

Raport științific

privind implementarea proiectului PN-III-P1-1.1-TE-2019-1504
în perioada ianuarie –decembrie 2021

I. Rezumatul etapei

Activitățile corespunzătoare etapei a doua proiectului “Caracterizarea corpurilor mici din Sistemul Solar folosind programele largi de observație (acronim BD4SB)” au inclus următoarele activități:

- ◆ 2.1 Conversia și pre-procesarea datelor obținute cu diferite instrumente pentru a le aduce la un format unic (un cadru de lucru) înainte de a folosi algoritmi de analiză a acestora.
- ◆ 2.2 Analiza statistică a datelor obținute folosind metode de "machine learning/pattern recognition" (recunoaștere de structuri) pentru clasificarea datelor observaționale corespunzătoare.
- ◆ 2.3 Participarea în programe de cercetare de top, desfășurate la nivel internațional și implicarea ca membru activ în grupurile de lucru ale misiunilor spațiale.
- ◆ 2.4 Colaborare cu astronomii din institutele importante de astrofizică.

II. Sumarul rezultatelor etapei și gradul de realizare al obiectivelor.

1. Propus: Publicarea (în calitate de co-autor) a două articole în cadrul grupurilor de lucru ale misiunilor spațiale de explorare a Sistemului Solar sau ale programelor largi de observație

Realizat: Următoarele articole au fost publicate:

- 1. N. G. Simion, M. Popescu, J. Licandro, O. Vaduvescu, J. de León, R. M. Gherase; **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Volume 508, Issue 1, pp.1128-1147; November 2021
- 2. Eri Tatsumi, Marcel Popescu, Humberto Campins, Julia de León, Juan Luis Rizo García, Javier Licandro, Amy A. Simon, Hannah H. Kaplan, Daniella N. DellaGiustina, Dathon R. Golish, Dante S. Lauretta; **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, Volume 508, Issue 2, pp.2053-2070; December 2021
- 3. Spectrally blue hydrated parent body of asteroid (162173) Ryugu ; Tatsumi Eri, ... Popescu Marcel, et al. ; **Nature Communications**, Volume 12, article id. 5837; October 2021

2. Propus: Raport descriptiv al programelor dezvoltate; Programele dezvoltate vor fi disponibile pe website-ul proiectului

Realizat: Pentru a avea o vizibilitate largă a metodelor și programelor dezvoltate am inclus descrierea acestora în articolele publicate. Programele dezvoltate sunt disponibile pe site-ul proiectului (Secțiunea Results, sub-secțiunea “Data processing software”) după cum urmează:

- Pachet de programe și funcții scrise în limbajul Octave/Matlab pentru a) a converti datele de laborator ,din observații telescopice obținute, del la misiunile spațiale, obținute cu diferite tipuri de instrumente la un format unic; b) a realiza comparația și identifica potrivirea spectrală cea mai bună între datele de laborator și datele de observații (inclusiv generare de raport). *01_SpectraMeteoritesComparison.zip*

- Programe (folosind limbajul Python) dedicate procesării datelor provenite de la observațiile obținute cu telescopul Carlos Sanchez (instrumentul MuSCAT2). Acestea include: a) pregătirea datelor pentru a putea face fotometria; b) post-procesarea datelor provenite din softul de fotometrie; c) Clasificarea datelor folosind algoritmul *KNN – k nearest neighbors*. *02_TCS_MUuSCAT2_Proc.zip*
- Funcție scrisă în limbajul PHP pentru obținerea informațiilor din fișierele .csv conținând informații despre asteroizi. *03_NEAInfo.zip*
- Obținerea profilului cometei 2I/Borisov. *04_2IBorisov.zip*

În vederea stocării și procesării datelor de observație, accesării metodelor de analiză printr-o interfață online și pentru a oferi comunității alte unelte software necesare studiului corpurilor mici din Sistemul Solar dezvoltăm un server accesibil întregii comunități (<https://planet.astro.ro/projects/SBD/>).

