

KISS LÁSZLÓ – SZABÓ RÓBERT

Az MTA CSFK Csillagászati Intézetének 2017. évi tevékenysége

A magyar csillagászat legnagyobb intézményének a beszámolási időszakban összesen 90 munkatársa volt, akik közül 55 dolgozott a kutatói közösség részeként (12 doktori fokozat nélkül, 31 PhD/kandidátus, 5 MTA doktora, 1 akadémikus, 6 emeritus kutató). A doktori fokozat nélküli tudományos segédmunkatársak zöme 35 év alatti fiatal kutató, ami egészséges koreloszlást jelent az utánpótlás szempontjából. 2017-ben bevezettük az *intézeti demonstrátorok* rendszerét, ez egyetemi hallgatók gyakornoki alkalmazását jelenti, az év folyamán összesen 12 fő bevonásával. Alapfeladatunk a tudományos kutatás folytatása, emellett részt vettünk a felsőoktatásban egyetemi oktatóként és témavezetőként, valamint jelentős aktivitást fejtettünk ki a tudományos eredmények minél nagyobb körhöz eljuttatásában. Mindezeket részben az akadémiai alaptámogatásból, részben pedig saját pályázati bevételekből finanszíroztuk.

Tudományos eredmények

Az intézet kutatói 2017-ben 291 tudományos közleményt publikáltak, ebből 97 vezető nemzetközi referált szakfolyóiratban jelent meg. Publikációs tevékenységünk kapcsán kiemelendő, hogy cikkeink többségét a csillagászat legnagyobb hatású lapjai fogadták el közlésre, ami a nemzetközi élvonalhoz tartozást jelzi. Közleményeink teljes bibliográfiája elérhető a Magyar Tudományos Művek Tára (MTMT) adatbázisában (mtmt.hu).

A tudományos eredmények elsősorban csillagászati megfigyelések elemzésén alapultak. A 97 cikkből 23 publikáció volt tisztán elméleti, vagy áttekintő munka; a földfelszíni adatokra alapozott cikkekből 5 használt a Piszkéstetői Observatóriumban felvett méréseket, további 41 pedig egyéb műszereket (debreceni napfoltkatalógus, HATNet, Légyszem, ESO, ALMA, APEX, egyéb rádiótávcsövek). Publikációink alapján egyértelmű, hogy az űrobservatóriumok szerepe továbbra sem csökken a kutatásainkban: 9 cikk jelent meg űrofotometriai adatokra, 9 a Rosetta-szonda megfigyeléseire, 3 pedig a Herschel űrtávcső infravörös-adataira alapozva; napszondák (4 cikk) és a Hubble űrtáv-

cső (1 cikk) mellett a Gaia asztrometriai űrobservatórium is 2 publikációval járult hozzá az összképhez. A közlemények maradványában laboratóriumi asztrofizikai elemzéseket, irodalmi eredmények újraértelmezését, illetve publikus adatbázisokra alapozott kutatásokat jelentettünk meg. A tudományterületek változatosságát tovább bővítette az év során formálisan is megalapított extragalaktikus csillagászat kutatócsoport, amelynek fókuszja a szupernóvák az aktív galaxismagokig terjed. Az alábbiakban a teljességre törekvés nélkül adunk ízelítőt a 2017-ben publikált tudományos eredményeinkből.

A csillagok belső szerkezete és pulzációja

Továbbra is igen látványos eredmények születtek a pulzáló változócsillagok űrofotometriai adatainak elemzéséből. Legfontosabb adatforrásunk a publikált vizsgálatokban a Kepler-űrteleszkóp volt, amelynek a 2009 és 2013 közötti eredeti missziója mellett a 2014 óta futó ekliptikai felmérés (a K2-program) is számtalan érdekes tudományos kutatást tett lehetővé. Egyik vizsgálatunkban az eredeti Kepler-látómező egyetlen cefeida változójának, a V1154 Cygninek négyévnnyi, folyamatos adatait elemeztük. A pulzációs elemzésen túl első alkalommal mutattuk ki cefeida típusú csillagban granulációra utaló jelet, ugyanakkor a konvektív gerjesztésű hipotetikus szoláris oszcillációt nem sikerült detektálni. Az űradatok mellett új, földi spektroszkópiai méréseket is végeztünk a csillagról, amelyekből a friss radiális sebességek kizárják a nagy tömegű kísérők létezését. A K2-misszió adatainak vizsgálatából kiemelhető, hogy elvégeztük két W Vir típusú csillag analízisét. Egyértelműen kimutattuk a ciklusról ciklusra történő változásokat mindkét csillag, a KT Sco és az M80-V1 gömbhalmaz-tag esetében. Az első csillagnál szabálytalan változást találtunk, míg a másodikon úgy tűnik, hogy a pulzáció perióduskettőződésen megy keresztül. A korábbi adatok elemzése kiderítette, hogy drasztikus periódusváltozás tapasztalható pulzációjukban. Összehasonlításképpen újraanalizáltuk magának a W Vir névadó csillag adatait, és arra jutottunk, hogy móduslebegés helyett perióduskétszereződést mutat. Ezek az eredmények megerősítik, hogy a nemlineáris dinamika fontos szerepet játszik a W Vir pulzációban.

