

SZABÓ RÓBERT – KISS CSABA

Az MTA CSFK Csillagászati Intézetének 2018. évi tevékenysége

A magyar csillagászat legnagyobb intézménye továbbra is az akadémiai intézet-hálózat részeként, a Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont nyújtotta keretek között működött. A beszámolási időszakban összesen 99 munkatársunk volt, akik közül 61 volt kutatói állományban (14 doktori fokozat nélkül, 33 PhD/kandidátus, 7 MTA doktora, 1 akadémikus, 6 emeritus kutató). Mindkét szám 10%-os növekedést jelent az elmúlt évhez képest. Az intézeti demonstrátorok 2017-ben bevezetett rendszerét továbbfejlesztettük: a piszkés-tetői megfigyelések és adatfeldolgozás mellett numerikus számításokra fókuszáló egyetemi hallgatókat is foglalkoztattunk gyakornokként. Alapfeladatunk továbbra is az élvonalbeli tudományos kutatás folytatása, de hangsúlyosan részt vettünk a felsőoktatásban egyetemi oktatóként és témavezetőként egyaránt, valamint jelentős aktivitást fejtettünk ki a tudományos eredmények széles körű terjesztésében is. Tevékenységünket részben az akadémiai alaptámogatásból, részben pedig saját pályázati bevételekből finanszíroztuk. Ehhez a legjelentősebb hozzájárulást a két futó ERC-pályázatunk (Kóspál Ágnes és Maria Lugaro vezetésével), a Kozmikus hatások és kockázatok és a Tranziens Asztrofizikai Objektumok című GINOP-pályázatok, valamint Szabó Róbertnek a beszámolási évben elnyert Lendület-pályázata adják.

Tudományos eredmények

Az intézet kutatói 2018-ban 486 tudományos közleményt publikáltak, ebből 131 nemzetközi, referált szakfolyóiratban jelent meg. Publikációs tevékenységünk kapcsán kiemелendő, hogy cikkeink többségét a csillagászat és asztrofizika legnagyobb hatású lapjai közölték, ami a nemzetközi élvonalhoz tartozást jelzi. Közleményeinkre 2018-ban több mint 4100 független hivatkozás érkezett, ami majdnem 60%-os növekedést jelent. A növekmény csaknem kétharmada intézetünk kutatóinak az ESA Gaia missziójában való részvételének köszönhető. Publikációink teljes listája elérhető a Magyar Tudományos Művek

Tára (MTMT) adatbázisában (mtmt.hu). Az alábbiakban csak a legfontosabb eredmények vázlatos bemutatására vállalkozhatunk.

A csillagok belső szerkezete és pulzációja

Az Intézet tudományos munkájának továbbra is fontos részét képezi a csillagok pulzációjának vizsgálata űrfotometriai módszerekkel. A Kepler/K2 misszió 2018-ban véget ért, de a megfigyelések még sok évre elegendő kutatási alanyt biztosítanak. A beszámolási időszakban elindult a NASA TESS bolygókereső űrtávcsőrendszere, így a megfigyelések és a vizsgálatok súlypontja várhatóan erre a műszerre fog áttevődni.

Az RV Tauri típusú csillagok pulzációját kaotikus dinamika hajthatja, azonban észlelési bizonyítékot erre nehéz találni. A Kepler űrtávcső 4 év hosszú, folyamatos fénygörbéjét vizsgálva Plachy Emese és munkatársai a káosz jeleit keresték az RVb típusú pulzáló szuperóriás csillag, a DF Cygni esetében. Globális fázistér-rekonstrukciós eljárással megbecsülték a pulzáció dinamikájának kvantitatív tulajdonságait. Elemzésük megmutatta, hogy a csillag pulzációja leírható egy 2,8 Ljapunov-dimenziójú kaotikus jellel. Ez a csillag a harmadik az RV Tau típusú és első az RVb altípusúak között, amelyről nemlineáris analízissel kimutatták, hogy alacsony dimenziójú káosz felelhet a pulzációban megjelenő szabálytalanságokért.

