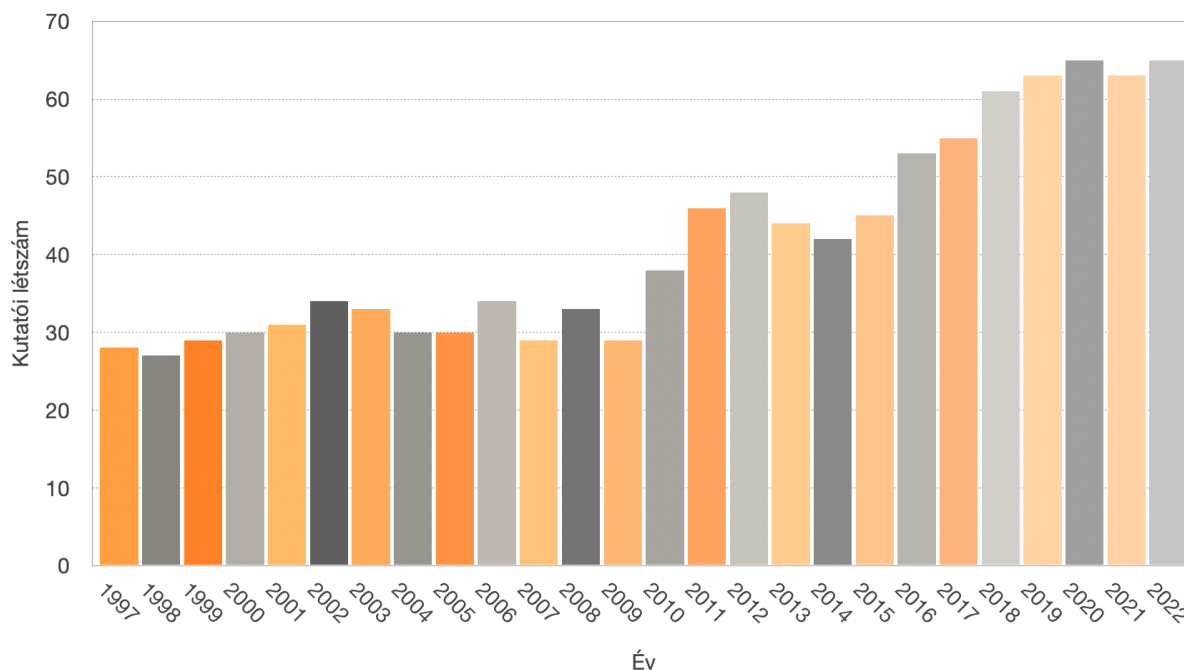


KISS CSABA – SZABÓ RÓBERT

A CSFK Csillagászati Intézetének 2022. évi tevékenysége

A Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Konkoly Thege Miklós Csillagászati Intézete 2022-ben is az Eötvös Loránd Kutatási Hálózat irányítása alatt működött, és újabb öt évre Kiváló Kutatóhely minősítést kapott a Magyar Tudományos Akadémiától. A Csillagászati Intézet fő kutatási területei továbbra is a csillagok fizikája (különös tekintettel a pulzációra), a csillag- és bolygókeletkezés, a csillagok és a Nap aktivitása, a nukleáris asztrofizika, a Naprendszer égitestjeinek vizsgálata, a galaktikus és extragalaktikus csillagászat, a tranziensek asztrofizikája, a nagy égboltfelmérések, az űrcsillagászat és a csillagászat története voltak. Új elem a kozmológia megjelenése Kovács András új Lendület-pályázatának köszönhetően.

2022-ben 65 kutató dolgozott az intézetben (14 fokozat nélküli, 37 PhD/kandidátusi címmel rendelkező, 9 MTA doktora, 1 akadémikus és 7 emeritus kutató). Ez minimális növekedés az előző évihez képest; az elmúlt években a Csillagászati Intézet létszáma a korábbi növekedés után ezen a szinten stabilizálódott (**ábra**).



ábra A CSFK CSI kutatói létszámának alakulása az elmúlt 25 évben.

Az intézet munkáját 21 nem kutatói besorolású, könyvtáros, gazdasági, műszaki, informatikai területen dolgozó állandó-, és számos eseti megbízással foglalkoztatott munkatárs segítette. 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. A korábbi kutatócsoportok változatlanok maradtak: 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, mely magában foglalja az MTA Lendület

Lokális Kozmológia Kutatócsoportot – mindkettőt Szabó Róbert vezeti, illetve a SeismoLab Élvtal-csoportot Molnár László vezetésével); a RADIOSTAR ERC-csoport Maria Lugaro vezetésével; Nap- és Csillagaktivitás Kutatócsoport (SOLSTART vezetője: Kövári Zsolt, illetve Vida Krisztián vezette újabb, a csillagaktivitással és a bolygók lakhatóságával foglalkozó Élvtal-csoport); valamint az Extragalaktikus Asztrofizika Kutatócsoport (Vinkó József). Kovács András friss lendületesünk új kutatócsoportot alapított: LSS – Nagyskalás struktúra MTA Lendület kutatócsoport. Ezek kívül Intézetünk ad otthont a CSFK-n belül közvetlenül a főigazgató alá tartozó, Steve Mojzsis professzor vezette Origins Research Institute-nak, ami a földi (és más bolygókon létrejövő) élet keletkezésével foglalkozik.

Az ELKH-től származó alapfinanszírozás és több kisebb, hazai és nemzetközi pályázat mellett 2022-ben is folytatódott azok a pályázatok, amelyek 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 Tranziens Asztrofizikai Objektumok című GINOP-pályázatok fenntartását biztosító ELKH-pályázatok, valamint Szabó Róbert Lendület-pályázata.

Intézetünk üzemelteti hazánk legnagyobb csillagászati obszervatóriumát, hivatalos nevén a Piszkestetői Megfigyelő Állomást, mely továbbra is elérhető mind a hazai, mind (kisebb mértékben) a nemzetközi kutatóközösség számára, valamint a hazai TOP50 Kutatási Infrastruktúrának a része.

Tudományos eredmények

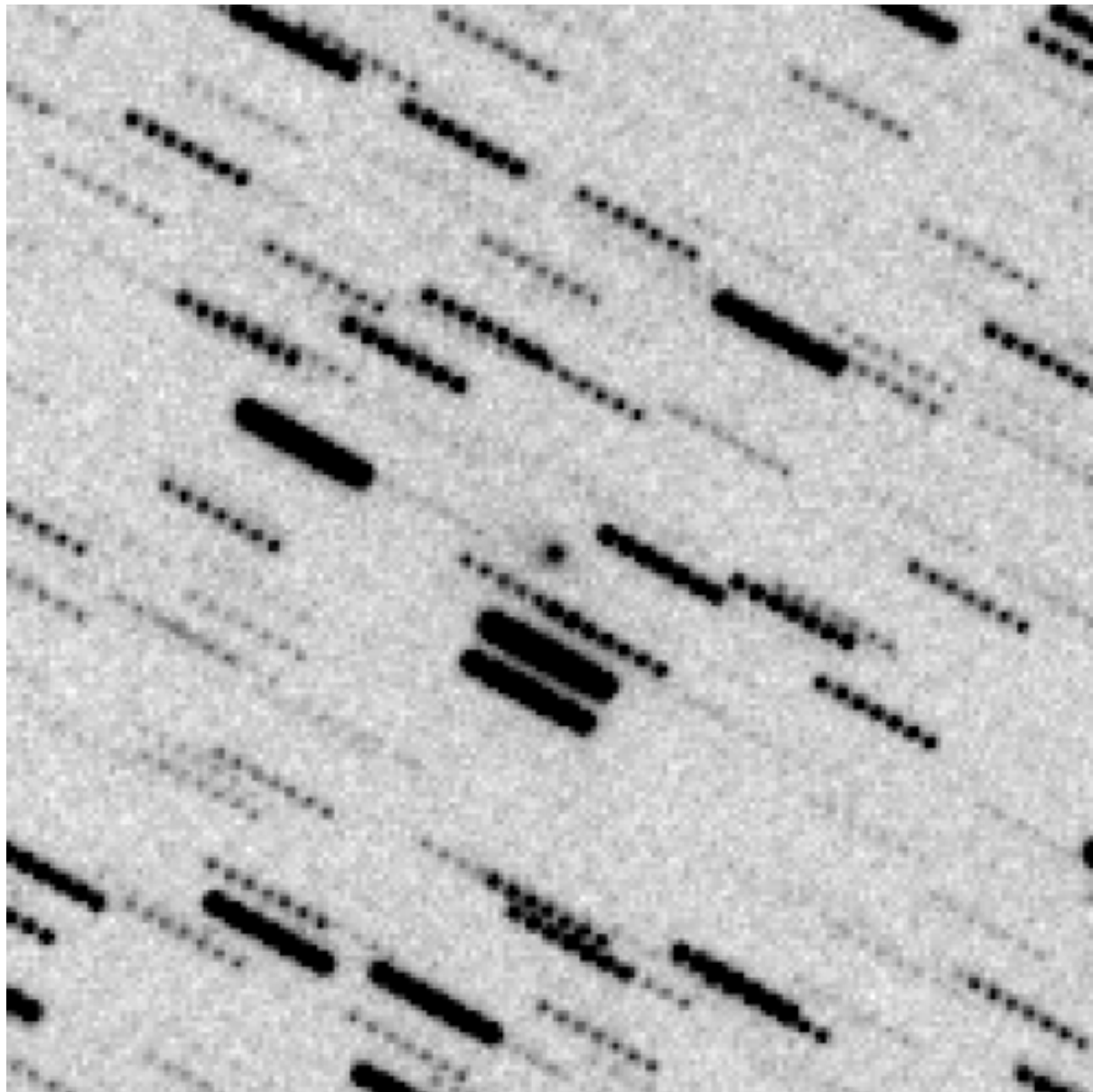
A Csillagászati Intézet kutatói 2022-ben összesen 352 tudományos közleményt publikáltak, ebből 161 jelent meg a csillagászat, fizika és planetológia nemzetközi, referált szakfolyóirataiban, ami enyhe növekedés a 2021-es folyóiratcikkek számához képest, és mindeddig a legmagasabb szám az Intézet történetében. Hasonlóan a korábbi évekhez, a referált cikkek mintegy 90%-a a legnagyobb hatású (Q1), ezen belül 10% kiemelt hatású (D1) folyóiratokban jelent meg. Tudományos közleményeinkre a valaha regisztrált legnagyobb számú, majdnem 9000 hivatkozás érkezett, ami újra jelentős, ~20%-os emelkedés az előző évekhez képest. Az intézeti publikációk teljes listája elérhető a Magyar Tudományos Művek Tárában (mtmt.hu). A számos tudományos eredmény közül az alábbiakban csak egy szűk válogatást tudunk bemutatni.

Naprendszeres kutatások

Becsapódó kisbolygó és egy új üstökös felfedezése Piszkestetőn

A Piszkestetői Obszervatórium erre a célra dedikált 60 cm-es Schmidt-távcsövével folytattuk a földközeli kisbolygók keresését. Összesen 164 éjszaka készítettünk méréseket a távcsövel, ezalatt 54 földközeli kisbolygót fedeztünk fel, amelyek mérete néhány métertől közel 1 km-ig terjed. A legnagyobb nemzetközi visszhangot a 4-5 méter átmérőjű 2022 EB5 jelű kisbolygó március 11-ei megtalálása váltotta ki, mivel felfedezése után két és fél órával a Norvég-tenger felett elérte bolygónk légkörét. A történelem során ez mindössze az ötödik olyan kisbolygó volt, amelyet becsapódása előtt sikerült megtalálni, de ez volt az első, amelyet nem az Egyesült Államokban azonosítottak. A műholdas vizsgálatok alapján az égitest rendkívül sötét felszínű, és porózus szerkezetű volt, vélhetően szinte teljesen megsemmisült a légköri repülés során. További hat általunk felfedezett égitest halad el a Hold távolságán belül, köztük a 2022 FD1 jelű csak 8500 km-rel a felszín felett. Az év első éjszakáján, január 2-án hajnalban felfedezett 2022 AB jelű kisbolygónkról a fotometriai mérések kimutatták, hogy egy szupergyorsan forgó

égitest (3 perces rotációs periódussal), amelynek vizsgálatára nemzetközi megfigyelőkampány szerveződött. Szintén ennek az éjszakának az eredménye volt a C/2022 A1 (Sárneczky)-üstökös megtalálása, amely 35 év után az első hazai üstökösfelfedezés volt. A halvány égitest néhány nappal később 48 millió km-re közelített meg bolygónkat, majd gyorsan távolodva február elejére már az észlelhetőség határa alá halványodott.