Az űrcsillagászati sztelláris asztrofizikában egyre fontosabb szerepet játszik a Gaia asztrometriai űrobservatórium. Noha az első tisztán űrbéli Gaia-parallaxisok csak 2018 tavaszán váltak elérhetővé, már az első adat kibocsátás

(Gaia DR1) 2016 őszén is rengeteg új vizsgálatot tett lehetővé. A Gaia DR1 több mint 700 galaktikus cefeida és RR Lyrae típusú változócsillag parallaxisát tartalmazza a Tycho–Gaia asztrometriai megoldás (TGAS) részeként. A kozmológiai távolságskála standard gyertyáiként alkalmazott objektumokra új periódus-luminozitás és periódus-Wesenheit összefüggéseket határoztunk meg, a nullpontokat a TGAS-hoz illesztve. A klasszikus cefeidák kiválasztásánál gondosan ügyeltünk az ismert vagy gyanított kettősök kizárására. Az RR Lyrae csillagokra jó egyezést találtunk a TGAS és a HST mérései alapján kapott értékek között. A TGAS-parallaxisokból a cefeidákra és az RR Lyrae csillagokra meghatározott, a 2,2 mikronos hullámhosszú infravörös K sávra érvényes periódus-luminozitás összefüggések lényegesen jobbak a Hipparcos eredményeinél.

Az M3 gömbhalmazról végzett mérések alapján első alkalommal vált lehetségessé Baade–Wesselink-analízis Blazskó-effektusos RR Lyr csillagokra. Kiderült, hogy az analízis nem adott megbízható távolságértékeket a Blazskó-csillagokra, mivel azok jelentősen különböztek a stabil változókra kapott értékektől, ráadásul ugyanarra a csillagra különböző Blazskó-fázisban eltérő távolság adódott. Ez alapján a B-W módszer nem alkalmazható Blazskó csillagokra. Amennyiben a csillagok távolságát rögzítettük, jelentős különbséget tapasztaltunk a Blazskó-csillagok fotometriailag, illetve spektroszkópiailag meghatározott sugárváltozása között. Míg a spektroszkópiailag sugárváltozás követi a fényességváltozás modulációját, a fotometriai sugárváltozás stabil marad. Ez az eredmény a Blazskó-effektus mélységfüggésére utal, mivel a spektroszkópiailag sugárváltozás az atmoszféra legfelső rétegének (ahol az abszorpciós vonalak keletkeznek) mozgását tükrözi, a fotometriai sugár viszont a fotoszféra alsóbb rétegeinek mozgását írja le. A fotometriai sugárváltozás stabilitása komoly ellenérv a Blazskó-moduláció nem-radiális módusként történő interpretációjával kapcsolatban.

Összegyűjtöttük a hosszú távú modulációt mutató RV Tauri típusú (RVb) csillagok lehető leghosszabb fotometriai adatsorait. Meglepően egyenes összefüggést találtunk a pulzációs amplitúdók és a pillanatnyi átlagfényességek között, ami azt jelenti, hogy a pulzációs amplitúdó a rendszer átlagos fluxus-szintjéhez viszonyítva nem változik. Az átlagfényesség minimumában megfigyelhető látszólagos amplitúdócsökkenés régóta ismert volt, de az irodalmi források szerint a jelenlegi RVb modellekkel nem volt megmagyarázható. Megmutattuk, hogy ha a magnitúdóskála helyett fluxust használunk, akkor a pulzációs amplitúdó látszólagos csökkenése természetes módon következik egy

nagyméretű, átlátszatlan objektum okozta periodikus halványodásból, amely valószínűleg egy – a kettős rendszert körülvevő – cirkumbináris poros korong.

Aktív jelenségek csillagokon

A késői típusú, differenciálisan forgó csillagokból összeállított statisztikai minta alapján azt találtuk, hogy a forgási periódus és a differenciális rotáció α nyírási paramétere közötti kapcsolat jelentősen különbözik az egyedüli, ill. kettős rendszerhez tartozó csillagok esetén. Magános csillagok esetében határozott trend figyelhető meg, amely szerint α értéke a forgási periódussal lineárisan nő. Ezzel szemben szoros kettősökben a lineáris kapcsolat kevésbé egyértelmű, ebből az a következtetés vonható le, hogy az ilyen rendszerekben az árapályerők egyfajta gátló mechanizmusként korlátozzák a differenciális rotációt.