Jurcsik Johanna és munkatársai új adatokra és új módszerekre alapozva jelentős eredményeket értek el a Blazskó-effektus vizsgálatában. Az RR Lyrae csillagok közel fele eddig nem teljesen értett amplitúdó- és fázismodulációt mutat (Blazskó-effektus). Most először mutatták ki a Blazskó-modulációt a *K* fotometriai sávban, az OGLE-IV felmérés adataiból. Szintetikus légkörmodellek alapján kidolgoztak egy módszert a sugár, ill. a hőmérséklet változásból származó komponensek meghatározására a teljes fluxusváltozásból. Azt találták, hogy a modulációt elsősorban a hőmérséklet-változás határozza meg, míg a sugárváltozás szerepe marginális. Ez megerősíti azt az előzőleg kapott eredményt, hogy szignifikáns sugárváltozás csak a radiális sebességekben mutatható ki, aminek a mérése a csillaglégkör felsőbb rétegeiben kialakuló spektrumvonalakon alapszik. Az eredmény először nyújt betekintést a Blazskó-moduláció energetikájába és dinamikájába, és erős korlátot jelent annak lehetséges fizikai magyarázataira.

Benkő József megmutatta, hogy a Blazskó-efféktust mutató RR Lyrae csillagok észlelt fénygörbéit matematikailag legpontosabban az ún. majdnem periodikus függvényekkel lehet leírni, nem pedig modulált függvényekkel. A majdnem periodikus függvényekkel történő leírás egy új észlelhető efféktust is megjósolt: a fő pulzációs frekvencia harmonikusainak lehetséges eltolódását az egzakt többszörös pozíciókból. Ezzel az efféktussal magyarázható a V445 Lyr harmonikusainál talált, de korábban nem értett anomális viselkedés. Az elhanyagolás akkor mutatható ki, ha a Blazskó-efféktus okozta fázisváltozás erős, eléggé nemperiodikus jellegű, továbbá, ha az észlelési adatsor elegendően hosszú a frekvenciák pontos meghatározásához.

Aktív jelenségek csillagokon

Hosszú fotometriai észlelések, mint a Kepler űrtávcső mérései kiváló lehetőséget adnak a flerek tanulmányozására. Ezek azonosítása azonban nem egyszerű: néhány csillag esetén a feladat még könnyen elvégezhető, de ez szinte lehetetlen több ezer célpont több évnnyi adatával. Ugyan több automatizált elemző módszer is elérhető, ezekkel a hagyományos módszerekkel az analízis során számos probléma adódik. A kutatók Vida Krisztián vezetésével egy új, gépi tanuláson alapuló kódot fejlesztettek. A kódot a TRAPPIST-1 rövid mintavételezésű adatain és a KIC 1722506 jelű csillag hosszú mintavételezésű adatain tesztelték. A kód által visszaadott események és azok becsült energiái konzisztensek a korábbi, kézzel történt adatelemzés eredményeivel.

A mágneses aktivitáshoz köthető jelenségek a csillagokon a fősorozat előtti állapottól a vörös óriásáig megfigyelhetők. Ugyanakkor az ismert aktív óriáscsillagok száma sokkal kisebb, mint az aktív fősorozati csillagoké, mivel a fősorozati élettartamnak csupán töredéke a vörös óriáságon töltött idő. A relatíve gyors fejlődés miatt az óriások fizikai paramétereit jóval nehezebb megbecsülni. Szerencsésebb a helyzet, ha az aktív óriáscsillag fedési kettős rendszer tagja, mint a Kepler/K2 ötödik kampányában Oláh Katalin és munkatársai által felfedezett és vizsgált EPIC 211759736 aktív, foltos óriás esetében is. A fedés miatt a csillag paramétereit sokkal pontosabban meghatározhatók, mint általános esetben. Az űradatokat földi fotometriai mérésekkel kombinálva, valamint új radiálissebesség-mérésekkel sikerült a kettős rendszer paramétereit meghatározniuk, emellett foltmodelleket is készítettek az óriáscsillagra két kü-

lőnböző időszakra. Leírást adtak az óriás komponens forgásából, illetve hosszú időskálájú aktivitásából adódó fényváltozásaira. Úgy találták, hogy mind a fő-, mind a mellékkomponens valós tömege nagyobb a Hertzsprung–Russell-diagramon elfoglalt helyük alapján várt értéknél. Az eltérés lehetséges magyarázata az erős mágneses tér jelenléte.

