoppe P., 2005, Sternstaub im Labor. *Sterne und Weltraum* 9, 38-45.
- Török J., 1858, Értesítés a Kaba-Debreceni lebköről. *Magyar Akadémiai Értesítő*, 18, 313-318.
- Török J., 1882, A Magyar Birodalom meteoritjai (II. rész). *Természettudományi Közönlöny*, 14, 495-514.