«Світи поза Сонячною системою: як ми шукаємо та досліджуємо екзопланети, чи знайдемо на них життя»?

Лектор доктор фіз.-мат. наук, професор,
завідувач кафедри Електроніки і комп'ютерної техніки (ЕКТ)
Сумського державного університету
Опанасюк Анатолій Сергійович

© Опанасюк А.С.

КАФЕДРА ЕКТ СУМДУ

Кафедра «Електроніки і комп'ютерної техніки» (ЕКТ) Сумського державного університету є випусковою та ***проводить набір абітурієнтів за двома спеціальностями та трьома освітніми програмами***:

F7 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ.

G5 ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ, ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА РАДІОТЕХНІКА.

Освітні програми:

«Електронні системи та компоненти»,

«Мережеві та інтернет технології»

(навчання за денною та заочною формою)

- https://ekt.elit.sumdu.edu.ua
  https://ekt.elit.sumdu.edu.ua/category/opys-spetsialnosti/

© Опанасюк А.С.

МІСЦЕ ЗЕМЛІ ТА СОНЦЯ У ВСЕСВІТІ

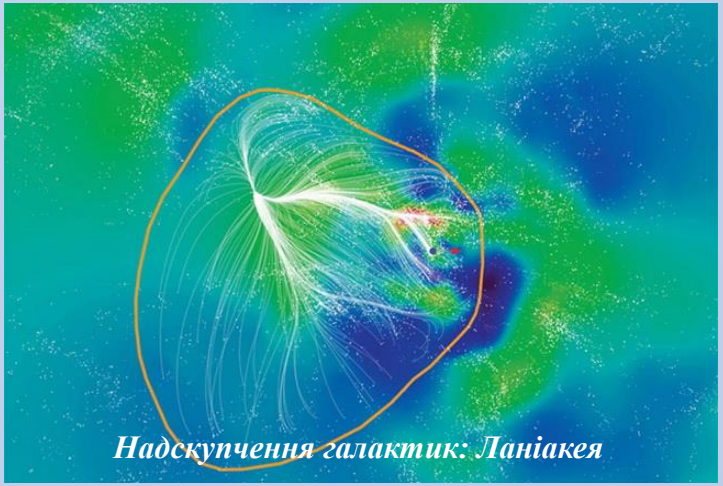




Шарове скупчення зірок



Наша Галактика



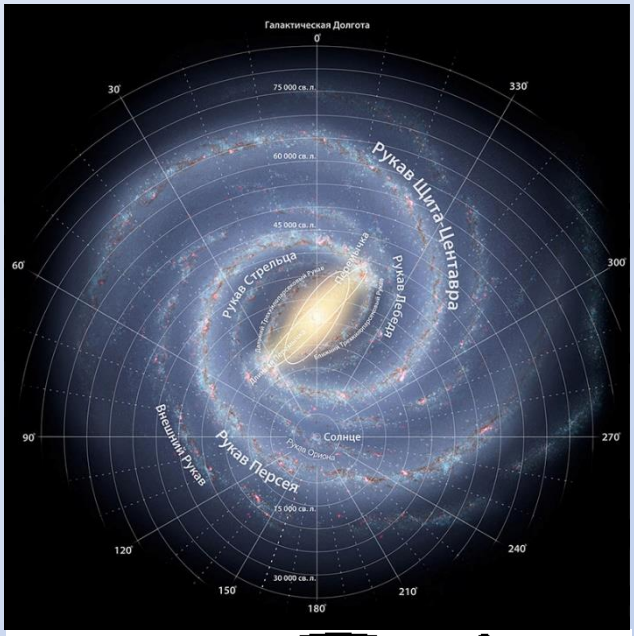
Надскупчення галактик: Ланіакея

Планетарна система: ***Сонячна система***
Міжзоряна хмара: ***Місцева міжзоряна хмара***
Галактичний рукав: **Рукав Оріона**
Галактика: ***Чумацький Шлях***
Нагромадження галактик: ***Місцева група***
Надскупчення галактик: ***Місцеве надскупчення (Діви)***
Надскупчення галактик: ***Ланіакея***
Галактична нитка: ***Комплекс надскупчень Риби - Кіта***

Наша галактика - Чумацький Шлях знаходиться всередині ***надскупчення Діви***, яке є рукавом ще більш великого ***надскупчення Ланіакея (Laniakea)*** - одного з найбільших об'єктів у Всесвіті. Він простягається на ***520 млн. світлових років***, і ***десь всередині нього знаходиться наша галактика.***

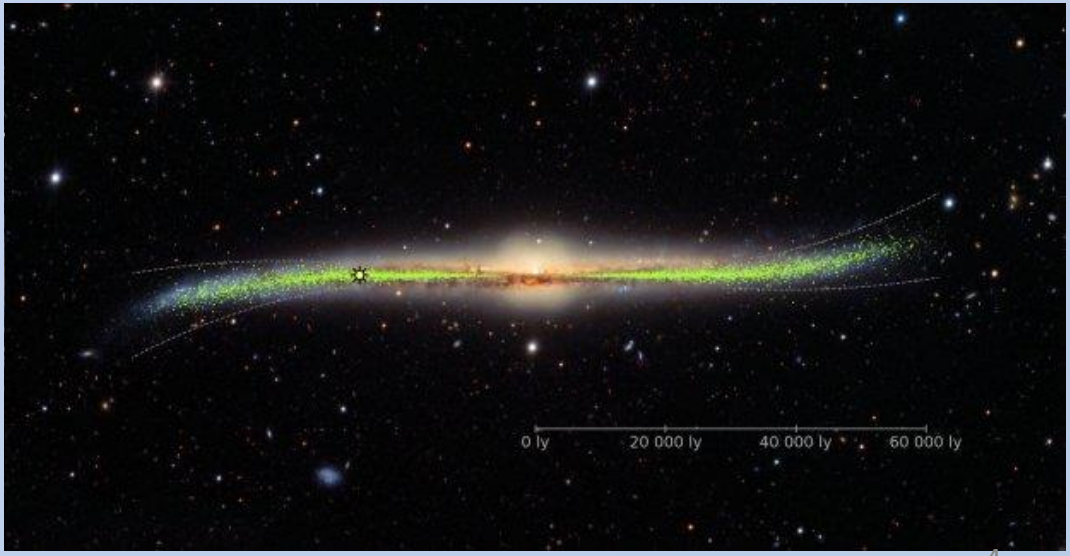
© Опанасюк А.С.

НАША ГАЛАКТИКА



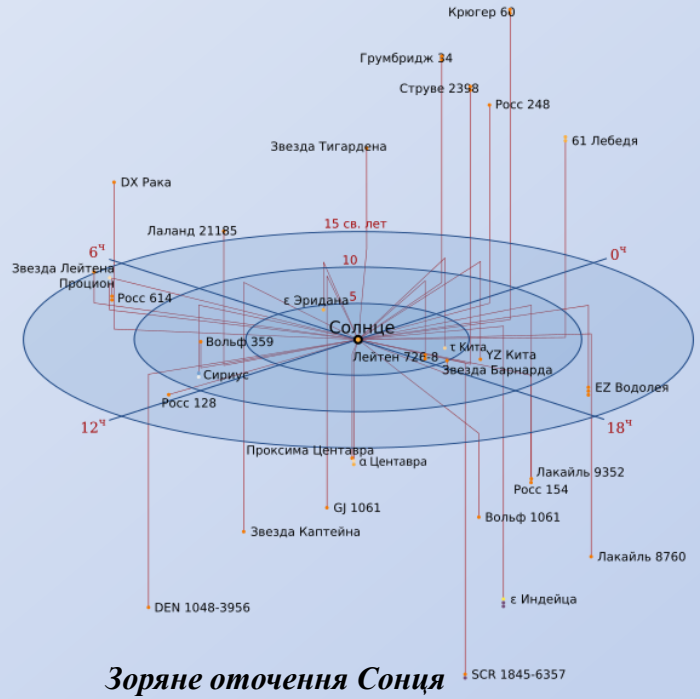


Сонце знаходиться у ***спіральній галактиці Чумацький Шлях.*** Її основний диск ***складає близько 80 000 - 100 000 світлових років у діаметрі*** та близько 250 000-300 000 у периметрі. Поза межами ядра галактики ***товщина Чумацького Шляху складає приблизно 1000 світлових років. Якщо зменшити діаметр галактики до 130 кілометрів, то Сонячна система займала б лише 2 міліметри***. Гало Чумацького шляху простягається набагато дальше його фізичних розмірів, але обмежується орбітами двох галактик-супутників: ***Великої та Малої Магелланових Хмар***, відстань до яких складає біля 180 000 світлових років. На думку фахівців ***Галактика, є хвилястим, а не плоским диском***. Поки астрономи побачили чотири такі складки. ***За оцінками наша галактика містить від 100 до 400 млрд зірок. Всього у спостережуваному всесвіті людству зараз відомо десь 2 трл. галактик.***

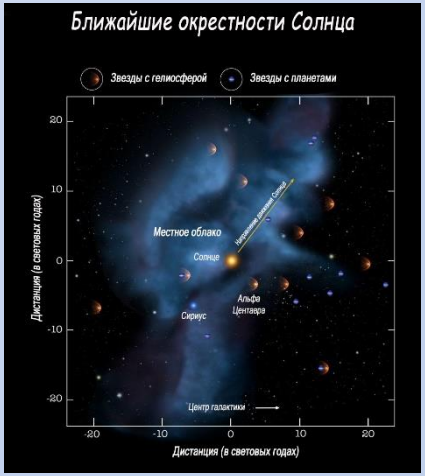


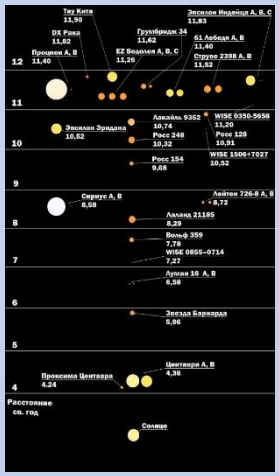
© Опанасюк А.С.

ЗОРЯНЕ ОТОЧЕННЯ СОНЦЯ

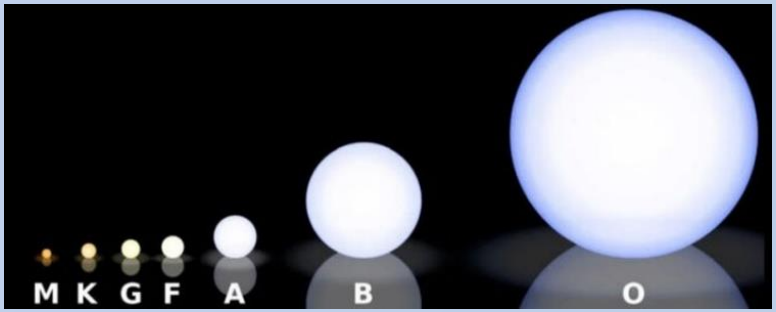


Зоряне оточення Сонця





- ***Зірки поділяють на спектральні класи за кольором** (див. рис).*
- У зоряне оточення ***Сонця**, яке відноситься до спектрального класу G (жовтий карлик),* радіусом ***16 світлових років***, увійшло входить ***57 зіркових систем (рис.1)***. Деякі з них – це подвійні та потрійні зірки, тому ***загальна кількість небесних тіл досягає 64.*** У переліку ***13 коричневих карликів***, які відчутно поступаються іншим об'єктам за масою. ***Лише 7 зірок зі списку ми можемо побачити без допомоги оптичного підсилення - Сиріус, Альфа Центавра, Епсілон Ерідана, Проціон, Епсілон Індіанця, Тау Кіта, 61 Лебедя. Більшість світил відносяться до спектрального класу M (червоний),*** їх температура становить (2600-3800) К. Гарячі зірки – Сіріус А, спектрального класу А (білий), 9940 К і Проціон А, клас F (жовто-білий), 6650 К. У цей перелік потрапили і 4 білих карлики класу D, що представляють досить рідкісні об'єкти у видимому секторі Галактики.
- ***Найменша відстань – 4,22 світлових років – відокремлює нашу планету від Проксими Центавра, одного з трьох елементів зіркової системи Alpha Centauri.*** За своїми характеристиками найближча до Землі зірка істотно відрізняється від сусідок. ***Це світило належить до спектрального класу M (червоний карлик), маса і радіус якого вбирається у 0,1 сонячного. Через невисоку температуру (3042 К) вона випромінює мало енергії та не виявляється неозброєним оком.***



Класифікація зірок головної послідовності

© Опанасюк А.С.

ЕКЗОПЛАНЕТИ

•***Екзопланета або позасонячна планета — це планета за межами Сонячної системи.***

•***Перший можливий доказ існування екзопланети було помічено в 1917 р.,*** але його не було визнано таким. ***Перше підтверджене виявлення відбулося в 1992 році. Планета, біля іншої зірки була виявлена вперше в 1988 році, а підтверджена в 2003 році.***

•***Станом на середину жовтня 2026 року підтверджено існування 8 376 екзопланет в 5 684 планетарній системі, з них 1 151 систем мають більше однієї планети.*** Кількість надійних кандидатів у екзопланети ***більше 10 000***, проте для отримання ними статусу підтверджених планет ***потрібна їх повторна реєстрація за допомогою наземних телескопів.***

•***Найменш масивною відомою екзопланетою є Драугр*** **(**PSR B1257+12 b). ***Маса становить усього 0,02 маси Землі.*** Це ***приблизно вдвічі більше за масу нашого Місяця***. ***Драугр обертається*** не навколо звичайної зірки, а ***навколо пульсара PSR B1257+12*** — швидкообертової нейтронної зорі в сузір'ї Діви, розташованої на відстані близько ***2300 світлових років від нас***. ***Наймасивніша екзопланета***, зазначена в архіві екзопланет НАСА, — ***це HR 2562 b***, вона ***приблизно в 30 разів більша за масою ніж Юпітер***. За критеріями Міжнародного астрономічного союзу (МАС), ***об'єкти з масою понад 13 мас Юпітера здатні запускати термоядерний синтез дейтерію в своєму ядрі***. Тому більшість супер-Юпітерів із масою понад 13–15 (M_J) науковці вважають не класичними планетами, а ***коричневими карликами*** — «***зірками, що не змогли засяяти***» .

•Відомий ***час обертання навколо власної зірки для екзопланет варіюється від менше години (для тих, які найближчі до своєї зірки) до тисяч років.*** Деякі з них знаходяться так далеко від зірки, що важко визначити, чи пов'язані вони з нею гравітаційно. Всі виявлені на сьогодні планети знаходяться в межах Чумацького Шляху. Однак ***є докази того, що можуть існувати і позагалактичні екзопланети***

•***Відкриття екзопланет посилило інтерес до пошуку позаземного життя.*** Особливий інтерес викликають планети, які ***обертаються в придатній для життя зоні зірки*** (або іноді її називають ***«зоною золотоволоски»***), де можливе існування рідкої води, передумови для життя, як ми їх знаємо, на поверхні планети.

•***Планети-ізгої - це ті, які не обертаються навколо жодної зірки***, тому вони не відбивають їхнє світло. ***Їх знаходять*** переважно за допомогою ***гравітаційного мікролінзування або інфрачервоних телескопів***, які вловлюють залишкове тепло ще молодих об'єктів. ***Зараз виявлено більше 600 таких об'єктів.*** Однак без батьківської зорі астрономам важко точно визначити масу об'єкта лише за його яскравістю, тому частина виявлених кандидатів ***може виявитися коричневими карликами***. ***Планет-ізгоїв у Чумацькому Шляху, ймовірно, налічується від сотен мільярдів і більше. На них також можливе життя.***

© Опанасюк А.С.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ЕКЗОПЛАНЕТ

•***Існує багато методів виявлення екзопланет.*** Серед них основними є:

•***Метод Доплера*** – спектрометричне ***вимірювання радіальної швидкості зірки***. ***Це найпоширеніший метод***. ***Дозволяє виявити планети з масою не менше кількох мас Землі***, розташовані в безпосередній близькості від зірки, та планети-гіганти з періодами до приблизно 10 років. ***Планета, обертаючись навколо зірки, розгойдує її, і ми можемо спостерігати доплерівське зміщення спектра зірки***. Метод ***дозволяє визначити масу планети, період обертання, ексцентриситет і нижню межу значення маси екзопланети.***

• ***Транзитний метод (фотометрія)*** - ***метод, заснований на спостереженні зменшення світності зірки під час проходження планети за її профілем***. ***Дозволяє визначити розміри планети, а разом із методом Доплера - густину планети***. ***Дає інформацію про наявність атмосфери та її склад***. Слід розуміти, що цим методом можна виявити ті планети, орбіта яких лежить в одній площині з точкою спостереження.

•***Астрометричний метод*** - ***метод, заснований на зміні власного руху зірки під гравітаційним впливом планети.*** За допомогою астрометрії було уточнено маси деяких екзопланет, зокрема, Епсілон Ерідана b. Майбутнє цього методу пов'язане з орбітальними місіями, такими як SIM.

•***Метод гравітаційного мікролінзування***. ***Між об'єктом (зіркою, галактикою) і спостерігачем на Землі повинна бути інша зірка, яка виступає в ролі лінзи, вона фокусує своїм гравітаційним полем світло системи, що спостерігається***. Якщо зірка-лінза має планети, то з'являється асиметрична крива блиску. Цей метод має вкрай обмежене застосування. ***Метод чутливий до планет із малою масою, аж до земної.***

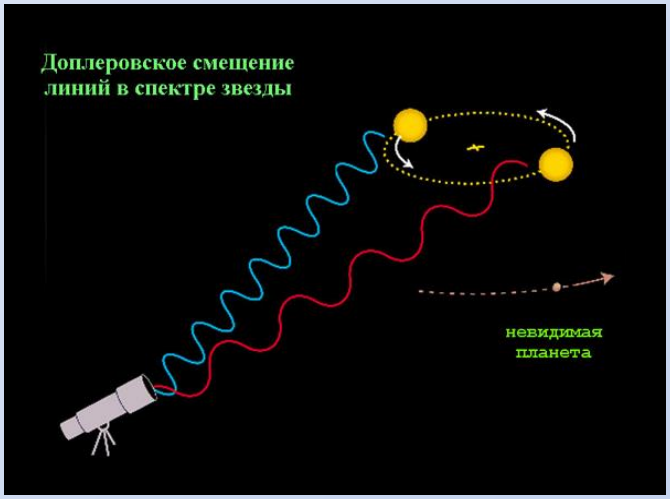
•***Метод прямого спостереження*** - ***метод отримання прямих зображень екзопланет за допомогою ізолювання екзопланет від світла їхньої зірки***. Оскільки метод дає найкращі результати для планет, віддалених від своєї зірки на ~10-100 а. о. і гарячих внаслідок тепла, що залишилося після їх утворення, ***метод застосовується для пошуку планет у молодих зірок.***

•***Транзитна фотометрія та доплерівська спектроскопія виявили найбільше екзопланет, але ці методи страждають від явної упередженості спостережень на користь виявлення планет поблизу зірок.***

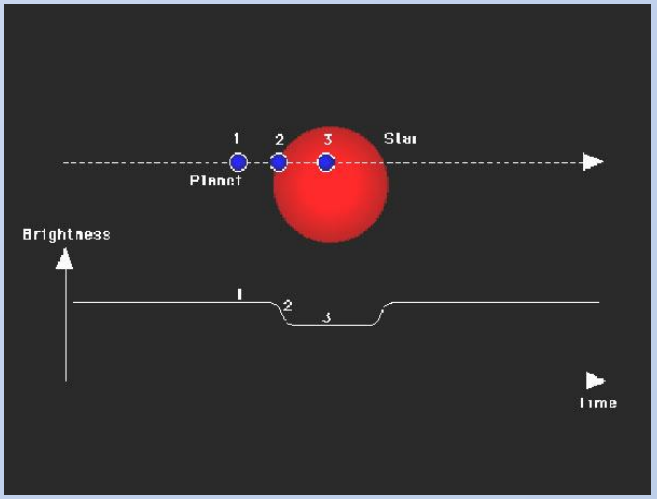
© Опанасюк А.С.