A Hertzsprung–Russell-diagram vörösóriás-ágára kerülő 1-2 naptömegnyi csillagok fejlődését igen érdekes folyamatok kísérik. Ebben a fejlődési fázisban a csillag kiterjedő konvektív burka kölcsönhatásba kerül a gyorsan forgó forró maggal, miáltal különböző keveredési mechanizmusok játszódhatnak le. Így lesz képes a mélyben frissen keletkező lítium a felszínre jutni, mielőtt más elemekké alakulna. A lítiumban gazdag anyag ugyanakkor impulzusmomentumot is magával visz, amely képes befolyásolni a csillag felszíni rotációs mintázatát. Meghatároztuk a magános K-óriás V1192 Orionis felszíni differenciális rotációját, a felszínközeli lítiumfeldúsulás mértékét, valamint a csillag fontosabb asztrofizikai tulajdonságait. Eredményeink szerint a csillag a héliummag-égés állapotában van, a lítium gyakorisága pedig közel esik a normál és a lítium-gazdag csillagokat elválasztó határhoz. A csillagfoltok rövid időskálájú mozgásaiból világosan látszik a felszín antiszoláris differenciális rotációja. Következtéseink szerint a csillag felszínén mért lítiumfeldúsulás és a különös felszíni rotációs mintázat eredete közös.

Napaktivitás

Összehasonlítottunk három napfoltadatbázist (a Debrecen Photoheliographic Data (DPD), a SDO/HMI Debrecen Data (HMIDD) és a Greenwich Photoheliographic Results (GPR) katalógust) azért, hogy a mérési eljárások okozta

eltéréseket el lehessen választani a Nap tényleges változásaitól a naptevékenység hosszú távú adatbázisaiban. Azt vizsgáltuk, hogy a különböző tényezők hogyan befolyásolják a napfoltok és a napfoltcsoportok területére vonatkozó mérési eredményeket, és meghatároztuk az adatbázisok területadataira vonatkozó keresztkalibrációs faktorokat. Kimutattuk, hogy a DPD és az HMIDD között egy többváltozós függvényt kellene a korrekcióhoz alkalmazni, ami gyakorlatilag lehetetlenné teszi a DPD és az HMIDD adatait homogén adatsorrá egyesítését. A DPD viszont jól illeszkedik a GPR-hez az átfedő intervallumban, ezért bármilyen korrekció nélkül is alkalmasak lehetnek együtt a hosszú távú változások vizsgálatára.

A Nap felsőlégrében folyamatosan zajló koronaanyag-kidobódás és napkitörés térbeli eloszlása nem egyenletes. Az aktív régiók hosszúságbeli inhomogenitását gyakran nevezik aktív hosszúságnak is. Első körben az aktív hosszúság és a napkitörést, illetve koronaanyag-kidobódást létrehozó napfoltcsoportok morfológiai tulajdonságait és kapcsolatát vizsgáltuk. Eredményeink megerősítik, hogy azok az aktív régiók produkálják a legtöbb és legnagyobb napkitöréseket, amelyek komplex morfológiai tulajdonságokat mutatnak, illetve a Nap egyenlítőjével nagy szöget zárnak be. Ezek az aktív régiók leginkább az aktív hosszúságokban vagy annak környékén törnek felszínre, ezért megállapítható, hogy az aktív hosszúságok közvetlenül felelősek a legnagyobb napkitörésekért.

Csillag- és bolygókeletkezés, az intersztelláris anyag fizikája

A DG Tau kis tömegű, fősorozat előtti csillag, amely többek között egyedi közép infravörös fényváltozásairól ismert: a színekben a $10\ \mu\text{m}$ -es szilikátsáv erősen változékony, és időnként emisszióból abszorpcióba fordul. Kutatásaink során e változékonyság fizikai okát kerestük a VLT/MIDI közép infravörös interferométer adatai alapján. A MIDI-vel a csillag körüli korong hő-sugárzását lehet megfigyelni és felbontani. Azt találtuk, hogy a belső korong ($r < 1\text{--}3$ CSE) színeke alig változó szilikátabzorpciót mutat, míg a külső korong ($r > 3$ CSE) színeke emissziós és erősen változó. A szilikátsáv alakja is eltérő: a belső korong színeke amorf, a külső korongé pedig kristályos szemcsék jelenlétére utal, és az utóbbi esetben a spektrum alakja nagyon hasonló a Hale–Bopp-üstökös szilikátspektrumára. 2011 és 2014 között a korong kö-

zép infravörösben sugárzó területének mérete $1,15$ CSE-ről $0,7$ CSE-re csökkent. A szilikátemisszió változását a korong felszíne fölé emelkedő változó mennyiségű porral magyaráztuk, amit a korongbeli turbulencia emelhet magasba.