Ábra: A C/2022 A1 (Sárneczky)-üstökös 2022. január 7-én a 60 cm-es Schmidt-távcső felvételén. A halvány égitest a kép közepén látható kompakt folt, a csillagok az üstökös mozgására eltolt képösszeadás miatt pontfüzérének látszanak.

A szerpentinizáció hatása a korai Naprendszer jeges égitestjeinek belső szerkezetére

Az intézet kutatói kifejlesztettek egy algoritmust a szerpentinizáció (szilikátos kőzetek hidratációja) kémiai reakciója és az ebből származó hőtermelés modellezésére, amit a korai Naprendszer bolygókezdeményeire alkalmaztak, figyelembe véve a keletkezés során a becsapódó égitestekből származó akkréciós hőt és a rövid élettartamú radioaktív izotópok hőtermelését. Az új modell a korábbiakhoz képest sok körülményt sokkal pontosabban számol,

pl. a hőkapacitások hőmérsékletfüggését, a litoszférikus nyomást, és az ún. határfelületi víz hatásának figyelembevételét. A korábbi modellekhez képest jelentős különbségek vannak például a bolygókezdemények serpentinizációhoz szükséges idejében, vagy a termelt hő mennyiségében. A külső Naprendszer jeges égitestjeiben, bizonyos reális körülmények között, a vízjég olvadáspontja alatt, a határfelületi víz felhasználásával a serpentinizációs reakció lejátszódhat, és végül a víz olvadáspontja fölé emelheti a helyi hőmérsékletet, ami jelentős mértékben tovább tudja gyorsítani a reakciót. A számítások szerint a kb. 400 km-nél nagyobb méretű égitestekben a serpentinizáció gyorsan átalakíthatta ezen testek szinte teljes belsejét a korai Naprendszerben (Takácsné Farkas A. és mtsai, Planetary Science Journal, 2022, 3, 53).

Egy új Mars-analóg terület azonosítása és vizsgálta az Andokban

Kutatóink egy új, potenciális Mars-analóg területet vizsgáltak első alkalommal: az Ojos del Salado inaktív vulkán vidékét az Altiplano-Atacama-sivatag térségében. A ritka havazások és az erős szél által szállított porózus vulkanikus szemcsék centiméter-méter vastag elfedett hótömegeket tudnak alkotni, és a szublimáció ellen védeni akár éveken keresztül. A felszín alatti hőmérséklet monitorozása alapján a jég olvadása ritka jelenség a térségben, és a krioszférát a kiszáradás és a szél hatása befolyásolja főleg, akárcsak a Marson. A térségben deciméteres skálájú homokfodrok (megaripples) is mutatkoznak, amelyek egyediek a Földön, és hasonlítanak marsbéli társaikra. A közvetlenül felszín alatti rétegek elemzése Mars-releváns evaporitos üledékeket is azonosított. Az ilyen földi területek vizsgálatával közelebb juthatunk a hasonló marsi területeken megfigyelt jellegzetességek megértéséhez (Kereszturi és mtsai, 2022, Icarus, 378, 114941).

Csillagaktivitás

Az óriáscsillagok flerjeinek jellemzői

Noha a késői típusú törpék és az óriáscsillagok lényegesen különböznek egymástól, flerjeikről (hirtelen kifényesedéseikről) úgy gondolják, hogy hasonló fizikai folyamatokból származnak, és csak az energiaszintek léptékében térnek el egymástól. Ebben a munkában ennek a megközelítésnek az érvényességét vizsgálták az aktív óriáscsillag flerek olyan jellemzőinek keresésével, amelyek statisztikailag eltérhetnek a fősorozati csillagok jellemzőitől. hatvanegy óriáscsillag közel 4000 kitörését és 20 más típusú csillagot használtak fel, amelyeket a Kepler-űrtávcső figyelt meg és amely az egyetlen alkalmas adatbázis ehhez az összehasonlító vizsgálathoz. Minden fler esetében meghatározták az időtartamot és az energiát, összegyűjtötték a csillagparamétereket, valamint megvizsgálták a flerek jellemzői és a különböző csillagparaméterek közötti összefüggéseket. Erős korrelációt találtak a fler időtartama és a csillagok felszíni gravitációja, fényessége és mérete között. A skálázott fler alakok hasonlóknak tűnnek az óriásokon és a törpéken, az alkalmazott 30 perces mintavétellel. A fler energia és időtartam logaritmikus összefüggése meredekebb az alacsonyabb felszíni gravitációjú csillagok esetében. A megfigyelt flerek az óriásokon hosszabbak és nagyobb energiájúak, mint átlagosan a törpéken. Ezen eredmények szerint a fler energia és időtartam logaritmikus összefüggésére vonatkozó általánosított lineáris skálázás $\sim 1/3$ -os univerzális elméleti meredekségét némileg módosítani kell a felületi gravitációtól való függés bevezetésével (Oláh és mtsai, 2022, Astronomy & Astrophysics, 668, A101)

