

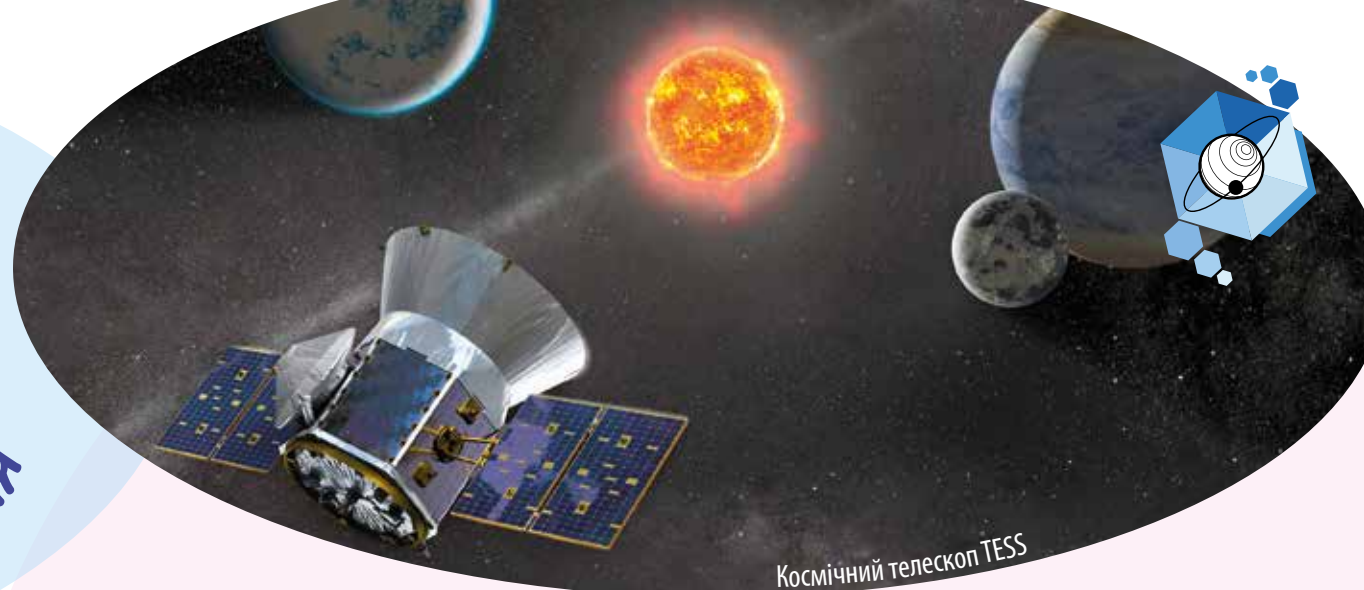
Твої Власні спостереження

Продовжимо дізнаватись про цікаві проекти громадянської науки в астрономії. У попередній статті ми говорили про *Galaxy Zoo*, що в основі має академічний інтерес, бо ж галактики, що вивчають у ньому, розташовані дуже далеко від нас. Сьогодні ж ми розповімо про ближчий до практичних потреб людства проєкт – *Planet Hunters*, у якому добровольці полюють за екзопланетами! Так, людство таки мріє про завоювання інших планет в майбутньому.

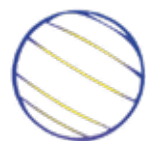
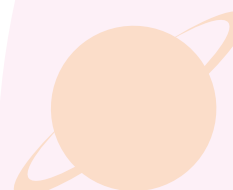
Planet Hunters – це ще один проєкт, у якому професійні астрономи потребують масової допомоги волонтерів у роботі з візуальними даними. Організувати його допомогла команда *Galaxy Zoo* (що тепер зветься *Zooniverse*). У 2009 році NASA запустило космічний телескоп „*Kepler*”, основним завданням якого було полювати за екзопланетами – планетами поблизу інших зір. Після нелегких дев'яти з половиною років роботи в космосі (із системою орієнтації, що частково вийшла з ладу у 2013 році) та спостереженнями за півтора сотнями тисяч близьких до нас зір, „*Kepler*” „пішов на пенсію” в 2018 році, залишивши спадок не лише для професійних астрономів, але й для добровольців. Після перших етапів, на яких обро-

бляли дані з космічного апарату „*Kepler*”, проєкт продовжили для оброблення інформації з ще одного телескопа – *TESS* (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*), який NASA запустило в 2018 році з цілком аналогічною ціллю.

Щоби розібратися в усіх тонкощах проєкту, спершу нагадаємо про основні методи відкриття і спостереження екзопланет. Найочевиднішим способом є, звичайно ж, **пряме спостереження планети** – у нечисленних випадках планета буває настільки великою і має настільки високе альbedo (частку відбитого світла, що падає на планету від зорі), що її можна побачити безпосередньо в телескопі, відфільтрувавши світло самої зорі. Але це вдається зробити досить рідко. Історично ж першим був **астрометричний метод спостереження**, що базується на дуже точному вимірюванні змін координат зорі в часі. Досить важка планета, обертаючись навколо своєї зорі, змушує її також трішки обертатись навколо себе – а точніше, навколо барицентру, центру мас планети і зорі. Таке відбувається навіть з нашим Сонцем відносно Юпітера. Спорідненим до цього методу є **спектрометричний метод**. Коливаючись навколо барицентру, зоря також змінює свою швидкість, що фіксують у спектрі зорі завдяки ефекту Доплера, адже коли зоря рухається в нашу сторону, її світло для нас ставатиме трішечки блакитніше, коли вона рухатиметься від нас – трішки червоніше.



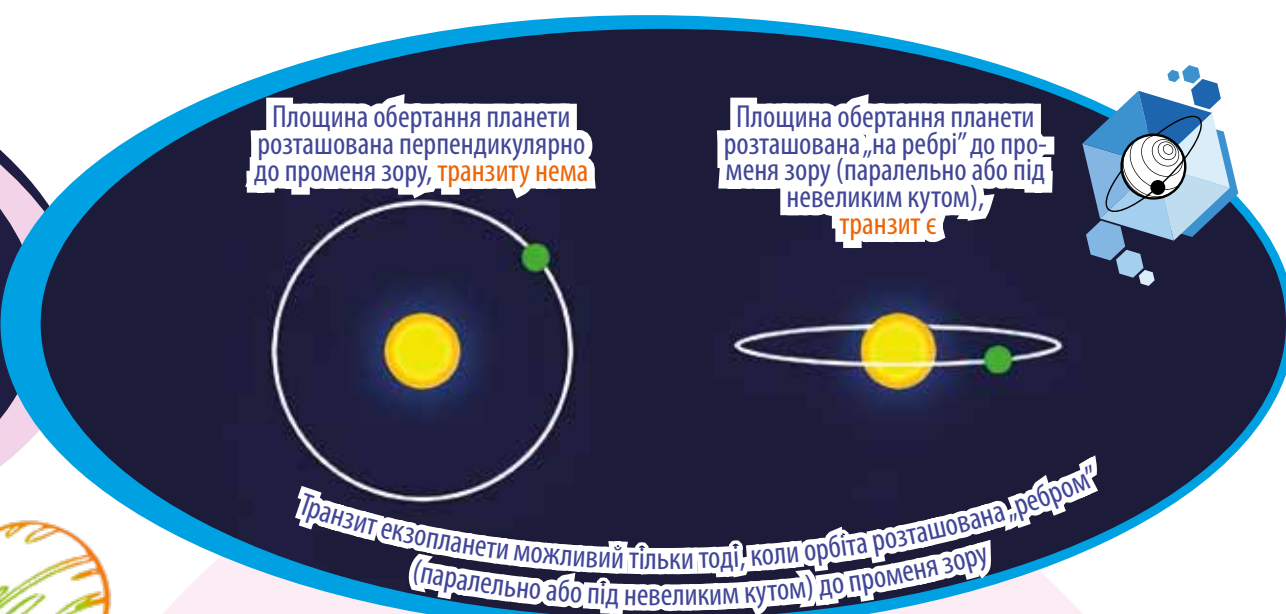
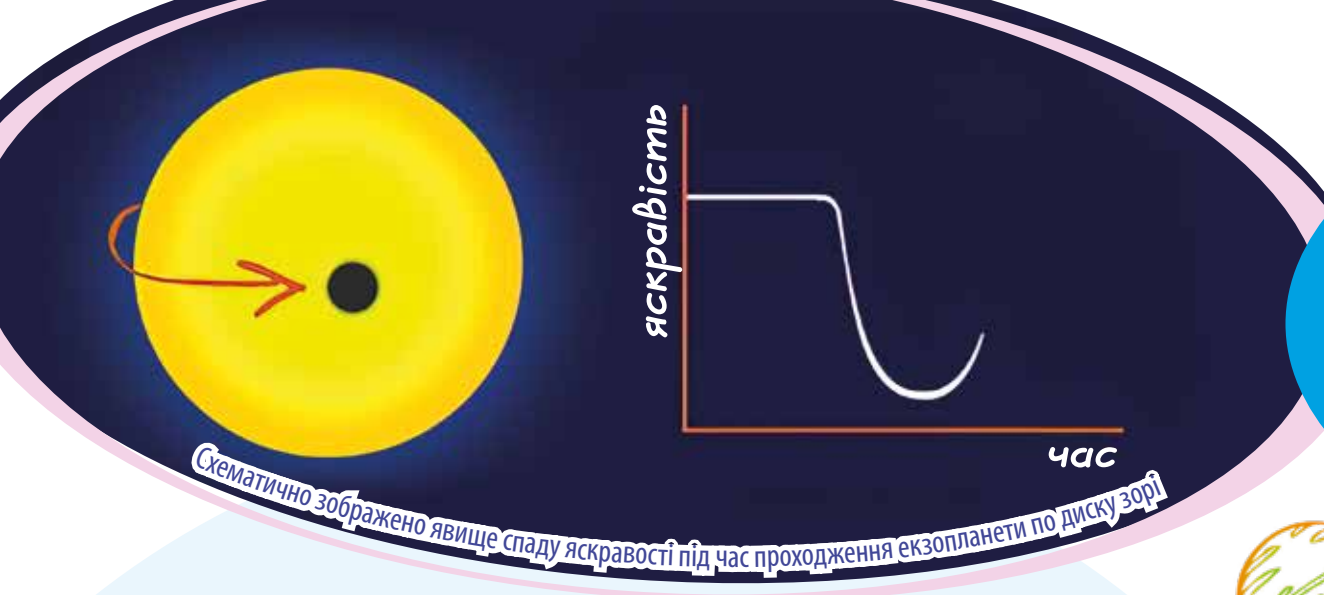
Космічний телескоп TESS



Planet Hunters



Орбітальний телескоп „Kepler”

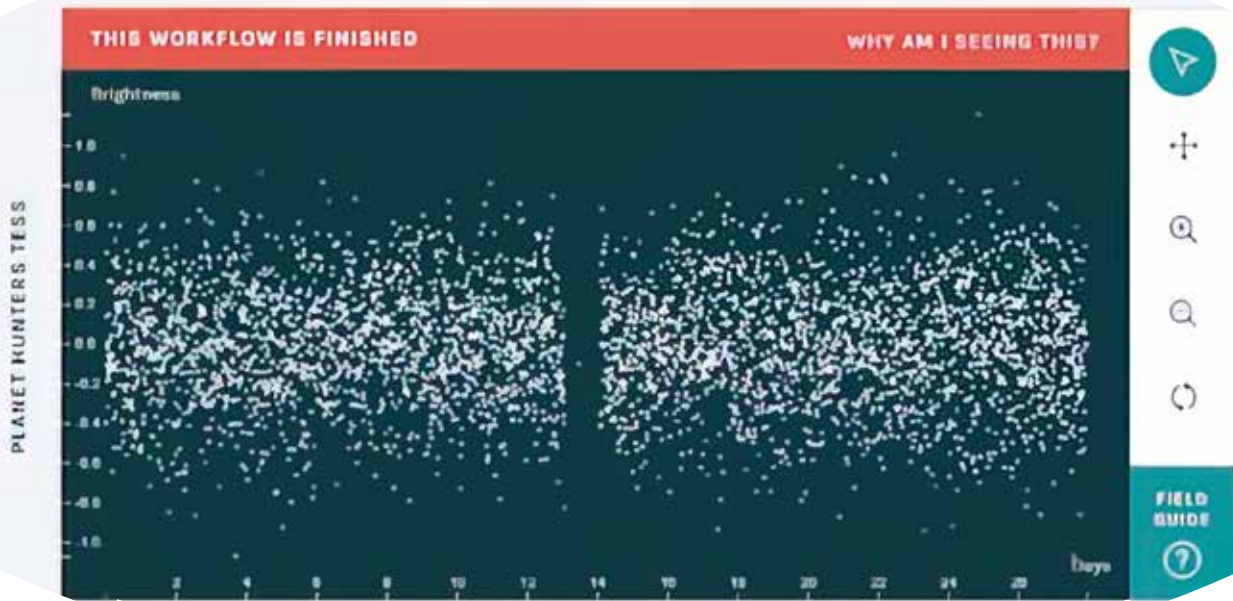


Четвертий і найбільш масовий метод – **транзйентний**. Саме за таким способом екзопланети знаходив „Kepler“, і продовжує знаходити TESS. Ним було відкрито найбільшу кількість екзопланет, яких всього, станом на вересень 2021 року, вже знайдено близько 5000. Метод базується на тому, що в ті моменти, коли екзопланета проходить по диску своєї зорі (опиняється на одній лінії між спостерігачем і зорею), можна чітко зафіксувати невелике спадання яскравості зорі. Якщо таке спадання є періодичним (з періодом обертання планети), то вчені оголошують про відкриття екзопланети. Але, звісно, виявити це непросто, адже планети зазвичай набагато менші ніж зорі. Так, радіус Юпітера, найбільшої планети в Сонячній системі, приблизно в 10 разів менший ніж радіус Сонця (а площа диска відповідно у 100 разів менша), а радіус Землі – більше ніж в 100 разів (а площа диска – в 10 000 разів). Тобто і зменшення потоку світла, а значить і яскравості, відбувається на зовсім малу частку – десятки або й соті частки відсотка. Але від надчутливих космічних телескопів така зміна не сховається. Крім цих чотирьох методів, недавно з'явився ще один – з допомогою гравітаційного лінзування, який не став і, мабуть, ніколи не стане масовим, адже гравітаційне лінзування світла трапляється, коли екзопланета на короткий проміжок часу займає положення між Землею та джерелом світла, іншою зорею зазвичай. Втім, таке не тільки трапляється рідко, то ще й майже ніколи не повторюється. До речі, у попередніх статтях журналу „КОЛОСОК“ є захопливі статті про екзопланети та їх пошук¹.

¹Читай статті Олександра Шевчука у журналі „КОЛОСОК“ № 9–12/2011

Отже, раніше „Kepler“, а тепер TESS дуже уважно і довго стежив за яскравістю певної зорі, очікуючи, що за час спостереження гіпотетична планета, яка мала б обертатись навколо неї хоча б один раз, пройде по її диску. Тоді яскравість зорі на короткий проміжок часу зменшиться. Якщо телескоп помітить повторне аналогічне зменшення яскравості небесного тіла через якийсь великий проміжок часу – це хороший кандидат на екзопланету. Одночасно за такими спостереженнями можна знайти приблизний радіус орбіти планети (якщо відома маса зорі), адже, як ви, мабуть, пам'ятаєте зі школи – закони Кеплера пов'язують орбітальний період планети з радіусом її орбіти. Крім того, профіль зміни яскравості (вчені називають його кривою блиску зорі) має характерну різку U-подібну форму, що відрізняє його від змін в яскравості, викликаних іншими причинами. За такими ознаками в кривих блиску зір та їх періодичним повторенням і полював „Kepler“. І знов, у цьому випадку уважність людини перевершує, або як мінімум добре доповнює алгоритми, якими обробляють ці дані. Волонтерам пропонують візуально вичленити спад яскравості на графіку її залежності від часу – йдеться про потенційні нові екзопланети, які згодом підтверджуються або ні під час детального розгляду вже професійними астрономами. Причини для зниження яскравості зорі можуть бути різні, наприклад, спалахи на самій зорі, „затемнення“ однією зорею іншою в ще не виявлених подвійних системах, пилові диски навколо зір тощо. Кожна з причин має свій унікальний профіль кривої блиску, тому безпосередня людська уважність стає надзвичайно потрібною.





Приклад завдання на сайті Planet Hunters. На кривій блиску потрібно ідентифікувати спад яскравості

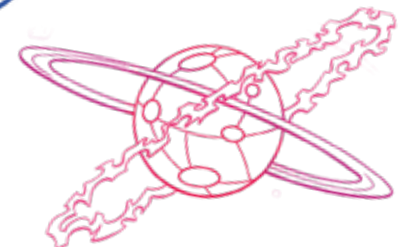
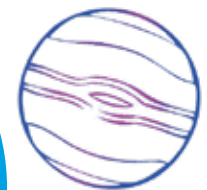
З допомогою волонтерів, станом на сьогодні, проаналізовано понад 12 млн спостережень (починаючи з 2010 року). Волонтери-шанувальники астрономії, всього лиш „граючись” в науку, знаходячи U-подібні провали в яскравості, змогли відкрити за десять років близько двох десятків екзопланет, серед яких навіть одна планета з кратною орбітою – **Kepler-64b** (це означає, що вона обертається навколо подвійної зорі). Що цікаво, це була перша з виявлених волонтерами планет (це сталося в 2012 році). У проєкті взяло участь уже понад 300 тисяч волонтерів з усього світу.

Ілюстрація художника до Kepler-64b або PH1



Долучитись до них зовсім просто. Як і у випадку з Galaxy Zoo, для цього потрібно мати комп'ютер або смартфон із доступом до інтернету. Зайшовши на сайт проєкту, ти знайдеш короткий опис, як знаходити і позначати потенційні транзити (проходження по диску зорі) планет на кривих блиску, а далі візьмешся до роботи – сотні тисяч зір чекають тебе!

Очевидно, що полювання на екзопланети тільки набирає обертів – вже заплановані потужні майбутні космічні місії: телескоп **Вебба**, телескопи **PLATO**, **ARIEL** і вже запусканий на орбіту „**Cheops**”. Їм будуть доступні все нові відкриття, ба більше – вчені вже пробують розгледіти екзокомети – комети, що обертаються навколо інших зір! Як впливає зі статистичних даних про відкриті екзопланети, тільки в нашій Галактиці їх є приблизно 100 мільярдів! Навіть якщо їх порівну розділити між всім населенням Землі – кожному з нас дістанеться не менше 10 світів-планет! Хіба це не стимул, щоб долучитись до полювання на них прямісінько зі своєї домівки?



Максим Ціж, астрофізик, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету ім. І. Франка