Évtizedekkel a V346 Nor jelű csillag FUor típusú kitörése után az objektum 2010 körül jelentősen elhalványodott. Új közeli-infravörös mérések segítségével és korábbi VISTA/VVV adatok újrafeldolgozásával jellemeztük a csillag fényességének alakulását. A VLT/NaCO adaptív optikás képeken felfedeztünk a csillag körül egy szórt fényből álló halót, amelynek mérete $0,04$ ívmásodperc (30 CSE). A VISTA-adatok egy jól definiált minimumot rajzolnak ki 2010–2011 fordulóján, amelynek során kis amplitúdójú periodikus ($P = 58$ nap) fényváltozásokat is megfigyeltünk. A 2016-ból származó legújabb méréseink szerint a forrás a minimum után újra fényesedni kezdett, de még nem érte el a korábbi, 2008-as szintet. Egy egyszerű akkrécióskorong-modellt felhasználva az akkréciós ráta és a látóirányú extinkció változtatásával reprodukáltuk a megfigyelt közeli-infravörös fényességeket és színeket. Eredményeink szerint a V346 Nor fényváltozásait 2008 előtt az akkréciós ráta és az extinkció együttes változásai okozták, a 2010-es minimum azonban főleg a lecsökkent akkréció következménye volt.

A 49 Ceti azon kevés törmelékkorong egyike, amely kimutatható mennyiségű szén-monoxid-gázt tartalmaz. A gáz és por térbeli eloszlásának tanulmányozásához az ALMA interferométerrel $0,4$ ívmásodperc felbontású képeket készítettünk a korong sugárzásáról a szén-monoxid-molekula $3\text{--}2$ -es rotációs átmenetén, illetve az ehhez társuló kontinuumban. Elemzésünk alapján a por felületi sűrűsége csökken a növekvő sugárral 100 és 310 CSE között, nagyjából 110 CSE távolságnál egy kevésbé szignifikáns lokális növekedés észlelhető. A célcillag spektrális energia eloszlása arra utal, hogy az ALMA által felbontott nagy porszemcsék alkotta külső korong mellett egy kisebb szemcsékből álló belső korong is jelen van. A gáz esetében kifelé növekvő felületi sűrűséget figyeltünk meg, amely az eddig térben felbontott korongokkal összevetve rendkívül szokatlannak számít.

A törmelékkorongokban található üreg kialakulásának lehetséges magyarázata egy korongba ágyazott óriásbolygó gravitációs perturbációja. A nagy tömegű testhez közel elhaladó, dinamikailag gerjesztett bolygókezdemények egy kaotikus zónaként ismert kiürített régiót eredményeznek. Az egymást átfedő középmozgás-rezonanciák elmélete alapján meghatározható az üreg szélessé-

ge. Annak eldöntésére, hogy az üreg megfeleltethető-e a kaotikus zónának, megvizsgáltuk az üregek keletkezését: ütközésmentes n-test-szimulációkat futtattunk, amelyekben az óriásbolygót egy 1,25–10 jupitertömegű, 0–0,9 pályaeccentricitású bolygó képviselte. Szintetikus képeket készítettünk, amelyeken meghatároztuk az üreg paramétereit. Kidolgoztunk egy új módszert az üreget kialakító bolygó pályaelemeinek és tömegének becslésére. A módszer az ALMA mérésein alapul.

Exobolygórendszerek

Felfedeztük a HAT-P-67b jelzésű exobolygót, amely egy forró szaturnusz egy gyorsan forgó F szubóriás körül. A bolygó nagyjából kétszer akkora átmérőjű, mint a Jupiter, a tömegére viszont csak felső korlátot lehetett meghatározni (<0,59 jupitertömeg). Doppler-tomográfia alkalmazásával kiderült, hogy a pályás és a csillag egyenlítője 12 fokos pontossággal egybeesik. Az exobolygó érdekessége, hogy nemcsak az egyik legkisebb sűrűségű ismert exobolygó, hanem a központi csillagától nagyon erős ultraibolya besugárzást kap, ezért jó célpont jövőbeli tranzitmérésekkel történő kiterjedt hidrogénburok keresésére ultraibolyában.

A TRAPPIST-1 rendszer K2-adatsorát vizsgálva 3,3 napos forgási periódusra utaló jelet találtunk. A fénygörbe számos flert mutat, amelyek energiáját megbecsültük. Nagyjából minden nyolcadik kitörés komplex esemény. A ferek és a rotáció között nincs egyértelmű kapcsolat. A TRAPPIST-1 kitörései feltehetőleg folyamatosan megváltoztatják a központi csillag körül keringő bolygók légkörét, így azok kevésbé lehetnek alkalmasak az élet számára.