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ЕКЗОПЛАНЕТ

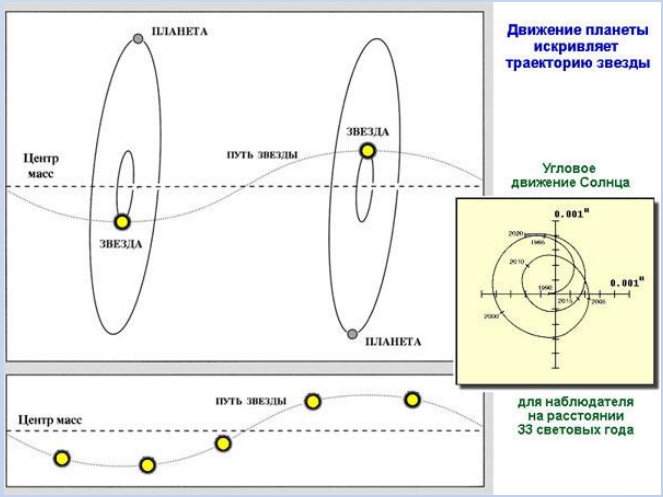
Пошук екзапланет здійснюється, як з використанням орбітальних телескопів, так і телескопів, що знаходяться на поверхні землі



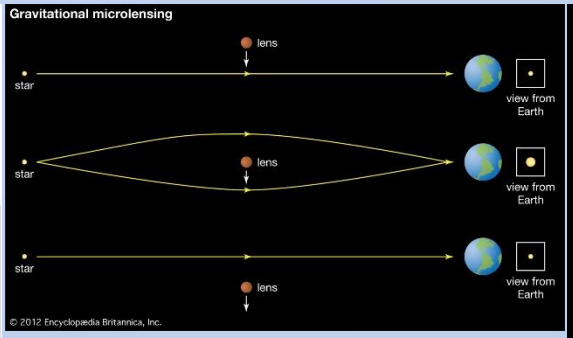
Метод Доплера

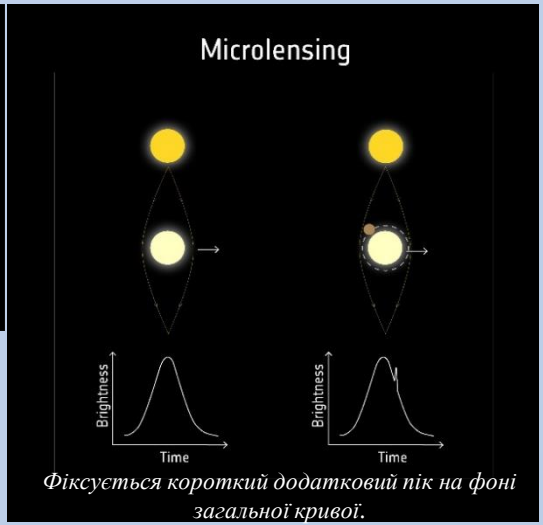


Транзитний метод



Астрометричний метод



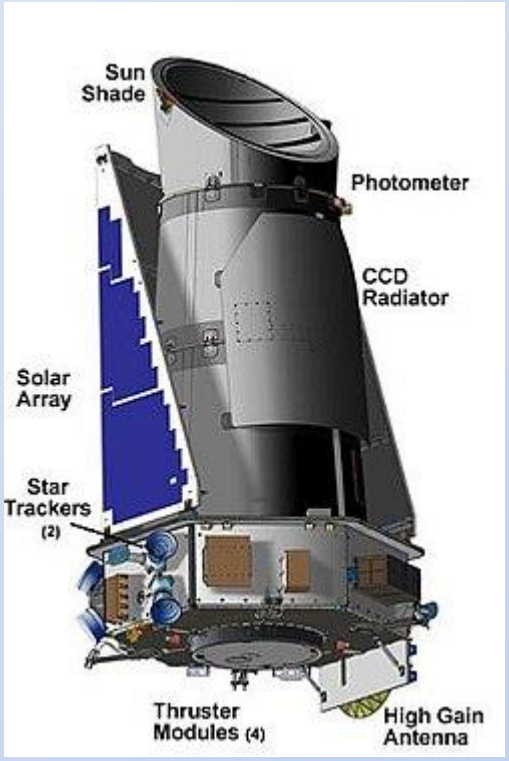


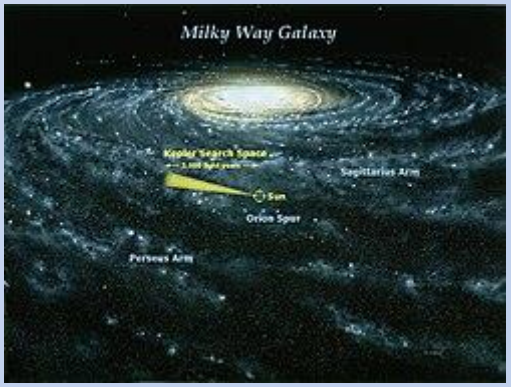
Фіксується короткий додатковий пік на фоні загальної кривої.

Метод гравітаційного мікролінзування

© Опанасюк А.С.

ТЕЛЕСКОП «КЕПЛЕР»





•***Орбітальний телескоп*** «***Кеплер***» (англ. Kepler) — космічний телескоп НАСА, ***призначений для пошуків екзопланет***. ***Названий на честь Йоганна Кеплера*** (1571-1630), німецького філософа, математика, астронома, астролога і оптика.

•***Телескоп був запущений 7 березня 2009 р.*** На орбіту апарат вивела ракета-носій Delta II. ***Місія коштувала приблизно 467 мільйонів доларів***. Після дев'яти років експлуатації, ***запас палива реактивної системи керування на борту телескопа було вичерпано, і НАСА оголосила про завершення роботи апарата 30 жовтня 2018 р. Апарат здійснював пошук планет за допомогою транзитного методу.***

•«Кеплер» обертається навколо Сонця за орбітою з радіусом близько однієї астрономічної одиниці. Фактично, ***«Кеплер» повторює шлях Землі, що обертається навколо Сонця. Таке розташування дозволяє телескопу постійно стежити за одними і тими ж зірками.***

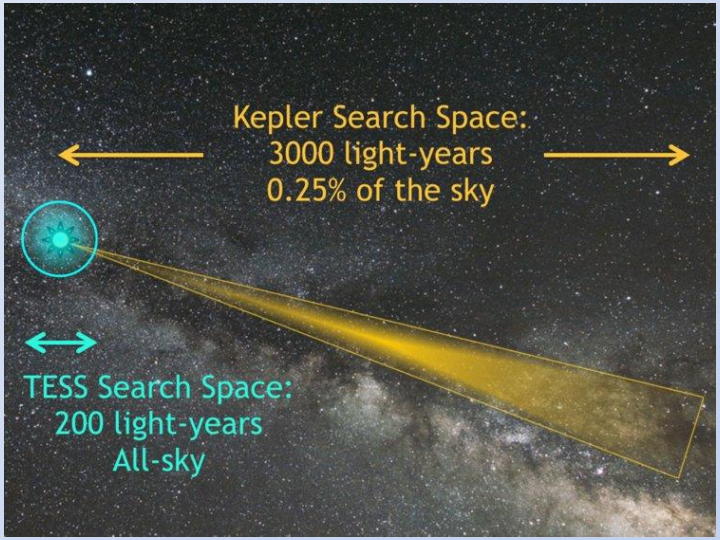
•Космічний апарат має ***телескоп системи Шмідта, пристосований для пошуку далеких планет з космосу.*** Через коригувальну «лінзу» особливого профілю діаметром 95 см світло падає на головне дзеркало телескопа, розмір якого - вже 1,3 метра. Відбите від дзеркала світло збирається в головному фокусі, де розташована ***мозаїка з 21 пари спеціально створених астрономічних ПЗЗ-матриць***, здатних зафіксувати майже кожен падаючий на них фотон (ефективність людського ока — в десятки разів менша). ***Вся мозаїка має розмір приблизно 30 см на 30 см і складається з 95 мегапікселів.*** Це найбільша ПЗЗ-матриця на той час з усіх, що коли-небудь запускалися в космос.

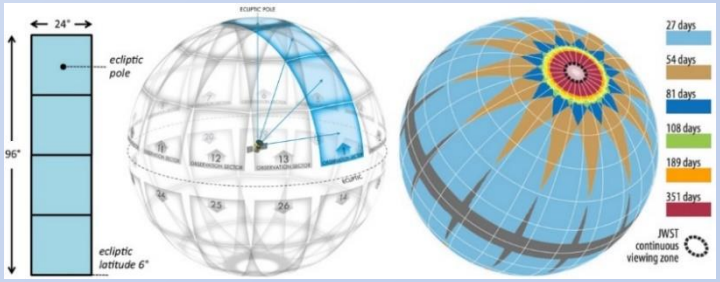
•***Телескоп спостерігав одну і ту ж область неба розміром приблизно 100 квадратних градусів на межі сузір'їв Лебедя і Ліри поблизу площини нашої Галактики***. На кілька годин телескоп переорієнтовував антену на Землю, та скидав накопичену інформацію приблизно раз на місяць.