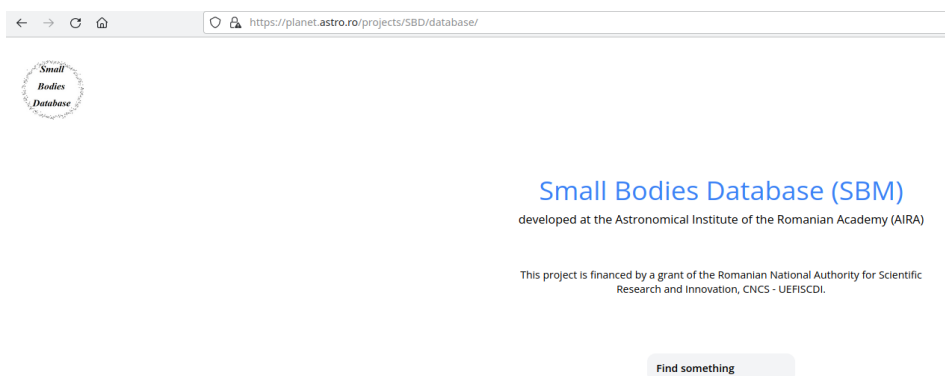


Fig. A Interfața preliminară a serverul Small Bodies Database prin intermediul căruia punem la dispoziția comunității atât baza de date de observații cât și interfețele necare pentru a folosi metodele dezvoltate de noi în cadrul proiectului

Pentru a realiza acest lucru am folosit framework-ul Laravel. O interfață preliminară este prezentată în Fig. A. Acest server este diferit de paginile web aferente prezentării proiectului nostru <https://planet.astro.ro/BD4SB/>.

3. Propus: Doua postere la conferințele internaționale (EPSC, DPS, ACM) în domeniul științelor planetare pentru a prezenta rezultatele obținute

Realizat:

- **52nd Lunar and Planetary Science Conference 2021** , *Widely Distributed Exogenic Materials of Varying Compositions on Asteroid (101955) Bennu* , ; Tatsumi, E. ; Campins, H. ; de León, J. ; García, J. L. ; Licandro, J. ; Simon, A. ; Kaplan, H. ; DellaGiustina, D. ; Golish, D. ; Laurretta, D.; Abstract, Poster.
- **7th IAA Planetary Defense Conference 2021** , *Simultaneous observations in four optical bands of near-Earth asteroids using TCS/MuSCAT2 instrument* , , J. de León, J. Licandro, D. Morate, O. Văduvescu, Juan Luis Rizos García, , H. Medeiros, ; [Abstract](#), [Presentation](#), [Talk](#).

- **7th IAA Planetary Defense Conference 2021** , [The Physical Properties of the Near Earth Asteroid 2001 SG286](#) , O. Văduvescu, J. de León, , J. Licandro, D. Morate, ; [Abstract](#), [Poster](#)
- **Europlanet Science Congress 2021** , [Simultaneous observations in four optical bands of near-Earth asteroids using TCS/MuSCAT2 instrument](#) , , Julia de León, Javier Licandro, , David Morate, Ovidiu Văduvescu, Juan Luis Rizos, Hissa Medeiros, and ; [Abstract](#), [Presentation](#).
- **Europlanet Science Congress 2021** , [*Spectrophotometric characterization of interstellar comet 2I/Borisov before perihelion passage*] (<https://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2021/EPSC2021-477.html>) ; , Javier Licandro, Mohammad Akhlaghi, Julia de León, Eri Tatsumi, , Jacob M. Hibbert, Ovidiu Văduvescu, , Enric Pallé, Norio Narita, and Felipe Murgas; ; [Presentation](#).
- **The 53rd meeting of the Division for Planetary Sciences (DPS) | American Astronomical Society** ; [Spectro-photometric studies of near-Earth asteroids using broad-band filters over the visible wavelengths](#) ; , Javier Licandro, Julia de Leon, David Morate, Ovidiu Văduvescu, Juan Rizos, Hissa Medeiros, ; [Abstract](#), [Poster](#)

4. Propus: Raport de activitate, mentenanță website proiect

Realizat: Site-ul proiectului conține ultimele rezultate. Acesta se află la adresa:
<https://planet.astro.ro/BD4SB/results>

Notă – acesta folosește tehnologii de tip *cookies* astfel că este necesar să apăsați butonul de refresh pentru a încărca ultima versiune.

III. Descrierea științifică și tehnică cu punerea în evidență a rezultatelor etapei

1. Conversia și pre-procesarea datelor obținute cu diferite instrumente

În vedere obținerii rezultatelor științifice au fost procesate datele provenind din următoarele surse.

