

A korábban beszerzett 3 méteres kupolát szeptemberben szállítottuk végleges helyére, a Csillagtanyára (köszönet a Bégányi Special Transportnak!). A tanyaházban új kis irodahelyiséget alakítottunk ki, szerszámtárolót építettünk, és se szeri, se száma a kisebb-nagyobb átalakítási, felújítási munkáknak. A kupolában az észlelőtér kialakítása még váratott magára, miként az észlelőudvar megfelelő kialakítására sem volt lehetőség. Az előrehaladás így is jelentős, hiszen az év jó részében csak a legszükségesebb karbantartási, állagmegóvási munkákra volt mód.

KISS CSABA – SZABÓ RÓBERT

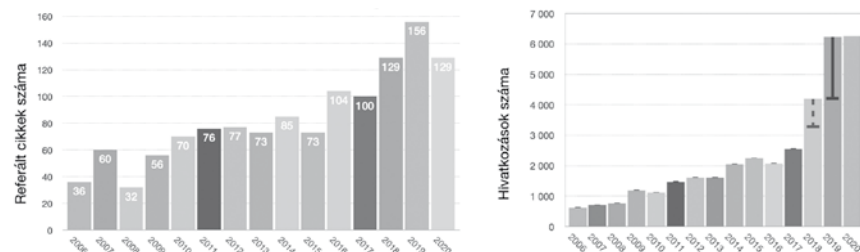
A CSFK Csillagászati Intézetének 2020. évi tevékenysége

A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete 2020-ban immár az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat irányítása alatt, MTA Kiváló Kutatóhely minősítéssel működött, és folytatta kutatási tevékenységét a csillagok fizikája, a fiatal csillagok, a csillag- és bolygókeletkezés, a csillagok és a Nap aktivitása, nukleáris asztrofizika, a Naprendszer égitestjeinek vizsgálata, galaktikus és extragalaktikus csillagászat, tranziensek asztrofizikája, nagy égboltfelmérések, űrcsillagászat és a csillagászat története témakörökben. 2020-ban 68 kutató dolgozott az intézetben (19 fokozat nélküli, 35 PhD/kandidátusi címmel rendelkező, 9 MTA doktora, 1 akadémikus és 6 emeritus kutató). Megjegyzendő, hogy a kutatók létszáma több mint duplájára nőtt a 2000-es évek elejéhez képest, elsősorban az intézet munkatársai által elnyert nagy, hazai és nemzetközi pályázatoknak köszönhetően. A kutatókon kívül 18 nem kutatói besorolású, könyvtáros, gazdasági, műszaki, informatikai területen dolgozó állandó és számos eseti megbízással foglalkoztatott munkatársunk volt. Az intézet alapfeladata továbbra is az élvonalbeli tudományos kutatás, de munkatársaink aktívan részt vettek a tudományos közéletben, a felsőoktatásban egyetemi oktatóként és témavezetőként, valamint a tudományos ismeretterjesztésben is. Az akkreditált kutatócsoportok száma nem változott, továbbra is hét kutatócsoport működik az intézetben: létszámát tekintve a legnagyobb kutatócsoport a Konkoly Űrcsillagászat, Bolygó- és Csillagkeletkezési Csoport (Ábrahám Péter vezetésével, mely többek között tartalmazza Kóspál Ágnes „SACCRED” ERC Starting Grant csoportját is); Asztrofizikai és Geokémiai Laboratórium (Kereszturi Ákos); Naprendszerkutató Csoport (Kiss Csaba); Csillagpulzáció, Űrfotometria, Exobolygók Kutatócsoport (SPEX, amely magában foglalja az MTA Lendület Lokális Kozmológia Kutatócsoportot is; mindkettőt Szabó Róbert vezeti); Lendület „AGB Nuclei & Dust” (LAND) és RADIOSTAR ERC-csoport Maria Lugaro vezetésével; Nap- és Csillagaktivitás Kutatócsoport (SOLSTART, Kővári Zsolt); Extragalaktikus Asztrofizika Kutatócsoport (Vinkó József). 2020-ban is folytatódtak azok a pályázatok, amelyek az ELKH-től származó alapfinanszírozás és több kisebb, hazai és nemzetközi pályázat mellett már korábban is jelentős hozzájárulást

adtak az intézet költségvetéséhez; ezek a Maria Lugaro és Kóspál Ágnes által vezetett ERC pályázatok, a Kozmikus hatások és kockázatok és a Tranzien Asztrofizikai Objektumok című GINOP-pályázatok, valamint Szabó Róbert Lendület-pályázata.

