



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 44 – 48

УДК 523; 524.6

## Особливості відкриття екзопланет в екліптиці зірок сузір'їв нашої Галактики на прикладі ідентифікації сьомого транзиту в кривій блиску від зірки KOI-351

О.В. Кобзар

Науково-дослідний центр Збройних Сил України "Державний океанаріум", м. Одеса

*В роботі представлені результати пошуку екзопланет в системі зірки KOI-351 методом дистанційного комп'ютерного аналізу та обробки кривих блиску, виконаних орбітальним телескопом "Кеплер". Система складається із зірки KOI-351 (за різними класифікаторами KOI 2437209, KIC 11442793 або Kepler-90) та семи екзопланет, які знаходяться в так званій "населеній зоні" цієї зірки. Презентована участь українських добровольців-любителів астрономії з команди Planet Hunters, які брали активну участь в дослідженнях та стали першовідкривачами окремих планет зазначеної екзопланетної системи.*

*ОСОБЕННОСТИ ОТКРЫТИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ В ЭКЛИПТИКЕ ЗВЕЗД СОЗВЕЗДИЙ НАШЕЙ ГАЛАКТИКИ НА ПРИМЕРЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЕДЬМОГО ТРАНЗИТА В КРИВОЙ БЛЕСКА ОТ ЗВЕЗДЫ KOI-351, Кобзарь А.В. — В работе представлены результаты поиска экзопланет в системе звезды KOI-351 методом дистанционного компьютерного анализа и обработки кривых блеска, выполненных орбитальным телескопом "Кеплер". Система состоит из звезды KOI-351 (по разным классификаторам KOI 2437209, KIC 11442793 или Kepler-90) и семи экзопланет, находящихся в так называемой "обитаемой зоне" этой звезды. Представлено участие украинских добровольцев-любителей астрономии из команды Planet Hunters, которые принимали активное участие в исследованиях и стали первооткрывателями отдельных планет указанной экзопланетной системы.*

*FEATURES OF EXOPLANET DISCOVERING AT OUR GALAXY'S STAR ECLIPTICS BY THE EXAMPLE OF IDENTIFICATION OF THE SEVENTH TRANSIT AT THE LIGHT CURVE FROM THE STAR KOI-351, by Kobzar A.V. — Results of the exoplanet search in KOI-351 star system using the remote computer analysis and processing of light curves made by the orbiting telescope "Kepler" are presented. The system consists of the star KOI-351 (according to different classifications KOI 2437209, KIC 11442793 or Kepler-90) and seven exoplanets in the so-called "habitable zone" of the star. It was presented a participation of Ukrainian amateur astronomy volunteers from the team Planet Hunters, who were actively involved in the research and became discoverers of some planets in this exoplanet system.*

**Ключевые слова:** KOI-351; KOI 2437209; KIC 11442793; Kepler-90; экзопланета; звезда; телескоп; транзит.

**Key words:** KOI-351; KOI 2437209; KIC 11442793; Kepler-90; exoplanet; star; telescope; transit.

### 1. ВСТУП

Якщо не піддавати сумніву або ревізуванню класичних законів Кеплера [1], тобто емпіричних залежностей, які описують рух планет навколо Сонця, та умовно екстраполювати ці принципи на віддалені зірки та планетні системи нашої Галактики, цілком можливо вважати, що далекі екзопланети також приблизно розташовані в подібній площині та утворилися з одного обертового плоского протопланетного диска.