Napaktivitás

A napkitörések oka a napkoronabeli mágneses tér konfigurációjának instabilitása. Ha ennek következtében a térszerkezet hirtelen megváltozik, jelentős energia szabadul fel, és a kiegyensúlyozatlan mágneses erők hatására a korona anyagának egy része kidobódhat. Ezeknek a nagyobb koronakidobódásoknak komoly földi hatásai is lehetnek, de előrejelzésük egyelőre gyerekcipőben jár. Korsós Marianna és munkatársai az űridőjárás „mozgatórugóit”, a Nap aktív régióinak viselkedését és fejlődését vizsgálták a napkitörések előtt, a korábban kidolgozott ún. súlyozott horizontális mágneses gradiens módszerrel. Ebben a vizsgálatban külön kezelték a csak flerező és a fler mellett koronakitörést is produkáló aktív területeket. A horizontális mágneses gradiens időbeli fejlődésének vizsgálatával egy potenciálisan fontos diagnosztikai eszközt találtak, amely képes megadni, hogy az aktív terület, amelyen a napkitörés történik, csak flert vagy flert és kidobódást is fog-e mutatni. Megállapításaik szerint arról van szó, hogy ha az egyik mágneses polaritás koordináta-középpontja időben nem változik jelentősen, míg a másik polaritásé igen, akkor az aktív terület a fleren kívül egyben nagyobb anyagkidobódás forrásává is válik. Ellenben, ha mind a két mágneses polaritás koordináta-középpontja időben jelentős mértékben változik, akkor csak flerjelenség várható. A flert megelőző jelenségeket háromdimenziós MHD-szimulációkkal is sikerült reprodukálni, ami ígéretes eredmény a huszonegyedik századi napfizika egyik legégetőbb kérdéskörében.

Csillag- és bolygókeletkezés, az intersztelláris anyag fizikája

A V582 Aur FU Orionis típusú, fősorozat előtti csillag 1985 óta kitörésben van. A kitörés jelenleg viszonylag állandó fényességű időszakában van, de ezen be-

lül megfigyelhetők fotometriai és spektroszkópiai változások. Ábrahám Péter és munkatársai jellemezték az objektum kitörés előtti állapotát, feltérképezték környezetét, és követték a kitörés menetét. Különös figyelmet fordítottak a 2012-es és a 2016 óta tartó jelentős elhalványulás megfigyelésére és fizikai eredetének megértésére. Felhasználták a Csillagászati Intézet Schmidt-távcsövének fotolemez-gyűjteményét, valamint új optikai, infravörös és milliméteres fotometriai és spektroszkópiai megfigyeléseket végeztek. Eredményeik szerint kitörés előtt a forrás egy átlagos, kis tömegű T Tauri csillag lehetett, amely körül egy felbontatlan, mintegy 0,4 naptömegű szerkezet, valószínűleg csillag körüli korong látható. A színváltozások azt sugallják, hogy mindkét minimum magyarázható a látóirányú fényelnyelés időszakos megnövekedésével. Az akkréciós korong modellillesztései szerint a fényelnyelés jelentősen nőtt, miközben az akkréció üteme gyakorlatilag változatlan maradt. Az extinkciós változásokért a csillag körül keringő sűrű porszerkezetek lehetnek felelősek.

A DQ Tau-t régóta vizsgálják az intézet kutatói. Két, szinte azonos tömegű fiatal csillagból álló kettős rendszerről van szó, melynek komponensei 15,8 naponként kerülnek meg egymást. A kettőst egy korong is körbeveszi. Legutóbb Kóspál Ágnes vezetésével több intézeti kutatócsoport összefogásával, földi és űrtávcsövek segítségével több hullámhosszon rögzítették a rendszer fényességváltozásait a korábban elérhetőnél sokkal nagyobb pontossággal és jobb időfelbontással. Többféle változást figyeltek meg: csillagfoltok okozta forgási modulációt, csillagflek miatti gyors felfényléseket, a periasztron körül történő hosszabb kifényesedéseket a megnövekedett tömegbefogás miatt, valamint rövid elhalványodásokat a csillag körüli anyag fedései miatt. Nyolcvan napos monitorozásuk során 40 flet detektáltak, amelyek néhány órán át tartottak. A flek profilja hasonló ahhoz, amit idősebb csillagoknál is megfigyelhetünk, és megjelenésük nem korrelál sem a kettős keringési, sem a csillagok forgási periódusával. Minden periasztronnál megemelkedett akkréciós rátát figyeltek meg. A rendszerben rövid, csekély mértékű elhalványodásokat is megfigyeltek, amelyek hasonlóak a sok más fiatal csillagnál megfigyelt „dipper” jelenséghez.

A kialakulófélben levő bolygórendszerekben, azaz a fiatal csillagok körüli törmelékcorongokban gyakran megfigyelhető egy üreg. Az ilyen üregek kialakulásának lehetséges magyarázata egy korongba ágyazott óriásbolygó gravitációs perturbációja. A nagy tömegű testhez közel elhaladó bolygócsírák (planetézimálok) egy kaotikus zónaként ismert, kiürített régiót eredményeznek. Az

egymást átfedő középmozgás-rezonanciák elmélete alapján meghatározható az ilyen üregek szélessége. Annak eldöntésére, hogy a megfigyelt üregek megfigyelhetők-e a kaotikus zónának, Regály Zsolt és munkatársai ütközésmentes n -test-szimulációkat futtattak. Ezekből szintetikus képeket készítettek, amelyeken meghatározták az üregek paramétereit. Az üregek méretének meghatározására empirikus formulákat állítottak fel, és kidolgoztak egy új módszert az üreget kialakító bolygó pályaelemeinek és tömegének becslésére is, amely az Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) etalonnak számító mérésein alapul.