Tudományos eredmények

A Csillagászati Intézet kutatói 2020-ban 317 tudományos közleményt publikáltak, ebből 129 jelent meg a csillagászat, fizika és planetológia nemzetközi, referált szakfolyóirataiban. Ez enyhe csökkenés az előző évhez képest, ami egyértelműen a koronavírus-járvány okozta nehézségeknek tudható be. Hasonlóan a korábbi évekhez, a referált cikkek 90%-a a legnagyobb hatású (Q1), ezen belül 10% kiemelt hatású (D1) folyóiratokban jelent meg. Tudományos közleményeinkre mintegy 6000 hivatkozás érkezett, amivel ebben a tekintetben megismételtük a 2019-es rekord évet. Az intézeti publikációk teljes listája elérhető a Magyar Tudományos Művek Tárában (mtmt.hu). Az eredmények közül az alábbiakban mutatunk be egy korántsem teljes válogatást.



1. ábra A Csillagászati Intézet által az utóbbi években referált folyóiratokban publikált cikkek száma (balra), illetve a cikkekre kapott független hivatkozásoké (jobbra). A 2018-as és 2019-es hivatkozási számok oszlopain a jelek az ESA Gaia-űrtávcsővével kapcsolatos cikkekre kapott hivatkozásokat jelzik.

A Naprendszer kutatása

Kisbolygók forgási periódusának eloszlása

A korábbi, űrből végzett felmérésekhez képest a Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) űrtávcső teljesen újszerű megközelítést ad a Naprendszer égi-

testjeinek vizsgálatához. Noha a TESS elsődleges küldetésében mintegy hat fokkal elkerülte az ekliptika sávját, a Naprendszer törmelékkegongja eléggé kiterjedt ahhoz, hogy az ott keringő kis égitestek belekerültek az űrtávcső látómezejébe. Kutatóink – Pál András vezetésével – közölték az első katalógust az űrtávcső adataiból, amely fényes, naprendszerbeli kis égitestek fotometriáját tartalmazza, különös tekintettel a főövbeli kisbolygókra és a Jupiter trójai kíséőire. Az adatbázisban 9912 égitestet és a hozzájuk kapcsolódó fénygörbét mutattak be. A fénygörbét homogén módon határozták meg a TESS képei alapján, és sikeresen származtatták ezen kisbolygók fő forgási paramétereit is, elsősorban a periódust és a fényváltozás nagyságát. Ez a minta meghatározza a pontosan ismert forgási paraméterekkel jellemezhető kisbolygók számát. A legkiemelkedőbb eredmény annak az egyértelmű kimutatása, hogy a korábbi, földi megfigyelések legalább egy nagyságrenddel alábecsülték a hosszú, egy vagy több napos forgási periódusú égitestek számát (Pál, A., Szakáts, R., Kiss, Cs. és mások, *Astrophysical Journal Supplement*, 247, 26, 2020).

A 67P/Churyumov-Gerasimenko üstökös magjának kialakulása

A Rosetta-űrszonda által megfigyelt 67P/Churyumov-Gerasimenko üstökös magja legnagyobb valószínűséggel két kisebb, eredetileg is egymás körül keringő test kis sebességű ütközésével jött létre. Az összetapadási folyamat nyomán létrejött test belsejében és felszínén megfigyelhető deformációk alakultak ki. Az ütközés következtében a két összetevő test összenyomódott, illetve egymáshoz képest ellentétes irányban elcsúszott. Ez a folyamat az ütközés találkozási geometriája, valamint a két komponens eredeti tengely körüli forgásának következménye. Az összenyomódási és elcsúszási folyamatok a képlékeny tartományban mentek végbe. A folyamat következményeként az üstökös mag felszínén törésvonalak keletkeztek, a deformációk és megfigyelt törések összhangban vannak az ütköző testek eredeti, hagymahéjszerű belső szerkezetével. A megfigyelt deformációk jól modellezhetők egy nagy porozitású és jeges-poros „puha” anyagú testtel. (Francheschi, M., Penasa, L., Massironi, M., ..., Tóth, I. és mások, *PNAS*, 117, 11081, 2020).

A kalcium-perklorát elfolyósodásának vizsgálata a Marson

Kutatóink első alkalommal publikáltak eredményeket a folyékony kalcium-perklorát várható marsi jellemzőiről a felszíni hőmérséklet, légköri nyomás és páratartalom alapján, a légköri víz hatására. A vizsgálatokat a 29-es számú marsi

évre, globális klímamodellt használva, az InSight Mars-misszió leszállási helyére végezték. A felszíni jéghez és vízhez viszonyítva jelentős a valószínűsége, hogy az elfolyósodás a kalcium-perklorát só esetén fellép. Az ún. bináris valószínűségi térképek alapján a folyamatra, a 315-ös marsi nap környékén (az északi nyár közepén), helyi időben hajnali 1 óra tájban a legjobb esély, elsősorban az Acidaia Planitia területén. Emellett kisebb valószínűséggel az Utopia Planitia területén is előfordulhat (Pál, B., Kereszturi, Á. Icarus, 340, 113639, 2020).