Felfedeztünk egy exobolygójelöltet a HD 175370 katalógusjelű K2 III óriáscsillag körül. A jelölt legkisebb becsült tömege 4,6 jupitertömeg. A felfedezés egy dedikált Kepler-csillagos megfigyeléssorozat eredménye, amely közel öt és fél évig tartott. A rádiálissebesség-mérések egy hosszú távú trendre rakódó $349,5 \pm 4,5$ napos periódusú ingadozást mutatnak. A méréseket magyarázó legvalószínűbb konfigurációban a központi csillag körül ~88 éves periódussal kering egy kis tömegű kísértőcsillag távoli pályán, az exobolygó pedig meglepően excentrikus pályán kering. A kis amplitúdójú rádiálissebesség-változások lehetséges magyarázatai közül azonban nem zárható ki a csillagpulzáció sem.

A Naprendszer égitestjei

A 2007 OR₁₀ az egyik legnagyobb égitest a Kuiper-övben, amelynek lassú forgását a feltételezések szerint egy korábban nem ismert hold árapályereje okozhatja. A Hubble űrtávcső WFC3/UVIS kamerarendszerével készített archív felvételeken felfedeztünk egy égitestet, ami nagy valószínűséggel a 2007 OR₁₀ holdja. Bár a feltételezett holdat két időpontban is sikerült megfigyelni, ebből a pálya és a keringési periódus még nem volt egyértelműen meghatározható. A hold kb. 4,2 magnitúddal halványabb a fő égitestnél, ami 237 km-es átmérőnek felel meg, azonos albedókat feltételezve. Ezzel a felfedezéssel minden 1000 km-nél nagyobb égitest körül ismerünk már holdat a Neptunuszon túli vidéken, ami fontos megkorlátozás a korai Naprendszer holdkeletkezési elméleteire.

Előállítottuk a Jupiter ötvenhat trójai kisbolygójának teljes fázislefedettségű fénygörbéjét a Kepler űrtávcső K2 missziójában. Meghatároztuk a kiválasztási effektusoktól szinte teljesen mentes minta tagjaira a forgási periódusokat és amplitúdókat, amelyek illeszkedtek a korábbi statisztikákra. Az amplitúdók alapján a kettős égitestek részaránya $20 \pm 5\%$. A forgási periódusok eloszlása megerősíti a korábbról ismert, 5 órás forgási határt és a hozzá tartozó, üstököszerű, 0,5 g/cm³-es sűrűséghatárt, amely erősen porózus összetételt sugall a trójai kisbolygókra. A 65227 számú kisbolygó esetén két forgási periódust mutattunk ki, amely kettősségből vagy közelmúltbeli ütközésből eredhet.

A négy ismert, Neptunuszon túli törpebolygó egyike, a Haumea egy nagyon elnyúlt és gyorsan forgó égitest. A többi törpebolygóval ellentétben a Haumeának korábban még nem volt pontosan ismert a mérete, az albedója, valamint a sűrűsége. Intézeti kutatók egy kiterjedt nemzetközi kampányban vettek részt, amelynek során közel egy tucatnyi európai helyszínről sikerült megfigyelni egy csillag Haumea általi fedését. A fő fedésen kívül másodlagos fedési eseményeket is észleltünk, amiből arra következtettünk, hogy a Haumea körül egy 70 km vastag, kb. 2300 km átmérőjű gyűrű található. A gyűrű a Haumea egyenlítői síkjában, így a Hi'iaka nevű holdjának síkjában található. Megállapítottuk azt is, hogy a gyűrű részecskéi 3:1-es középmozgás-rezonanciában vannak a Haumea forgási periódusával. A csillagfedés alapján a Haumea égi vetülete 1704×1138 km átmérőjű ellipszis, amelyből nagyon pontosan meghatározható volt az égitest térbeli alakja és forgástengelyének helyzete is. A gyűrű felfedezésében kritikus fontosságúak voltak a Pizskéstetői Obszervatórium 1 m-es

RCC-teleszkópjának adatai, amelyeket egy EMCCD-kamerával, nagyon jó időfelbontással készítettünk.

Részt vettünk a 67P/Churyumov-Gerasimenko-üstököshöz küldött Rosetta-szonda OSIRIS képfelvévő rendszerével készült mérések elemzésében. A kilenc cikkben megjelent eredmények az üstökösmag kigázosodási folyamataira, a felszínformáló eseményekre, a gáz és por mozgásviszonyaira és egyéb kapcsolódó jelenségekre vonatkoztak. A Rosetta ugyan 2016 szeptemberében becsapódott a 67P magjába, így további mérések már nem készültek, az előtte az üstökös körül jó másfél évig tartó keringés során rengeteg adat született, amelyek további elemzése várhatóan még évekig munkát fog adni a szakembereknek.

Extragalaktikus asztrofizika

A blázrok olyan rádiósugárzó aktív galaxismagok, amelyek relativisztikus plazmanyalábja (jet) közel a látóirányunkba mutat. Kompakt, parszek skálájú rádiószerkezetük VLBI technikával feltérképezhető. Három egyedi, $z=5$ értéket meghaladó vöröseltolódású blazárt figyeltünk meg a koreai-japán KaVA (KVN and VERA Array) interferométerrel, magas frekvenciákon (22 és 43 GHz). Ezek voltak a KaVA legelső mérései nagy vöröseltolódású kvázárookra. Két célpont (J0131–0321, $z=5,18$ és J1026+2542, $z=5,27$) a detektálási határ alatt maradt mindkét frekvencián, így kompakt rádiósugárzásukra csak felső határt tudtunk adni. A legtávolabbi ismert blazárt (J0906+6930, $z=5,47$) azonban sikerült 22 GHz-en detektálni. Archiv 15 GHz-es VLBA (Very Long Baseline Array, USA) megfigyelések, és ugyanezen a frekvencián az Owens Valley Rádiócsillagászati Obszervatóriumban végzett fluxussűrűség-monitorozó mérések bevonásával megállapítottuk, hogy a forrás lassú, mérsékelt változásokat mutat. A kompakt jet kiterjedése kb. 5 pc. Ez, valamint a mért magas fényességi hőmérséklet jellemző a Doppler-nyalábolásnak kitett plazmanyalábokra, ami a blázrok jellegzetessége.

A 2017-es év vitathatatlanul legjelentősebb csillagászati felfedezése volt egy kettős neutroncsillag összeolvadásának megfigyelése többszornás mérésekkel: ez volt a GW170817 jelű gravitációshullám-esemény és a hozzá tartozó GRB 170817A jelű rövid gammakitörés. Intézeti munkatárs közreműködésével európai VLBI szakértők csoportja (*European VLBI Team*) bekapcsolódott a

jelenség utófénylésének megfigyelésébe, és megkísérelte kompakt rádiósugárzó forrás észlelését az EVN és e-MERLIN interferométerekkel. Míg a gravitációshullám-eseményt követően 16 nappal ívmásodperces skálán már sikerült felfedezni a rádiótartományú utófénylést, addig az ezred ívmásodperces szögfelbontást nyújtó interferométerek számára a jelenség a detektálási határ alatt maradt. A megfigyelési erőfeszítések ugyanakkor folytatódnak, hiszen az esetleges sikeres detektálás segíthet a kilonóva jelenségét követő rádiósugárzás fizikai mechanizmusára vonatkozó alternatív modellek közti választásban.

Hidrogénben szegény Ia/Ibc/Iib típusú szupernóvákban kerestünk H α -emisszióra utaló jeleket évekkel-évtizedekkel a robbanás után, ami a táguló SN-maradvány és a környező cirkumsztelláris anyag közti kölcsönhatásra utal. 99-ből 13 (9 Ibc, 1 Iib és 3 Ia) szupernóva esetében találtunk H α -pontforrást, amelyek közül 3 mutatott időben változó emissziót. Ezek mellett sikerült detektálnunk a 2014C Ib-típusú SN késői hidrogénemisszióját, amelyről nemrég fedezték fel, hogy erős kölcsönhatásra utaló jeleket mutat a rádiótól a röntgenig terjedő hullámhossztartományon.

38 hidrogénben gazdag IIP-típusú szupernóva késői ($103 < t < 1229$ nap) optikai színképeit megvizsgálva kimutattuk, hogy a gyorsabban halványodó késői fénygörbét mutató szupernóvákban a hélium kivételével minden emissziós vonal nagyobb fényességű, mint a lassabban halványodó szupernóvákban. Megállapítottuk, hogy minél nagyobb sugarú volt a szupernóva szülőobjektuma, annál vastagabb a maradvány oxigénben gazdag légköre. Egyes szupernóvákban ^{56}Ni aszimmetrikus kidobódására utaló jeleket találtunk. Spektrumaik jó egyezést mutatnak 12-15 naptömegű, kisebb fémtartalmú ($Z \leq 0,01$) szülőcsillagok robbanására vonatkozó elméleti modellekkel.

Nukleáris asztrofizika

Az év második felében elindult ERC Consolidator Grant által támogatott kutatócsoport (Maria Lugaro, az intézet 2014-es egyik Lendület-nyertes kutatója vezetésével) a galaktikus kémiai fejlődés részleteire fókuszált, különös tekintettel a különböző galaxisfejlődési feltételezések hatásának becslésére statisztikai módszerekkel, a Tejútrendszer kémiai fejlődését szimuláló kódok eredményeinek összehasonlítására, a kettős neutroncsillagok kialakulását övező események hatására az r-folyamat elemeinek feldúsulásában, illetve az r-folyamatban

keletkező elemek eredete területén a különböző szakterületek képviselőinek összekapcsolására (pl. a galaktikus kémiai fejlődés szakemberei és a LIGO/Virgo gravitációshullám-detektorok kutatói közötti együttműködés erősítése érdekében).

Felkért áttekintő cikket készítettünk a 6-12 naptömeg közé eső közepes tömegű csillagok életéről, haláláról és a nukleoszintézis megfigyelhető jeleiről. Ezek azok a csillagok, amelyek az életük végén szuper-AGB csillagokká fejlődnek. Részletesen megvizsgáltuk és jellemeztük a különböző kémiai összetételű (C-O, C-O-Ne, O-Ne) masszív fehér törpék eredetét és várható sorsát. A fejlődést befolyásoló legfontosabb tényezőket (kémiai összetétel, forgás, konvekció hatékonysága, nukleáris reakciók rátái, tömegvesztés sebessége és a harmadik felkeveredés hatékonysága) mind elemeztük, és diszkutáltuk a várható hatásokat. A szuper-AGB csillagokban zajló nukleoszintézist galaktikus perspektívába helyeztük.

Az MTA Atommagkutató Intézetével (Atomki) együttműködésben részt veszünk a LUNA nemzetközi kollaborációban. Az itt végzett munka egyik eredményeként első szerzős cikket jelentettünk meg a 2017-ben indult Nature Astronomy szaklap legelső számában. Vizsgálataink eredményeként megmutattuk, hogy a Gran Sasso alagútjában kimért új $^{17}\text{O}+p$ reakciós rátákkal első alkalommal sikerült megmagyarázni a közepes tömegű csillagokból származó meteoritszemcsék pontos izotóp-összetételét.

Laboratóriumi asztrofizika

A Csátalja meteorit sokkolt ásványainak az infravörös- és Raman-csúcsait egymással korreláltattuk mikroszondamérésekkel ellenőrzött kémiai összetételek függvényében. Ezek a korrelációs paraméterek sokkindikátorként használhatók, ráadásul korábbi, sokk-metamorf átalakulásokról szóló publikációkban infravörös adatokat ritkán használtak. Az új megfigyelések alapján a Csátalja meteorit gyengén sokkolt részén 2-6 GPa, 100 °C sokkátalakulás becsülhető, míg a jelentősen sokkolt területen (mozaikosság, mechanikai ikresedés) 5-10 GPa, 900 °C sokkátalakulás történt. Az erősen sokkolt terület (álszemcsésedett, olvadék tartalmú olivin-piroxén klaszterek) sokkátalakulása 10–15 GPa között történt, és a hőmérséklet elérhette az 1000 °C-ot.

Párbeszéd a tudomány és a társadalom között

A csillagászat iránt mutatkozó közérdeklődésre az intézet kutatói tudatosan és nagy elkötelezettséggel reagálnak. Rendszeresen szerepeltünk az írott és elektronikus sajtóban, tévé, rádió és internetes nyilatkozatok tucatjait tettük az év során. A tudománykommunikációban fontos csatornánk a www.csillagaszat.hu internetes hírportál, amelyet a Magyar Csillagászati Egyesülettel (MCSE) közösen működtettünk. Akadémiai infrastruktúra-fejlesztési támogatással 2017-ben kiépítettük a „Csillagászati és földtudományi kutatóképző szaklaboratórium” elnevezésű oktatási-tudománykommunikációs infrastruktúrát a normafai telephelyen, amely távlatilag egy látogatóközpont alapja lehet. Az ehhez kapcsolódó aktivitások összefogására és kezelésére a kutatóközpont (két civil szervezet, az MCSE és a Bajai Csillagvizsgáló Alapítvány kisebbségi tulajdonvállalása mellett) 2017-ben megalapította a Magyar Csillagászat Nonprofit Kft.-t. Az MCS Nkft. fontos szerepet fog játszani a 2019-ben Magyarországon megrendezésre kerülő Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia megszervezésében és lebonyolításában.