Exobolygórendszerek

Dobos Vera és Kiss László Amy C. Barr amerikai csillagással kooperációban feltérképezték a TRAPPIST-1 rendszer bolygóinak valószínűsíthető belső szerkezetét, és ez alapján meghatározták a csillag gravitációs hatásából származó árapályfűtésüket. Azt találták, hogy a d és az e bolygók lehetnek lakhatók, ám a d bolygó csak akkor kerülheti el a megszaladó üvegházhatást, ha az albedója legalább 0,3. Ha a bolygók tömegét 0,1–0,5 földtömeg pontossággal ismernénk, akkor megállapítható lenne, hogy melyik bolygó tartalmaz jelentős mennyiségű vizet/jeget vagy vasmagot.

Fedési exobolygók keresése közben, a HATNet-felmérés keretében Kovács Géza közreműködésével fedezték fel a HAT-TR-318-007 nevű rendszert, amely egy 3,3 nap periódusú kétvonalas fedési kettős, M-törpékből áll, és teljes másodlagos fedéseket mutat. A komponensek tömegének és sugarainak meghatározásához radiális sebességeket, számos földi, valamint a K2 ötödik kampányából származó fényességmérést használtak. Az eredményeket összehasonlították a Dartmouth csillagfejlődési modellekkel, amiből az derült ki, hogy a rendszer 6,6 milliárd évnél idősebb.

A Naprendszer égitestjei

A Kepler űrtávcső ekliptika környéki mezőket megfigyelő K2 missziója lehetővé tette nagy számú kisbolygó több napon át tartó, folytonos észlelését. Az egyik ilyen területen, amelyet eredetileg az Uránusz megfigyelésére választot-

tak ki, Molnár László és munkatársai 608 aszteroidát azonosítottak és követték nyomon a fényességük változásait. Ennek alapján 90 célpontra lehetett forgási periódust származtatni, 86 kisbolygóra elsőként. További 16 célpont esetében részleges ciklusokat és-vagy fedésre utaló jeleket találtak a kutatók. Adataik alapján a főövi kisbolygók medián forgási periódusa egyértelműen hosszabb, mint a földi megfigyelések alapján kapott jellemző értékek, jelezve, hogy utóbbiakban általában csak a rövidebb, tipikusan egyetlen éjszaka alatt kimérhető forgási periódusokat veszik észre, a hosszabb periódusokat nem. A kisbolygók perióduseloszlása fontos információkat hordoz a kisbolygók ütközési fejlődéséről és arról is, hogy pl. a napsugárzás hogyan befolyásolja, gyorsítja vagy lassítja a kisbolygók forgását.

A Kepler-űrtávcső K2 missziójához hasonlóan a TESS űrtávcső is számos kisbolygót tud megfigyelni folyamatosan, a földi megfigyeléseknél jellemzően sokkal hosszabb ideig. Egy összehasonlító tanulmányban Pál András és munkatársai a Kepler/K2 és a TESS kisbolygó-megfigyelései közötti hasonlóságokat és különbségeket vizsgálták a Naprendszerrel kapcsolatos kutatási irányok és a várható adatmennyiség szempontjából. A TESS szinte a teljes égboltot le fogja fedni, 27 napos kampányok során gyűjtött idősor-adatokkal. Az űrtávcsövet négy, egyenként 24×24 fokos látómezejű kamerával szerelték fel. Ugyan az elsődleges misszióban az ekliptikai síkot nem fogja észlelni, a fő kisbolygóöv és a Kuiper-öv jellemző skálamagasságai alapján azonban jelentős mennyiségű naprendszerbeli égitest fog áthaladni a TESS egyik, az ekliptikához legközelebbi területek felé néző kamerája előtt. A TESS várhatóan hatékonyabb lesz a Keplernél. Előbbi csak fényesebb naprendszerbeli égitestekről tudott fotometriai idősorokat – így forgási adatokat – szolgáltatni, de a TESS-minta térbeli és fázistérbeli szempontokból teljesebb és homogénebb lesz.