Csillagkeletkezés és fiatal csillagok

Egy különleges fiatal csillag kitörés utáni élete

Az FU Orionis-típusú objektumok (FUorok) fiatal, kis tömegű csillagok, amelyek erőteljes akkréciós kitöréseken mennek keresztül. A megnövekedett akkréciót gyakran irányított anyagkilövellések (kollimált jetek) és energikus, nagyskálás molekuláris kifújások kísérik. A kitörés alatti extra fűtés észrevehető geometriai, kémiai és ásványtani változásokat okozhat a csillagkörüli anyagban, amely befolyásolja az ezen objektumok körüli lehetséges bolygókeletkezést is. A V346 Nor a déli féltéken található, sajátos színképű FUor. Évtizedekkel a kitörése kezdete után 2010 körül váratlanul elhalványult, amelyet a csillagra történő akkréciós ráta legalább két nagyságrenddel való lecsökkenése okozott. A kutatók a minimum után felvett optikai és közeli-infravörös fotometriai és spektroszkópiai méréseket analizálták az Intézetben futó ERC Starting Grant keretében. A fénygörbék a V346 Nor fokozatos újrafényesedését mutatják; fényessége a Ks sávban már csak 1,5 magnitúddal van a kitörési szint alatt. VLT/XSHOOTER spektrumok különböző fémek és molekuláris hidrogén számos erős tiltott emissziós vonalát mutatják a forrás irányában, ami egy új jet elindulására utal. A VLT/VISIR segítségével felvett N sávú spektrum a korábbinál mélyebb szilikátabzorpciós alakzatot mutat, jelezve, hogy a kitörés utáni periódusban megváltozott a csillagkörüli anyag geometriája a csúc fényességhez képest (Kóspál, Á., Szabó, Zs. M., Ábrahám, P. és mások, ApJ, 889, 148, 2020).

Egy új FU Orionis típusú csillag felfedezése

Szintén az ERC Starting Grant keretében optikai-infravörös fotometriai és spektroszkópiai megfigyelések alapján megvizsgálták a Gaia 18dvy jelű forrást,

amely a Cygnus OB3 asszociációban helyezkedik el 1,88 kpc távolságban. Az objektumra riasztást adott ki a Gaia-űrobszervatórium, amikor a forrás jelentősen kifényesedett 2018–19-ben. A fényesedés közép infravörös hullámhosszakon is megfigyelhető volt. Az objektum infravörös színei a kitörés előrehaladtával kékebbek lettek. Az optikai és közeli-infravörös színképi jellemzők a kitörés során hasonlóvá váltak a valódi FU Orionis-típusú csillagok spektrális paramétereivel. Kitörés előtti állapotában a Gaia 18dvy valószínűleg egy kis tömegű, K4 színképtípusú csillag volt, jelentős látóirányú extinkcióval. A csillagkörüli anyag sugárzási áramlásának modellezéséhez, amellyel a nyugalmi spektrális energiaeloszlást reprodukálták, egy 0,004 naptömegű csillagkörüli korongot kellett feltételezni. Az akkréciós korong analitikus modelljei alapján a tömegbefogási ráta exponenciálisan növekedett több mint három éven keresztül egészen 2019 nyaráig, amikor elérte maximumát. A Gaia 18dvy sok szempontból hasonlóknak tűnik a korábban FU Orionis-nak klasszifikált HBC 722-höz (Szegedi-Elek, E., Ábrahám, P., Wyrzykowski, L. és mások, ApJ, 889, 130, 2020).