•***На 95 мегапікселях розміщується 100 тисяч зірок, навколо яких телескоп шукав планети. Вони розташовані на відстанях від 600 до 3000 світлових років від нас у Рукаві Оріона нашої Галактики.*** Відібрано було 170 тисяч кандидатів на спостереження. Протягом року телескоп стежив за кожним із них, а потім концентрувався на 100 тисячах, що показують найменші «випадкові» коливання блиску (вони можуть виникати за рахунок плям, спалахів і тремтінь поверхні — загалом, активності самого світила).

© Опанасюк А.С.

СУПЕРТЕЛЕСКОП TESS





Телескоп поділяє небо на довгі вертикальні смуги - сектори спостереження розміром 24 на 96* градусів *кожен. *В результаті буде досліджено* практично всю небесну сферу (**~ 85%**)

•16 квітня 2018 р., американське космічне агентство NASA запустило ***орбітальну обсерваторію TESS*** (Transiting Exoplanet Survey Satellite) ***для пошуку населених планет***. Телескоп розроблений Массачусетським технологічним інститутом в рамках Малої дослідницької програми НАСА. ***Основна мета місії полягає в знаходженні кам'янистих екзопланет, що потрапляють в населену зону (зону Золотоволоски) і віддалених від Землі не більше ніж на 200 світлових років.***

•Передбачається, що ***TESS відкриє понад 20 тисяч транзитних екзопланет, з яких 500-1000 будуть планетами земного і суперземного типів з орбітальними періодами до 2 місяців***. Для цього ***будуть досліджені найближчі до Землі 500 тисяч зірок спектральних класів G, K і M яскравіших 12 величини і близько 1000 найближчих червоних карликів***, розкиданих по всьому зоряному небу. ***На відміну від «Кеплера», дослідження якого були обмежені невеликою областю небесної сфери, площа покриття збільшиться більш ніж в 400 разів.***

•Передбачається, що TESS відкриє 70 планет в зоні життя, всі з яких будуть обертатися навколо червоних карликів, а 11 з них будуть мати радіус не більше 2 радіусів Землі. Супутник ***оснащений чотирма телескопами*** з ПЗС-камерами із загальним розміром фотоприймальних матриць 67,2 мегапікселів, що працюють в спектральному діапазоні від 600 до 1000 нм. ***Кожен з чотирьох телескопів - ширококутний рефрактор з полем зору 24°×24° з об'єктивом апертурою 10 см.***

© Опанасюк А.С.

КОСМІЧНИЙ ТЕЛЕСКОП "ДЖЕЙМС ВЕББ"

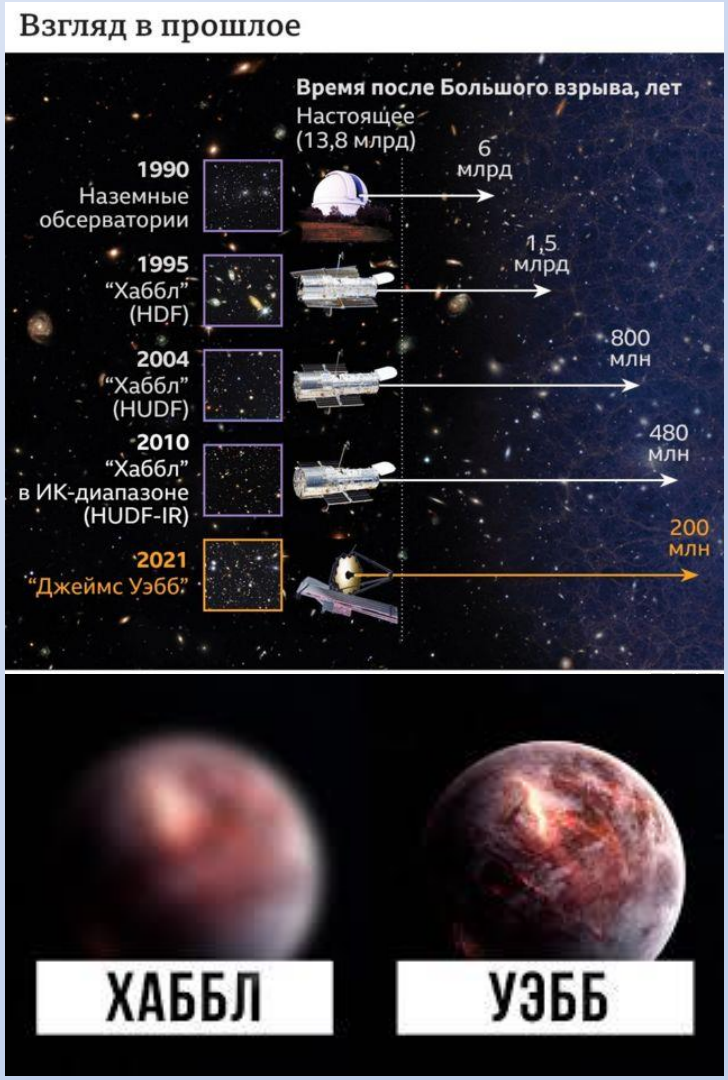




•***Космічний телескоп "Джеймс Вебб" (англ. James Webb Space Telescope, JWST) - орбітальна інфрачервона обсерваторія. Запущений 25 грудня 2021 р. з космодрому Куру за допомогою ракети «Аріан-5». Це найбільший і з найбільшим сегментованим дзеркалом космічний телескоп, будь-коли запущений людством***. Телескоп названий на честь другого керівника НАСА ***Джеймса Вебба,*** який очолював агентство в 1961-1968 роках, під час реалізації програми "Аполлон". Було вирішено зробити первинне дзеркало телескопа не цілісним, а з сегментів, що складаються, які будуть розкриті на орбіті, оскільки діаметр первинного дзеркала не дозволив би його розмістити в ракеті-носії «Аріан-5». ***Воно складається з 18 шестикутних сегментів, виготовлених із позолоченого берилію, розмір кожного з сегментів становить 1,32 метра від ребра до ребра, які об'єднуються в одне дзеркало загальним діаметром 6,5 метра. Це дає телескопу площу збору світла приблизно в 5,6 рази більше, ніж у дзеркала телескопа «Хаббл» діаметром 2,4 метра***. На відміну від «Хаббла», який веде спостереження в ближньому ультрафіолетовому, видимому та ближньому інфрачервоному (0,1-1,0 мкм) спектрах, ***телескоп «Джеймс Вебб» веде спостереження в нижчому діапазоні частот, від довгохвильового видимого світла (червоний) до середнього інфрачервоного (0,6-283 мкм). Це дозволить йому спостерігати найбільш далекі об'єкти у Всесвіті, об'єкти з великим червоним зміщенням (перші галактики та зірки у Всесвіті), які надто старі, слабкі та далекі для телескопа Хаббл.***

© Опанасюк А.С.

КОСМІЧНИЙ ТЕЛЕСКОП "ДЖЕЙМС ВЕББ"



•Телескоп захищений 5-шаровим тепловим екраном, що дозволяє підтримувати температуру дзеркала та приладів нижче 50 К (−223 °C), щоб телескоп міг працювати в інфрачервоному діапазоні випромінювання та спостерігати слабкі сигнали в інфрачервоному діапазоні без перешкод від інших джерел тепла. Тому ***телескоп розміщений на гало-орбіті в точці Лагранжа L2 системи Сонце - Земля, в 1,5 млн км від Землі.*** Проект є результатом міжнародного співробітництва 17 країн, на чолі яких стоїть НАСА, зі значним внеском Європейського та Канадського космічних агентств. ***Орієнтовна вартість проекту становить 10 мільярдів доларів***. ***Перші наукові дослідження розпочалися влітку 2022 року.*** Час служби телескопа переважно обмежений запасом палива і складає 20 р. але не всі прилади можуть опрацювати стільки часу.

•Телескоп дозволяє виявляти відносно холодні екзопланети з температурою поверхні до 300 К (що практично дорівнює температурі Землі), що знаходяться далі 12 а.о. від своїх зірок, і віддалені від Землі на відстань до 15 світлових років. У зону докладного спостереження потраплять понад два десятки найближчих до Сонця зірок. ***Завдяки JWST очікується справжній прорив у екзопланетології – можливостей телескопа буде достатньо для того, щоб виявляти не лише самі екзопланети, а й навіть супутники та спектральні лінії цих планет***. ***Це буде недосяжним показником для жодного наземного і космічного телескопа до осені 2027 р., коли в дію буде введений надзвичайно великий телескоп з діаметром дзеркала в 39,3 м.*** Для пошуку екзопланет будуть використані дані, які отримав телескоп «Кеплер» починаючи з 2009 р. ***Однак можливостей телескопа недостатньо для отримання зображень знайдених екзопланет***. Така можливість з'явиться не раніше середини 2030-х років, якщо буде запущено новий космічний телескоп (***наприклад, LUVOIR чи HabEx***).

© Опанасюк А.С.

КОСМІЧНИЙ ТЕЛЕСКОП «НЕНСІ ГРЕЙС РОМАН»

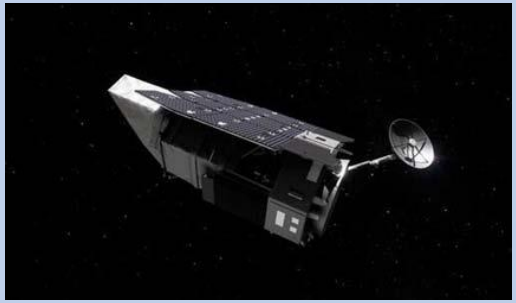
•***Космічний телескоп Nancy Grace Roman створений для вирішення головних завдань сучасної астрофізики, серед яких дослідження темної енергії та пошук екзопланет.***

•У вересні 2020 р. було зроблено головне 2,4-метрове дзеркало телескопа. ***Воно має той самий розмір, що й телескопа «Хаббл», але важить менше чверті його ваги - 186 кг*** (дзеркало "Хаббла" важить 828 кг). ***Телескоп успішно запустили*** з Космічного центру Кеннеді зі стартового комплексу № 39А за допомогою ракети Falcon Heavy ***30 серпня 2026 року***. Телескоп не залишатиметься на навколоземній орбіті, а ***попрямує до особливої точки Лагранжа L2*** на відстані близько 1,5 мільйона кілометрів від Землі. ***Вихід на орбіту в точці L2 очікується на початку грудня 2026 р.*** Телескоп збере дані про сотні мільйонів галактик і наднових зірок, щоб скласти карту еволюції Всесвіту і зрозуміти її минуле та майбутнє.

•Інше завдання телескопу ***це пошук екзопланет методом гравітаційного мікролінзування***. Для цього буде проведено статистичний «перепис» планетних систем у нашій галактиці. ***Планується виявлення близько 2500 нових екзопланет шляхом спостереження за мільйонами зірок.*** Планується також використання технологічного інструменту (***коронографа CGI***) ***для прямого отримання зображень та спектрів далеких екзопланет, закриваючи яскраве світло їхніх материнських зірок***.

•***Ще одне завдання - картографування космосу у широкому форматі. Створення масштабних каталогів зірок та галактик.*** Завдяки ширококутній інфрачервоній камері (WFI), ***поле зору якої у 100 разів більше, ніж у телескопа «Хаббл», апарат може фотографувати величезні ділянки неба*** (***більші за розмір повного Місяця***) за один знімок, прискорюючи огляд космосу в сотні разів.





© Опанасюк А.С.

ОБСЕРВАТОРІЯ ІМЕНІ ВІРИ РУБІН

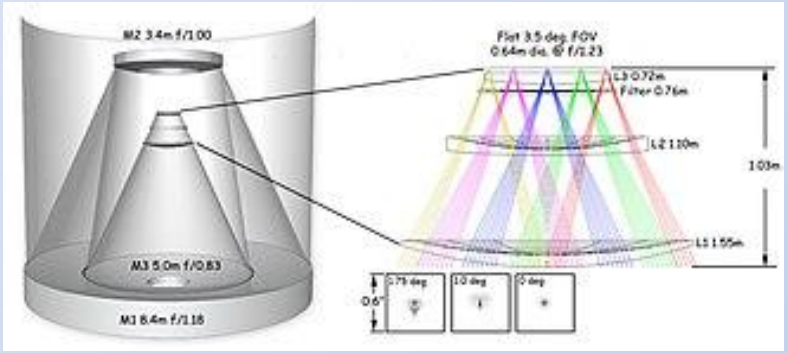
•***Обсерваторія імені Віри Рубін*** ***(раніше відома як Large Synoptic Survey Telescope, LSST) - це передова астрономічна наземна обсерваторія в Чилі, призначена для ширококутного огляду південного неба***. Вона ***розташована на вершині гори Серро-Пачон у регіоні Кокімбо на півночі Чилі***. Головний інструмент - ***телескоп Сімоні (Simonyi Survey Telescope) із дзеркалом діаметром 8,4 метра та унікальною надширококутною камерою*** (найбільшою цифровою камерою у світі для астрономії). Офіційний старт проекту – ***1 серпня 2014 року***, будівництво розпочалось 14 квітня 2015 року. Перше світло одержано ***23 червня 2025 року***. ***Повноцінне розсилання автоматичних оповіщень про зміни на небі (транзитних подіях) розпочалося у лютому 2026 року***.

•***Наукові завдання:*** ***проведення 10-річного огляду неба, вивчення темної матерії, темної енергії, структури Чумацького Шляху, а також пошук екзопланет, астероїдів та наднових.***

•Архітектура LSST є унікальною серед великих телескопів (з 8-метровим дзеркалом) і виконана за триелементною схемою ***Пауля - Бейкер***. Така ***конструкція здатна забезпечити дуже широке поле зору: діаметр - 3,5 градуса, а площа - 9,6 квадратний градус.*** Для порівняння: ***Сонце та Місяць, видимі із Землі, мають діаметр 0,5 градуса, а площа – 0,2 квадратних градуси. У поєднанні з великою апертурою (і, таким чином, найкращою здатністю збирати світло) це дасть неймовірно велике охоплення***. Для досягнення такого широкого неспотвореного поля зору ***потрібно три дзеркала замість двох***, які використовуються більшістю існуючих великих телескопів. Головне дзеркало має діаметр 8,4 метра, друге дзеркало - 3,4 метра, а діаметр третього дзеркала, розташованого позаду великого отвору в головному дзеркалі, становить 5 метрів. Великий отвір знижує площу збору світла головного дзеркала до 35 м², що еквівалентно діаметру цільного дзеркала в 6,68 м. Головне та третє дзеркала створюються як цілісний шматок скла, «М1М3 моноліт». ***Цифрова фотокамера з матрицею 3,2 гігапікселя*** (***складається зі 189 світлочутливих ПЗЗ-матриць***, що працюють в ***ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному діапазоні світла***) ***буде робити 15-секундні експозиції кожні 20 секунд.*** З урахуванням технічного обслуговування, поганої погоди тощо, ***фотокамера, як передбачається, робитиме близько 200 000 фотографій (1,28 петабайта в стиснутому вигляді) за рік,*** що набагато більше, ніж може бути вивчене людьми. Тому управління та ефективний інтелектуальний аналіз величезної кількості даних на виході телескопа, як очікується, буде найбільш технічно складною частиною проекту. Початкові вимоги до обчислювального центру оцінюються у ***100 терафлопс обчислювальної потужності та 15 петабайт для зберігання даних*** зі збільшенням у міру отримання нової інформації.

© Опанасюк А.С.

ОБСЕРВАТОРІЯ ІМЕНІ ВІРИ РУБІН



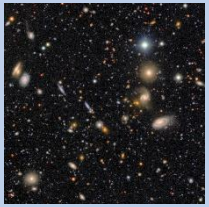
Оптика телескопа

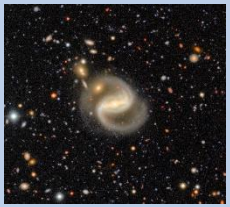




Модель фокусної площини BCOT у натуральну величину. *Діаметр сітки становить 64 см. Ця мозаїка дає можливість отримувати зображення понад 3 гігапікселі кожне.*

Основна наукова цінність місії полягає у дослідженні двох найбільших загадок сучасної фізики – темної матерії та темної енергії. Незважаючи на те, що ці явища становлять більшу частину нашого світу, вони залишаються невидимими для традиційних інструментів. ***Обсерваторія Віри Рубін дозволить астрономам простежити, як темна матерія утримує галактики разом та як темна енергія прискорює розширення Всесвіту.*** Завдяки методу "накладання" зображень ***дослідники планують створити докладну карту, яка міститиме 20 мільярдів віддалених галактик та 200 мільйонів зірок у нашій Галактиці та поблизу неї.*** Це дозволить вченим зрозуміти, як ці структури формувалися протягом мільярдів років. Крім глобальних питань, телескоп фіксуватиме рідкісні космічні події: пульсуючі зірки, вибухи наднових та інші явища, які раніше вислизали від уваги дослідників через обмежені можливості техніки.





https://rubinobservatory.org/gallery

© Опанасюк А.С.

ІНШІ ІНСТРУМЕНТИ ПОШУКУ ЕКЗОПЛАНЕТ

•***CHEOPS (Хеопс)*** — ***місія Європейського космічного агентства (ESA), запущена в 2019 р.*** Телескоп не шукає нові планети наосліп, а ***детально вивчає вже відомі світи***, допомагаючи точно визначити їхні розміри, щільність та структуру атмосфери.

•***CoRoT*** — французько-європейський космічний телескоп (***працював у 2006–2012 роках***), який став першим апаратом, що успішно застосував ***транзитний метод із космосу*** і відкрив перші кам'янисті екзопланети.

•***Дуже великий телескоп (VLT)*** — ***комплекс із чотирьох 8,2-метрових телескопів ESO в Чилі.***

•***Обсерваторія Кека (W. M. Keck Observatory)*** — ***два 10-метрових телескопи на Гаваях.***

•***Телескоп Ла-Сілья (La Silla)*** — обсерваторія ***в Чилі***, де встановлено знаменитий ***спектрограф HARPS***. Тривалий час він був ***найточнішим у світі інструментом для пошуку планет методом радіальних швидкостей***.



Майбутні місії

•***PLATO та ARIEL*** — майбутні ***місії ESA спеціально розроблені для масового пошуку земноподібних планет.***

• ***Основна мета місії PLATO*** (квітень 2027 р.) ***- пошук та характеристика планет земного типу (зокрема в «зоні життя») біля яскравих зірок, схожих на Сонце***

• ***Основна мета місії ARIEL*** (2031 р.) ***- проведення «хімічного перепису» атмосфери понад 1000 відомих екзопланет (від кам'янистих суперземель до газових гігантів)***

© Опанасюк А.С.

ЯК ВСТАНОВИТИ СКЛАД АТМОСФЕРИ ЕКЗОПЛАНЕТИ?

•***Встановлення складу атмосфери екзопланети базується переважно на спектроскопічному аналізі світла її материнської зірки.***

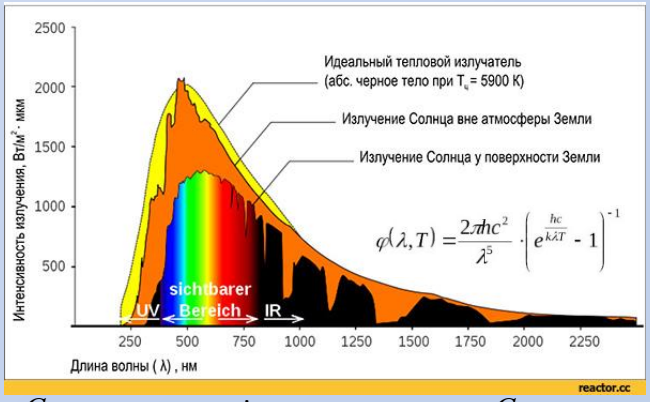
•***Основні методи визначення складу:***

• ***Транзитна спектроскопія*** (Transit Spectroscopy): ***Коли планета проходить за диском зірки (транзит), частина світла зірки проходить крізь атмосферу планети. Гази (вода, вуглекислий газ, метан, натрій тощо) поглинають світло на певних довжинах хвиль. Аналізуючи ці «провалля» у спектрі, вчені розуміють, які саме молекули там присутні.***

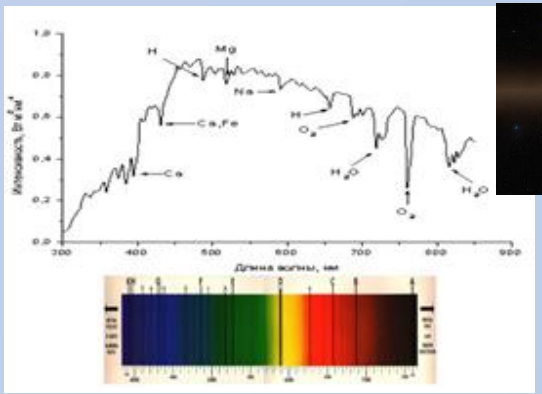
• ***Емісійна спектроскопія*** (Emission Spectroscopy): Вивчається теплове випромінювання самої планети або різниця у світлі, коли планета ховається за зіркою (вторинне затемнення). ***Порівнюючи спектр «зірка + планета» і просто «зірка», виокремлюють теплове світіння та склад атмосфери планети.***

• ***Пряме зображення*** (Direct Imaging): У рідкісних випадках, коли планета досить далеко від яскравої зірки, ***телескопи можуть сфотографувати її світло напряму та розкласти його у спектр.***

•Для цього ***застосовують як потужні наземні телескопи, так і космічні обсерваторії*** — наприклад, космічний телескоп Джеймса Вебба (***програма KRONOS***), який робить детальні інфрачервоні спектри екзопланет. Також розробляються спеціальні місії, такі як майбутній телескоп Ariel від Європейського космічного агенства. Зараз є ***данні про склад атмосфери 333 екзопланет. Найперспективнішими для пошуку життя є кам'янисті планети що мають магнітне поле та атмосферу.***



Спектр випромінювання нашого Сонця за межами атмосфери та на поверхні Землі

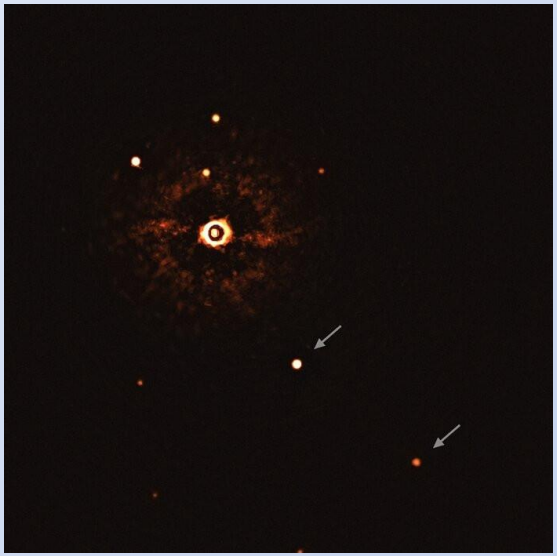




Поглинання випромінювання Сонця атмосферою Землі

© Опанасюк А.С.

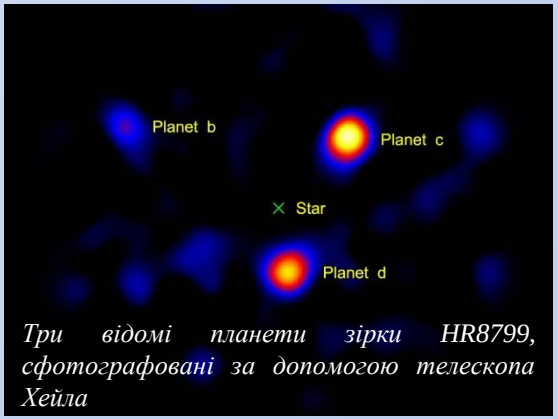
ПЕРШІ ПРЯМІ ЗНІМКИ ПЛАНЕТНИХ СИСТЕМ



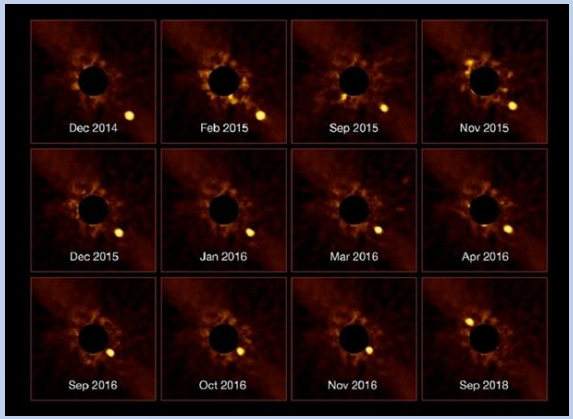
Перше в історії ***пряме зображення планетної системи*** *навколо молодої,* ***схожої на Сонце зірки TYC 8998-760-1***

•***Перше в історії пряме зображення екзопланети було отримане у 2004 році*** (офіційно підтверджене у ***2005 році***). Цим об'єктом стала планета ***2M1207b***, зафіксована за допомогою ***Дуже великого телескопа (VLT) у Чилі***.

•Цей телескоп за допомогою ***інструменту SPHERE*** зробив і ***перше в історії пряме зображення планетної системи де існує декілька екзопланет навколо молодої, схожої на Сонце зірки, розташованої на відстані близько 300 світлових років і відомої як TYC 8998-760-1. Цій зірці всього 17 мільйонів років, і вона знаходиться в південному сузір'ї Мухи***. Зображення систем з декількома екзопланетами надзвичайно рідкісні. До сих пір ***безпосередньо спостерігалися тільки дві такі системи***, обидві навколо зірок, які помітно відрізняються від нашого Сонця. ***Ці зображення стали можливими завдяки високій якості інструменту SPHERE на VLT ESO в чилійській пустелі Атакама. SPHERE блокує яскраве світло від зірки, використовуючи пристрій під назвою коронограф, дозволяючи побачити набагато слабші за яскравістю планети. Два газових гіганта обертаються навколо своєї зірки на відстанях у 5 і 10 разів більших відстані від Землі до Сонця. Ці дві екзопланети набагато важчі, ніж в нашій Сонячній системі: внутрішня планета в 14 разів масивніша Юпітера, а зовнішня - в 6 разів.***



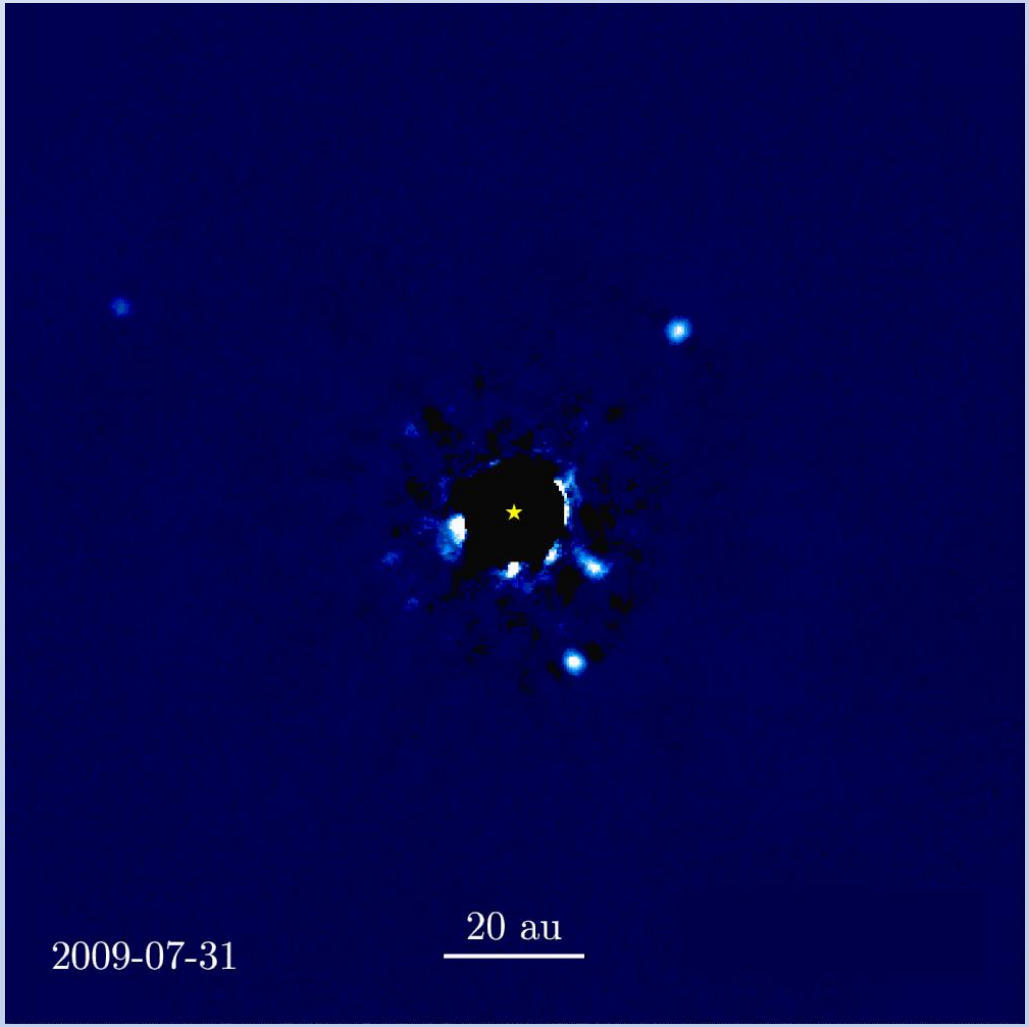
Три відомі планети зірки HR8799, сфотографовані за допомогою телескопа Хейла



Рух екзопланети навколо зірки β-Живописця. *Вона віддалена від Сонячної системи на 64 світові роки і в 1,75 рази масивніша Сонця*

© Опанасюк А.С.

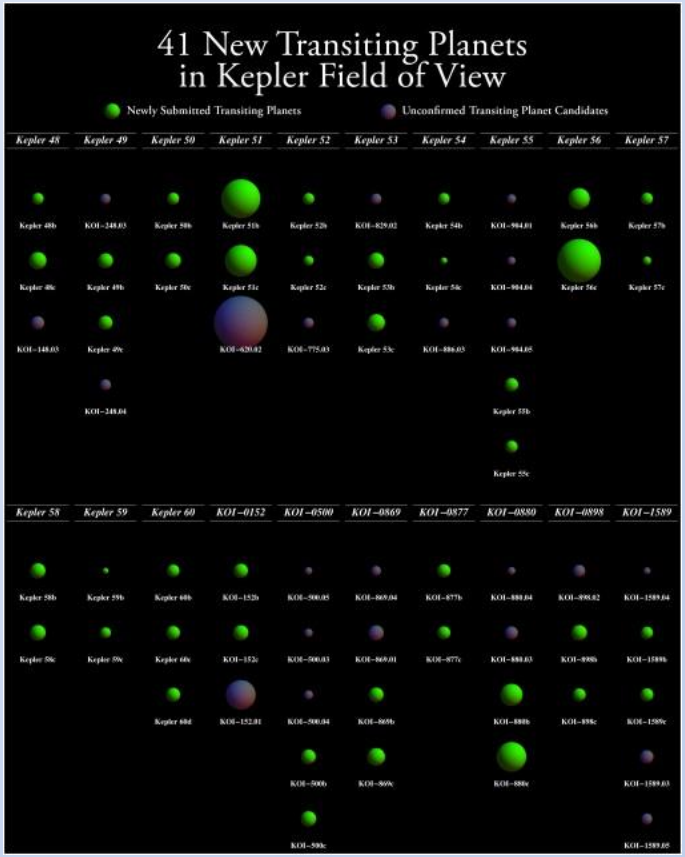
ОБЕРТАННЯ ПЛАНЕТ НАВКОЛО ЗІРКИ HR 8799



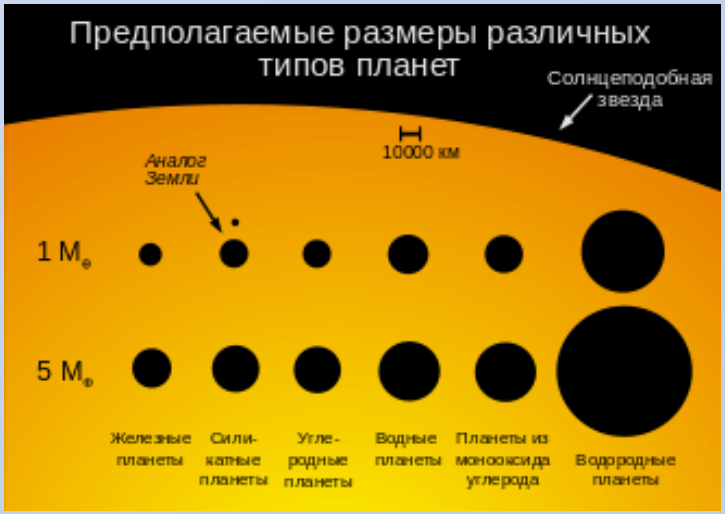
HR 8799 (по центру),
HR 8799e (праворуч),
HR 8799 d (внизу праворуч),
HR 8799c (вверху праворуч),
HR 8799b (вверху ліворуч)
Знято обсерваторією Keck Observatory

© Опанасюк А.С.

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТЕЛЕСКОПА “КЕПЛЕР”



Таблиця екзопланет виявлених телескопом Кеплер. Зеленим позначені планети *виявлені за допомогою* ***транзитного методу****.* ***Фіолетовим*** *—* *ймовірні* ***кандидати в планети****, виявлені в тій же системі за допомогою методу варіації часу транзитів.*



Космічний телескоп «Кеплер» (NASA) за час своєї роботи ***допоміг виявити понад 2 680 підтверджених екзопланет*** (що становить приблизно ***половину всіх відомих науці планет*** поза Сонячною системою). ***За допомогою нейромереж*** (алгоритму ExoMiner від NASA і розробки Google Brain) вчені проаналізували архівні дані телескопа і ***підтвердили або перевели в статус планети ще понад 300 об'єктів.***

Телескоп ***виявив першу екзопланету розміром із Землею, що знаходиться в «населеній зоні»*** іншої зірки (Kepler-186f),

планету, яку часто називають «***старшою двоюродною сестрою Землі***» (***крутиться навколо сонцеподібної зірки***) (Kepler-452b)

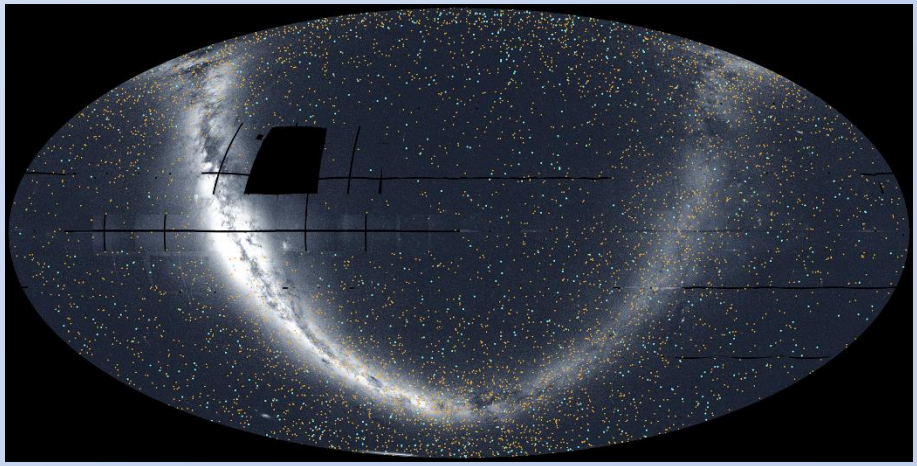
.

© Опанасюк А.С.

РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТЕЛЕСКОПУ TESS

•***Супутник NASA TESS*** протягом 8 років ретельно фотографував нічне небо, фіксуючи кожну зміну яскравості далеких зірок. ***Науковці об'єднали ці фрагменти в одну гігантську мозаїку, яка стала найбільш повним атласом далеких світів***, відомих людству. Щоб створити зображення, ***астрономи поєднали 96 окремих спостережень***, зроблених супутником у період з квітня 2018 року по вересень 2025 року. Карта демонструє вичерпне різноманіття космічних об'єктів у нашому секторі галактики.

•***Сині точки: позначають близько 700 підтверджених екзопланет, існування яких доведено іншими приладами. Помаранчеві точки: позначають понад 5000 потенційних планет, які зараз чекають на фінальну перевірку. Унікальні знахідки: серед знайдених об'єктів є планети, що обертаються відразу навколо двох і навіть трьох зірок.***



Телескоп TESS виявив 679 екзопланет (сині точки) та 5 165 потенційних об'єктів (помаранчеві точки). Сяюча дуга*, що проходить через центр,* ***- площина Чумацького Шляху*** *(фото: NASA/MIT/TESS)*