- Datele spectrofotometrice și spectrale provenind de la misiunea spațială NASA/OSIRIS-REx (acronim pentru Origins, Spectral Interpretation, Resource Identification, Security, Regolith Explorer). S-au folosit măsurătorile obținute de camerele PolyCam, MapCam și de către spectrometrul OVIRIS. Aceste date au fost interpretate în contextul spectrelor obținute în laborator pentru meteoriți și alte minerale (accesibile folosind baza de date Relab) și observațiilor spectrale obținute prin telescop (pentru care am structurat o bază de date în etapa precedentă a proiectului). Metodele folosite pentru procesare sunt prezentate în articolul *Tatsumi, Popescu et al. 2021 MNARS*, prezentat în secțiunea următoare
- Observațiile spectrofotometrice și spectrale obținute cu telescoapele 1.52m Telescopio Carlos Sánchez (TCS), 2.54 m Isaac Newton Telescop, 2.54 m Nordic Optical Telescope, 3.0 m NASA Infrared Telescope Facility (IRTF) și 10.4 m Gran Telescopio CANARIAS (GTC). Această procesare a fost necesară pentru caracterizarea asteroizilor și cometelor din apropierea orbitei Pământului (near-Earth objects, NEOs). Rezultatele au fost împărțite în

trei studii: a) analiza proprietăților fizice a asteroizilor de tip NEOs având orbite cometare (*Simion et al. 2021 MNRAS*); b) caracterizare unor obiecte potențiale ținte pentru misiunile spațiale (obiecte precum 2001 SG286, 2005 UD, 4660 Nereus, 99942 Apophis) – rezultatele preliminare au fost **prezentate ca postere în cadrul conferințelor PDS** (7th IAA Planetary Defense Conference 2021) și **EPSC** (Europlanet Science Congress 2021); c) caracterizarea statistică a unui eșantion semnificativ (200 de obiecte) din populația de NEOs folosind observații spectrofotometrice. Metoda folosită în cadrul acestui studiu este nouă și urmărește să determine omogenitatea la suprafață a obiectelor de tip NEOs. Rezultatele preliminare au fost **prezentate în cadrul PDS, EPSC, DPS** (53rd meeting of the Division for Planetary Sciences).

- Observațiile spectrofotometrice pentru caracterizarea cometei interstelare 2I/Borisov. S-au folosit imaginile obținute simultan în filtrele *g* (400–550nm), *r* (550–700 nm), *i* (700–820 nm), și *z*_s (820–920nm) cu ajutorul telescopului 1.52m Telescopio Carlos Sánchez. Datele au fost obținute anterior, în perioada octombrie – decembrie 2019. Procesarea a constat în calibrare astrometrică și fotometrică a imaginilor, obținerea imaginilor sumă și determinarea profilului cometei. Rezultatele preliminare au fost **prezentate în cadrul conferinței EPSC** și au constituit **subiectul tezei de licență a studentului** George Prodan (Facultatea de Fizică, București).
- Experiența acumulată în procesarea datelor din programele largi de observații a putut fi folosită pentru un subiect conex, studiul stelelor variabile. Astfel că, Ruxandra Toma (cercetător postdoctorand) a **trimis spre publicare către jurnalul MNRAS** articolul “The OmegaWhite Survey for Short Period Variable Stars VI. Open Clusters” .
- S-a început o activitate de integrare a datelor obținute anterior în Observatorul Virtual (Virtual Observatory), așa încât să fie accesibile prin metodele standard de căutare oricărui cercetător interesat. Lucrăm la **realizarea unui server** pentru a oferi aceste cataloage ca serviciu în interiorul Virtual European and Planetary Access (VESPA).

2. Analiza statistică a datelor obținute folosind metode de "machine learning/pattern recognition" (recunoaștere de structuri)

Datele de mai sus au fost analizate folosind diferiți algoritmi. Aceștia au variat în funcție de subiectul studiat. Am folosit tehnici clasice de calcul pentru analiza spectrelor, pentru determinarea producției de praf a cometei 2I/Borisov, pentru identificarea suprafețelor strălucitoare de pe asteroidul Bennu, pentru analiza curbilor de lumină a diferiților asteroizi. Am folosit metode de tip inteligență artificială (machine learning) pentru clasificarea spectrală și spectro-fotometrică a asteroizilor, și a diferitelor roci identificate pe asteroizii Bennu (ținta misiunii spațiale OSIRIS-REx) și Ryugu (ținta misiunii spațiale Hayabusa 2). Mai jos sunt prezentate cele mai relevante rezultate în funcție de articolul publicat.