Örvények fejlődése fiatal csillagok körüli korongokban

A CSFK Csillagászati Intézetének kutatói évek óta vizsgálják a csillagok körüli protoplanetáris korongokban végbemenő bolygókeletkezési folyamatokat. Az átmeneti korongokban nagy számban megfigyelt fényességaszimmetriát feltehetően anticiklonális örvények okozzák, amelyek elősegíthetik a bolygókeletkezés folyamatát, mivel nagy mennyiségű mm-es mérettartományba eső por befogására képesek. Ezek az örvények a Rossby-instabilitás által gerjesztődnek, amely létrejöhet többek között az akkréciósan inaktív zóna határán. Az örvények a korong „öngravitációja” révén elnyúlnak, illetve, a lokálisan izoterm modellek szerint, teljesen el is halhatnak. Ezek a modellek azonban a korongban lezajló termodinamikai folyamatokat nem veszik figyelembe, ezért a kutatók azt vizsgálták, hogy miként hat az örvények kialakulására, élettartamára, erősségére a termodinamika. Ehhez az ún. β -hűlés közelítést alkalmazták, ahol a β egy olyan mérőszám, amely azt jellemzi, hogy hány keringési periódus szükséges ahhoz, hogy a korong hőmérsékleti profilja visszaálljon a kezdeti értékre. Ehhez különböző β paramétereket és korongtömeget vizsgáltak öngravitáló és nem öngravitáló esetben. Azt találták, hogy β növelésével erősödnek az örvények, bár az élettartamuk valamelyest csökken a lokálisan izoterm modellekhez képest. A termodinamika hatással van a keletkező ör-

vények alakjára is: kevésbé elliptikus, így erősebb örvények keletkeznek. Ez különösen hangsúlyos a kis korongtömegű modellek esetében. Azonban, ha növelték a korongtömeget, azt tapasztalták, hogy a korong öngravitációjának hatása (örvény elnyújtása, vagy kioltása) erőteljesebb lesz a termodinamika hatásánál (Tarczay-Nehéz, D., Regály, Zs., E. Vorobyov, MNRAS, 493, 3014, 2020).

Csillagok fizikája

Mesterséges intelligencia alkalmazása nagy égboltfelmérések esetében

A Lokális kozmológia pulzáló változócsillagokkal: kihívás petaskálán c. Lendület-program keretében kifejlesztettek egy gépi tanulás alapú, mélykonvolúciós hálót tartalmazó algoritmust változócsillag-fénygörbék klasszifikációjára. A tanításhoz az OGLE-III adatait használták, később az OGLE-IV fénygörbékben validálták és tesztelték módszerüket. A megközelítés újdonsága a képalapú klasszifikáció, szemben a pusztán fénygörbét leíró matematikai mennyiségek alkalmazásával. A módszer az emberi agyhoz hasonló módon működik: a fénygörbékben mint képeken megjelenő kisebb-nagyobb jellegzetességeket tanulja meg. A következő lépés a fénygörbék képe mellett a periódus és más mennyiségek hozzáadása a módszerhez, remélhetőleg ezzel számos, például az RR Lyrae csillagok és anomális cefeidák hasonló fénygörbéi közötti degeneráció feloldható lesz. A cél olyan algoritmus fejlesztése, amely több földi és űrből végzett nagy égboltfelmérésnél is hasznos lesz (Szklenár T., Bódi A., Tarczay-Nehéz, D. és mások, ApJL, 897, L12, 2020).

Csillagszeizmológia és galaktikus archeológia

A Tejútrendszer története során számos kisebb galaxissal ütközött, ezek közül a legtöbb galaxist az árapályerők szétépték, és csillagaik beolvadtak Galaxisunkba. Az egyik 2018-ban azonosított ilyen esemény az ún. Gaia-Enceladus, amit a Gaia asztrometriai szonda adatainak segítségével találtak, és ami jelentős hatással volt a Galaxis belső halójára és korongjára is. A ν Indi egy szabad szemmel látható csillag, amit a TESS 2 perces mintavétellel figyelt meg. Csillagszeizmológiai, spektroszkópiai és kinematikai vizsgálatok alapján a Gaia, a TESS és földi távcsövek felhasználásával sikerült megállapítani, hogy a ν Indi egy idős fémszegény, minden bizonnyal eredetileg is a Tejútrendszer-

hez tartozó és nem befogott csillag. A csillag korára szeizmológiai módszerrel a TESS adataiból 11,0 milliárd év adódott (1 milliárd év bizonytalansággal). A viszonylag pontos és más módszerrel nem elérhető kormeghatározás fontos megkorlátozást jelent a Gaia-Enceladus-ütközés lehetséges időpontjára (Chaplin, W., Serenelli, A., M., Miglio, A., ..., Szabó R. és mások, Nature Astronomy, 4, 382, 2020).