Hazai és nemzetközi kapcsolatok, pályázatok

Hazai: A beszámolási időszakban rendkívül eredményes intézményi kapcsolatokat tartottunk fent hazai csillagászati kutatóhelyekkel: Szegedi Tudományegyetem, Bajai Csillagvizsgáló, ELTE Csillagászati Tanszék, ELTE Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék, ELTE szombathelyi Gothard Asztrofizikai Observatóriuma és a debreceni Atommagkutató Intézet. A beszámolási időszakban is részt vettünk az egyetemi oktatásban és a doktori képzésben, meghirdetett előadásokkal, gyakorlatok tartásával, szakdolgozati, tudományos diákköri és doktori témavezetéssel. A 2017-es tanévben az alábbi kurzusokat tartottuk, illetve vettünk részt előadásokkal: ELTE: A Mars földrajza és geológiája; Asztrostatisztika I–II.; Az asztrofizika megfigyelési módszerei; Bevezetés a csillagászatba; Csillagkörüli korongok fejlődése; Csillagok világa; Csillagrendszerek dinamikája I–II.; Galaktikus csillagászat; Planetológia; Pulzáló változócsillagok és megfigyelésük; Rádiócsillagászat; A Naprendszer peremén. SZTE: Csillagászati spektroszkópia, Elméleti asztrofizika; Csillagászati megfigyelések; Fizika-Biofizika 2; Galaktikus csillagászat, Űrcsillagászati műszertechnika.

Nemzetközi: Továbbfolytattuk gyümölcsöző nemzetköziesített együttműködéseinket a Herschel, Gaia, KASC, TASC, CHEOPS, PLATO, LUNA, JINA, JUNA, Rosetta, HATNet, Matisse, Monxey (Monash Chemical Yields Project) projektekben. 2017-ben is számos esetben sikerült elnyerni észlelési időt, illetve elfogadtatni célpontokat csillagászati nagyműszerekre és űrtávcsövekre (APEX, ALMA, BRITE-Constellation, Subaru, Effelsberg, IRAM, K2, Spitzer, TESS, ESO VLT/VLTI, VLBI, e-Merlin, LBA, WHT) nemzetközi együttműködésben.

Rendezvények, mobilitás: Az év során több jelentős hazai és külföldi találkozó és szakmai workshop megrendezésében vettek részt az intézet kutatói: *JINA-CEE Frontiers meeting* (2017. február 7–9., East Lansing, USA); *Workshop on solar and stellar composition - similarities and differences* (Budapest, 2017. február 13–15.); *Early Earth and ExoEarths: origin and evolution of life* (Varsó, 2017. április 3–7.); Flux Emergence Workshop, ELTE, (Budapest, 2017. június 12–16.); *Forging Connections: From Nuclei to the Cosmic Web* (East Lansing, USA, 2017. június 26–29.); *European Week of Astronomy and Space Science* (Prága, 2017. június 26–30.); *TESSing Stellar Astrophysics. KASC10/TASC3*

konferencia (Birmingham, Egyesült Királyság 2017. július 16–21.); *Revival of the classical pulsators: from Galactic structure to stellar interior diagnostics*, RR Lyrae 2017 konferencia (Niepołomice, Lengyelország, 2017. szeptember 17–22); *Geoscience for understanding habitability in the solar system and beyond* (Furnas, Sao Miguel, Azori-szigetek, Portugália, 2017. szeptember 25–29.).

Az intézet kutatói több hosszabb **tanulmányutat** tettek több németországi Max Planck Intézetben, a potsdami Leibniz Asztrofizikai Intézetben, a Tübingeni Egyetemen, a Heidelbergi Egyetemen, a Sheffieldi Egyetemen (Egyesült Királyság), a Belga Királyi Observatóriumban, a Bécsi Egyetemen, a Brnoi Egyetemen (Csehország), a Koppenhágai Egyetemen (Dánia), a grenoble-i IRAM-központban, a barcelonai Universitat Politècnica de Catalunya-n, a granadai Instituto de Astrofísica de Andalucíában (Spanyolország), a Harvard Egyetemen (Cambridge, USA), az East Asian Observatory-ban (Hawaii, USA), a Monash Centre for Astrophysics-ben (Melbourne, Ausztrália), a University of Science and Technology of China-ban (Hefei, Kína), és a Nancsingi Egyetemen (Kína). **Vendégkutatókat** fogadtunk az Egyesült Államokból, Kanadából, Ausztráliából, Japánból, Kínából, az Egyesült Királyságból, Németországból, Hollandiából, Dániából, Finnországból, Olaszországból, Svédországból, Spanyolországból, Ausztriából, Svájcban, Csehországból, Lengyelországból és Szerbiából.

A 2017-ben elnyert hazai és nemzetközi pályázatok

Gaia Photometric Science Alerts for Variable Young Stellar Objects ESA-szerződés No. 4000121377/17/NL/CBi (témavezető Ábrahám P.) **123 ezer EUR**; NKFIH PD 123910 *Elfejlődött kompakt csillagok a fotometriai űrtávcsövek korában* (PI: Bognár Zs.) **15,2 M Ft**, Osztrák–Magyar Akció Alapítvány *Investigating the solar paradigm on cool stars* (Kövári Zs. vezetésével), **2,4 M Ft**, NKFIH K 125015 *Kisbolygók migrációja és a bolygókezdemények keletkezésének kezdeti feltételei* (témavezető Kiss Cs.) **46,6 M Ft**.