Sikerült olyan területeket azonosítani a Marson (Kereszturi Ákos, Pál Bernadett), ahol éjszaka a légkör felszín feletti 1-2 m-es magasságban anomálishan magas lesz a relatív nedvességtartalom, ami aztán az ott jellemző, alacsony hőmérséklet ellenére kedvez a sók elfolyósodásának. Éghajlati modell alapján ezek a területek a felszín alacsony hőtehetetlenségű vidékei. Tovább folytattuk a marsfelszín közepes szélességű, jéggel és vízzel kapcsolatos felszíninformáinak feltérképezését és elemzését is. A térképezés alapján az Utopia és az Amazonis Planitia síkságok területén három, eltérő vastagságú és korú, jégtartalmú üledékes rétegre utaló nyomokat sikerült azonosítani, amelyek éghajlatváltozásokkal kapcsolatban keletkezhetnek.

Galaktikus és extragalaktikus asztrofizika

Az év második felében indult új Lendület-csoport, az MTA CSFK Lendület Lokális Kozmológia Kutatócsoport a Tejútrendszer szerkezetét kutatja pulzáló változócsillagokkal. Ebben ötvözi az egyedi csillagok tulajdonságainak vizsgálatát űrfotometriai eszközökkel, a nagy égboltfelmérések eredményeivel, mindehhez Big Data algoritmusokra és gépi tanulásra alapuló módszereket fejleszt. Eredményeik egy részét az Európai Űrügynökség Gaia asztrometriai missziója keretében érték el. A 2013-ban felbocsátott űreszköz több mint másfél milliárd csillag pozícióját, távolságát és mozgását méri rendkívüli pontossággal, ami a Tejútrendszer kialakulásának és fejlődésének jobb megértéséhez nyújt páratlan lehetőségeket.

Az intézet számos kutatója vett részt a Gaia misszió második adatkibocsátásának (Gaia DR2) előkészítésében. Ez a 21 magnitúdónál fényesebb égi források asztrometriáját, fotometriáját és radiális sebességeit tartalmazza, továbbá információkat ad asztrofizikai paramétereikről és fényességváltozásairól is. A Gaia DR2 az űrtávcső által 22 hónapon át gyűjtött adatok alapján 1,7 milliárd forrás égi pozícióját és G-sávban mért fényességét adja meg. Ebből 1,3 milliárd forrásra parallaxis és sajátmozgás-értékek is rendelkezésre állnak. A Gaia DR2 több mint félmillió változócsillagként azonosított forrást tartalmaz, ezeknek körülbelül fele új felfedezés. Az intézet kutatói fontos szerepet játszottak a változócsillag-jelöltek azonosításában és részletes vizsgálatában is. Ezeken kívül hozzájárultak többek között a Tejútrendszer korongjának kinematikáját, a gömbhalmazok és törpegalaxisok mozgását, és az előbbieket forgását célzó vizsgálatokhoz is. A DR2 fontos mérföldkő a 21. század asztrofizikájában, amit jól mutat, hogy a katalógust részletező egyetlen szakcikk másfél év alatt közel kétezer hivatkozást szerzett.

Vinkó József vezetésével egy nagyobb intézeti csapat négy közeli Ia-típusú szupernóva abszolút távolságát határozta meg hazai távcsövekkel mért, nagy jel-zaj viszonyú, sűrűn mintavételezett többszín-fotometriai adatok alapján. Az eredmények összehasonlításából megállapították, hogy a kevésbé vörösödött szupernóvák távolságmodulusai 0,2 magnitúdón belül konzisztensek egymással, sőt a legjobb jel-zaj viszonyú *BVRI* adatokra az egyezés jobb mint 0,1 magnitúdó. Az erősen vörösödött SN 2014J-re ezek az eltérések valamivel nagyobbak bizonyultak. Általában a szupernóvákra alapuló távolságok jól egyeznek a szülő galaxisaik cefeidákból meghatározott távolságaival. Kö-

vetkeztetésük szerint a jelenleg használt technikákkal a közeli Ia szupernóvák fotometriai távolságmodulusai 0,1–0,2 magnitúdó szisztematikus hibával terhelték. További fejlesztések szükségesek a kívánt 0,05 magnitúdónál kisebb bizonytalanság elérése érdekében.