Csillagfejlődés és csillagpulzáció

A kutatók alapos vizsgálatnak vetették alá a Betelgeuze nevű közeli vörös óriáscsillagot, új észlelési adatok és három különböző modellezési technika összekapcsolásával. Észlelési eredményeik része egy újonnan feldolgozott adatsor közzététele, amelyet az űrben működő Solar Mass Ejection Imager műszer gyűjtött. A fotometriai adatok segítségével felfedezték az első felhang jelenlétét a csillagban, és annak periódusát $185 \pm 3,5$ napnak állapították meg. A Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA) szoftverrel végzett, különböző időskálájú csillagfejlődési, oszcillációs és hidrodinamikai elméleti számításai egybehangzó eredményekre vezettek. Segítségükkel pontos értéket tudtak adni a csillag sugarára is. Ezzel lehetőség nyílt meghatározni a távolságát is egy új, független módszerrel: a kapott 168 parszek jó egyezésben van a Hipparcos műhold által mért korábbi parallaxissal, de kevésbé illeszkedik az újabb, rádiótartományban végzett mérésekhez. A hidrodinamikai modellek eredményei új megköteket adtak a fő periodicitás eredetére, igazolva, hogy azt a κ -mechanizmus által hajtott pulzáció okozza. Eredményeik a Betelgeuzét egyértelműen a vörös szuperóriás ág magban héliumot égető fázisának korai szakaszához helyezik. A csillag jelenlegi tömege 16,5–19 naptömeg közötti, ami némileg alacsonyabb a jellemző irodalmi értékeknél (Joyce, M., Leung, S.-C., Molnár, L. és mások, ApJ, 902, 63, 2020).

A csillagok forgása

A kutatók azt az ellentmondást vizsgálták, miszerint a csillagok magjának asztroszeizmológia segítségével megmért forgási sebességei nagyban eltérnek a csillagfejlődési modellek jóslataitól. Ez arra enged következtetni, hogy egy perdületátadási folyamat hiányzik a csillagfejlődési elméletből. A helyzet orvoslására Fuller és munkatársai javasoltak egy új, az ún. Tayler-instabilitásra épülő mechanizmust. Ennek hatását vizsgálták a kutatók a 2,5 naptömegű csillagok modelljeinek belső forgására. Megmutatták, hogy azok a modellek,

amelyek tartalmazzák ezt a mechanizmust, képesek megmagyarázni az észlelt forgási értékeket a csillag életének azon szakaszában, amikor magjukban héliumot égetnek. Azonban ezen modellek eredményei nem egyeznek a fehér törpék forgási periódusaira vonatkozó megfigyelésekkel. Tehát a Fuller-mechanizmus nem lehet az egyedüli megoldása a hiányzó perdületátadási folyamatnak közepes tömegű csillagokban (den Hartogh, J. W., Eggenberger, P., Deheuvels, S., *Astronomy & Astrophysics* 634, L16, 2020).

Csillagaktivitás

A KIC 2852961 vörös óriáscsillag fleraktivitását vizsgálták, hogy megértsék a kapcsolatot a csillag tulajdonságai és a fleraktivitás között. Megállapították, hogy a néhány forgási periódusra integrált teljes flerenergia korrelál a csillagfoltok miatti rotációs moduláció átlagos amplitúdójával. A flerek és a szuperflerek ugyanannak a fizikai mechanizmusnak az eredményei különböző energiaszinteken, ami azt is jelenti, hogy a késői típusú fősorozati csillagok és a flerező óriáscsillagok esetében a fleraktivitást ugyanazok a fizikai folyamatok magyarázzák (Kövári, Zs., Oláh, K., Günther, M. N. és mások, *Astronomy & Astrophysics*, 641, A83, 2020).

Nukleáris asztrofizika

A Csillagászati Intézetben 2018-tól futó ERC Consolidator Grant keretében zajló vizsgálat során a kutatók bizonyítékot találtak arra, hogy a meteoritokból származó csillagport tartalmazó nagy méretű szilícium-karbid szemcsék nagy része olyan szénben gazdag aszimptotikus óriásági csillagokban keletkezett, amelyek a Napnál fémgazdagabbak voltak. Ugyanis ezekben a nagyméretű szemcsékben mért, a Napnál alacsonyabb stronciumizotóp-arányok csak olyan cérium/itterbium elemarányokkal együtt fordulhatnak elő, amelyek értéke szintén alacsonyabb a Napénál. Ez elsődlegesen fémgazdag báriumcsillagokban figyelhető meg, amelyek aszimptotikus óriásági csillagok kísérőcsillagai. Az előrejelzések szerint fémgazdag, szénben gazdag aszimptotikus óriásági csillagok kiáramlásaiban az ilyen szemcsék kis méretűek. Nagy szemcsék akkor növekedhetnek, ha a pormagok száma a fémgazdag csillagok esetében előfordulónál 2-3 nagyságrenddel alacsonyabb. Emiatt azt várják, hogy a növekvő fémességgel a pormagok száma csökkenni fog, ami nagyobb SiC szemcsék termelését eredményezi (Lugaro, M., Cseh, B., Világos, B. és mások, *ApJ* 898, 96, 2020).