Csillagkeletkezés és fiatal csillagok

Visszatérő kitörések a Gaia20eae EXor-típusú fiatal eruptív csillagnál

Ebben a munkában a Gaia20eae-re készült fotometriai és spektroszkópiai méréseket elemezték. Ez a forrás 2020-ban okozott egy Gaia riasztást, miután ~ 3 magnitúdóval kifényesedett, és az objektum Gaia fénygörbéje olyan alakú volt, mint egy tipikus fiatal eruptív csillag. Új észleléseket végeztek annak megállapítására, hogy a Gaia20eae valóban fiatal eruptív csillag-e, és hogy milyen fiatal csillag típusba tartozhat. A kitörés előtti spektrális energieloszlás alapján a Gaia20eae egy kismértékben beágyazott II. osztályú objektum, amelynek bolometrikus luminozitása a Napénál 7,22-szer nagyobb. A szín-szín és szín-fényesség diagramok arra utalnak, hogy a fényváltozások nagyjából szürkék, azaz minden hullámhosszon hasonló módon történnek, a H α vonal profiljának változásai az akkréciós ráta és a szél változékonyságát mutatják. A közeli infravörös tartományban számos emissziós vonal látható, amely az EX Lupi (EXor) típusú objektumok jellemzője. Megbecsülték az akkréciós rátát a halványodási fázisban ($3\text{--}8 \times 10^{-7}$ naptömeg/év), amely magasabb, mint a hasonló tömegű T Tauri csillagoké, és közelebb áll más EXorokéhoz. Ebből arra lehet következtetni, hogy a Gaia20eae valószínűleg a fiatal csillagok EXor típusának újonnan felfedezett képviselője (Cruz-Saenz de Miera és mtsai, 2022, Astrophysical Journal, 927, 125)

A TYC 4209-1322-1 extrém törmelékkorongjában megfigyelhető porképző események közép-infravörös időfejlődésének megfigyelése

Ebben a tanulmányban a TYC 4209-1322-1 körüli extrém törmelékkorong, a Spitzer űrteleszkóppal végzett, 877 nap hosszú, hízagmentes közép-infravörös fotometriai megfigyelésének eredményeit mutatták be. Ezeket a megfigyeléseket más adatokkal kombinálva megvizsgálták a korong változékonyságát az elmúlt négy évtizedben, különös tekintettel az elmúlt 12 évre. Ez utóbbi időszakban a korong jelentős változásokat mutatott, a legjelentősebb a 2014 és 2018 közötti fényesedés és az azt követő halványodás volt, ami a WISE adataiból rajzolódik ki. A Spitzer-fénygörbék lehetővé teszik a halványodási fázis és a korong 2018 utáni újabb fényesedésének részletesebb vizsgálatát, ami a hosszú távú tendencián felül egy további, ~ 39 nap periódusú fluxusmodulációt mutat. Megállapították, hogy mindezen változások egy óriási ütközés eredményeként értelmezhetők, amely valamikor 2014-ben, $\sim 0,3$ CSE körüli pályasugárnál történt. Az elemzés arra utal, hogy egy hasonló méretű ütközésre 2010 körül is sor kerülhetett (Moór és mtsai, 2022, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 516, 5684)

Csillagok fizikája

A TESS-űrtávcső első RR Lyrae eredményei: a módusok, a színek és a távolságok közötti kapcsolatok feloldása

A TESS űrteleszkóp folyamatos, nagy pontosságú optikai fotometriai adatokat gyűjt a teljes égboltról, beleértve több ezer RR Lyrae csillagot is. Ebben a munkában a TESS 1-es és 2-es szektorában megfigyelt 118 közeli RR Lyrae csillaggal kapcsolatos eredményeket ismertették: differenciális fotometriát használtak a fénygörbék előállításához, majd módustartalmukat és a modulációs jellegzetességeiket analizálták. A TESS pontos fénygörbe paramétereit kombinálták a Gaia által szolgáltatott parallaxis és színinformációkkal, ezáltal egy átfogó klasszifikációs módszerhez jutottak, ami tiszta mintát eredményezett. Megtarthatták a különleges fénygörbéjű RR Lyrae csillagokat, és kiszelektálhatták a más változóosztályokba tartozókat. Azt találták, hogy az RR Lyrae csillagok nagy része mutat különböző kis amplitúdójú változásokat, de ezeknek a módusoknak az eloszlása gyökeresen különbözik a galaktikus dudorban található csillagokétól. Ez azt mutatja, hogy a fizikai paraméterekben található különbségek befolyásolhatják az extra módusok gerjesztését, potenciális lehetőséget kínálva ahhoz, hogy felfedjük ezen módusok eredetét. Azonban a módusazonosítást megnehezíti az extra módusok valódi frekvenciáinak meghatározásában rejlő bizonytalanság.

Összehasonlították a klasszikus kétmódusú csillagok és az alacsony frekvenciás extra módusok amplitúdó arányait, és megállapították, hogy jól elkülönülő csoportokat alkotnak. Azt találták, hogy az alpmódusú RR Lyrae csillagok nagy hányada mutat modulációt, de legalább 28%-uk nem, megerősítve ezzel azon korábbi eredményeket, melyek szerint nem minden RRab csillag mutatja a Blazskó-effektust (Molnár és mtsai., 2022, Astrophysical Journal Supplement Series, 258, 8).

Változócsillag-klasszifikáció gépi tanulási módszerekkel

Ebben a munkában egy több-bemenetű neurális hálót (Multiple-Input Neural Network) alkottak meg, ami konvolúciós és többrétegű neurális hálóból áll. Ezzel a konfigurációval a legjobb háló képes volt megkülönböztetni a változócsillagok típusait a fénygörbéik képe alapján, amihez egyéb numerikus információkat (pl. periódus, vörösödés-mentes fényesség) is felhasználtak a pontosság javításához. A háló tanításához és teszteléséhez az OGLE-III adatait használták, beleértve az összes megfigyelt területet, fázis szerint feltekert fénygörbéket és periódus adatokat is. A neurális háló 89–99%-os pontossággal működött a fő osztályok klasszifikációjánál (cefeidák, δ Scutik, fedési kettősök, RR Lyrae csillagok, kettes típusú cefeidák), a felhangban rezgő anomális cefeidákra viszont csak 45% volt a találati arány. Hogy az első felhangú anomális cefeida és RRab fénygörbék közötti alak-degenerációt feloldják, extra numerikus paraméterként használták a vörösödésmentes fényességet is a Nagy Magellán-felhő csillagaira, ezáltal rögzítve a távolságot és megkülönböztethetővé téve a luminozításokat. Ezzel a pontosságot sikerült feltornáznia kb. 80%-ra. Ez az újonnan kifejlesztett módszer reális alternatívája lehet a létező klasszifikációs algoritmusoknak és a Vera Rubin Observatóriumhoz való csatlakozás feltételének számító magyar in-kind hozzájárulás része (Szklénár és mtsai, 2022, Astrophysical Journal, 938, 14).

