

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002831

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 10-07-2025

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ХНУ імені В. Н. Каразіна № 0302-Зк/1275 від 29.08.2025 р.



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кириленко Ігор Ігорович

2. Ihor Kyrylenko

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9326-4544

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Фізика та астрономія

Дата захисту: 14-08-2025

Спеціальність за освітою: Фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 9779

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 41.19, 41.19.41, 41.03

Тема дисертації:

1. Чисельне моделювання динамічної еволюції малих тіл Сонячної системи
2. Numerical simulations of the dynamic evolution of small bodies of the Solar system

Реферат:

1. Дисертація присвячена вивченню динамічної еволюції вибраних груп малих тіл Сонячної системи за допомогою чисельних моделювань. Дослідження спрямовані на вивчення орбітального руху астероїдів Головного поясу, астероїдів, що наближаються до Землі, та метеороїдів з метою аналізу їх еволюції та пошуку тіл зі спільним походженням. Рух цих тіл вивчається з урахуванням гравітаційного впливу Сонця і планет та негравітаційних сил, таких як ефект Ярковського та ЯОРП-ефект, що дає змогу знаходити асоціації динамічно пов'язаних астероїдів і визначати джерела їх походження, а також надійно виявляти потенційно небезпечні тіла для оцінки ступеня їхньої загрози для Землі та розробки методів запобігання такій небезпеці. Чисельне моделювання є одним із головних інструментів для аналізу траєкторій та прогнозування довготривалої еволюції малих тіл Сонячної системи. Використання чисельних методів дозволяє розв'язувати рівняння руху цих об'єктів, які, з огляду на нелінійний характер взаємодій та можливу чутливість до початкових умов, важко або неможливо дослідити аналітичними методами, що робить чисельні методи основним інструментом дослідження у даній роботі. Хід дисертаційної роботи висвітлюється в 4 розділах. У

першому розділі представлено огляд літературних джерел. Описано популяції малих тіл Сонячної системи, фізичні характеристики астероїдів, гравітаційні та негравітаційні ефекти, що діють на малі тіла. Розглянуто методи і наявні результати пошуку асоціацій між тілами: проаналізовано метод дослідження астероїдних пар, зокрема критерії відбору кандидатів, методи визначення віку та механізми формування астероїдних пар; наведено способи та результати дослідження асоціацій метеороїдів із можливими батьківськими тілами. У другому розділі дисертації представлено результати власного пошуку нових астероїдних пар у внутрішній частині Головного поясу. Описано методику пошуку пар, яка включає відбір кандидатів за їхніми орбітальними елементами, статистичну оцінку їхньої значущості та чисельне інтегрування орбіт астероїдів з урахуванням можливих похибок в орбітальних елементах. Верифіковано методику на вибірці пар із відомим віком формування. Представлено 50 вперше виявлених астероїдних пар та проаналізовано їхні динамічні та фізичні характеристики. Продемонстровано вплив гравітаційної взаємодії на динамічну еволюцію окремої астероїдної пари. Знайдено новий астероїдний кластер та проаналізовано його характеристики. У третьому розділі дисертації наведено результати роботи з визначення джерел походження окремих метеороїдів. Представлено методи й результати використання інструментальних спостережень явища боліда для визначення траєкторії руху метеороїда в атмосфері, а відтак – і його доатмосферної орбіти. Орбіту метеороїда промодельовано в минуле для пошуку ймовірних джерел його походження, тісних зближень з планетами й можливої спорідненості з вибраними астероїдами. Відбір астероїдів проведено за критеріями близькості до орбіти метеороїда за відстанню у просторі орбітальних елементів та за параметром Тіссерана. Підхід використано для двох метеороїдів: батьківського тіла метеорита Адален (07.11.2020) та тіла, що спричинило так званий київський болід (19.04.2023). Наведено статистичні оцінки ймовірного джерела походження метеороїдів у Головному поясі астероїдів. Проведено порівняння визначених орбіт метеороїдів із популяцією навколосемних астероїдів та з відомими орбітами інших метеороїдів, що призвели до падіння метеоритів. У четвертому розділі дисертації представлено результати дослідження динамічної еволюції окремих малих тіл Сонячної системи. Для потенційно небезпечного астероїда (153201) 2000 WO107 розраховано ймовірності його тісних зближень із Землею та іншими планетами в минулому та майбутньому, для чого використано модель ефекту Ярковського з урахуванням форми й густини астероїда, що були уточнені за результатами власного аналізу кривих блиску. Проведено чисельне моделювання орбітальної еволюції навколосемних астероїдів (3200) Phaethon та 2005 UD, за якими підтверджено спорідненість їхніх орбіт, що вказує на можливий еволюційний зв'язок між цими астероїдами. Досліджено задачу відхилення потенційно небезпечного астероїда та знайдено оптимальний напрям і мінімальну величину збурення в залежності від часу до зіткнення.