Egy nemzetközi csoport Frey Sándor vezetésével két nagy vöröseltolódású aktív galaxismag VLBI-méréseit végezte egy globális rádióteleszkóp-hálózattal, 2,3 és 8,6 GHz frekvencián. A célpontok állandó fényessége lehetővé tette, hogy öt különböző időpontban végzett mérések adatait kombinálják. Ezzel a megoldással sikerült érzékeny, nagy felbontású térképezést végrehajtaniuk. Most először készült VLBI-térkép az egyik legnagyobb ismert vöröseltolódású blazárról (J0906+6930) 8 GHz-nél alacsonyabb frekvencián. Megerősítették, hogy a látóirányhoz közel mutató anyagáram (jet) égboltra eső vetülete a mag közelében spirális szerkezetű. Eredményeikkel sikerült demonstrálni, hogy az alapvetően asztrometriai és geodéziai célból végzett VLBI-méréseknek is lehet asztrofizikai alkalmazása.

Nukleáris asztrofizika

A Maria Lugaro által vezetett nukleáris asztrofizika kutatócsoport a nehéz elemek kialakulási körülményeit és a galaktikus kémiai fejlődés részleteit tanulmányozza. Többek között vizsgálták a kettős neutroncsillagok összeolvadásakor végbemenő, a LIGO/Virgo detektorok által észlelhető gravitációs-hullám-eseményekhez vezető folyamatokat is. A kutatócsoport a GW170817 neutroncsillag-összeolvadásból származó gravitációs-hullám-megfigyelést a Tejútrendszer kémiai fejlődése szempontjából vizsgálta, és megmutatták, hogy a neutroncsillag-összeolvadások a gyors neutronbefogási folyamatban (ún. r-folyamat) létrejövő elemek, pl. az arany legfontosabb forrásai lehetnek. A modell szerint a társuktól anyagot nyerő és később szupernóvaként felrobbanó fehér törpék jelentős mértékben hoznak létre neutronbefogással létrejövő elemeket (cirkónium, stroncium) az ún. köztes neutronbefogással (más néven i-folyamat). Ez megmagyarázhatja a Napban mérhető és az elméletileg várt elemgyakorlatok közötti korábbi eltéréseket.

Néhány nehéz elem, pl. az arany és az eurórium szinte kizárólag a gyors neutronbefogási folyamatban jön létre, ugyanakkor az nem tisztázott, hogy milyen asztrofizikai események lehetnek ennek a legjelentősebb forrásai. A galaxisok

kémiai fejlődési modelljei ezt leginkább az eurórium gyakoriságának mérésével tudják tesztelni. Jelenleg a neutroncsillag-összeolvadások a népszerű jelöltek, de ezek gyakoriságának tükröznie kell azt, amit gravitációs hullám megfigyelésekből látunk. A kutatócsoport által végzett vizsgálat szerint a LIGO/Virgo által megfigyelt események számából kapott neutroncsillag-összeolvadások gyakorisága kiválóan egyezik azzal, amit a Tejútrendszer kémiai fejlődési modelljeiben kell használnunk, ahhoz hogy megkapjuk az eurórium észlelt gyakoriságát. Ennek alapján a GW170817 gravitációshullám-esemény mintegy 1-5 földtömegnyi euróriumot és 3-13 földtömegnyi aranyat termelhetett.

Laboratóriumi asztrofizika

A hazánkban talált Csátalja-meteorit további elemzése alapján a vizsgált mintában egy jelentős nagyságú lökéshullám hatását sikerült kimutatni. A fejlődéstörténet rekonstrukciójával egy korai, töredezéses és gyengébb sokkhatású időszakot egy intenzívebb sokkolódásos periódus követett, amikor kőzetolvadék is létrejött. Az ESA Hera kisbolygóhoz induló küldetését támogató NEO-METLAB nevű ESA-projekt keretében Kereszturi Ákos és munkatársai meteoritok infravörös színekeit rögzítették, hogy az alapján meg lehessen becsülni, mely hullámhossztartományokat érdemes figyelni egy tervezett infravörös tartományra érzékeny detektornak. Folytatták a Mars-releváns földi ásványok és kőzetek elemzését, amelynek keretében földi minták alapján infravörös és Raman-módszerekkel hasonlították össze a kritikus összetevők azonosításának módszereit. Kiderült, hogy sok esetben csak röntgenmódszerrel különíthetők el fontos ásványok, ami főleg az agyagásványok esetében ad megbízható eredményt. Az infravörös módszer a gyengén kristályos (pl. vulkáni eredetű üveges) szerkezetek vizsgálatánál hasznos, ugyanakkor karbonát- és agyagásvány-határozáshoz nem ideális. A Raman-módszer az egyes ásványcsoportok tagjainak elkülönítésében segíthet.