Extragalaktikus csillagászat

Rádióhangos, 4-es vöröseltolódás feletti kvazárok nagyon hosszú bázisvonalú interferometriai (VLBI) mérései

A nagy vöröseltolódású rádióforrások számtalan lehetőséget kínálnak a korai galaxisok és szupernagy tömegű fekete lyukak kialakulásának és fejlődésének tanulmányozására. A $z=4$ vöröseltolódás feletti, ismert rádióhangos aktív galaxismagok (AGN) száma azonban meglehetősen korlátozott. Nagy vöröseltolódások esetén úgy tűnik, hogy a blazárok, amelyek relativisztikusan sugárzó nyalábjai a megfigyelő látóiránya felé mutatnak, többségben vannak azokhoz a rádióhangos forrásokhoz képest, amelyek jetjei a látóiránnyal nagyobb szöget zárnak be. Ahhoz, hogy több ilyen AGN-t találjunk, nagyon hosszú bázisvonalú interferometriával (VLBI) végzett milliívmásodperces felbontású mérésekre van szükség, mivel ezek lehetővé teszik, hogy különbséget tegyünk a kompakt és kiterjedtebb sugárzású rádióforrások között. Korábbi, nagy felbontású VLBI-vizsgálatok feltárták, hogy a blazárjelöltek közül néhány rádióforrás valójában milliívmásodperces skálán relativisztikusan nem felerősített rádiósugárzással rendelkezik. A Gaia asztrometriai űrtávcső mérései alapján meghatározott legpontosabb optikai koordináták szintén hasznosak az osztályozási folyamatban. Ebben a munkában 13 nagy vöröseltolódású ($4 < z < 4,5$) kvazár kettős frekvenciájú, az Európai VLBI Hálózattal elvégzett megfigyeléséről számoltak be 1,7 és 5 GHz-en. Ez a minta nagyságrendileg egynegyedével növeli azon $z > 4$ rádióforrások számát, amelyekhez VLBI megfigyelések állnak rendelkezésre. A kutatásban megvizsgálták a források szerkezeti és fizikai tulajdonságait, például a rádiószerkezetet, a spektrálindeket, a változékonyságot és a fényességi hőmérsékletet. Az optikai koordináták ismeretében hat blazárt és hat nagyobb látószögű jettel rendelkező

AGN-t azonosítottak, míg a többi fennmaradó forrást feltételeesen blazárként (Kreizinger és mtsai, 2022, Astrophysical Journal Supplement Series, 260, 49).

Egy WC/WO csillag robbanása táguló szén-oxigén-neon felhőben

A SN 2019hgp szupernóva nagyon korai színekében keskeny szén, oxigén és neon vonalakat azonosítottak. Ezek a vonalak egy nagy (>1500 km/s) sebességgel táguló, C-O-Ne összetételű csillagkörüli anyagfelhőben jöttek létre, amely arra utal, hogy a szupernóva szülő-objektuma egy nagyon nagy tömegű Wolf-Rayet csillag volt. Habár korábbi adatok azt mutatták, hogy a Wolf-Rayet csillagok végállapota általában nem egy hidrogénszegény, Ib/c típusú szupernóva, jelen felfedezés szerint a nagy tömegű Wolf-Rayet csillagokból gyorsan fejlődő szupernóva-szerű tranziensek mégis létrejöhetnek (Gal-Yam, A, ..., Vinkó, J., és mások, 2022, Nature, 601, 201).

Nukleáris asztrofizika

Báriumcsillagok, mint a magfizikai s-folyamat nyomjelzői

A báriumcsillagok olyan G8-K2 színeképosztályú óriáscsillagok, amelyek légköre a magfizikai s-folyamat (lassú neutronbefogás) során keletkezett izotópokról árulkodik. A CSI kutatói részletes összehasonlítást végeztek 28 olyan báriumcsillagra, melyekre önkonzisztens elemgyakoriságok és függetlenül meghatározott tömegek is elérhetőek. Az egyes csillagok elérhető [Ce/Fe] értékeire normált hígítási faktort különböző elméleti AGB modellekre kiszámítva összehasonlították az s-folyamat elemeinek illeszkedését. Megerősítették, hogy a vizsgált báriumcsillagok nagy részét kis tömegű (2–3 naptömeg), nem forgó AGB csillag szennyezte be, amelynél a ^{13}C a fő neutronforrás. A 28 csillagból 21 esetben a modellek jó egyezést mutatnak az elemgyakoriságokkal és a függetlenül meghatározott tömegekkel is, azonban további négy esetben néhány elem sokkal magasabb elemgyakoriságot mutat, mint a modellek előrejelzései. Ez fizikai (pl. keveredés), és/vagy olyan nukleoszintézis jele lehet, ami a jelenlegi összehasonlításban felhasznált modellekben nincs benne (Cseh és mtsai, 2022, Astronomy & Astrophysics, 660, A128).

Műszerfejlesztés

Kisműhold-fejlesztés

A 2022-es év két fontos mérföldkövének egyike a VZLUSAT-2 nevű, a Cseh Űrkutatási és Légügyi Intézet (Výzkumný a Zkušební Letecký Ústav, VZLÚ) által vezetett kisműholdunk 2022. január 13-ai indulása volt. Ezen a műholdon – többek között – az intézetünkben épített, a GRBAlpha-hoz (2021-ben felbocsátott, azóta is működő CubeSat) hasonló, de annál valamivel nagyobb érzékenységgű gamma-detektor rendszer található. A GRBAlpha-val szerzett tapasztalatok alapján a rendszer beüzemelése gyorsan lezajlott, így azóta, még részleges bekapcsolás mellett is majdnem két tucatnyi tranziens jelenséget – gamma-felvillanásokat –, valamint napkitörésekhez kapcsolódó eseményeket figyelt meg. A tárgyév második fontos mérföldköve a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) által épített, MRC-100 nevű, 3 egységes, a PocketQube szabványnak megfelelő (azaz kb. $5 \times 5 \times 18$ centi méretű) kisműholdra készített helyzetmeghatározó rendszer megtervezése, megépítése és a műholdba való integrálása volt. Ez a projekt a műholdfejlesztési tapasztalatainkra építő első külsős megrendelésen alapuló kollaboráció. A műhold integrációja a kibocsátást végző eszközbe (az ún. deployer-be) lezajlott, az MRC-100 indítása pedig 2023 nyarán megtörtént (Pál A. és mtsai).

