



Memoriu de activitate științifică

Drd. Mirela Mădălina TRELIA

Subsemnata, **Trelia Mirela-Mădălina**, menționez principalele rezultate obținute în decursul activității științifice desfășurate ca student doctorand al **Școlii Doctorale de Fizică, Universitatea din București**, în domeniul **Fizică**, sub coordonarea domnului **Prof. dr. Mirel Bîrlan**. Tema tezei de doctorat se încadrează în domeniul monitorizării și caracterizării obiectelor spațiale artificiale, cu accent asupra sateliților inactivi aflați în regimul geosincron, iar titlul tezei este *„Determining the rotational properties of artificial space objects”*.

Din septembrie 2022, îmi desfășor activitatea profesională în calitate de asistent cercetător în cadrul Institutului Astronomic al Academiei Române. Activitatea mea principală constă în efectuarea de observații astronomice și în analiza obiectelor spațiale artificiale pe baza monitorizărilor astrometrice și fotometrice. Această activitate profesională este direct corelată cu tema tezei de doctorat și a contribuit la dezvoltarea cadrului observațional și metodologic utilizat în cercetare. Am participat și la dezvoltarea infrastructurii dedicate astronomiei observaționale și monitorizării obiectelor spațiale artificiale. Această activitate a inclus implicarea în etape precum alegerea locației pentru instalarea instrumentelor, participarea la procesul de construcție și amenajare a observatoarelor, configurarea echipamentelor astronomice și operaționalizarea sistemelor de observație. Experiența acumulată în aceste activități a contribuit direct la înțelegerea cerințelor tehnice și operaționale necesare pentru obținerea unor date astrometrice și fotometrice de precizie, precum și la dezvoltarea cadrului observațional utilizat în teza de doctorat.

În perioada studiilor doctorale, am efectuat două stagii de cercetare la **Observatorul din Paris – Institutul de Mecanică Cerească și Calculul al Efemeridelor** (*Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides, IMCCE*), în intervalele **1 octombrie – 2 decembrie 2023** și **15 aprilie – 15 iunie 2024**. Aceste stagii au fost susținute printr-o **bursă a Guvernului Francez** și au contribuit la consolidarea pregătirii mele științifice într-un mediu internațional de cercetare, în domeniul mecanicii cerești, efemeridelor, astrodinamicii și analizei obiectelor spațiale artificiale.



Începând cu anul 2025, am avut și responsabilități de coordonare în cadrul proiectului „**Attitude estimation through multiple sources data fusion**”, desfășurat în cadrul consorțiului European Union Space Surveillance and Tracking (EU-SST). În acest proiect am avut rolul de coordonator de proiect, în cadrul unui consorțiu condus de Aldoria, cu parteneri Safran, ONERA, AIRA și Quasar Science Resources. Activitatea proiectului este direct relevantă pentru tema tezei, deoarece vizează estimarea atitudinii obiectelor spațiale artificiale prin integrarea datelor provenite din surse multiple, contribuind la dezvoltarea metodelor de caracterizare a sateliților în context SSA/SST. În cadrul acestui proiect am contribuit și continui să contribui cu date observaționale, curbe de lumină și perioade de rotație obținute folosind metodologia pe care am dezvoltat-o în cadrul tezei.

Activitatea mea de cercetare s-a desfășurat în contextul dezvoltării metodelor observaționale și de analiză dedicate caracterizării obiectelor spațiale artificiale, în special în domeniul *Space Situational Awareness* (SSA) și *Space Surveillance and Tracking* (SST). Creșterea continuă a numărului de obiecte aflate pe orbita Pământului, incluzând sateliți operaționali, sateliți inactivi, corpuri de rachetă și fragmente orbitale, impune dezvoltarea unor metode capabile să descrie nu doar mișcarea orbitală, ci și starea rotațională a acestor obiecte. În regiunea geostaționară și geosincronă, unde obiectele inactive pot rămâne pe orbită pentru intervale foarte lungi de timp, caracterizarea rotației este importantă pentru interpretarea evoluției dinamice, pentru evaluarea riscului asociat obiectelor inactive și pentru aplicații viitoare de apropiere, inspecție sau îndepărtare activă a acestora de pe orbită.

În cadrul tezei am urmărit determinarea proprietăților rotaționale ale sateliților artificiali inactivi prin observații fotometrice optice, analiză de serii temporale, modelarea evoluției perioadelor de rotație și inversia curbelor de lumină. Cercetarea a combinat achiziția automată de date, procesarea fotometrică, determinarea perioadelor de rotație și interpretarea fizică a variațiilor observate în raport cu geometria obiectului și cu efectele presiunii radiației solare.