Műszerfejlesztés

A CAMELOT (Cubesats Applied for MEasuring and LOcalising Transients) egy flottányi tervezés alatt álló nanoműhold, amelyek a teljes égbolt felmérését

és gammatartományba eső tranziens események időpontjának pontos mérésén alapuló helymeghatározását fogják végezni. Az egyetemi–akadémiai–ipari együttműködésben megvalósuló misszióhoz elkészült a Pál András vezetésével tervezett digitális elektronika prototípusa. Az elektronika által biztosított GPS alapú időbélyegzési eljárás bizonyítottan képes a gammafotonok beérkezési időpontjának 0,02 milliszekundumnál pontosabb meghatározására. Ez megfelel egy hozzávetőlegesen 3,5 ívperc pontosságú szinkronizált időmérési technikán alapuló helymeghatározásnak. További finomításokkal ez a pontosság akár a mikroszekundum alatti szintre is tökéletesíthető lesz.

Párbeszéd a tudomány és a társadalom között

A csillagászat iránt mutatkozó hatalmas érdeklődést komolyan véve az Intézet kutatói nagy intenzitással végeznek ismeretterjesztő munkát, és reagálnak minden megkeresésre. Munkájukat több száz médiamegjelenés, félszáznál több ismeretterjesztő előadás, ennél is több írás és fordítás jelezte 2018-ban is. A 2017-ben alapított Magyar Csillagászat Nonprofit Kft. segítségével hatalmas lépéseket tettek a 2019-ben Magyarországon megrendezett Nemzetközi Csillagászati és Asztrofizikai Diákolimpia előkészületi munkáiban. A részben akadémiai infrastruktúra-fejlesztési támogatással elkezdett, 2018-ban jórészt önerőből folytatott és a befejezéshez közel álló „Csillagászati és földtudományi kutatóképző szaklaboratórium” próbaüzeme megtörtént. A tervek szerint 2019-től a 60 cm-es teleszkóp is – az ország legnagyobb bemutató távcsöveként – hadra fogható állapotban várja majd a látogatókat. Tavasszal egy bárki számára elérhető csillagászati alaptanfolyam gyakorlati félévének adott otthont a szaklaboratórium. A tudomány és a kultúra ötvözését szolgálta a normafai telephelyen rendezett képzőművészeti kiállítás, komolyzenei hangverseny és – Budapest város építészeti öröksége részeként – a Svábhegyi Csillagvizsgálót bemutató séták is.

Hazai és nemzetközi kapcsolatok, pályázatok

Hazai: A beszámolási időszakban rendkívül eredményes intézményi kapcsolatokat tartottunk fent hazai csillagászati kutatóhelyekkel: Szegedi Tudo-

mányegyetem, ELTE Fizikai Intézet, 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 2018-as tanévben az alábbi kurzusokat tartottuk, illetve vettünk részt előadásokkal: ELTE: A Mars földrajza és geológiája; Asztrostatistika II.; Az asztrofizika megfigyelési módszerei; Bevezetés a csillagászatba; Csillag körüli korongok fejlődése II.; Csillagok világa; Csillagrendszerek dinamikája I.; Galaktikus csillagászat; Planetológia; Rádiócsillagászat II.; A Naprendszer peremén I., Exobolygók I.; Észlelési gyakorlat; Asztrobiológia; Legújabb eredmények a napfizikában; Mágneses aktivitás késői típusú csillagokon; Űrfotometria. SZTE: Csillagászati spektroszkópia; Elméleti asztrofizika II.; Galaktikus csillagászat. DE: Bevezetés a csillagászatba.

Nemzetközi: Tovább folytattuk gyümölcsöző nemzetközi együttműködéseinket a Gaia, KASC, TASC, CHEOPS, PLATO, ARIEL, Rosetta, LUNA, NuGrid, JINA, JUNA, HATNet, Matisse, ChETEC (Chemical Elements as Tracers of the Evolution of the Cosmos), Europlanet, SBNF (Small Bodies Near and Far), CID (Chemistry in Disks), SoFAR (Seismology of fast rotating stars), GALAH, WEAVE, LSST, HETDEX projektekben. 2018-ban is számos esetben sikerült elnyerni észlelési időt/célpontokat csillagászati nagyműszerekre és űrtávcsövekre (APEX, ALMA, CFHT, IRAM, K2, Spitzer, TESS, ESO VLT/VLTI, SMA, VLA, VLBI, e-Merlin, LBA, EVN, RadioAstron, XMM-Newton) nemzetközi együttműködésben.

Rendezvények, mobilitás: Az év során több jelentős hazai és külföldi találkozó és szakmai workshop megrendezésében vettek részt az intézet kutatói, ezek: Elemental composition in solar and stellar atmospheres & magnetic activity workshop (2018. február 27. – március 1., Budapest), Life on Earth and Beyond Conference (2018. március 19–24., Bertinoro, Olaszország), ARIEL workshop (2018. június 26–27., Budapest), AOGS 15th Annual Meeting (2018. június 3–8., Honolulu, Hawaii), 9th VLTI Summer School (2018. július 9–14. Lisszabon, Portugália), Observing techniques, instrumentation and science for metre-class telescopes II, (2018. szept. 24–28., Tátralomnic, Szlovákia).