Extragalaktikus csillagászat

A legtávolabbi ismert blazár

A blazárok olyan speciális rádiósugárzó aktív galaxismagok, amelyekben a központi fekete lyuk környezetét elhagyó relativisztikus plazmanyaláb szinte pontosan felénk, a megfigyelő irányába mutat. Az Univerzum legtávolabbi ismert blazárja a J0906+6930. A kutatóknak most először sikerült ezred ívmásodperces skálán polarizált rádióemissziót detektálniuk ilyen távoli aktív galaxismagnál. Úgy tűnik, a J0906+6930 egy igen fiatal blazár, a születésben levő plazmanyaláb iránya pedig a környező sűrű galaxisanyaggal való találkozás nyomán el is térült (An, T., Mohan, P., Zhang, Y., ..., Frey, S., ..., Perger, K. és mások, *Nature Communications*, 11, A143, 2020).

Szupernóvák detektálhatósága a James Webb-űrtávcsővel

A párinstabilitású szupernóvák olyan kozmikus „világítótoronyok”, amelyek nagyon nagy távolságokból megfigyelhetők. Azonban ezen események spektrumai és fénygörbéi megváltoztak, amikor az univerzum nehéz elemekkel szennyeződött. A fémekben dúsabb csillagok ebben a tömegtartományban elveszítik hidrogénburkuk nagy részét, és csupasz héliummagként robbannak fel. A kutatók az ilyen szupernóvák James Webb-űrtávcsővel várható detektálási arányát határozták meg. Megállapították, hogy a Hubble-űrtávcső utódjának szánt műszer csak a fémszegény párinstabilitású szupernóvákat lesz képes detektálni, de a legkorábbi, nehéz elemeket gyakorlatilag nem tartalmazó társaikat nem (Regös, E., Vinkó, J., Ziegler, B. L., *ApJ*, 894, 94, 2020).

Műszerfejlesztés

Mérnökeink az OPTICON H2020 projekt keretében csillagászati műszerekbe szánt új típusú, bonyolult optikai felületű, deformálható tükör (FAME) fejlesztésén dolgoztak. A feladat részeként a tükör digitális ikermodelljét fejlesztették végeselemes szimulációs környezetben, amely a szerkezet mechanikai és optikai viselkedését hivatott modellezni, így megkönnyítve a valós eszköz beállítását és optikai mérését. Konceptiókat dolgoztak ki egy új prototípushoz, amely alkalmas kriosztátban való üzemeltetésre. Továbbá új tervezési módszereket fejlesztettek a numerikus topológia optimalizálásával, amivel letisztult-

tabb 3D nyomtatásra tervezett CAD modelleket lehet létrehozni (Farkas, Sz., Agócs, T., Atkins, C., ..., Joó, A., Mező, Gy. és mások SPIE, 114521, 2, 2020).

Folytatódott a gamma-villanások (GRB) detektálására alkalmas nanoműholdak prototípus műszereinek fejlesztése. Ezen program keretében véglegesítették és megépítették a detektortartó elemeket és az adatgyűjtő elektronikát a GRBA α és a VZLUSAT-2 műholdakra, és létrehozták az adatgyűjtésért felelős szoftver-környezetet. Új módszereket fejlesztettek ki kisműholdak térbeli helyzetének meghatározására közepes felbontású, kisméretű infravörös leképező szenzorok segítségével. Gépi tanulási módszerekre épülő algoritmust fejlesztettek a mért fénygörbék és a GRB-k égi pozíciójának keresztkorrelációjára. Az algoritmus lehetővé teszi, hogy a GRB-k helymeghatározása gyors és teljesen automatikusan legyen. Modellezték a CAMELOT (Cubesats Applied for MEasuring and LOcalising Transients kisműhold) részecskehátterét részecskefizikai szimulációval, amellyel meghatározható a műhold optimális burkolatvastagsága (Pál, A., Ohno, M., Mészáros, L. és mások, SPIE 11444, 4, 2020).