Datele utilizate în cadrul cercetării au fost obținute la **Observatorul Berthelot** al Institutului Astronomic al Academiei Române, utilizând sistemul dedicat SST format din telescoapele **Berthelot-T04** și **Haret-T02**. Această infrastructură permite atât observații de supraveghere cu câmp larg, cât și observații dedicate de urmărire pentru ținte selectate. În acest context, am contribuit la dezvoltarea și utilizarea cadrului metodologic **APSIS - Automated Photometric Survey of Inactive Satellites**, conceput ca un lanț automatizat de procesare pentru selecția țăintelor, calculul ferestrelor de vizibilitate, achiziția imaginilor, calibrarea datelor, identificarea obiectelor, obținerea curbelor de lumină și determinarea perioadelor de rotație.



O primă direcție importantă a activității mele a constat în definirea și aplicarea unei strategii automate de observație pentru sateliții inactivi din regiunile MEO și GEO/GSO. Strategia integrează constrângeri legate de altitudinea țintei deasupra orizontului, iluminarea solară, unghiul de fază, evitarea Lunii și a planului galactic, precum și rata de drift orbital a obiectelor. Această abordare permite prioritizarea țăintelor și creșterea eficienței observaționale, asigurând în același timp condiții favorabile pentru măsurători fotometrice de precizie. Monitorizarea arcului GEO vizibil de la Observatorul Berthelot oferă acces la o fracțiune semnificativă a populației geosincrone observabile dintr-o singură locație terestră.

Prin utilizarea acestui cadru automatizat, am obținut un set de date fotometrice multi-epocă pentru un eșantion de sateliți inactivi monitorizați pe termen lung. Acest set de date include curbe de lumină obținute în geometrii diferite Soare-satelit-observator și permite analiza evoluției perioadelor de rotație pe intervale de timp de ordinul anilor. Importanța acestui tip de monitorizare constă în faptul că variațiile rotaționale ale sateliților inactivi pot fi lente, sezoniere sau seculare, fiind produse de cupluri externe slabe, precum cele generate de presiunea radiației solare.

Pentru determinarea perioadelor de rotație, am utilizat metode de analiză a seriilor temporale fotometrice, în special periodograma **Lomb-Scargle generalizată**, completată prin validarea independentă a rezultatelor cu metoda **reducerii curbei de lumină la epocă**. Această combinație metodologică este potrivită pentru date eșantionate neuniform și pentru obiecte ale căror curbe de lumină pot prezenta forme nesinusoidale, maxime multiple sau armonici dominante. Prin această abordare au fost determinate perioade de rotație pentru sateliții inactivi analizați, iar aceste valori au fost utilizate ulterior pentru investigarea evoluției pe termen lung.

Un rezultat important al cercetării a fost evidențierea variațiilor sezoniere și seculare ale perioadelor de rotație. Pentru mai multe obiecte, variațiile observate au o scară temporală apropiată de un an, ceea ce indică o legătură cu variația anuală a geometriei Soare-satelit. Această interpretare susține rolul presiunii radiației solare în modificarea stării rotaționale a sateliților inactivi. În funcție de geometria satelitului, de raportul arie-masă și de poziția relativă dintre centrul de masă și centrul de presiune, cuplurile produse de radiația solară pot accelera sau decelera rotația obiectului.

În teză am realizat și o interpretare fizică a acestor variații, prin estimări de ordin de mărime ale cuplurilor generate de presiunea radiației solare. Rezultatele indică faptul că valoarea estimată a acestor cupluri poate fi suficientă pentru a explica modificările rotaționale observate. Această analiză susține ipoteza că



presiunea radiației solare reprezintă unul dintre mecanismele importante care controlează evoluția rotațională pe termen lung a sateliților inactivi din regiunea geosincronă.

O altă direcție a cercetării a constat în încercarea de a constrânge orientarea axei de rotație pe baza evoluției perioadei și a geometriei Soare-satelit-observator. Modelarea răspunsului rotațional în funcție de unghiul dintre axa de rotație și vectorul Soare-satelit a permis identificarea unor familii de soluții pentru orientarea polului axei de rotație. Din cauza simetriilor geometrice și a caracterului observațiilor fotometrice optice, soluțiile nu sunt unice. Totuși, acestea nu sunt distribuite aleatoriu, ci tind să se grupeze în regiuni preferențiale ale cerului, ceea ce arată că fotometria pe termen lung poate furniza constrângeri utile asupra orientării axei de rotație.

