

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ГАО НАН України  
акад. НАНУ Ярослав ЯЦКІВ



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**  
Виявлення та аналіз кометної активності в позасонячних планетних системах

**Назва конкурсу:** Підтримка досліджень провідних та молодих учених

**Регістраційний номер Проєкту:** 2020.02/0228

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** 2020.02/0228  
“Виявлення та аналіз кометної активності в позасонячних планетних системах”

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21

### 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 30 квітня 2021 року

Закінчення – 15 грудня 2021 року

Загальна вартість Проєкту, грн. 3 898 590,00

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 769 780,00 грн.

2-й рік 1 583 400,00 грн.

3-й рік 1 545 410,00 грн.

### 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 6 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 3;

інші працівники 1.

### 3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

**Грантоотримувач:** Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, 03143, вул. Заболотного 27, м. Київ.

**Керівник проєкту:** завідувач відділу фізики субзоряних і планетних систем ГАО НАНУ доктор фіз.-мат. наук Яків Володимирович Павленко.

Проєктом не передбачено залучення організації(й) субвиконавця(ів).

## 4. ОПИС ПРОЄКТУ

### 4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Метою проєкту є дослідження кометоподібної активності в системах з екзопланетами та осколковими дисками; вдосконалення методів пошуку проявів екзокометної активності; оцінка певних фізичних параметрів екзокомет.

### 4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

- оптимізація програмних кодів, наявних на сайті архіву супутника TESS для пошуку, крос-ідентифікації та завантаження даних;
- обробка та аналіз даних кривих блиску зір;
- розробка методів машинного навчання для класифікації транзитних явищ;
- моделювання асиметричних кривих блиску;
- оцінка фізичних параметрів пилової коми екзокомет на основі моделювання кривих блиску зір супутника TESS.

### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

#### - Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Сучасні теорії формування планетних систем передбачають багаточисельну популяцію планетезималей у позасонячних системах. За даними телескопів Kepler та TESS зафіксовані транзити, які мають відмінну від екзопланетних асиметричну форму, спричинену екзокометами. Нещодавно було запропоновано автоматичний метод пошуку асиметричних транзитів для даних Kepler, де із 68000 транзитів виявили кілька кривих, які свідчать про екзокометний транзит.

#### - Новизна Проєкту (до 400 знаків)

У проєкті пропонується: 1) застосування методів машинного навчання для морфологічної класифікації мінімумів в кривих блиску зір, які обумовлені транзитами; 2) відтворення форми кривої зміни блиску зорі під час екзокометного транзиту, застосовуючи модельні розрахунки процесу розвитку кометних пилових атмосфер.

#### - Методологія дослідження (до 400 знаків)

Робота включає в себе крос-ідентифікацію, завантаження та обробку архівних даних місії TESS; побудову кривих блиску зір; розробку критеріїв морфологічної класифікації транзитів та на їх основі застосування методів машинного навчання для морфологічної класифікації транзитних явищ; модельні розрахунки пилових ком екзокомет та обставин транзиту, які обумовлюють морфологію асиметричних кривих блиску.

## 5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

Створений робочий програмний комплекс написаний мовою Python для аналізу часового ряду спостережень та автоматичного пошуку транзитних явищ на базі стандартних програм пакету "Lightkurve v2.0", який містить ряд удосконалень (переваг), необхідних для вирішення завдань проєкту. На базі цього комплексу розпочатий системний аналіз всіх кривих блиску зір, наявних в архіві спостережень орбітального телескопа TESS (Transiting Exoplanet Space Satellite). Послідовний моніторинг зір дозволив виявити ряд подій в базі даних TESS, які є кандидатами у екзокометні транзити. Проведені модельні розрахунки кривих блиску зорі типу Сонце за умови проходження по її диску комет, що рухаються на різних відстанях від зорі та мають орбітальні та фізичні характеристики подібні до комет Гейла-Боппа (C/1995 O1) – довгоперіодичної комети Сонячної системи, комети Галлея (1P/Halley), та динамічно нової комети C/2006 S3. Результати модельних розрахунків склали тренувальну вибірку з більш ніж 100 модельних кривих блиску для застосування методів машинного навчання до бази даних TESS з метою автоматичної класифікації транзитних явищ. Ця робота розпочалась на другому етапі виконання проєкту. Проводився ґрунтовний аналіз літератури, присвяченій застосуванню методів машинного навчання, вибір та верифікація оптимального набору параметрів для методів машинного навчання та дослідження впливу співвідношення сигнал/шум на достовірність класифікації. Аналіз нових даних в секторах спостережень TESS 32, 33 та 34 дозволив ідентифікувати п'ять нових асиметричних мінімумів в кривій блиску зорі  $\beta$ -Живописця (TIC 270577175), які можуть бути обумовлені проходженням кометоподібного небесного тіла по диску зорі. Була проведена обробка кривих блиску цієї зорі та модельні розрахунки профілів виявлених асиметричних транзитів, що

дозволило оцінити певні орбітальні характеристики екзокомет, що їх спричинили. В алгоритм модельних розрахунків була введена функція, що описує розсіяння світла зорі на пилових частинках ком комет. Це дозволило точніше відтворити профілі транзитів.

**5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)**

Створений програмний комплекс на мові Python, який полегшує обробку часових рядів бази даних орбітального телескопа TESS. Виявлено ряд подій в базі даних TESS, а саме, асиметричних мінімумів у кривих блиску зір, які є кандидатами у екзокометні транзити. Створена тренувальна вибірка модельних екзокометних транзитів для застосування методів машинного навчання з метою автоматичної класифікації мінімумів у кривих блиску зір. Виявлено п'ять нових транзитних явищ в системі зорі  $\beta$  Живописця, проведено їх модельний аналіз та надані оцінки деяких динамічних характеристик екзокомет, що могли спричинити транзит. Підготовлені та відправлені в науковий журнал статті "New exocomets of  $\beta$ -Pic" (10 стор, журнал Astronomy and Astrophysics, квартал Q1) та стаття "The algorithm for automatic identification of asymmetric transits in the TESS database" (Proceedings IAU Symposium №364, С. Sterken, J. Hearnshaw & D. Valls-Gabaud, eds.). Обидві статті перебувають на розгляді в журналах. За темою досліджень зроблено 8 доповідей на міжнародних та вітчизняних конференціях, 5 із яких проходили у віддаленому режимі.

**5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

Стаття, яка підготовлена та перебуває на розгляді в журналі Astronomy and Astrophysics, присвячена виявленню та аналізу транзитів в системі зорі  $\beta$ -Живописця. Планетарна система цієї зорі перебуває на стадії формування та дає інформацію для розуміння формування нашої Сонячної системи і є предметом інтересу широкого кола вчених. За допомогою спектральних спостережень в цій системі вже були виявлені події, які пов'язують с існуванням екзокомет. Наші дослідження підтверджують висновок про ймовірне існування комет двох типів в системі цієї зорі. Ми сподіваємось, що зроблене дослідження  $\beta$ -Живописця в рамках даного проєкту викличе науковий інтерес та зробить внесок в розуміння процесів формування планетних систем.

**5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

Прикладні наукові дослідження і науково-технічні розробки не проводились.

**5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

Як зазначалось, результати проєкту були представлені на 8 міжнародних та вітчизняних конференціях, де разом із науковими результатами автори ознайомили широке коло учасників конференції з ідеями використання методів штучного інтелекту для вирішення астрофізичних задач. Всі напрацювання по обробці даних космічної місії TESS, а також розроблений робочий комплекс можуть бути основою для подальших досліджень, а також доповнювати лекційні курси для студентів-астрономів та аспірантів в частині використання даних космічних місій та застосування методів машинного навчання для вирішення астрофізичних задач.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

**Науковий керівник Проєкту**

зав. відділу фізики субзоряних і планетних систем

Яків ПАВЛЕНКО

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)