

8. ábra. Az SDSS fényes elliptikus galaxisainak térbeli eloszlásából származó fluktuációs spektrum és a rá illesztett különböző modellek. (Eisenstein et al., *Astrophys. J.* 633 (2005) 560–574.)

Az úgynevezett fényes elliptikus galaxisok a sötét anyag völgyekben összegyűlő galaxishalmazok központi objektumai, ezért viszonylag jó nyomjelzői a sötét anyag eloszlásának. Mivel fényesek, elég nagy távolságban is detektálni tudjuk őket, így kiválóan alkalmasak arra, hogy eloszlásukat összevessük a sötét anyag szimulációkból kapottakkal. A 8. ábrán az ilyen galaxisok térbeli eloszlásának sűrűségfluktuáció spektruma látható. Valóban felismerhetőek a hanghullámok nyomai, sőt, a legjobban illő modell paraméterei összhangban vannak a WMAP-észlelésekből kapott értékekkel. Ezen kulcsfontosságú kozmológiai eredmények mellett az SDSS „mellékterméként” még számos érdekes új eredményt hozott, kezdve az aszteroidák méret- és összetétel-eloszlásának

pontosabb meghatározásától a galaxisunk szerkezetének és dinamikájának feltérképezésén át a látható Univerzum határáról is felénk sugárzó gigantikus feketelyukakig, melyek tanulmányozása a galaxisok korai fejlődését teljesen átírta.

## Összefoglalás

Láttuk, hogy az elmúlt évtizedben az extragalaktikus csillagászatban és kozmológiában forradalmi átalakulások játszódtak le. Egyre pontosabbak a kozmológiai paraméterek mért értékei, az Univerzum és a galaxisok fejlődésének történetét egyre részletesebben értjük, méréseinkhez jól illeszthetőek a modellek. A forradalmi változásokat elsősorban az észlelési lehetőségekben bekövetkezett technológiai ugrásnak, és az adatok feldolgozását, valamint a részletes szimulációkat lehetővé tevő informatikai fejlődésnek köszönhetjük. Ez a technológiai fejlődés, amennyire előre láthatunk, folytatódni fog. Számos nagyszabású terv van folyamatban, amelyek ha megvalósulnak, számos új műhold és gigantikus távcső fogja ontani az új mérési adatokat az elektromágneses tartomány minden részében, sőt, akár a gravitáció hullámait is észlelni tudjuk.

Persze szükségünk is van minél több adatra, hiszen ne feledkezzünk meg arról, hogy bár a modell körvonalai pontosan illeszkednek a mérésekhez, az energiamérleg nagy részét kitevő sötét energiáról és sötét anyagról vajmi keveset tudunk. Ahhoz, hogy a beáramló adatokat hatékonyan kezelni tudjuk, és ki tudjuk belőle hámozni a rejtélyek megoldását, sok-sok olyan lelkes jövődöntő kutatóra van még szükségünk, akik a hagyományos matematikai és szaktudományos ismeretek mellett fejlett informatikai tudással is fel vannak vértezve.

## SZÉL HOZOTT, SZÉL VISZ EL

A Naphoz hasonló csillagok keletkezését külső hatások indítják el?

Tóth L. Viktor

ELTE FFI Csillagászati Tanszék,  
MTA KTM Csillagászati Kutatóintézet

*Jelentős szerepe van-e a külső hatásoknak a kis tömegű csillagok keletkezésében a pre-protosztelláris felhőmagok kialakulásától kezdve? – Igen. Állnak-e még a Sas-köd Hubble-űrtávcső által híressé tett felhőoszlopai? – Igen.*

Kell-e nagyobb motiváció az indukált csillagkeletkezés vizsgálatához, mint az az 1970-es években körvonalazódott, és azóta széles körben elfogadott elmélet, miszerint a preszoláris csillagközi felhőben külső hatásra indult el a Nap és a Naprendszer kialakulása? Mintha csak a csillagok nevében szólna a költő:

„Köd előttem, köd mögöttem,  
Isten tudja, honnan jöttem.  
Szél hozott, szél visz el.  
Minek kérdjem, mért visz el?”

Szabó Lőrinc, 1923, *Szél hozott, szél visz el*

## A csillagközi anyag a Naprendszer közelében

A csillagok átmérőjéhez képest óriási távolságok vannak csillagok között. Egy csillagközi utazónak a (millió km-es) csillagátmérő 20 milliószorosát kell meg-

tennie. Ez az óriási tér nem teljesen üres, benne elektronokat, atomokat, molekulákat és a milliméter tízezred részénél kisebb porszemcséket találunk. A csillagközi gáz galaktikánkban a csillagközi pornál százszor nagyobb össztömeget képvisel, de a por mennyisége korántsem jelentéktelen: „Bölcs, vén könyvekben áll, hogy por vagyunk”, hogy egy szintén 1923-as keltezésű versre hivatkozzunk (József Attila, *Tanítások*). A csillagközi anyag helyi sűrűsödését nevezzük csillagközi felhőnek. Napunk és vele a Naprendszer égitestjei galaktikánk, a Tejútrendszer középpontja körül 27 ezer fényévnire köröz, 780 ezer km/h keringési sebességgel. Most éppen egy tőle eltérő sebességgel keringő csillagközi felhőoszlánynon száguld keresztül. A mi „Lokális felhőcskénk” (Local Interstellar Cloud, vagy Local Fluff) igen ritka, 1 literében csak 250–300 hidrogénatom van. Összehasonlításképpen a szobában beszippantott minden liter földi levegőben körülbelül  $2,5 \cdot 10^{22}$  molekulát találunk. A 7000 K hőmérsékletű, körülbelül 15 fényév átmérőjű „Lokális felhőcske” egy 30–40 fényév átmérőjű kis felhőcsoportban van. (Ennek a csillagközi felhőcsoportnak a tagjait francia kutatók előszeretettel nevezik el az *Asterix* képregény szereplőiről.) Az emberi szemmel látható fény a csillagközi anyag porszemcséin szóródik és elnyelődik. A látóirányunkba eső csillagközi felhők mögötti csillagokat ezért halványabbnak látjuk, a leghalványabbak mintegy eltűnnek, „kihálnak”, ez a csillagközi extinkció jelensége. A mi „felhőcskénknel” ezerszer–milliószor sűrűbb csillagközi felhők is vannak, de tőlünk kicsit távolabb, ilyenek a Taurus, az Ophiuchus és a Chamaeleon felhői. Ezek a sűrű ( $10^2$ – $10^5$  cm<sup>-3</sup>) és hideg (10–100 K hőmérsékletű) felhők 300–400 fényév távolságban, szinte falként övezik azt az üreget, amelynek forró (több százezer fokos) ritka gázában a „Lokális felhőcske” is úszik. Ezt a „Lokális buborékot” is nevezett üreget szupernóva-robbanás nyitotta a mi spirálkarunk csillagközi anyagában. Az ehhez hasonló, néhány száz fényév méretű csillagközi buborékok nem ritkák.

## Csillagközi felhők és csillagkeletkezés

A Világegyetemben a hidrogén sokféle formában jelenik meg. Lehet atomos, lehet ionizált, protonra és elektronra szétválva, alkothat hidrogénmolekulákat (H<sub>2</sub>), lehet más atomokhoz kapcsolódva különféle molekulák alkotórésze (pl. víz, ammónia, szénhidrogének). A csillagközi térben mindez előfordul, de hidrogén más elemekkel alkotott molekulái csak elhanyagolható tömeghányadot jelentenek a csillagközi gázban.

A hidrogén megjelenési formái szerint megkülönböztetünk atomos HI-felhőket, HII-zónákat és molekulafelhőket. Az elsőben a hidrogén nagyobb része atomos állapotú, a másodikban jelentősebb az ionizált hidrogén aránya, a harmadikban pedig a molekuláris állapotban levő hidrogéné.

Nem meglepő, hogy egy megfelelő méretű csillagközi felhő ritka gázát a tömegvonzás képes egyben tartani, hiszen a Föld tömege elegendő légköre gázatomjainak megtartásához. Egy a Földnél ezerszer nagyobb tömegű felhő mérete, a sűrűségarányoknak megfelelően, 8–9 nagyságrenddel (100–1000 milliószor) nagyobb a Földénél, ami néhány fényév átmérőt jelent.

A felhő saját tömegvonzásából számolható helyzeti energia és a gáZRészecskék (főleg hidrogénmolekulák) hőmozgásából eredő belső energia mellett jelentős a felhő belsejében kavargó turbulens mozgás energiája, illetve a mágneses tér energiája, a forgási energia. Ez utóbbi három stabilizálja a felhőket, ezért nem roskad össze szabadeséssel és lesz csillaggá minden galaktikus csillagközi felhő. A kényes egyensúlyt azonban külső hatások megbonthatják. Ekkor beszélünk indukált vagy triggerelt felhőkollapszusról. Izgalmas kérdés, hogy ezek a külső hatások mennyire jelentősek a csillagkeletkezésben.

## A csillagközi anyag nagyléptékű szerkezete – hurkok, buborékok

A galaktikus csillagközi anyag nagyléptékű alakzatainak felfedezésében már az 1970-es években közreműködtek magyar csillagászok. *Fejes István* (Kozmikus Geodéziai Observatórium, Péc) azonosított egy semleges hidrogénből álló héjat a Loop IV óriási hurokszerű struktúrával, annak rádiósugárzása (mágneses térben befogott elektronok szinkrotron-sugárzása) alapján [1]. A csillagközi anyag szerkezetét porszemcséinek hőmérsékleti sugárzása mérésével is feltárhatjuk. A porszemcsék 10–100 K hőmérsékletüknek megfelelően az infravörös tartományban sugároznak. A legelső infravörös hurkokat egy időben, de egymástól függetlenül fedezte fel és írta le egy amerikai és egy magyar kutatócsoport 1987-ben. Az eredményeket *P. R. Schwartz* és munkatársai az amerikai *Astrophysical Journal*-ban [2], *Kun Mária*, *Balázs Lajos* és *Tóth Imre* az európai *Astrophysics and Space Science* folyóiratban [3] publikálták.

Ezen magyar sikerek hatására az ELTE Csillagászati Tanszékén 1995-ben hallgatók bevonásával, tudományos diákköri munka keretében, elkezdtek az égbolt szisztematikus felmérését és infravörös hurkok egy katalógusának elkészítését. A kutatás folyamatos támogatást kapott az OTKA-tól. A csoport egykori tagjai közül *Kiss Csaba*, *Könyves Vera* és *Moór Attila* (MTA KTM CsKI) már megszerezte PhD-fokozatát, *Kiss Zoltán* pedig 2007-ben védi meg doktori dolgozatát. A katalógus legelső bejegyzését jelentő Cepheus–Cassiopeia-buborékot (GIRL 115+10,0) az ELTE-n folyó vizsgálatában a szerző további doktori hallgatói is közreműködtek: *iffj. Horváth András* (ma tanszékvezető a győri Széchenyi Egyetemen) és *Nikolic Silvana* (ma a Santiagói Egyetem munkatársa Chilében).

## Hurokkatalógus a teljes égboltra kiterjedően, és annak elemzése a hurkok kialakulása szempontjából

Az európai csillagászat vezető folyóirata, az *Astronomy and Astrophysics* 2004-ben címlapján hozta kutatócsoportunk eredményét [4]. A 2004-es cikkünk szerint a Naprendszer környezetében a csillagközi anyagot az 1. ábrán látható és ahhoz hasonló óriási buborékok héjába söpörte egy eddig ismeretlen asztrofizikai folyamat. Az üregek belsejében szinte nincsen csillagközi por, azok fala viszont porban gazdag csillagközi anyagból áll. Az üreg poros falában számos nagy tömegű csillag és ionizált hidrogénből álló HII-zóna található, melyek jelzik a hurokkatalógus fontos „melléktermékét”, a hurkokkal asszociált objektumok katalógusát.

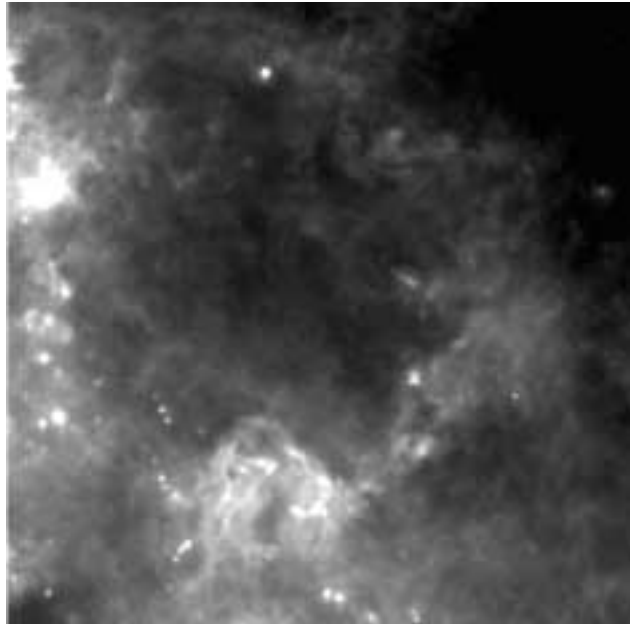
Kutatócsoportunk legfrissebb, 2007 márciusában megjelent elemzése már több mint 462 ilyen infravörös hurkot ír le [5]. Ezek szerint galaktikánk, ameddig az IRAS mesterséges holdon elhelyezett, infravörösben érzékeny detektorok láttak (kb. 3000–4000 fényévi távolságig), habfürdőre vagy ementáli sajtra hasonlít, hol jobban, hol kevésbé dominál az üregek térfogata.

Az infravörös hurkokról írt cikkünk rámutat arra is, hogy a galaktika szimmetriáskja közelében a nagy tömegű csillagok szupernóva-robbanásai, attól távolabb pedig a csillagközi anyag turbulens mozgása alakítja ki a csillagközi anyag nagyléptékű szerkezetét. A *Galaktikus Infravörös Hurkok Katalógusa* a maga nemében egyedülálló. A korábbi hasonló összegzések kinematikai alapon próbáltak üregeket, rétegeket felfedni a csillagközi anyagban. Egy ilyen munka a prágai *Ehlerova, Palous* szerzőpár HI-üreg katalógusa [6], mintegy 800 táguló üreggel. A sebességviszonyokat mi nem szabtuk kiválasztási feltételül, ezért mi „láthattuk” a nem vagy csak kis (<8 km/s) sebességgel táguló héjakat is. A Tejútrendszer fősíkjától távoli, csillagközi anyag nagyléptékű szerkezetének turbulenciákkal való magyarázata jelentős új eredményünk, mely egy általános sejtést igazol mérési úton.

### Trigger-jelenség megfigyelése

Az egyik legkézenfekvőbb példánk az indukált csillagkeletkezésre a Cepheus–Cassiopeia szupernóva-buborékba részben belemerülő L1251 jelű csillagközi felhő. Az egykor e felhőben keletkezett és ma a benne, körülötte megfigyelt fiatal csillagok korát és eloszlását, a felhő szerkezetét és dinamikáját több, részben magyar cikk vizsgálta [7, 8]. Ezek azt valószínűsítették, hogy a felhőn körülbelül 1 millió éve áthaladt lökéshullámfront nyomán alakult ki annak üstökös alakja, és növekedett meg a csillagkeletkezés határfoka.

A Hubble-űrtávcső egyik legnépszerűbb mozaik fotóján (2. ábra) a Sas-köd felhőit mint cseppkőoszlopokat látjuk. A „Teremtés oszlopai” hangzatos elnevezést kapott struktúráját az előbb említett L1251 felhő-



1. ábra. A Cepheus-buborék

hoz hasonlóan a felhőközi tér lökéshullámai és ionizáló sugárzása formálja. Az „oszlopok” csúcsain beágyazott fiatal csillagok („tojások a sasfészekben”) jelzik az indukált csillagkeletkezést, amit számos szakcikk taglalt. A *Lyman Spitzer* asztrofizikusról elnevezett amerikai űrtávcső infravörös felvételei alapján egy szupernóva és a Sas-köd felhőoszlopai közti kölcsönhatásról *Nicolas Flagey* (Institut d’Astrophysique Spatiale) francia doktori hallgató tanulmányából értesülhettünk. A 2006 végén publikált mérési eredmények alapján nem lehetett kizárni, hogy már el is söpörte egy közeli szupernóva-robbanás lökéshulláma akár a teljes látványos felhőcsoportot, csak 1000 fényév távolából mi még a pusztulást megelőző állapotot látjuk.

2. ábra. A Teremtés oszlopai a Sas-ködben



## Trigger-jelenség modellezése

Amikor a forró, nagy tömegű csillag belsejében a hidrogén nagyobb része már héliummá alakult, a csillag anyagának nagy része egy pillanatszerű folyamatban szupernóvaként robban bele az általa korábban létrehozott üregbe. A robbanás közelében a csillagközi anyag teljes ionizációja és a felhők szétfoszlatása a jellemző. A lökéshullám, amit kelt, száz fényévreke tovaszánguld, és gyúrja, formálja az útjába kerülő csillagközi anyagot.

Hasonló esetet modelleztünk numerikusan a Zeus hidrokóddal a felhőparamétereket és a front sebességét széles skálán változtatva [9, 10]. Eredményeink szerint, ha a szupernóva lökéshulláma egy elég nagy méretű és távolabbi csillagközi felhőt ér, akkor jelentősen átalakítja ugyan a felhő szerkezetét, de nem fújja szét annak anyagát. A front és a felhő ütközése gyorsíthatja a felhőmag-keletkezést, ami a csillagkeletkezés legelső fázisa. A modell szerint az L1251 vagy a hasonló méretű Sas-köd szétoszlásához, a front sebességétől függően  $10^5$ – $10^6$  évnél kell eltelnie, ez pedig elegendően jelentős felhőtömeg pre-protosztelláris felhőmagokba gyűréséhez. Ezt a modellt elfogadva nem aggódunk a Sas-köd felhőoszlopaiért, pusztulásuk híre csak „egy kacsa volt a sasfészekben”. A francia kutatók honlapjukon már ezt a módosított verziót közlik.

## Jelentős-e általában a külső hatások szerepe?

A Cepheus terület extinkciójának felmérését a USNO (US Naval Observatory) fotometriai katalógusa 2MASS (Two Micron All Sky Survey) infravörös katalógus elemzésével végeztük el. A Cepheus területen több mint 200 csillagközi felhőt azonosítottunk, az extinkció eloszlása alapján a felhők szerkezetét is meghatároztuk, jellemzésükre és automatikus osztályozásukra paramétereket vezettünk be. A Cepheus fler és vidé-

kén nyert legfontosabb tapasztalatunk, hogy a sűrű és a ritka csillagközi anyag határának régiójában nagyobb tömegű, strukturáltabb felhők vannak. Ezekben zajlik a csillagkeletkezés zöme [11, 12].

A sűrű és a ritka csillagközi anyag határait jól jelző infravörös hurkokban a fiatal csillagok számában és a felhők strukturáltságban is kimutattunk többletet. A csillagtöbbletet olyan hatás okozza, amely már a csillagkeletkezés legkorábbi fázisa, a felhőmagok kialakulásától kezdve jelentős. A felhők hasonló valószínűséggel keletkeznek minden tartományban, ahol a csillagközi anyag rendelkezésre áll. Jelen értelmezésünk szerint a felhőkben a gravitációsan kötött felhőmag kialakulásának karakterisztikus ideje millió év nagyságrendű. Emiatt lassú folyamat a csillagkeletkezés. A sűrű és ritka tartományok határretegeiben ez az idő rövidül le akár 1 nagyságrenddel. A galaktikus sűrű korongban a csillagközi anyag tömegének több mint harmada határretegekben van, ezért jelentős a triggerelt felhőmag- és csillagkeletkezés.

## Irodalom

1. Fejes I., *Astronomy & Astrophysics* 15 (1971) 419.
2. Schwartz P.R., *Astrophysical Journal* 320 (1987) 258.
3. Kun M., Balázs L., Tóth I., *Astrophysics and Space Science* 134 (1987) 211.
4. Kiss Cs., Moór A., Tóth L.V., *Astronomy & Astrophysics* 418 (2004) 131.
5. Könyves V., Kiss Cs., Moór A., Kiss Z.T., Tóth L.V., *Astronomy & Astrophysics* 463 (2007) 1227.
6. Ehlerova S., Palous J., *Astronomy & Astrophysics* 437(2005) 101.
7. Kun M., Prusti T., *Astronomy & Astrophysics* 272 (1993) 235.
8. Tóth L.V., Walmsley C.M., *Astronomy & Astrophysics* 311 (1996) 981.
9. Horváth A., Tóth L.V., *Astrophysics and Space Science* 233 (1995) 169.
10. Horváth A., Ziegler U., *Astronomy & Astrophysics* 349(1999) 595.
11. Kiss Z.T., Tóth L.V., Krause O., Kun M., Stickle M., *Astronomy & Astrophysics* 453 (2006) 923.
12. Tóth L.V., Kiss Z.T. in *Triggered Star Formation in a Turbulent ISM*. (ed. B.G. Elmegreen, J. Palous) Cambridge Univ. Press (2007) 124.

# SZÁZÖTVEN ÉVE HULLOTT A VILÁGHÍRŰ KABA-DEBRECENI LEBKŐ

Nagy Mihály  
Debreceni Református Kollégium

„Mily rövid az élet!...  
Mint hullócsillag futása,  
Mely földünk körébe jutva,  
Lángra gyúl, és tűz-barázdát  
Írva elszalad, gyorsabban,  
Mint egyet pillantanál,  
Útja honnan jött? Hová visz?...  
Míg *sötét* volt, s újra *az* lesz,  
A világ-űr végtelenjén  
Hol bolyongott? És hová fog?...  
Ki tudná megmondani!  
Míg *tündöklött*, addig élt.”  
Arany János: *Honnan és hová?* (részlet)

A százötven éves évforduló alkalmat kínált arra, hogy a Debreceni Református Kollégiumban őrzött nevezetes kő, amelyet a tudományos körök régóta számon tartanak, most a közérdeklődésbe is bekerüljön. Bemutatjuk, mivel szolgált rá hírnevére a kabai meteorit, és összefoglaljuk a százötven éves évforduló eseményeit.

## Meteorok, meteoritok

Az égből hullott kövek, másként hullócsillagok régóta izgatják az emberek képzeletét. Nyáron, augusztus tizedike körül egy csillagos éjszakán, ha figyeljük az