În partea finală a cercetării, am dezvoltat și aplicat un model simplificat de **inversie a curbei de lumină** pentru sateliți artificiali observați ca surse punctuale. Modelul descrie satelitul printr-un corp central rectangular cu reflexie difuză, completat de una sau mai multe suprafețe cu reflexie speculară, responsabile pentru apariția maximelor de strălucire de tip *glint*. Componenta difuză este modelată folosind legea Lommel-Seeliger, iar componenta speculară este descrisă printr-un profil gaussian al reflexiei. Parametrii modelului includ orientarea polului de rotație, rapoartele axelor corpului, orientarea panoului specular și factorii de scalare fotometrică.

Optimizarea parametrilor a fost realizată printr-o strategie în două etape, folosind **Differential Evolution** pentru explorarea globală a spațiului parametrilor și **Levenberg-Marquardt** pentru rafinarea locală a soluției. Această abordare permite identificarea unor configurații fizic admisibile și evidențiază situațiile în care configurații geometrice diferite pot reproduce curbe de lumină similare.

Modelul a fost aplicat în detaliu satelitului **Raduga 3 (1977-071A)**, aparținând clasei KAUR-3. Alegerea acestui obiect este justificată de acoperirea observațională extinsă și de arhitectura sa structurală, care include un corp central și două panouri solare distribuite simetric față de corpul central. Rezultatele arată că un model cu un singur panou specular reproduce tendințele dominante ale curbelor de lumină, dar lasă reziduuri sistematice, cu o structură periodică. Extinderea modelului la mai multe panouri reflective reduce reziduurile și oferă o reprezentare mai fidelă a variațiilor observate. Aceasta susține interpretarea conform căreia curbele de lumină sunt dominate de contribuția unor suprafețe reflective extinse, a căror orientare controlează apariția maximelor fotometrice.



Universitatea din București
Facultatea de Fizică

str. Atomistilor nr. 405, 077125 Măgurele, Ilfov, CP MG-11
tel +40 21 457 4418/4949 fax +40 21 457 4418/4521
<http://www.fizica.unibuc.ro>
e-mail: secretariat@fizica.unibuc.ro



Rezultatele principale ale tezei au fost valorificate prin articolul **„APSYS: Automated Photometric Survey of Inactive Satellites for rotational dynamics and light curve characterization”**, publicat în revista *Acta Astronautica*, vol. 242, pp. 85–106, în anul 2026, în colaborare cu D. A. Nedelcu și M. Bîrlan. Lucrarea prezintă cadrul APSIS, strategia observațională, fluxul de procesare și aplicarea acestuia pentru caracterizarea rotațională a sateliților inactivi.

Rezultatele cercetării au fost, de asemenea, prezentate în cadrul mai multor conferințe internaționale. În anul 2021, am susținut prezentarea **„Determining the rotational properties for GEO satellites”** în cadrul conferinței *International Conference Viewpoints in Astronomy, Astrophysics, Space and Planetary Sciences*, organizată la Observatorul Astronomic din Cluj-Napoca. În anul 2022, am prezentat lucrarea **„Obtaining the light curves of defunct artificial satellites using observations and modelling”** în cadrul conferinței *Theory, Observations and Data Processing in Astronomy, Astrophysics, Space and Planetary Sciences*. Tot în anul 2022, am susținut prezentarea **„Strategy for GEO survey and results from NEEMO-T03 telescope in Romania”**, în cadrul *3rd IAA Conference on Space Situational Awareness* din Madrid. În anul 2024, am prezentat rezultatele legate de APSIS în cadrul workshopului **KEPASSA2024**, prin contribuția **„APSYS: A Real-Time Pipeline for Photometric Data Reduction”**, precum și prin posterul **„Berthelot – Space Surveillance and Tracking Station”**. De asemenea, am susținut prezentarea **„The use of robotic observatories in the monitoring of artificial space objects”** în cadrul *6th SHAW-IAU Workshop on Astronomy for Education*.