Párbeszéd a tudomány és a társadalom között

Az Intézet kutatói továbbra is aktívak az ismeretterjesztés területén. Munkájukat 2020-ban is több száz médiamegjelenés, közel száz ismeretterjesztő előadás, valamint 250, a nagyközönségnek szánt ismeretterjesztő írás és fordítás jelezte. A jövőbeni csatlakozás reményében az Intézet koordinálja az Európai Déli Obszervatórium (ESO) híreinek magyarra fordítását, illetve a tudományterület legfontosabb ismeretterjesztő hírportáljának, a csillagaszat.hu-nak a szakmai felügyeletét is. A CSFK 100%-os tulajdonában álló Magyar Csillagászat Nonprofit Kft. által üzemeltetett Svábhegyi Csillagvizsgáló megkezdte rendszeres nyitvatartását. Többek között a helyreállított történelmi, 60 cm-es Heyde-teleszkóp és a 30 cm-es lencsés távcső is – az ország legnagyobb tükrös, illetve lencsés bemutató távcsöveiként – várják a látogatókat, de 2020-ban a koronavírus miatt az aktivitás csaknem teljes egészében a virtuális térben működött. Ingyenes és fizetős médiatartalmaikat (csillagászati magazinműsorok, GINOP-projekt sajtónyilvános záróesemények, a Hubble-űrtávcső felbocsátásának 30. évfordulójára szervezett esemény, a nagy nyári Mars-közelség, a Jupiter- és a Szaturnusz karácsonyi együttállása kapcsán szervezett események)

egyenként is több száz, együttesen pedig sok tízezer néző követte élőben vagy nézte vissza. 2020-ban a Tudományok Fővárosának házigazdájának szerepét is a CSFK Csillagászati Intézete vállalta.

Hazai és nemzetközi kapcsolatok, pályázatok

Hazai:

A Csillagászati Intézet 2020-ban is eredményes intézményi kapcsolatokat tartott fent hazai csillagászati kutatóhelyekkel: a Szegedi Tudományegyetemmel, az ELTE Csillagászati Tanszékével, az ELTE Fizikai Intézetével, az ELTE szombathelyi Gothard Asztrofizikai Obszervatóriumával és a debreceni Atommagkutató Intézettel. Kutatóik az alábbi kurzusokat tartották, illetve vettek részt előadásokkal: *ELTE*: Planetológia; A Mars földrajza és geológiája (előadás és gyakorlat); Csillagaktivitás; Csillagok világa; Bevezetés a csillagászatba; Informatika a csillagászatban; A Naprendszer peremén I-II., Exobolygóléggörök; Égboltismeret és planetárium (előadás és gyakorlat), A galaxisok világa, Asztrostatisztika; Csillagrendszerek dinamikája; Rádiócsillagászat, Mágneses aktivitás késői típusú csillagokon; Tranziens csillagászati jelenségek; Csillagászati észlelési gyakorlat (Piszkéstető); *SZTE*: Csillagászati spektroszkópia; Elméleti asztrofizika I-II.; Űrcsillagászat; Galaktikus csillagászat, Sugárzási folyamatok a csillagászatban; Modern asztrofizika; Pulzációelmélet; Rádiócsillagászat; *Debreceni Egyetem*: Bevezetés a csillagászatba, Nukleáris fizika. A meghirdetett kurzusok jelentős részben mind a graduális, mind a posztgraduális (PhD) képzésben meghirdetésre kerültek. A Csillagászati Intézet munkatársai 2020-ban összesen 31 PhD-, 24 BSc-, 8 MSc-hallgató témavezetését látták el, valamint 19 TDK-dolgozat témavezetői voltak, túlnyomó részben az ELTE-n és a Szegedi Egyetemen, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen és a Nemzeti Közszolgálati Egyetemen. A PhD-jelöltjeik között voltak a University of Hull (Egyesült Királyság) és a Monash University (Ausztrália) hallgatói is. A Csillagászati Intézet rendkívül sikeres demonstrátori programot folytat általános demonstrátori (észlelő, adatfeldolgozó), numerikus asztrofizika és mérnöki témákban, az ELTE és a BME BSc- és MSc-hallgatóival. A program célja a legkiválóbb hallgatók orientálása, szakmai tudásuk bővítése, bevonásuk nemzetközi színvonalú kutatási és fejlesztési projektekbe, és felkészítésük a PhD-fokozat megszerzésére. A 2020-ban foglalkoztatott 15(!)

demonstrátor közül legtöbbször kiválóan szerepeltek az Országos Tudományos Diákköri Konferencián, referált publikációik jelentek meg, és rendszeresen pályáznak és nyernek el állásokat rangos külföldi kutatóhelyeken. A Csillagászati Intézet 2019-ben és 2020-ban is sikeresen pályázott külföldön tanuló magyar egyetemi hallgatók magyarországi nyári gyakorlatának támogatására (NKFIH 2020-1.2.1-GYAK), és sikeres projekteket indított a hallgatókkal az Ariel-űrtávcső és fiatal csillagok fényváltozásának vizsgálata témákban.