Az intézet kutatói több hosszabb **tanulmányutat** tettek több németországi Max Planck Intézetben, a darmstadti Műszaki Egyetemen, a potsdami Leibniz Asztrofizikai Intézetben, a Heidelbergi Elméleti Tanulmányok Intézetében,

a Hulli Egyetemen (Egyesült Királyság), a Jodrell Bank Asztrofizikai Központban (Egyesült Királyság), a Joint Institute for VLBI ERIC (Dwingeloo, Hollandia), a Bécsi és Grazi Egyetemeken, a grenoble-i IRAM-központban, a párizsi Institute de Physique du Globe-ban, az International Space Science Institute-ban (Svájc), az ETH-n Zürichben, a barcelonai Catalunya Egyetemen, az Oslói Egyetemen (Norvégia), a Laval Egyetemen (Québec City, Kanada), a Space Telescope Science Institute-ban (Baltimore, USA), az MIT Kavli Intézetében (Boston, USA), a Center for Astrophysics-ben (Cambridge, USA), a Caltech-en (USA), a Texasi Egyetemen (Austin, USA), a McDonald Obszervatóriumban (USA), az ESO Paranal Obszervatóriumában (Chile), a Monash Egyetemen (Melbourne, Ausztrália), a Nishi-Harima Csillagászati Obszervatóriumban (Japán), a Kínai Műszaki és Tudományegyetemen (Hefei, Kína), a Nankingi Egyetemen (Kína), a Kínai Tudományos Akadémia Sanghaji Csillagászati Obszervatóriumában, valamint Bécsben és Lisszabonban nyári egyetemeken, a Taberna-sivatagban (Spanyolország) terepmunkán vettek részt. **Vendégkutatókat** fogadtak az Amerikai Egyesült Államokból, Ausztráliából, Ausztriából, a Dél-Afrikai Köztársaságból, az Egyesült Királyságból, Franciaországból, Japánból, Kínából, Mexikóból, Németországból, Olaszországból, Oroszországból, Svájcól, Szerbiából és Tajvanról.

A 2018-ban elnyert hazai és nemzetközi pályázatok

Lokális kozmológia pulzáló változócsillagokkal (MTA Lendület-II 2018–2023, PI: Szabó Róbert, 195 M Ft); CAMELOT cubesat projekt – Nagyenergiás asztrofizikai folyamatok megfigyelése (MTA KEP Kiválósági Együttműködési program 2019–2021, PI: Kiss L. László, 38,33 M Ft); Bolygókeletkezés élőben (NKFIH PD 2018–2021, PI: Marton Gábor, 15,807 M Ft); Klasszikus pulzáló csillagok és a Blazskó-effektus (NKFIH NN 2018–2022, PI: Jurcsik Johanna, 44,172 M Ft); Napfoltcsoportok visszafejlődési folyamatának tulajdonságai (NKFIH FK 2018–2021, PI: Muraközy Judit, 16,681 M Ft); Nagy léptékű földi és űrbeli áttekintő programok szinergiája (NKFIH K 2018–2022, PI: Kovács Géza, 46,216 M Ft); Fiatalkorú törmelékkorongok por- és gázanyagának tanulmányozása infravörös és milliméteres technikákkal (NKFIH KH 2018–2020, PI: Moór Attila, 19,914 M Ft); A vason túli elemek keletkezése (NKFIH KH 2018–2020, PI: Maria Lugaro, 19,976 M Ft); Kozmikus világítótornyok

asztroszeizmológiája (MTA Prémium posztdok 2019–2021, PI: Molnár László, 32,012 M Ft); EU H2020 Cost Action CA18104 Revealing the Milky Way with Gaia 2019–2021 (magyar koordinátor: Szabó Róbert).



A piszkéstetői 1 m-es RCC-távcső körkékelyére felszerelt egyik meteorkamera egység, amely egy digitális videokamerát és egy DSLR fényképezőgépet, valamint egy gyors fénymérőt tartalmaz. Az obszervatóriumban öt ilyen egység kapott helyet, melyekkel a teljes égbolt egyszerre figyelhető. A projekt az NKFIH 2.3.2.15-2016-00003 számú „Kozmikus hatások és kockázatok” című GINOP-pályázat támogatásával valósul meg.