Párbeszéd a tudomány és a társadalom között

A Csillagászati Intézet a CSFK 100%-os tulajdonában levő Magyar Csillagászat Nonprofit Kft. projektirodai együttműködésével több tudománykommunikációs feladatot töltött be a Csillagászati Intézet területén és telephelyén. Egyrészt üzemeltette Budapest legnagyobb bemutató csillagvizsgálóját, a **Svábhegyi Csillagvizsgáló Interaktív Csillagászati Élményközpontot**. A Svábhegyi Csillagvizsgálóban és külső bemutató helyszíneken, illetve rendezvényeken 2022-ben közel 30 bemutató-csillagász előadóval mintegy 15000 embernek adták át személyesen csillagászati ismereteket, kielégítve az Univerzum iránti kíváncsiságukat. A Piszkestetői Obszervatóriumban 700 embert fogadtak az ügyeletes csillagászok, akiknek az ország legnagyobb, kutatásra használt távcsövei mellett beszéltek közérthetően az aktuális kutatásokról.

Kiemelt csillagászati eseményeknél több turnusban, váltott csoportokban tartottak interaktív bemutatókat (egy alkalommal 50-150 főnek az intézet különböző területein), így többek között:

- gyengén látóknak és vakoknak tartottak programot a Bakonyi Csillagászati Egyesület Tapintható Univerzum kiállításával (februárban),
- hajnali észlelést tartottak a Vénusz-Jupiter szoros együttállás kapcsán (április 30),
- a NASA Public Affairs referens előadását fogadták holdközvet bemutatóval együtt (április),
- hét hajnalon tartottak észlelőkampányt a júniusi bolygósorakozó megfigyelésére,
- bemutatták a C/2017 K2 üstökös együttállásait az IC4665 (2 éj) és M10 (7 éj) közelében,
- hullócsillagok éjszakáját tartottak a Perseidák meteorraj kapcsán (3 éj, mintegy 200 fővel augusztusban),
- Óriásbolygók éjszakáját tartottak együttműködve a 100 óra csillagászat nemzetközi IAU kampány keretében (200 főnek októberben),
- hajnali Merkúr-észlelést tartottak októberben,
- mintegy 300 főnek tartottak októberben napfogyatkozás bemutatót,
- Mars megfigyelőkampányt tartottak november-decemberben az oppozíció kapcsán,
- Geminidák észlelőestét tartottak decemberben.

A Csillagvizsgáló keresett helyszíne a rendezvényeknek is, így például a Budapest kupolában forgatta klipjét a Bagossy Brothers Company, a kertben látták vendégül a Telekom Electronic Beats elektronikus koncertjét, de itt tartotta éves találkozóját a Magyar-Francia Kereskedelmi és Iparkamara is. Immár hagyományosnak tekinthető, nyárvégi-ősz eleji zenés-csillagászati piknik eseményük a Herschel koncert: 2022-ben közel 300 fő vett részt és egy ősbemutatót is tartott a Vass Lajos Szimfonikus Zenekar egy még sehol nem játszott eredeti William Herschel darabbal. Nagysikerű eseményként öt alkalommal tartották meg a „Kezdő távcsőtulajdonosok tanfolyamát”, melynek során a friss távcsőbirtokosok kapnak közérthető eligazítást a távcsőhasználathoz és égboltismerethez.

Tudománykommunikációs tevékenységet az intézeten kívül is rendszeresen végeztek: országszerte 14 városban tartottak csillagászati előadást a Matthias Corvinus Collegium felkérésére, határon túl is, ellátogatva Nagyváradra és Beregszászra. Júniusban a Millenáris Álmodói 2.0 meghívására közel 4000 főnek tartottak távcsöves bemutatót és személyes csillagászati ismeretterjesztést.

Heti 2-3 alkalommal jelentettek meg friss tartalmat az Univerzum hírei blogban a Svábhegyi Csillagvizsgáló honlapján. Rendszeresen adtak ki sajtónyilatkozatot a nagyobb csillagászati események, illetve a kutatóintézetben elért eredmények kapcsán. 2022-ben az Observer keresőszavas visszajelzése alapján az írott és digitális médiában a Svábhegyi Csillagvizsgáló 1139 sajtómegjelenést, a CSFK pedig 520 közleményt generált. A tudománykommunikáció fontos helye a közösségi média: a Facebook és Instagram felületén a

követők száma elérte a 27 000-et. Az online médiában a Galaxis útikalauz című tudományos ismeretterjesztő sorozatot a negyedik, befejező évaddal zárták.