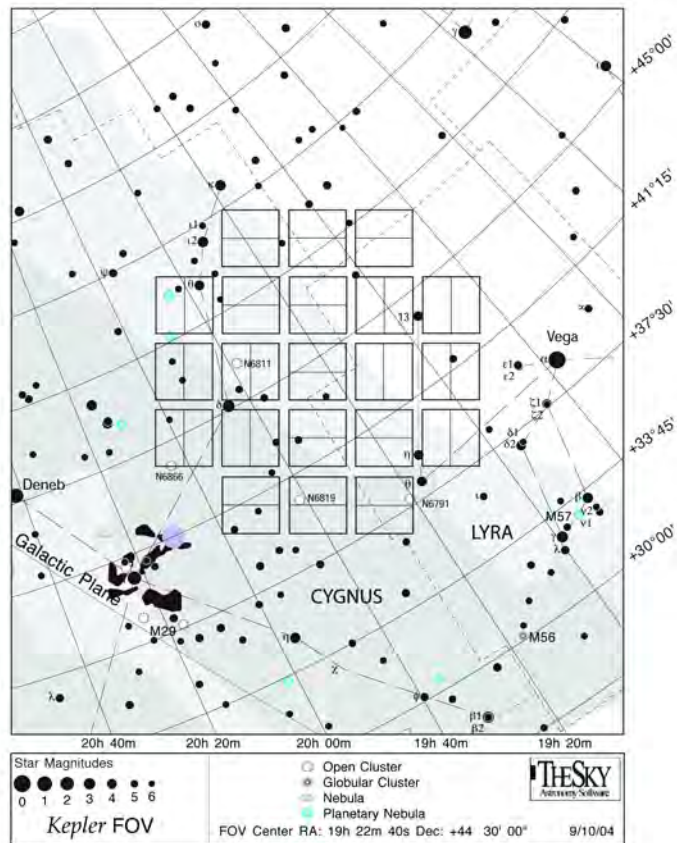
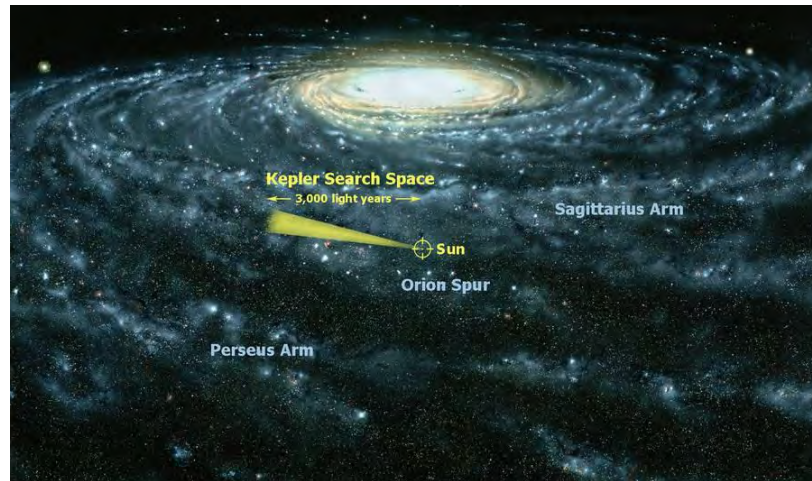
Станом на кінець червня 2016 року, згідно з обліком Енциклопедії позасонячних планет, точно встановлене існування 3438 екзопланет у 2571 планетних системах, в 586 з яких є більше однієї планети [2].

Архів екзопланет Національного управління з аеронавтики і дослідження космічного простору (NASA), на цей час, також визнає підтвердженими існування 3285 екзопланет [3].

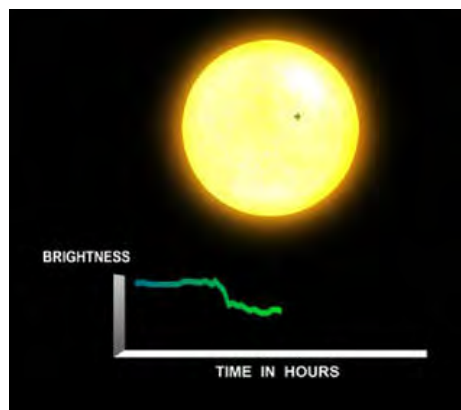
Більш того, кількість кандидатів на отримання статусу екзопланет є значно більшою: за проектом "Кеплер", нині існує 4696 небесних тіл, що є потенційними екзопланетами [4], але задля офіційного підтвердження їхнього статусу необхідна їх повторна реєстрація наземними телескопами (за статистикою, це стається в 90% випадків).