Pe lângă rezultatele direct asociate tezei, activitatea mea de cercetare din perioada doctoratului a inclus contribuții conexe în domeniul observațiilor astrometrice și fotometrice ale asteroizilor, al calibrării instrumentale și al monitorizării obiectelor spațiale artificiale. În această categorie se înscriu articole publicate în reviste precum **Romanian Astronomical Journal**, **The Planetary Science Journal** și **Minor Planet Bulletin**. Dintre acestea menționez contribuțiile la lucrările privind curbele de lumină ale unor asteroizi apropiați de Pământ, campaniile internaționale de apărare planetară dedicate obiectelor 2019 XS și 2023 DZ2, analiza reintrării satelitului Starlink-1353, caracterizarea noii stații astronomice Berthelot și estimarea distorsiunii câmpului pentru sistemul de telescoape NEEMO.

În perioada doctoratului am participat la activități suplimentare relevante pentru formarea științifică și profesională. Am făcut parte din comitetul de organizare al școlii de iarnă **„Objects and phenomena in outer space: Monitoring and risk assessment”**, desfășurată în martie 2022 la Mărișel, Cluj. De asemenea, am participat la seria de exerciții **GLOBAL SENTINEL Modeling and Simulation**, organizate de United States Space Command, în calitate de analist



spațial în delegația României. Începând cu anul 2023, am participat la activități de tip **Real World Events**, asociate exercițiilor Global Sentinel. Formarea mea a fost completată prin participarea la **Space Weather Introductory Course**, organizat de Solar-Terrestrial Center of Excellence, Belgia, și la **Moons of the Solar System Summer School**, organizată de Institut Origines, Aix-Marseille Université, la Observatoire de Haute-Provence.

De asemenea, am desfășurat activități de popularizare a științei pe tematica sateliților artificiali și a importanței monitorizării mediului orbital. La data de 9 iulie 2025, am susținut prezentarea „**The Dual Nature of Satellites: Bright Spots, Dark Shadows - How Our Lives Depend on - and Are Threatened by - Technologies in Space**”, în cadrul seriei de evenimente **Cheers to Science**, organizată de **Ambasada Greciei, Forumul Cultural Austriac și Ambasada Franței**. Prezentarea a avut ca scop explicarea rolului sateliților în societatea modernă, evidențiind atât beneficiile tehnologiilor spațiale, cât și riscurile asociate utilizării acestora, aglomerării mediului orbital și dezvoltării aplicațiilor cu caracter strategic sau militar.

În plus, am participat la activități de popularizare organizate în cadrul **Zilelor Porților Deschise ale Institutului Astronomic al Academiei Române**, unde am prezentat publicului larg noțiuni despre sateliții artificiali, observațiile astronomice ale obiectelor spațiale și importanța monitorizării acestora în contextul *Space Situational Awareness* și *Space Surveillance and Tracking*. Aceste activități au contribuit la diseminarea rezultatelor cercetării către publicul larg și la creșterea gradului de conștientizare asupra rolului infrastructurii spațiale în viața cotidiană.

În paralel cu activitatea de cercetare și diseminare, am desfășurat și activități de predare pe teme conexe domeniului tezei. În perioada **februarie-martie 2026**, am susținut activități didactice pe tema „**Near Earth Objects**” în cadrul programului postuniversitar „**Managementul tehnologiilor spațiale și sisteme satelitare de navigație**”, organizat de **Academia Navală „Mircea cel Bătrân” din Constanța**. Aceste activități au vizat prezentarea noțiunilor fundamentale privind dinamica sateliților artificiali, monitorizarea acestora, riscurile asociate și relevanța observațiilor astronomice pentru domeniul siguranței spațiale.

În concluzie, activitatea de cercetare desfășurată în cadrul studiilor doctorale a condus la dezvoltarea unui cadru observațional și analitic pentru determinarea proprietăților rotaționale ale sateliților artificiali inactivi. Prin utilizarea observațiilor fotometrice multi-epocă, a metodelor de analiză a seriilor temporale și a modelelor fizice simplificate, au fost obținute rezultate originale privind evoluția rotațională a obiectelor din regimul geosincron. Principalele contribuții



constau în dezvoltarea cadrului APSIS, determinarea perioadelor de rotație, identificarea variațiilor sezoniere și seculare, interpretarea rolului presiunii radiației solare și dezvoltarea unui model de inversie a curbei de lumină. Aceste rezultate contribuie la dezvoltarea metodelor de caracterizare a obiectelor spațiale artificiale și oferă un cadru util pentru aplicații viitoare în domeniul SSA/SST, al sustenabilității orbitale și al monitorizării pe termen lung a populației de obiecte inactive din apropierea Pământului.

Participări la conferințe

- **International Conference Viewpoints in Astronomy, Astrophysics, Space and Planetary Sciences**, Cluj-Napoca, România, 2021 - prezentarea *"Determining the rotational properties for GEO satellites"*.
- **Theory, Observations and Data Processing in Astronomy, Astrophysics, Space and Planetary Sciences**, Cluj-Napoca, România, 2022 - prezentarea *"Obtaining the light curves of defunct artificial satellites using observations and modelling"*.
- **3rd IAA Conference on Space Situational Awareness**, Madrid, Spania, 2022 - contribuția *"Strategy for GEO survey and results from NEEMO-T03 telescope in Romania"*.
- **Modern Techniques in Observational Astronomy**, Observatorul Berthelot, România, 2024 - prezentarea *"APSYS: Automated photometric survey of inactive satellites"*.
- **KEPASSA2024 - 6th International Workshop on Key Topics in Orbit Propagation Applied to Space Situational Awareness**, Université d'Artois, Arras, Franța, 2024 - prezentarea *"APSYS: A Real-Time Pipeline for Photometric Data Reduction"*.
- **KEPASSA2024**, Université d'Artois, Arras, Franța, 2024 - posterul *"Berthelot - Space Surveillance and Tracking Station"*.
- **6th SHAW-IAU Workshop on Astronomy for Education**, online, 2024 - prezentarea *"The use of robotic observatories in the monitoring of artificial space objects"*.
- **Sesiunea Științifică Anuală a Facultății de Fizică**, Universitatea din București, 2023 - prezentarea *"Automated photometric survey of inactive satellites (APSYS)"*.
- **Sesiunea Științifică Anuală a Facultății de Fizică**, Universitatea din București, 2025 - prezentarea *"Long term photometric survey of inactive GEO satellites"*.



Bibliografie selectivă

- [1] M. Trelia, D. A. Nedelcu, M. Bîrlan, "APSIS: Automated Photometric Survey of Inactive Satellites for rotational dynamics and light curve characterization", *Acta Astronautica*, vol. 242, pp. 85–106, 2026.
- [2] M. Trelia, D. A. Nedelcu, A. B. Sonka, M. Bîrlan, "Estimation of distortion on NEEMO system of telescopes", *Romanian Astronomical Journal*, vol. 30, pp. 177–185, 2020.
- [3] M. Bîrlan, A. Sonka, O. Bădescu, A. Nedelcu, P. Paraschiv, V. Turcu, M. Trelia, D. Moldovan, E. Petrescu et al., "Berthelot, the new astronomical station in Romania", *Romanian Astronomical Journal*, vol. 31, pp. 41–56, 2021.
- [4] D. Farnocchia, V. Reddy, J. M. Bauer, E. M. Warner, M. Micheli, M. J. Payne, M. M. Trelia et al., "International Asteroid Warning Network Timing Campaign: 2019 XS", *The Planetary Science Journal*, vol. 3, 156, 2022.
- [5] A. Sonka, M. Bîrlan, D. A. Nedelcu, M. Trelia, "Light curves of PHAs 2021 HC3, 2001 EC, (7482) 1994 PC1, and (99942) Apophis", *Romanian Astronomical Journal*, vol. 33, pp. 145–155, 2023.
- [6] C. Omat, M. Trelia, M. Bîrlan, A. Nedelcu, "Analysis of the Re-Entry Phase of Starlink-1353 Satellite", *Romanian Astronomical Journal*, vol. 34, pp. 75–91, 2024.
- [7] V. Reddy, M. S. Kelley, L. Benner, J. Dotson, N. Erasmus, D. Farnocchia, M. Trelia et al., "2023 DZ2 Planetary Defense Campaign", *The Planetary Science Journal*, vol. 5, 141, 2024.
- [8] A. Sonka, D. A. Nedelcu, M. Bîrlan, M. Trelia, "Light curves of Near Earth Asteroids 2024 RJ2, 2024 MK, (363027) 1998 ST27, 2024 PF6, and (163692) 2003 CY18", *Romanian Astronomical Journal*, vol. 35, pp. 3–12, 2025.
- [9] S. A. Bruno, A. Nedelcu, M. Bîrlan, M. Trelia, "Light curve of Comet C/2024 M1 (ATLAS)", *Minor Planet Bulletin*, vol. 52, no. 4, pp. 349–350, 2025.

Semnătura,

Drd. Mirela-Mădălina TRELIA