- ◆ **Tatsumi, Popescu et al. 2021, MNRAS**, “Widely distributed exogenic materials of varying compositions and morphologies on asteroid (101955) Bennu” <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2561> . În acest articol am determinat prezența la suprafața asteroidului (101955) Bennu a 77 structuri având o compoziție asemănătoare olivinei și pyroxenilor (Fig. 1). Aceste compoziții nu pot fi explicate decât ca material exogen pentru un asteroid având un material similar cu meteoriții de tip condrite carbonacee. Mai mult, diferențele morfologice și mineralogice (Fig. 1) sugerează că asteroidul (101955) Bennu este rezultatul mai multor coleziuni suferite de obiectul părinte. Acest fapt este o evidență a istoriei turbulente a Sistemului Solar și al amestecului de material din Centura Principală.

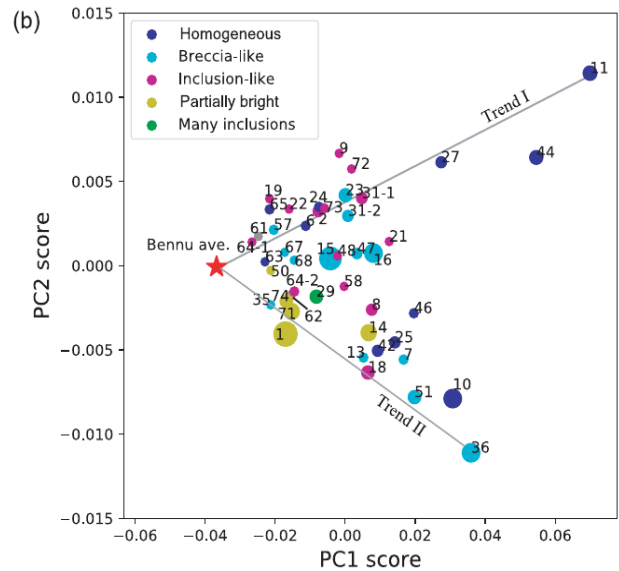
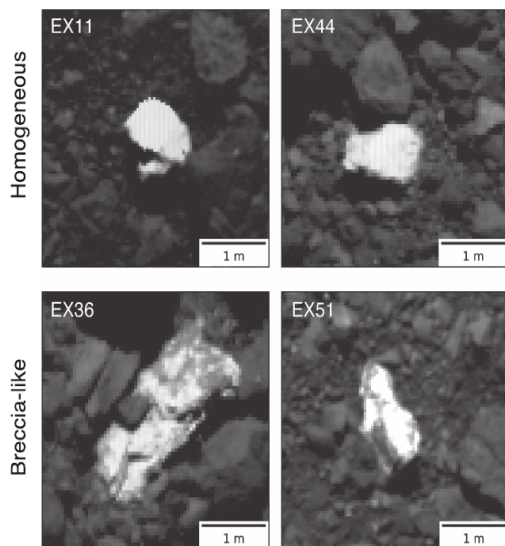


Fig.1 (Stânga) Exemplu de material strălucitor la suprafața asteroidului (101955) Bennu. (Dreapta) Variația în spațiul componentelor principale (definite în spațiul spectrofotometric) a diferitelor roci strălucitoare. Simbolul este proporțional cu dimensiunea acestora (Tatsumi & Popescu et al. 2021).

- ◆ **Simion, Popescu ... Gherase, MNRAS, 2021** “Spectral properties of near-Earth objects with low-Jovian Tisserand invariant” <https://doi.org/10.1093/mnras/stab2548> . În acest articol am studiat asteroizii având orbite cometare cu scopul de a identifica numărul de comete inactive în populația asteroizilor apropiați terestre și de a înțelege procesele prin care trece o cometă pe măsură ce își consumă materialul volatil. Am găsit că procentul cometelor inactive în populația de NEOS este în intervalul 1.5 – 10.4 %. Am arătat că proprietățile spectrale variază în funcție de orbita asteroizilor și de dimensiunea acestora.