2022-ben Kiss László vezetésével futott az NKFIH Mecenatúra-program keretében 25 millió forintos támogatást elnyert "Csillagok Alatt - országos természettudományi ismeretterjesztő médiakampány" projekt. Ebben a CSFK CSI mellett együttműködő partner volt a Magyar Csillagászati Egyesület és a Szegedi Tudományegyetem. Utóbbinál kiépítettük az Intézet második multimédiás virtuális stúdióját, így két helyszínen álltak rendelkezésre a megfelelő körülmények változatos videós tartalmak készítésére. Kiss László a Magyar Titok - égi hírek magyar csillagásztól című sorozatához 31 videót készített, az Élő csillagászat Kiss Lászlóval ötödik és hatodik évadában 19 műsort készített. Ezek mind megtalálhatók a Kiss László csillagász YouTube-csatornán, összesített nézőszámuk 200 ezer feletti. A Mecenatúra-projekt keretében Barna Barnabás és Ordasi András a Csillagfényben (15 videó) és a Vándorcsillagok (2 videó) sorozathoz készítettek ismeretterjesztő videós tartalmakat. Mizser Attila a CSFK CSI emeritus kutatói közül négyel készített interjút, ezek megjelenése már 2023-ra átcúsúzott. A 2022. augusztus 5-14. közötti országos program minden korábbinál több helyszínen és eseménnyel várta a csillagászat iránt érdeklődőket. Az időjárás nem volt igazán megfelelő távcsöves bemutatásokra, mégis több mint 15 ezer látogató vett részt eseményeinken. A dedikált sajtónyilvános esemény után rendkívül pozitív médiamegjelenést sikerült kiváltani, az Observer médiafigyelő mérései szerint több millió emberhez eljuttatva az Egy hét a csillagok alatt program hírét. 2022-ben érzékelhetően megnőtt a média érzékenysége a csillagászati jelenségek és friss hírek iránt, ami Kiss László projektvezető interjúinak és más médiamegjelenéseinek megnövekedett számában is tetten érhető volt.

2022-ben a CSFK Csillagászati Intézete átvette a csillagászati diákolimpia felkészítésének szervezését a kezdetektől nagy erőforrásokat megmozgató Bajai Obszervatórium Alapítványtól. Dedikált humán-, infrastrukturális és anyagi erőforrásokkal segíti az Athletica Galactica – Kárpát-medencei Csillagászati és Asztrofizikai Verseny szervezését. A 2021-es év nagy sikerére tekintettel 1500 példányban nyomtatták újra Dálya Gergely: Bevezetés a csillagászatba című könyvét: az első kiadásból 800 db pár hét alatt elfogyott a boltokban, a maradék 200 db-ot az Intézet osztja ki a csillagászati oktatást folytató intézményeknek, oktatóknak és diákoknak. Így most továbbra is elérhető a könyv a Budapesti Távcső Centrumban, a Magyar Csillagászati Egyesületnél és a Svábhegyi Csillagvizsgálóban. A kötet folytatásaként pedig 1000 példányban jelentették meg Kovács József: Bevezetés a csillagászatba – feladatgyűjteményét, ami az elmúlt 10 év csillagászati versenyeinek feladataiból tartalmaz válogatást a Dálya könyv tematikája szerint, nehézségi besorolással és a megoldásokkal.

A Csillagászati Intézet szerzőkollektívája által működtetett csillagaszat.hu az ország legjelentősebb csillagászati tudományos híroldala. A 2022-es év során 212 csillagászati hír jelent az oldalon. A Google Analytics látogatottsági statisztikái alapján a csillagaszat.hu oldal 2022-ben 566 ezer felhasználótól 1 millió 60 ezer látogatást váltott ki, összesen 1,8 millió oldalletöltéssel. A csillagaszat.hu Facebook oldalának **31000** követője lett, míg az oldal Facebook-elérése meghaladta az 1 milliót. Az urvilag.hu úrkutatási hírportál főszerkesztője a Csillagászati Intézet munkatársa, a hírportál napi rendszerességgel jelentetett meg úrkutatással kapcsolatos tudományos híreket. A Csillagászati Intézet munkatársai 2022-ben összesen 102 ismeretterjesztő előadást tartottak.



A magyar olimpiai csapat és felkészítőik Kutaisziben, Georgiában, 2022 augusztusában Sikó Anna nagykövet asszonnyal.

Hazai és nemzetközi kapcsolatok, pályázatok

Oktatás, témavezetés:

Az Intézet kutatói 8 hallgató TDK, valamint 29 hallgató BSc és 13 hallgató MSc témavezetését látták el 2022-ben, túlnyomó részben az ELTÉ-n, de emellett BME-n, valamint az Óbudai és a Nemzetvédelmi Egyetemen is, továbbá külföldön a Kijevi Állami Egyetemen (Ukrajna, BSc) és az Indian Institute of Science Education and Research-ben (Pune, India, MSc), továbbá összesen 40 hallgató PhD témavezetésért voltak felelősek a következő egyetemeken és intézetekben: ELTE, SZTE, University of Oslo, Tokyo Institute of Technology, University of Hull, Leibniz-Institute for Astrophysics, Potsdam, Münchener Egyetem. A CSFK CSI kutatói részt vettek **MSc/BSc és PhD dolgozatok bírálatában** is. A CSFK Csillagászati Intézet állományába tartozó kutatók közül a beszámolás időszakban ketten szerezték meg a **PhD fokozatot**.

A CSI kutatói a következő előadásokat, gyakorlatokat és szemináriumokat tartották magyar és külföldi egyetemeken 2022-ben – az **Eötvös Loránd Tudományegyetemen**: Exobolygó légkörök, A Naprendszer peremén, Exobolygók I., Bevezetés az asztrofizikába, Informatika a csillagászatban I-II-III., Asztrostatisztika I., Haladó mag-, részecske-, és asztrofizikai mérések, Élet az exobolygókon, Csillagászati észlelési gyakorlatok, Mágneses

aktivitás hideg csillagokon, Mágneses aktivitás késői típusú csillagokon, A Mars földrajza és geológiája, Planetológia, Obszervációs csillagászat, Optika, Bevezetés a csillagászatba, Rádiócsillagászat I-II.; a **Szegedi Tudományegyetemen**: Csillagászati Műszertechnika, Numerikus modellezés; **Mathias Corvinus Collegium**: Csillagászat; **UPES University of Dehradun (India)**: Introduction to Astronomy and Astrophysics; **Indian Institute of Science Education and Research, Pune (India)**: From Planets to Cells; **University of Oslo (Norvégia)**: Interactions between Star-Planet Couples (from Sun-Earth to Star-Exoplanet);

A CSFK Csillagászati Intézete 2017-ben indította el az ún. **demonstrátor (vagy kutatási asszisztens) programot**, melynek során a legtehetségesebb egyetemi hallgatókat pályázat útján választják ki. A 2023-as Meteor Csillagászati Évkönyben megjelent intézményi beszámolóban részletesebben is bemutatott programban 2022-ben is 14 kutatási asszisztensnek adott lehetőséget az intézet, a program teljes eddigi futamideje alatt pedig összesen **43 demonstrátort** foglalkoztattak. A programot és tanulságait a Magyar Tudomány 2023/1. számában is ismertették.

Hazai és nemzetközi együttműködések:

A korábbi évekhez hasonlóan a Csillagászati Intézet munkatársai közös tudományos projekteken dolgoztak együtt a Szegedi Tudományegyetem, az ELTE Fizikai Intézet, az ELTE Csillagászati Tanszék, valamint az ELTE Gothard Asztrofizikai Obszervatórium (Szombathely) kutatóival. A CSFK CSI kutatói 2022-ben is széleskörű nemzetközi együttműködésben folytatták kutatásaikat és vettek részt nagy nemzetközi együttműködésekben, mint TASC (TESS Asztroszeizmológiai Tudományos Konzorcium), a Gaia, a CHEOPS, a PLATO, az Ariel-űrtávcsövek konzorciumai, LUNA, NuGrid, JUNA, MATISSE, ChETEC, MW-Gaia, Chemistry in Disks (CID) Collaboration, GREAT (Gaia Research for European Astronomy Training); ODYSSEUS & PENNELOPE HST & VLT Large Program konzorcium; LATMOS; Europlanet, WEAVE és a Rubin/LSST projekteken, és szoros kapcsolatot tartottak az Európai Déli Obszervatórium (ESO) tudománykommunikációs hálózatával (ESON). Számos esetben sikerült elnyerni észlelési időt/célpontokat csillagászati nagyműszerekre és űrtávcsövekre, mint például az Atacama Large Millimetre Array (ALMA), a James Webb-űrtávcső és a VLBI rádióinterferometriai hálózat. A következő **külföldi egyetemekkel és kutatóintézetekkel** tartottak fenn **tudományos együttműködési kapcsolatokat** 2022-ben: Monash University, **Ausztrália**; University of Graz, University of Vienna, **Ausztria**; Royal Observatory of Belgium, **Belgium**; Brazilian National Observatory, **Brazília**; Universidad de Concepción, **Chile**; Masaryk University, Brno; Brno University of Technology; Observatory of the Czech Academy of Sciences, Ondřejov; Charles University, Prága, **Csehország**; Technical University of Košice, **Szlovákia**; University of Aarhus, **Dánia**; University of the Western Cape, **Dél-afrikai Köztársaság**; University of Cambridge; Institute of Astronomy, Cambridge; University of Hertfordshire; University of St. Andrews, **Egyesült Királyság**; Univ. Grenoble Alpes, **Franciaország**; University of Leiden; Joint Institute for VLBI ERIC, **Hollandia**; Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, **India**; Hiroshima University, **Japán**; College of Nuclear Science and Technology, Beijing Normal University; China Institute of Atomic Energy; University of Hong Kong; Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou; Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, **Kína**; Mount Suhora Observatory, Krakow Pedagogical University; Astronomical Observatory, Jagiellonian University; University of Warsaw; Nicolaus Copernicus University, Torun; Adam Mickiewicz University, Poznan, **Lengyelország**; Friedrich Schiller University, Jena; Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn; Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics, Garching; Max

Planck Institute for Astronomy, Heidelberg, **Németország**; Padova Observatory INAF; INAF-Osservatorio Astronomico di Roma, **Olaszország**; Centro de Astrofísica de La Palma; Instituto de Astrofísica de Canarias, Tenerife; Observatorio Astronómico Nacional, Madrid; Instituto Astronomía de Andalucía, Granada, **Spanyolország**; University of Geneva; ETH Zürich; Berni Egyetem, **Svájc**; University of Texas, Austin; Princeton University; University of Toledo; Space Telescope Science Institute, Baltimore; Western Washington University; National Radio Astronomy Observatory Charlottesville; University of Rochester; California Institute of Technology, Pasadena; MIT Lincoln Laboratory; MIT Kavli Institute for Astrophysics and Space Research; University of Florida, Orlando; Las Cumbres Observatory, Santa Barbara, **Amerikai Egyesült Államok**.

Rendezvények:

A Csillagászati Intézet munkatársai aktívan részt vettek a következő események előkészítésében, szervezésében és lebonyolításában, a helyi és tudományos szervező bizottságok tagjaiként vagy vezetőjeként: Europlanet Science Congress, szeptember 18-23, Granada; Astrophysics with Radioactive Isotopes, Budapest, június 12-17.; 17th International Russbach School, Russbach, március 13-19.; XIII Torino Workshop on AGB stars, június 19-24; Neutron-capture on unstable species (i and n process) TRIUMF, Vancouver, október 31 – november 2; Next Generation Space VLBI workshop, Dwingeloo, október 17-19.; WG2-WG1 workshop of the MW-Gaia Cost Action: "Stellar evolution along the HR diagram with Gaia", szeptember 19-22.; Abundance Variations and Fundamental Questions in Solar and Stellar Physics, július 16-24, Athén; Nuclear Physics in Astrophysics, CERN, Genf, augusztus 29 – szeptember 3.; Probing the Universe with Multimessenger Astronomy, Sestri Levante, szeptember 26-30.; JINA-CEE Frontiers in Nuclear Astrophysics, University of Notre Dame, USA, május 23-27.; EAS 2022 Valencia, június 27 – július 1.; RR Lyrae and Cepheids conference: Large-scale surveys as bridges between spectroscopy and photometry, La Palma, szeptember 26-30., TASC/KASC konferencia Leuven, július 11-15; Kozmikus körforgás előadói ülés, Szeged, május 16.

A 2022-ben elnyert jelentősebb pályázatok

Marie-Curie Widening Fellowship, Meredith Joyce, 151,8 kEUR; NKFIH/K-22/142534, Megoldatlan rejtélyek a szupernóvák asztrofizikájában, Vinkó József, 47,7 MHUF; MTA Lendület, LP2022-11, Sötét energia kutatásának módszerei extrém kozmikus struktúrákkal, Kovács András, 185 MHUF; Európai Űrhivatal, PRODEX 4000136207, Astrometric preparation for the PRIDE experiment of the JUICE mission, Frey Sándor, 117,4 kEUR.