### 2. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ОБРОБКА ДАНИХ

Орбітальний телескоп "Кеплер" (системи Шмідта) [5] був запущений в космічний простір у березні 2009 року з метою пошуку планет, які розташовані поза Сонячною системою та подібні нашій Землі. Телескоп був виведений на навколосонячну орбіту з висотою близько 1 а.о. від Сонця поза площиною екліптики. Візуалізовано позицію, напрямок спостереження та поле зору телескопа "Кеплер" зображено на рис. 1



**Рис. 1.** Візуалізоване представлення ділянки нашої Галактики, місця розташування та напрямку спостереження (поля зору) телескопа Кеплер (автори: NASA Ames)



**Рис. 2.** Візуалізація зображення зірки, на фоні якої проходить планета та графік падіння її яскравості (автори: NASA Ames)

Телескоп за допомогою транзитного методу веде спостереження за більш як 150 тисячами схожих на Сонце зірок, навколо яких гіпотетично можуть обертатися екзопланети. З метою охоплення спостереженням найбільшої можливої кількості зірок він був націлений в напрямку сузір'їв Лебедя і Ліри та в площині нашої Галактики.

Коли планета проходить диском своєї зірки, вона закриває від спостерігача частину її випромінювання, як показано на рис. 2.

Аналізуючи коливання яскравості світил, телескоп може не тільки знаходити планети, але може також приблизно оцінювати їхній розмір та інші характеристики. В подальшому, після передачі зображень на Землю, детальний пошук екзопланет здійснюється візуально-апаратним методом з використанням електронно-обчислювальної техніки та спеціального програмного забезпечення за допомогою науковців, фахівців та добровольців-любителів астрономії.

В даному випадку джерелом інформації для обробки став масив даних міжнародного проекту Planet Hunters, який був започаткований наприкінці 2010 року та є відкритим та доступним для всіх бажаючих, див. [6]

В ході дослідження за відсутності на даний час надійних алгоритмів автоматичного виявлення аномального падіння яскравості зірок, просіювання та ідентифікація транзитів здійснювалися візуально-аналітичним методом за допомогою персонального комп'ютера.

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ

В період починаючи з 22.10.2013 р. (версія v1) до 02.07.2014 р. (остання редакція, версія v3) на ресурсах Корнельського університету (США) [7] та в серпні 2014 року на сторінках журналу "The Astronomical Journal" групою астрономів (в основному, які належать до астрономічної школи США) з даних, які отримав телескоп "Кеплер" в попередні роки та проаналізованих фахівцями та добровольцями з команди Planet Hunters, було оголошено про відкриття 14 нових транзитних планет-кандидатів [8]. Результати пошуку жодної з цих нових планет-кандидатів на момент оголошення відкриття не перетиналися з результатами роботи інших різних команд науковців та пошуковців.

В числі знайдених планет також було оприлюднено відкриття в сузір'ї Дракона сьомої планети до системи з шести планет навколо зірки KOI-351 (за різними класифікаторами — KOI 2437209, KIC 11442793 або Kepler-90), що вказало на повну ідентичність цієї системи нашій Сонячній системі.

Було б невірно не зазначити, що в той час, майже паралельно, а саме 11.11.2013 року, інша — європейська — група астрономів також повідомила про відкриття цього компактного аналогу Сонячної системи, тобто планетарної системи зірки KIC 11442793 з посиланням на те, що дещо раніше ряд вчених вже мали нагоду вивчати цю зоряну систему з екзопланетами [9].

Саме група [10] ще на початку 2013 року дійсно знайшла навколо зірки KOI-351 перші п'ять планет, транзити  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$ ,  $f$  яких зображені на рис. 3.

Цією групою дослідників було здійснено перші дослідження знайденої планетної системи, але до повної схожості на Сонячну систему не вистачало ще декількох планет, тобто до того часу, коли шоста та сьома планети були відкриті згодом. В подальшому вони також повідомили про відкриття планетарної системи з семи транзитних планет  $b$ ,  $c$ ,  $e$ ,  $f$  та  $d$ ,  $g$ ,  $h$  навколо цілі Kepler KOI-351 (KIC 11442793, KOI 2437209), транзити яких зображені на рис. 4.

Виявилось, що планети  $h$  і  $g$  (на зовнішніх орбітах системи) є газовими гігантами і вони показали сильні динамічні взаємодії, планети  $d$ ,  $e$  і  $f$  є невеликими планетами з радіусами близько 2,87, 2,66 та 2,88 відповідно радіусів Землі з періодами, близькими до середнього руху резонансного ланцюга (4:3:2), планети  $b$  і  $c$  — з розмірами менше 1,3 та 1,2 радіусів Землі, та знаходяться в межах 0,5% 4:5 середнього резонансного руху. Тобто ця складна система виявила деяку певну схожість на нашу Сонячну систему з невеликими планетами на внутрішніх орбітах і газовими гігантами на зовнішніх орбітах, але вона є більш компактною. Зовнішня планета має орбітальну відстань від своєї зірки близько 1 а.о., а положення газових гігантів, які нагадують планети типу Юпітера або Сатурна, знаходяться ближче від відносної до очікуваної області формування планет. Динамічних взаємодій між знайденими планетами також виявилось набагато більше [11]. Тест стабільності сфери Хілла [12] і орбітальних інтеграцій системи показав, що зоряна система KOI-351 є досить стабільною.

Всі сім планет знаходяться в так званій "населеній зоні" своєї зірки в межах відстані — до 1 а.о., тобто не перевищують відстані від нашого Сонця до орбіти Землі.

Автори публікації першої (американської) групи вчених свого часу за відкриття сьомої планети в системі KOI-351 особливим повідомленням та індивідуально подякували добровольців проекту Planet Hunters, які взяли участь у пошуці та науковому аналізі екзопланет-кандидатів [13].

Більш того, цілком ймовірно, що орбіти вже відомих планетних тіл системи зірки KOI-351, одним з першовідкривачів сьомої з яких у 2013 році, на переконання провідних вчених першої групи дослідників (Chris Lintott, Professor of Astrophysics in the Department of Physics Oxford University, et al.) [6, 7, 11,

13], став саме автор даної статті, дійсно є еліптичними з відповідними індивідуальними ексцентриситетами, а самі планети є класичними.

Цілком справедливим є також ствердження, що зоряна система KOI-351 (Kepler-90), яка включає в себе сім екзопланет, окремі з яких були ідентифіковані командою Kepler та добровольцями команди Planet Hunters, — найбільш захоплюючий результат всієї місії орбітального телескопу “Кеплер” з пошуку екзопланет в нашій Галактиці.

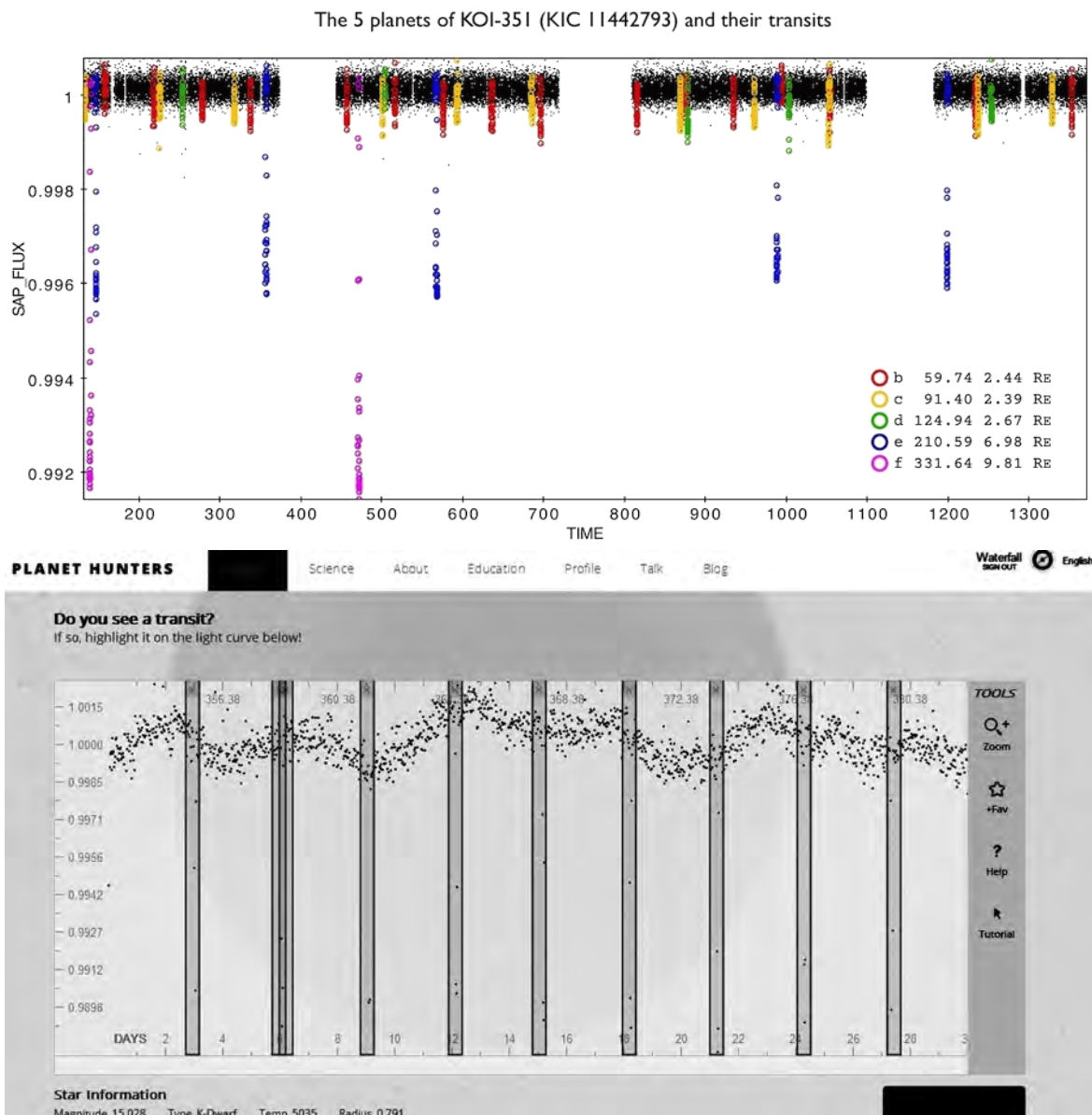


Рис. 3. Транзити зірки KOI-351 (KIC 11442793) та представлення подібних транзитів на екрані монітору

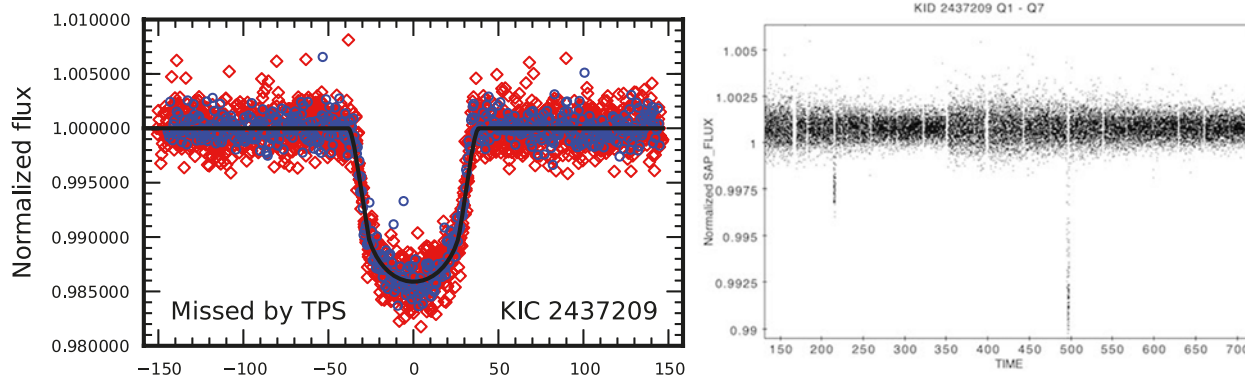


Рис. 4. Транзити зірки KOI-351 (KOI 2437209)

#### 4. ВИСНОВКИ

1. Гравітаційні взаємодії між планетами зірки KOI-351, яка досліджувалася, в переважній своїй більшості випадків, вказують на їх чіткий планетарний характер.

2. Орбіти семи планет системи зірки KOI-351 є еліптичними з відповідними індивідуальними ексцентриситетами, хоча для загальної динамічної стійкості системи потрібно, щоб ексцентриситети орбіт планет не перевищували значення 0,1 (тобто орбіти повинні бути близькі до кругових).

3. Динамічних взаємодій між планетами системи зірки KOI-351 може бути набагато більше, аніж відомо на сьогодні, тобто можливість відкриття 8, 9 та  $n$ -ї планети цієї зоряної системи, але скоріш за все, поза так званою “населеною зоною”, є цілком ймовірною.

1. Закони Кеплера. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Закони\\_Кеплера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Закони_Кеплера)
2. Енциклопедія позасонячних планет. Каталог. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://exoplanet.eu/catalog/>
3. Архів екзопланет NASA. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>
4. Проект Кеплер. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/kepler/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html)
5. Кеплер (орбітальний телескоп). — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Кеплер\\_\(орбітальний\\_телескоп\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Кеплер_(орбітальний_телескоп))
6. Planet Hunters. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.planethunters.org/>
7. *Schmitt J.R., Wang J., Fischer D.A., et al.* Planet Hunters. VI: An Independent Characterization of KOI-351 and Several Long Period Planet Candidates from the Kepler Archival Data. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://arxiv.org/abs/1310.5912v3> та <http://arxiv.org/pdf/1310.5912v3.pdf>
8. *Schmitt J.R., Wang J., Fischer D.A., et al.* Planet Hunters. VI: An Independent Characterization of KOI-351 and Several Long Period Planet Candidates from the Kepler Archival Data // *The Astronomical Journal*. — **148**, № 2. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/148/2/28/meta;jsessionid=90FC08F3A450FB33315F407073674439.c1.iopscience.cld.iop.org>
9. *Cabrera J., Csizmadia Sz., Lehmann H., et al.* The Planetary System to KIC 11442793: A Compact Analogue to the Solar System. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://arxiv.org/pdf/1310.6248v2.pdf>
10. *Batalha N.M., Rowe J.F., Bryson S.T., et al.* // *The Astroph. J. Suppl.* — 2013. — **204**. — P.24
11. *Schmitt J.R., Wang J., Fischer D.A., et al.* Planet Hunters. VI: An Independent Characterization of KOI-351 and Several Long Period Planet Candidates from the Kepler Archival Data. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://arxiv.org/pdf/1310.5912v3.pdf>
12. Сфера Гілла. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сфера\\_Гілла](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сфера_Гілла)
13. Planet Hunters. VI: An Independent Characterization of KOI-351 and Several Long Period Planet Candidates from the Kepler Archival Data. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://old.planethunters.org/PN6>

Надійшла до редакції 10.07.2016

Прийнята до друку 25.08.2016