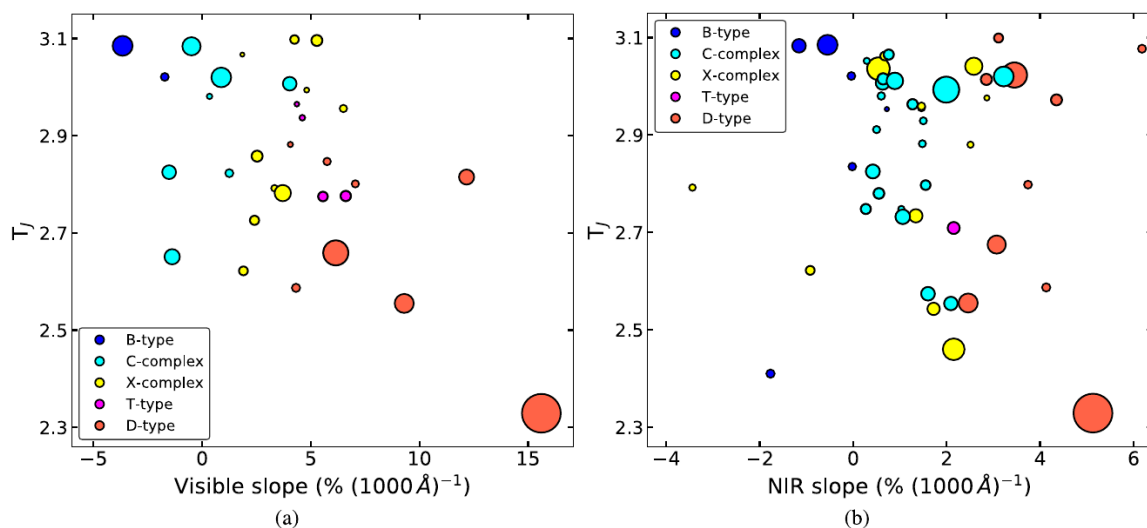


Fig. 2 Dispersia obiectelor cu orbită cometară în spațiul pantei spectrale (în domeniul vizibil și infraroșu apropiat) versus factorul Tisserand în raport cu Jupiter. Simbolul este corelat cu dimensiunea acestor asteroizi (scala variază în intervalul 0.2 – 15.8 km). Credit: Simion et al. 2021

- ◆ **Prodan, Popescu, Păstrăv Simion... et al. Prezentare conferința EPSC**, articol în lucru. Cometa 2I/Borisov este al doilea obiect interstelar descoperit și singurul care a avut o activitate cometary intensă la apropierea de Soare. Pe baza datelor noastre am obținut rezultate preliminare privind producția de gaz și praf, am determinat că această cometă este asemănătoare spectral cu obiectele trans-neptuniene și cu acele comete cu perioadă lungă și a avut o serie de *outburst*-uri (ejecții de masă puternice) la o distanță heliocentrică de 2.56 – 2.32 unități astronomice (Fig. 3). Rezultatele preliminare au fost prezentate de către studentul George Prodan în lucrarea sa de licență (realizată în cadrul proiectului nostru).

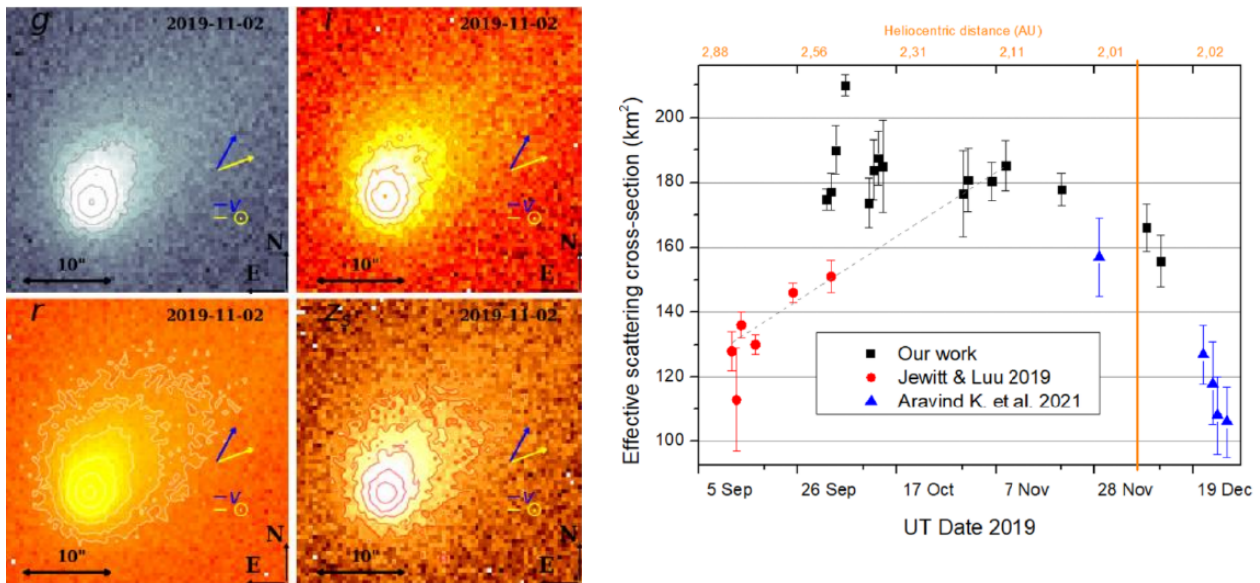


Fig. 3 (Stânga) Profilul cometei în cele patru filtre optice de bandă largă. (Dreapta) Secțiunea eficace a cometei în raport cu distanța heliocentrică și data de observație. Linia portocalie marchează periheliul.

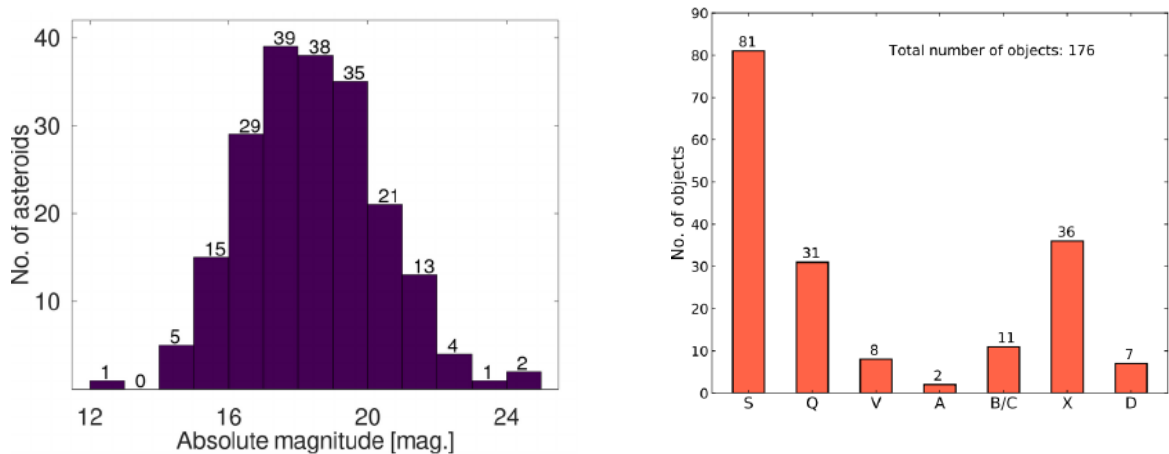


Fig. 4 (Stânga) Distribuția magnitudinilor absolute a asteroizilor de tip NEOs observați cu TCS. (Dreapta). Numărul de obiecte clasificate folosind metoda *k*-nearest neighbors și *random forest*.

- ◆ **Programul de caracterizare a asteroizilor de tip NEOs folosind telescopul TCS.** Rezultatele preliminare ale acestui program au fost prezentate la conferințele PDC, EPSC și DPS. Programul constă în caracterizarea unui număr mare de NEOs folosind filtrele optice de bandă largă *g*, *r*, *i*, *z*, pentru a determina proprietățile statistice ale acestei populații, pentru

a compara proprietățile determinate prin diferite tehnici (radar, polarimetrie). Un articol care va fi trimis către MNRAS sau Astronomy & Astrophysics este în lucru. Figura 4 prezintă magnitudinea absolută a obiectelor studiate și distribuția acestora în raport cu tipurile spectrofotometrice.

3. Participarea în programe de cercetare de top. În cadrul acestei activități s-a urmărit participarea în echipele științifice ale diferitelor misiuni spațiale.

- ◆ Misiunea OSIRIS-REx. Articolul **Tatsumi & Popescu et al. 2021** a folosit datele de la această sondă spațială. Rezultatele au fost prezentate în cadrul ședințelor de lucru ale acestei misiuni. Articolul include între co-autori investigatorul principal al acestei misiuni (prof. Dante S. Lauretta).
- ◆ Misiunea JAXA/Hayabusa2. Am colaborat cu echipa științifică a acestei misiuni și am participat la publicarea articolului “Spectrally blue hydrated parent body of asteroid (162173) Ryugu”, **Tatsumi Popescu et al. 2021, Nature Communications** <https://www.nature.com/articles/s41467-021-26071-8> De asemenea am realizat măsurători astrometrice pentru asteroidul 1998 KY 26, viitoarea țintă a misiunii Hayabusa2.
- ◆ Misiunea NASA/DART și misiunea ESA/HERA. P.I.-ul acestui proiect este membru în echipa științifică a celor două misiuni. În cadrul misiunii ESA/HERA Marcel Popescu este co-leader pentru activitatea de caracterizare compozițională. În cadrul acestor colaborări particip la redactarea articolului “Photometric observations of the binary near-Earth asteroid (65803) Didymos in 2015-2021 in support of the DART space mission”. Acesta reprezintă un articol cheie pentru realizarea misiunii DART.

4. Colaborare cu astronomii din institutele importante de astrofizică.

Din cauza pandemiei globale impusă de virusul SARS-Covid 2019, vizitele de lucru au fost dificil de realizat. În schimb am ținut legătura prin intermediul online. S-a efectuat o singură vizită de lucru la Instituto de Astrofísica de Canarias pentru a colabora cu Dr. Javier Licandro, Dr. Julia de Leon Cruz și cu Dr. Eri Tatsumi. Rezultatele acestor colaborări sunt reflectate de articolele publicate și prezentările/posterele ținute la diferite conferințe.

Activități tehnice

A) Instalarea și realizarea de observații folosind noul telescop T025. Am configurat corespunzător acest instrument și am organizat o metodologie de lucru. Folosind acest instrument se pot realiza investigații preliminare ale obiectelor strălucitoare precum și observații complementare cum ar fi spectre de analog solar, folosite la calibrarea datelor de observații de pe telescoapele mari. În acest fel economisește timpul de telescop câștigat. Mai mult, acest instrument servește la pregătirea tinerilor colegi pentru a învăța tehnica observațiilor.

Parte din rezultatele obținute cu acest instrument sunt prezentate în pagina:

<https://planet.astro.ro/BD4SB/t025>

Rezultatele preliminare arată că din punct de vedere al magnitudinii limită, acest instrument reprezintă un echipament de top al Institutului Astronomic. Acest echipament este necesar pentru investigarea preliminară a obiectelor înainte de a solicita timp de observație cu telescoapele cu apertură mai de 1m (telescoape pentru care se obține timp doar prin competiție și pentru care este necesar un caz științific cât mai bine argumentat, susținut de date preliminare concludente). Un astfel de caz este prezentat de obținerea curbei de lumină pentru asteroidul 4660 (Nereus) – Fig. 5.

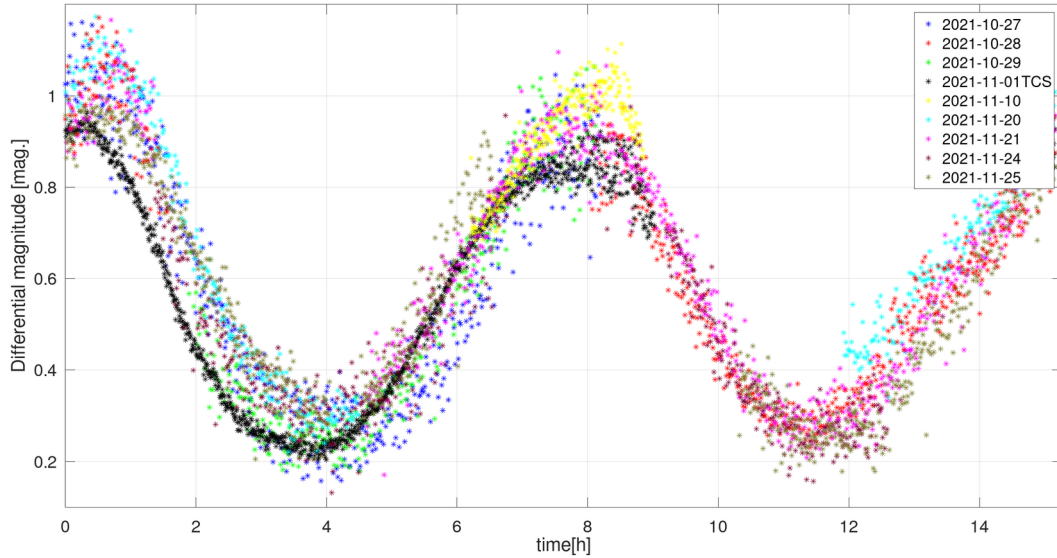
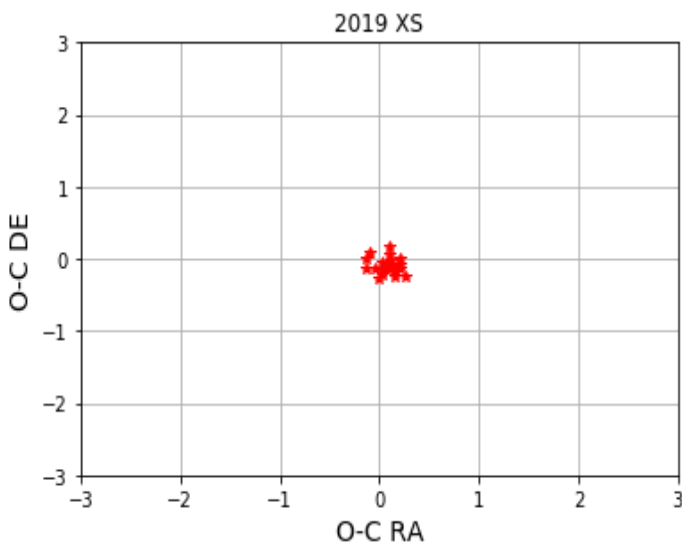


Fig. 5 Curba de lumină a asteroidului 4660 Nereus. Au fost realizate 8 nopți de observație folosind telescopul T025 și au fost obținute date folosind telescopul (pe bază de cerere de timp de telescop aprobată) cu apertura de 1.5m Carlos Sanchez pentru a studia omogenitatea acestuia.

Folosind acest telescop a fost observată ocultația obiectului trans-Neptunian (84522) 2002 TC302. Rezultatul a fost unul negativ, însă prin această observație am contribuit campaniei organizată în cadrul proiectului internațional "Lucky Star" care include colaboratori din Paris/Franța, Granada/Spania, și Rio de Janeiro/Brazilia.

Deasemenea, am participat în cadrul campaniei IAWN (International Asteroid Warning Network), la observarea asteroidului 2019 XS (un asteroid cu dimensiunea mai mică de 100 m) pentru care am obținut atât observații astrometrice cât și observații fotometrice. În figura 6 sunt prezentate rezultatele astrometrice.



logSNR	seeing	exp	rmsFit	nStars
1.44	3.1	5	0.12	100
1.31	2.7	5	0.11	112
1.40	2.9	5	0.10	102
1.49	2.8	5	0.10	109
1.39	3.1	5	0.11	107
1.39	2.8	5	0.11	107
1.30	2.6	5	0.17	146
1.29	2.5	5	0.14	147
1.22	3.0	5	0.12	114
1.38	2.8	5	0.13	126
1.31	3.2	5	0.13	110
1.10	2.6	10	0.13	126
1.42	3.6	10	0.14	114
1.57	3.7	10	0.12	110
1.27	3.1	10	0.11	132
1.28	3.2	10	0.13	108
1.30	3.1	10	0.17	157
1.02	3.6	10	0.13	106
1.35	2.9	10	0.13	133
1.19	2.8	10	0.12	135
1.31	2.8	10	0.13	139
1.04	3.2	10	0.13	114
1.11	3.5	10	0.14	106

Fig. 6 (Dreapta) Diferența dintre observații și pozițiile calculate pentru asteroidul 2019 XS (O-C) pentru coordonatele RA (ascensie dreaptă) și DEC (declinație). S-a ales o scală de +/- 3 arcsec pe cele două axe, tipică în publicații. (Stânga) Logul de observații – raportul semnal zgomot, seeing-ul, eroarea de astrometrie și numărul de stele folosit pentru a găsi soluția astrometrică.

B. Coordonarea unei teze de licență și a două stagiilor de practică

- ◆ În cadrul proiectului nostru studentul George Prodan (Facultatea de Fizică, București) și-a pregătit lucrarea de licență cu titlu "The spectrophotometric characterisation of 2I/Borisov comet".
- ◆ Studenții Tudor Dumitru și Elena Alexandra Zaharia au efectuat stagiul de practică în

=====

Director de proiect,
CSII. Marcel Popescu

06 – 12 - 2021