2. The thesis is devoted to the investigation of the dynamical evolution of selected groups of small bodies of the Solar System using numerical simulations. The research focuses on the orbital evolution of Main Belt asteroids, near-Earth asteroids, and meteoroids to analyze their dynamical history and identify bodies of common origin. The motion of these objects is studied under the combined influence of solar and planetary gravity, as well as non-gravitational forces such as the Yarkovsky and YORP effects. These mechanisms enable the identification of dynamically associated asteroid pairs and clusters and the determination of their potential source regions. In the context of the global problem of asteroid hazard, the research also contributes to the reliable identification of potentially hazardous objects, which is essential for risk assessment and the development of mitigation strategies. Numerical modeling is one of the primary tools for analyzing trajectories and forecasting the long-term evolution of small Solar System bodies. The application of numerical integration methods allows one to solve the equations of motion of these bodies, whose complex and often chaotic dynamics are difficult or impossible to treat analytically due to nonlinearities and sensitivity to initial conditions. For this reason, numerical methods are the main methodological approach employed in this dissertation. The progress of the dissertation work is covered in four sections. In the first chapter, a review of the literature is provided. It presents an overview of the populations of small bodies in the Solar System, their orbital and physical characteristics, as well as the gravitational and non-gravitational effects influencing their dynamical evolution. The chapter also examines the methods and studies dedicated to identifying associations among these bodies. Particular attention is given to the investigation of

asteroid pairs, including the criteria for candidate selection, age determination techniques, and the mechanisms responsible for pair formation. Additionally, it outlines the approaches and findings related to the identification of associations between meteoroids and their potential parent bodies. The second chapter of the dissertation presents the results of the study of asteroid pairs in the inner part of the Main Belt. The methodology includes the selection of candidate pairs based on their orbital elements, a statistical assessment of their significance, and numerical orbit integration that accounts for uncertainties in the orbital parameters. The approach was validated using a test sample of known asteroid pairs with previously determined formation ages. A total of 50 newly identified asteroid pairs are presented, along with an analysis of their dynamical and physical properties. The influence of mutual gravitational interactions on the dynamical evolution of an individual asteroid pair is demonstrated. Additionally, a new asteroid cluster has been discovered, and its properties are examined in detail. The third chapter of the dissertation presents the results of the work on identifying the source regions of individual meteoroids. It describes the methods and outcomes of utilizing instrumental observations of fireballs to reconstruct their atmospheric trajectories and their pre-atmospheric heliocentric orbits. The orbits were numerically integrated backward in time to search for potential source regions, close planetary encounters, and possible dynamical associations with selected asteroids. Candidate asteroids were selected based on proximity in orbital element space and similarity in Tisserand parameters. This approach was applied to the Adalen meteorite event (07 November 2020) and the Kyiv fireball (19 April 2023). Statistical estimates of the likely origin of these meteoroids in the Main Asteroid Belt are presented. The derived meteoroid orbits are compared with the population of near-Earth asteroids and with other known meteoroid orbits associated with meteorite falls. In the fourth chapter of the dissertation, the results of the investigation into the dynamical evolution of selected small bodies of the Solar System are presented. For the potentially hazardous asteroid (153201) 2000 WO107, the probabilities of close encounters with Earth and other planets, both in the past and future, were computed using a Yarkovsky effect model that incorporates the asteroid's shape and density, refined through the analysis of light curves. Numerical simulations confirmed the orbital association between the near-Earth asteroids (3200) Phaethon and 2005 UD, suggesting a possible evolutionary relationship between these objects. Additionally, the problem of deflecting a potentially hazardous asteroid was examined, and the optimal deflection direction and minimum required perturbation were determined as functions of the time remaining before a possible impact.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Не застосовується

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- Kyrylenko I., Krugly Yu. N., Golubov O. Asteroid pairs: method validation and new candidates // *Astron. Astrophys.* 2021. Vol. 655. Art. A14. (Scopus, Q1) Key words: minor planets, asteroids: general – celestial mechanics DOI: 10.1051/0004-6361/202140365 URL: https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2021/11/aa40365-21/aa40365-21.html e-ISSN: 1432-0746
- Kyrylenko I., Golubov O., Slyusarev I., Visuri J., Gritsevich M., Krugly Yu., Belskaya I., Shevchenko V. The first instrumentally documented fall of an iron meteorite: Orbit and possible origin // *Astrophys. J.* 2023. Vol. 953(1). Art. A20. (Scopus, Q1) Key words: Iron meteorites, Meteorites, Meteoroids, Meteors, Fireballs, Asteroids, Celestial mechanics, Astronomical simulations DOI:10.3847/1538-4357/acdc21 URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/acdc21/pdf> ISSN: 1538-4357

- Kyrylenko I., Krugly Yu. N., Golubov O. Asteroid pairs: Survey of the inner main belt // Astron. Astrophys. 2024. Vol. 689. Art. A291. (Scopus, Q1) Key words: celestial mechanics – minor planets, asteroids: general DOI: 10.1051/0004-6361/202450725 URL: <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2024/09/aa50725-24.pdf> e-ISSN: 1432-0746

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами: 0121U109815, 0120U105122, 0121U111507, 0124U002907, 0124U000967, 0124U000969

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Круглий Юрій Миколайович
2. Yuriy Krugly

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.03.01

Ідентифікатор ORCID ID: 000-0002-3171-9873

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Базей Олександр Анатолійович
2. Oleksandr Bazyey

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.03.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6886-4575

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Одеський національний університет імені І. І. Мечникова

Код за ЄДРПОУ: 02071091

Місцезнаходження: вул. Дворянська, буд. 2, Одеса, 65082, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Козак Людмила Володимирівна

2. Lyudmila Kozak

Кваліфікація: д. ф.-м. н., доцент, 01.03.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9448-0030

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Код за ЄДРПОУ: 02070944

Місцезнаходження: вул. Володимирська, буд. 60, Київ, 01033, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ахметов Володимир Сабірджанович

2. Volodymyr Akhmetov

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.03.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8824-9385

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кайдаш Вадим Григорович

2. Vadym Kaydash

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.03.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1562-5815

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Код за ЄДРПОУ: 02071205

Місцезнаходження: майдан Свободи, 4, Харків, Харківський р-н., 61022, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Федоров Петро Миколайович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Федоров Петро Миколайович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Шевченко Андрій Олександрович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна