

# Пошук екзопланет в системах білих карликів

---

к.ф.-м.н. Велесь О.А.

Main Astronomical Observatory  
National Academy of Sciences of Ukraine  
Akad. Zabolotnoho St., 27  
03680, Kyiv, Ukraine  
veles@mao.kiev.ua



---

24 березня 2018 р.



# Загальний опис.

Останні декілька років пошук позасонячних планет переживає реальний бум: число відкритих екзопланет перевалило за 3500, ще декілька тисяч кандидатів знаходяться на стадії підтвердження. На деяке здивування астрофізиків, екзопланети відкривають не тільки біля зірок головної послідовності, які не сильно відрізняються від Сонця. В 2015-2017 роках біля надхолодного червоного карлика TRAPPIST-1 знайдено цілу планетну систему з 7 планет невеликого розміру. Внаслідок малих розмірів червоних карликів, відносний видимий ефект транзитів планет по диску зорі значно більший, що дає можливість відкривати планети земного типу наземними інструментами. Але є ще більш компактний тип зірок, білі карлики, які при транзиті взагалі можуть або повністю закриватися планетою або зменшувати яскравість в декілька разів.

Звичайно, є великий скептицизм у питанні наявності планет біля білих карликів, аргументований в основному тим, що планети не в змозі пережити стадію червоного гіганта, що передують утворенню білого карлика. Але є декілька міркувань чи навіть фактів, які говорять за можливість такої конфігурації:

1. Наявні білі карлики - це залишки нормальних зірок з початковою масою від  $0.9M_{\odot}$  і до  $2-8M_{\odot}$ . Тобто це саме ті типи зірок, біля яких і відкрито більшість екзопланет. І якщо існування планет, на орбітах менших на максимальний радіус зірки на стадії червоного гіганта дискусійна, то ймовірність планети вижити на більш далеких орбітах досить висока. Це, наприклад, підтверджується існуванням гарячих юпітерів на відстанях в декілька мільйонів км від фотосфер нормальних зірок.

Більше того, є факт існування планети-гіганта в системі субкарлика V391 Pegasi: газовий гігант в  $3M_j$  на відстані 1.7 а.о., який ймовірно пережив стадію червоного гіганта.



Причина, чому досі не відкрито планети в системах з білими карликами транзитним методом є суто геометрична і зумовлена розмірами білих карликів.

По-перше це призводить до того, що як зорі білі карлики мають малу яскравість.

По-друге, малі розміри значно зменшують ймовірність вдалої орієнтації орбіти екзопланети для ефекту транзиту.

До того ж всього додається коротка тривалість транзиту, від декількох до десятків хвилин, на відміну від звичайних зір, де транзит триває години.

Але є і деякі переваги пошуку планет в системах білих карликів:

По-перше, білі карлики досить розповсюджений тип зірок.

По-друге, для детектування транзиту не потрібна висока точність фотометрії. Можна взагалі шукати моменти, коли білий карлик зникає в кадрі.



Для пошуку моментів транзиту (яке перетворюється у затемнення планетою білого карлика) пропонується аналіз доступних цифрових оглядів неба, які відповідають наступним умовам:

1. Проникна здатність краща за 18 зоряну величину, та велике поле зору (більше 1-2 кв. градусів). Відповідно, тоді в кадр з великою ймовірністю попадає більше одного білого карлика.

2. Експозиція має бути не більше декількох хвилин, щоб припасти на ймовірний момент транзиту.

Іншими словами, згодиться фотографічний каталог або огляд, куди попали  $N$  білих карликів  $P$  разів, при чому значення добутку  $NP$  має бути якнайбільшим (див. формулу ймовірності в слайді).

Для початку було взято каталог sdssdr7wd: Sloan Digital Sky Survey DR7 White Dwarf Catalog, відповідно для 20тис. карликів по 5 моментів спостереження в фільтрах SDSS. Це біля  $NP = 10^5$  відносно незалежних моментів спостережень білих карликів, що дає шанс попасти в момент затемнення зірки планетою, особливо якщо планета-гігант знаходиться на близькій орбіті. Після аналізу даних, біло обрано 4 кандидати, які мають істотні провали в одному з фільтрів:

name	gmag	umag	rmag	imag	zmag
SDSS J070546.78+393453.4	16.51	16.11	16.67	24.37	17.25
SDSS J220823.66-011534.0	21.75	18.42	18.79	19.07	19.84
SDSS J131156.70+544455.8	18.52	24.65	17.07	16.05	15.49
SDSS J085612.42+143756.9	25.08	23.73	19.81	18.27	17.52



# Передумови

Міркування базуються на даних [NASA Exoplanet Archive](#), каталозі з 20 тис. білих карликів [sdssdr7wd: Sloan Digital Sky Survey DR7 White Dwarf Catalog](#) та наступних фактах:

- Одні з перших екзопланет відкриті в системі пульсар + WD (1993 р.)
- Наявність залишків планет в системах білих карликів
- Відкриття землеподібних планет в системі ультрахолодного карлика (TRAPPIST-1)



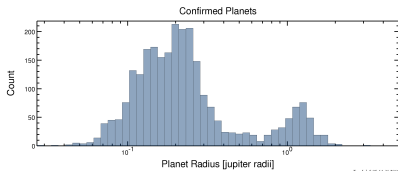
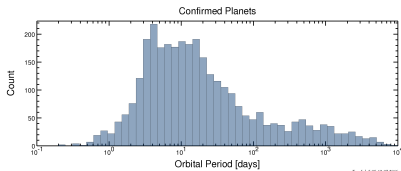
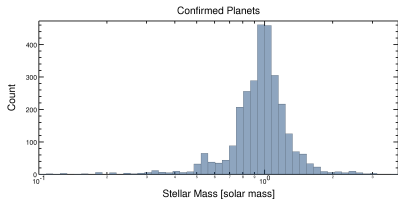
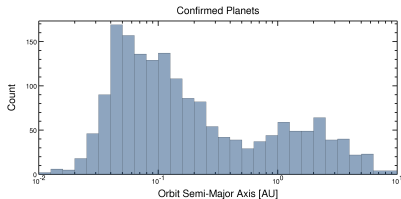
# Чи переживуть планети стадію червоного гіганта?

## Аргументи ЗА:

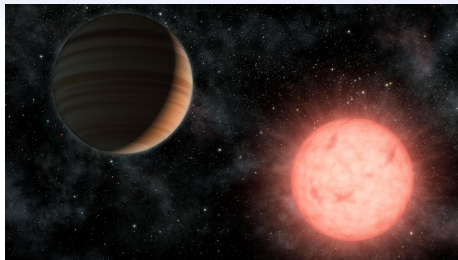
- Планета в системі субкарлика V391 Pegasi: газовий гігант в  $3M_j$  на відстані 1.7 а.о.
- Планетна система біля субкарлика Kepler-70 (KOI-55): дві землеподібні планети на відстані менше 0.01 а.о.
- Наявність планет в системах з пульсарами та білими карликами.



# NASA Exoplanet Archive plots



## Переваги та недоліки:



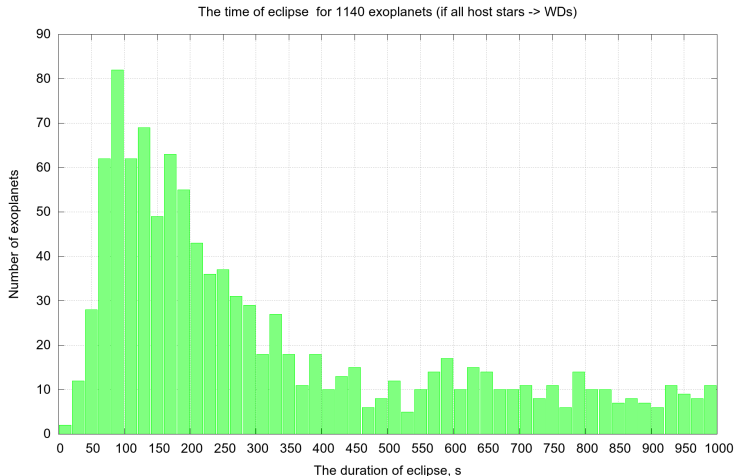
- Розповсюдженість білих карликів (3%-10%)
- Легкість детектування (повне або часткове затемнення)
- Дуже низька світність білих карликів ( $10^m - 15^m$ )
- Мала тривалість затемнення (хвилини)





# Параметри затемнень

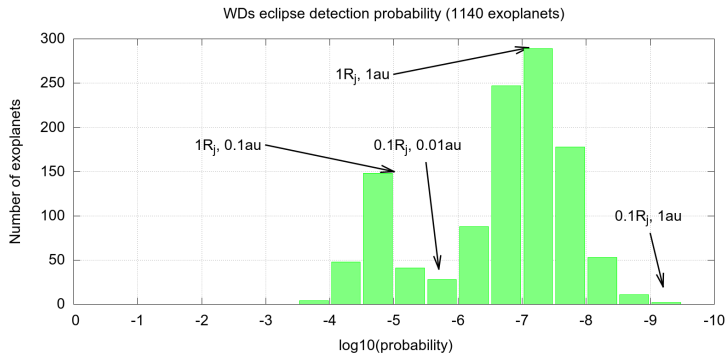
Розподіл часу затемнення для екзопланет з відомими радіусами та орбітами при гіпотетичному білому карлику з  $M = 0.6M_{\odot}$  замість реальної зорі.



# Ймовірність виявлення моменту затемнення

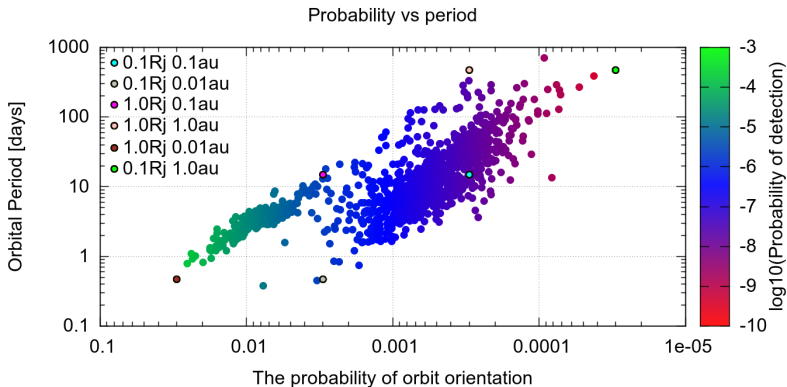
$$\sigma = \underbrace{\sigma_p}_{\sigma_1} \left( \frac{R_p}{2\pi a_p} \right) \underbrace{\left( \frac{2R_p}{\pi a_p} \right)}_{\sigma_2} = \sigma_p \frac{1}{\pi^2} \left( \frac{R_p}{a_p} \right)^2$$

$\sigma_p$  - ймовірність наявності планети  
 $\sigma_1$  - відношення часу затемнення до періоду обертання  
 $\sigma_2$  - ймовірність вдалого нахилу орбіти



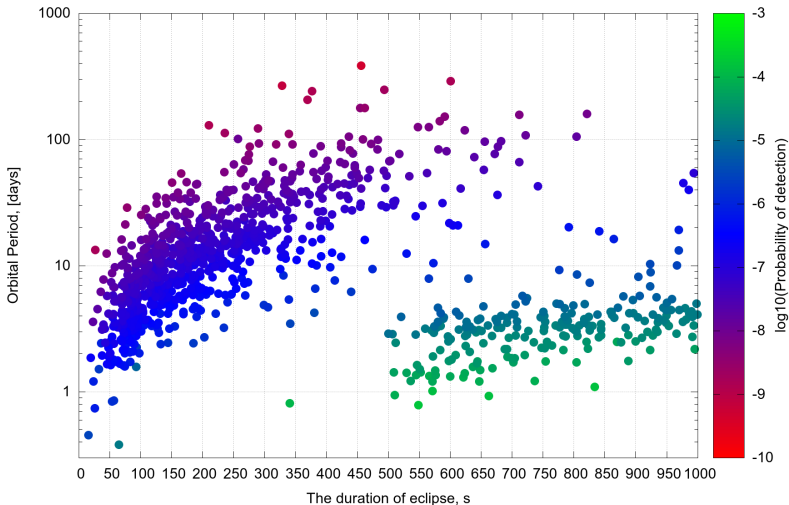
# Параметри затемнень

Розподіл часу затемнення для екзопланет з відомими радіусами та орбітами при гіпотетичному білому карлику з  $M = 0.6M_{\odot}$  замість реальної зорі.



# Параметри затемнень

The eclipse time distribution for 1140 exoplanets (if all host stars -> WDs)

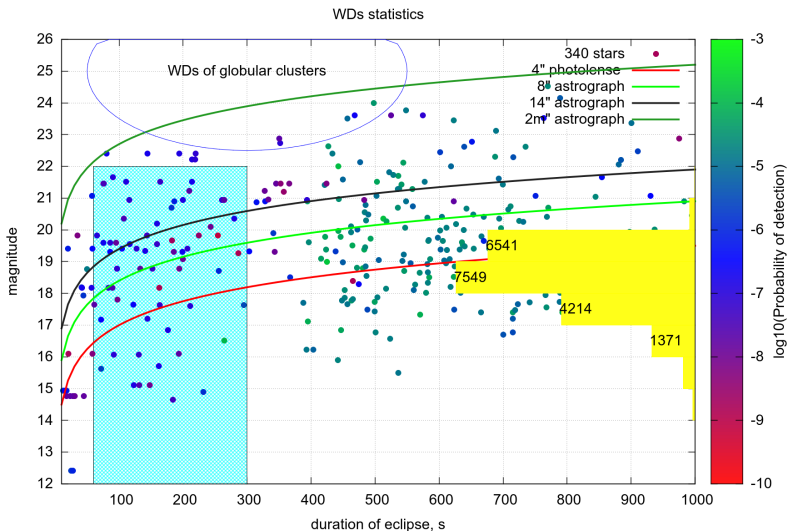


# Практична частина

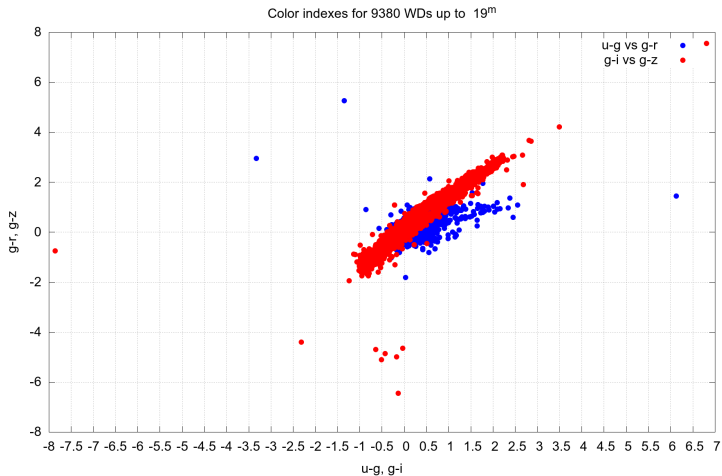
- Що спостерігати?
- Як або чим спостерігати?
- Чи є подібні проекти?
  
- Загалом відомо близько 40тис. білих карликів до  $19^m$  (для 11 663 кв.гр.) (Kleinman et al., 2013)
- Є проекти з пошуку землеподібних планет в системах білих карликів в межах HZ (Kilic, Agol et al., 2013)



# Параметри для огляду WDs



# Розподіл білих карликів за індексами кольору

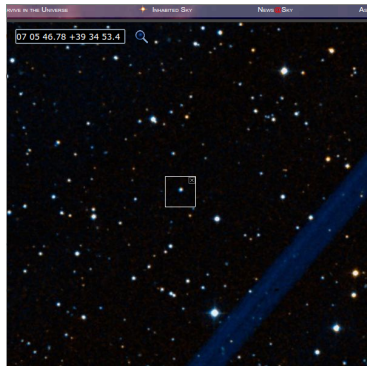


# Кандидат №1

SDSS J070546.78+393453.4 → Object Info

(вересень-березень)

name	gmag	umag	rmag	imag	zmag	gmag_extinction
SDSS J070546.78+393453.4	16.51	16.11	16.67	24.37	17.25	0.292130



## Observation data

- Constellation:Auriga
- RA:07h05m46.63s
- Dec:+39°35'00.0"
- Apparent magnitude:15.15
- USNO-A2 1275-06748150

Рис. : sky map.org image.

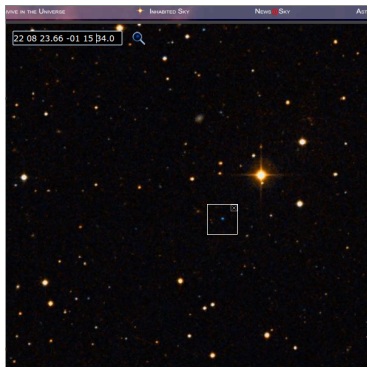




# Кандидат №2

J220823.66-011534.0 → Object Info (липень-вересень)

name	gmag	umag	rmag	imag	zmag	gmag_extinction
SDSS J220823.66-011534.0	21.75	18.42	18.79	19.07	19.84	0.351438



## Observation data

- Constellation: Aquarius
- RA: 22h08m23.67s
- Dec:  $-01^{\circ}15'33.2''$
- Apparent magnitude: 18.15
- USNO-A2 0825-19561644

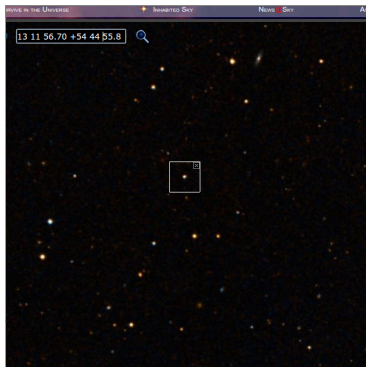
Рис. : sky-map.org image.



# Кандидат №3

SDSS J131156.70+544455.8 → Object Info (не заходить)

name	gmag	umag	rmag	imag	zmag	gmag_extinction
SDSS J131156.70+544455.8	18.52	24.65	17.07	16.05	15.49	0.087918



## Observation data

- Constellation:Ursa Major
- RA:13h11m56.95s
- Dec:+54°44'54.1"
- Apparent magnitude:16.5
- USNO-A2 1425-07918883

Рис. : sky-map.org image.

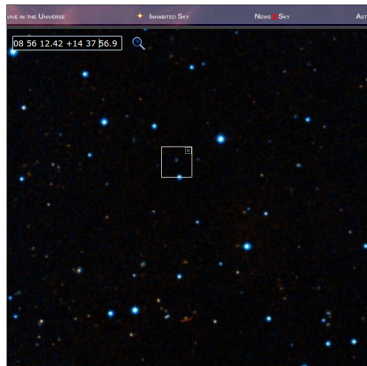


# Кандидат №4

SDSS J085612.42+143756.9 → Object Info

(листопад-квітень)

name	gmag	umag	rmag	imag	zmag	gmag_extinction
SDSS J085612.42+143756.9	25.08	23.73	19.81	18.27	17.52	0.165427



## Observation data

- Constellation:Cancer
- RA:08h56m12.42s
- Dec:+14°38'00.1"
- Apparent magnitude:18.2
- USNO-A2 0975-06095240

Рис. : sky map.org image.



# Інші аналогічні проекти

Kepler K2 Program (2014-2016)

Habitable Planets Around White Dwarfs. M. Kilic et al.

- in Fields 8 and 10 (148 WDs)(Jul 6 - Sep 20, 2016)
- in Fields 8 and 10 (124 WDs)(Jan 3 - Mar 23, 2016)
- in Fields 6 and 7 (68+9 WDs)(Jul 11 - Dec 26, 2015)
- in Fields 4 and 5 (346+28 WDs)(Feb 7 - Jul 11, 2015)
- in Fields 2 and 3 (34+10 WDs)(Aug 22, 2014-Feb 6, 2015)
- in Fields 0 and 1 (85+8 WDs)(Mar 8-Aug 21, 2014)



# Варіанти інструментів для огляду

Celestron EdgeHD 1100 + Hyperstar 11"f/2.0 → [Info](#)



## Spec

- D=280mm, F=560mm, 14 kg
- corrected field of APS formats
- camera ASI 1600MM-Cool
- FOV: 2.2 sq.degree (3-8 WDs)
- Lim.Mag: 18.6 for 1 min
- Price: 4300 + 1000 + 1200 EUR



# Варіанти інструментів для огляду

Celestron Edge HD 800 + Hyperstar 8" f/2.1 → [Info](#)



## Spec

- D=203mm, F=425mm, 7 kg
- corrected field of APS formats
- camera ASI 1600MM-Cool
- FOV: 3.8 sq.degree (4-10 WDs)
- Lim.Mag: 18.2 for 1 min
- Price: 1500 + 900 + 1200 EUR



# Варіанти інструментів для огляду

Boren-Simon 8"f/2,8 → [Info](#)



## Spec

- D=200mm, F=568mm, 7.6 kg
- corrected field of APS formats
- camera ASI 1600MM-Cool
- FOV: 2.1 sq.degree (2-4 WDs)
- Lim.Mag: 18.1 for 1 min
- Price: 1900 + 1200 EUR



Дякую за увагу

Thank you for your attention