Nemzetközi

A kutatók 2020-ban is folytatták nemzetközi együttműködéseiket a Gaia, KASC, TASC (Kepler, ill. TESS Asztroszeizmológiai Tudományos Konzorciumok), CHEOPS, PLATO, ARIEL, SPICA, Rosetta, LUNA, NuGrid, JINA, JUNA, HATNet, Matisse, ChETEC (Chemical Elements as Tracers of the Evolution of the Cosmos), MW-Gaia (Revealing the Milky Way with Gaia), Europlanet, SBNF (Small Bodies Near and Far), CID (Chemistry in Disks), SoFAR (Seismology of fast rotating stars), GALAH, WEAVE, LSST és a HETDEX projektekben. Számos esetben sikerült elnyerni észlelési időt/célpontokat csillagászati nagyműszerekre és űrtávcsövekre (APEX, ALMA, CFHT, IRAM, ESO VLT/VLTI, SMA, VLA, VLBI, e-Merlin, LBA, EVN, eEVN, IRAM, NOEMA, NNT, NOT, RadioAstron, XMM-Newton, HST) nemzetközi együttműködésben.

Rendezvények, mobilitás

A COVID-19 világjárvány miatt a tudományos rendezvényeket szinte teljes egészében a virtuális térben rendezték meg. A Csillagászati Intézet munkatársai aktívan részt vettek a következő események szervezésében és lebonyolításában: PLATO Week#10, Budapest, 2020. május 26–28. (virtuális); Ariel Consortium Week, 2020. október 12–14. (online); NuGrid Hackathon: A code-development workshop dedicated to improve the numerical tools used within the international NuGrid collaboration, 2020. május 18–22 (virtuális); IMC 2020, Online Conference of IMO (International Meteor Organization), 2020. szeptember 19.; EuroPlanet Science Congress 2020, Small Body Surveys session (SB8), 2020. szeptember-október (virtuális); TASC6/KASC13 konferencia, Leuven, 2021. július (virtuális); Symposium S1 (Planet formation enters the observational era) of the European Astronomical Society Annual Meeting (EAS 2020, virtuális).

A 2020-ban elnyert jelentősebb hazai és nemzetközi pályázatok

Fiatalon és aktívan – rádiósugárzó galaxismagok a legfinomabb szögfelbontással, *NKFIH K-134213*, **47,7 M Ft**, vezető kutató: Frey Sándor; Csillagfolt-hőmérsékletek a Hertzsprung–Russell-diagramon, *NKFIH Posztdoktori kiválósági program pályázat, PD-134784*, **24,1 M Ft**, vezető kutató: Kriskovics Levente; Az Egyesült Királyságban, Németországban és Ausztriában egyetemi tanulmányokat folytató magyar hallgatók hazai nyári gyakorlatának támogatása, *NKFIH 2020-1.2.1-GYAK-2020-00004*: Optimalizált célpontlista az ARIEL űrtávcső Kiegészítő Tudományos Programjához **1,0 M Ft**, vezető kutató: Kiss Csaba; *NKFIH 2020-1.2.1-GYAK-2020-00007*: Fiatal csillagok fényváltozásainak vizsgálata földi és űrtávcsöves adatok alapján, **0,6 M Ft**, vezető kutató: Kóspál Ágnes. Említést érdemel Molnár László második bírálati körbe került ERC Starting Grant pályázata, amely hajszállal csúszott le a támogatott projektek listájáról. Az intézet munkatársai sikerrel szerepeltek több Horizon 2020-as pályázaton, általában több külföldi intézménnyel közös konzorciumokban: Low-frequency multi-mode (SAR and penetrating) radar onboard light-weight UAV for Earth and Planetary exploration, *H2020-MS-CA-RISE-2020/101007973*, magyar vezető kutató: Kereszturi Ákos, **32 200 EUR**; Chemical Elements as Tracers of the Evolution of the Cosmos – Infrastructures for Nuclear Astrophysics, *H2020-EU.1.4.1.2./101008324*, Maria Lugaro, **87 600 EUR**; Novel Evolutionary Model for the Early stages of Stars with Intelligent Systems, *H2020-SPACE-2020/101004141*, Marton Gábor, **407 384 EUR**; Measuring Ages Through Isochrones, Seismology, and Stellar Evolution, *H2020-WF-03-2020/101038062*, Meridith Joyce/Molnár László, **151 851 EUR**; OPTICON-Radionet Pilot, *H2020-INFRA-LA-2020/101004719*, Ábrahám Péter, **198 750 EUR**.