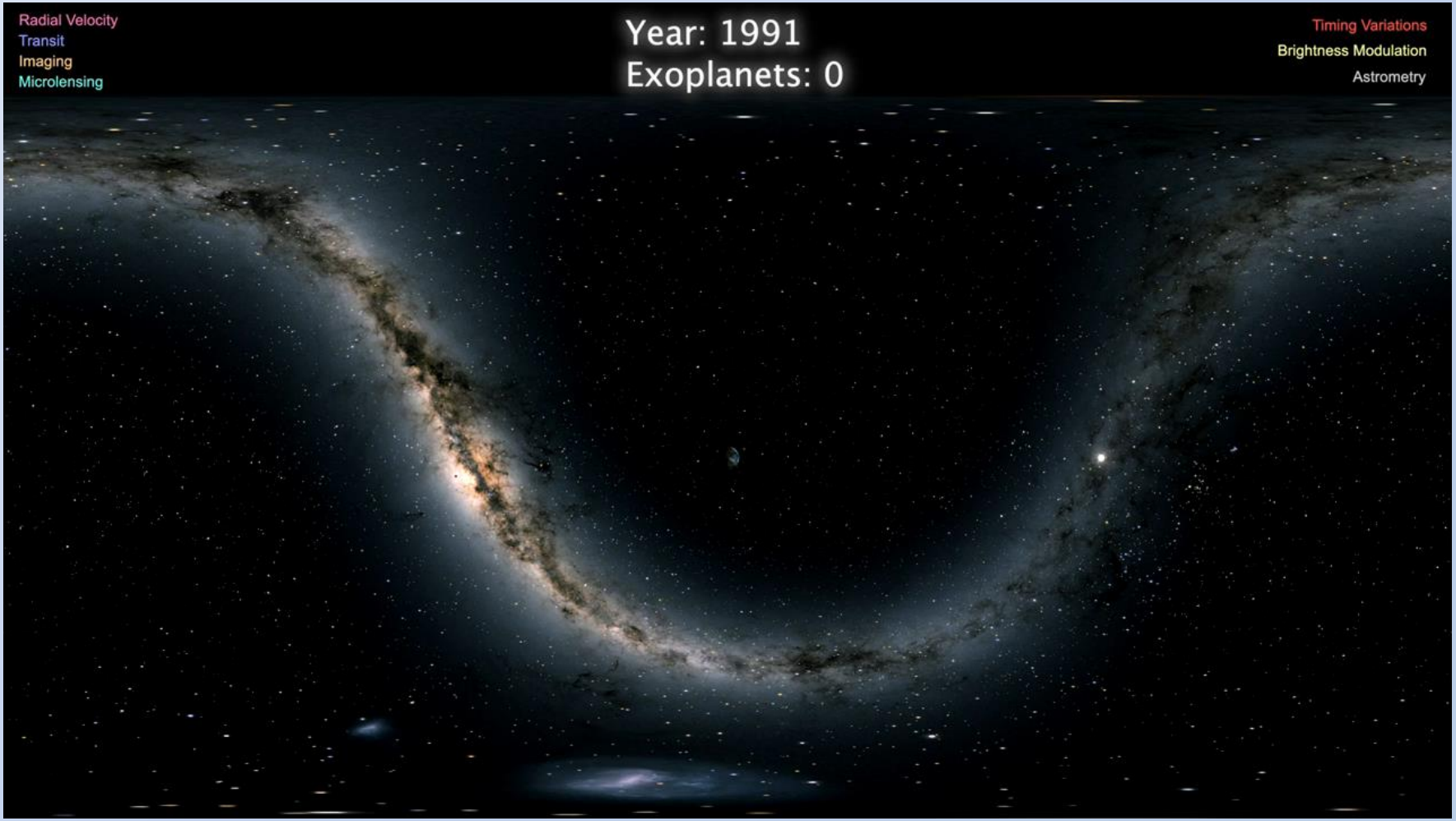
За останні вісім років TESS допоміг нам знайти планети всіх можливих розмірів - від крихітних, схожих на Меркурій, до велетнів, більших за Юпітер. ***Деякі з них навіть знаходяться у зоні придатності для життя, де на поверхні можлива рідка вода.***

Вчені від команди Університету Уорвік розробили ***ШІ-алгоритм RAVEN***, який обробив дані NASA TESS по ***83 млн. зірок і виявив понад 11 000 потенційних планет-кандидатів*** - разом із масовим підтвердженням ***114 нових планет одразу***.

Це не просто новий список - це нова методологія, що фундаментально змінює де і як ми шукаємо планети.

© Опанасюк А.С.

ІСТОРІЯ ВІДКРИТТЯ ЕКЗОПЛАНЕТ



Під час своєї основної місії (з 2009 до 2013 рік) космічний телескоп ***«Кеплер» безперервно спостерігав одну фіксовану ділянку зоряного неба*** *на межі сузір'їв Лебедя, Ліри та Дракона*

© Опанасюк А.С.

ВИДИ ЕКЗОПЛАНЕТ

Графік відкриття екзопланет за роками

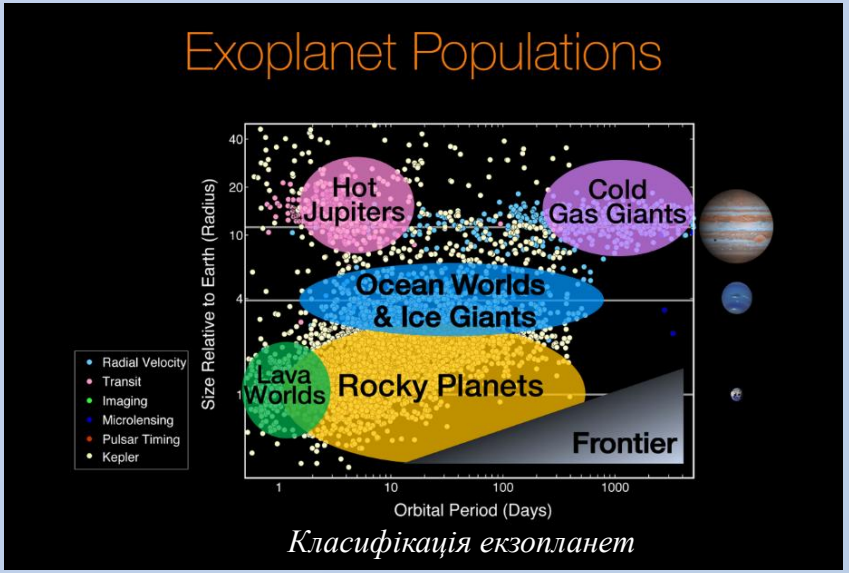


Основними методами відкриття екзопланет є: *метод радіальних швидкостей; транзитний метод (зелене); метод Доплера (синє); метод синхронізації; візуальне спостереження; гравітаційне лінзування; астрометричний метод.*

Станом на середину жовтня 2026 р. достовірно підтверджено існування 8376 екзопланет у 5684 планетних системах, з яких у 1 151 є більше однієї планети.

Кількість надійних кандидатів у екзопланети також велика; так, ***за проектом «Кеплер» на квітень 2025 р. число кандидатів — близько 2000, а за проектом «TESS» на квітень 2025 року — понад 11 554 кандидатів,*** проте ***для отримання ними статусу підтверджених планет потрібна їх повторна реєстрація за допомогою наземних телескопів.***

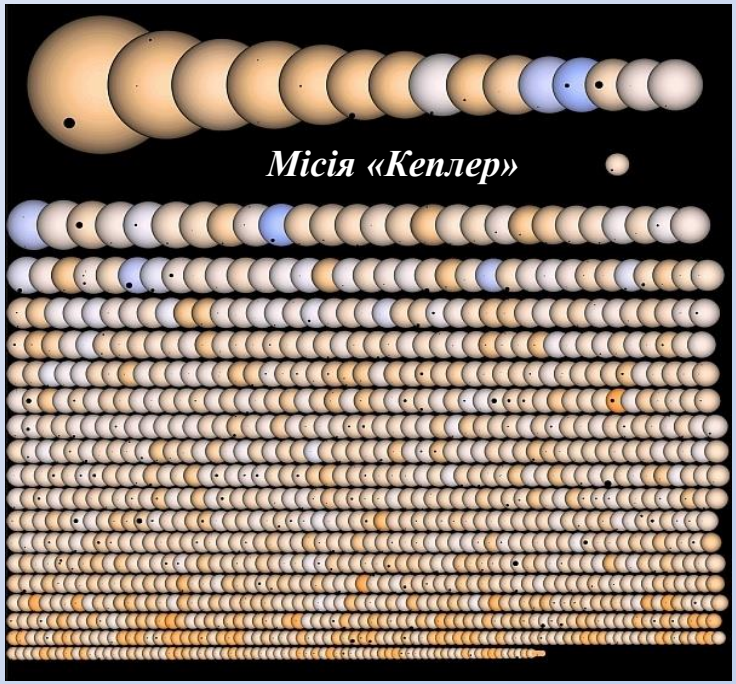
- ***Основні види екзопланет***
- ***Газові гіганти:*** ***Величезні світи, схожі на Юпітер чи Сатурн***, що складаються здебільшого з водню та гелію.
- ***Нептуноподібні планети:*** ***Світи розміром з Уран чи Нептун***, які мають щільну атмосферу з водню та гелію.
- ***Суперземлі:*** ***Кам'янисті планети, які масивніші за Землю, але легші за Нептун. В Сонячній системі таких планет немає.***
- ***Земноподібні (кам'янисті) планети:*** ***Невеликі світи з твердою поверхнею із каменю та металу, схожі на Землю, Венеру чи Марс.***
- ***Планети-океани:*** ***Світи, які можуть бути повністю покриті глобальним океаном води*** або льоду завтовшки в сотні кілометрів.



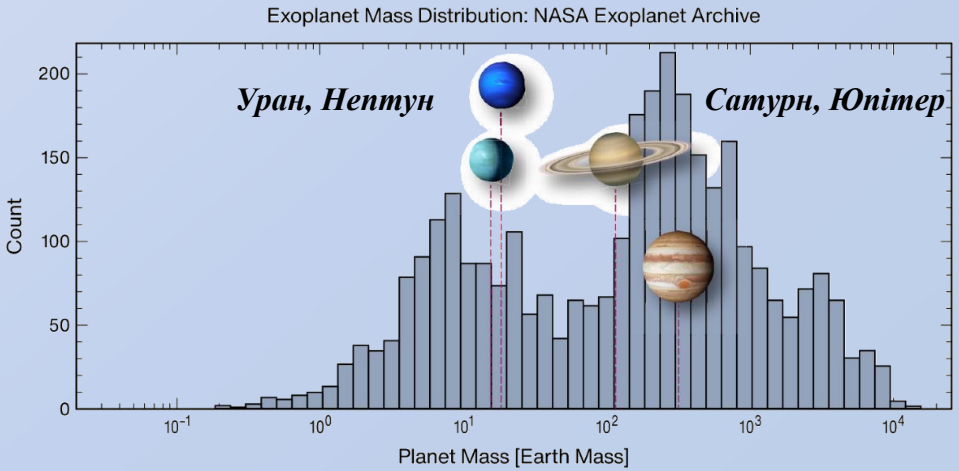
Класифікація екзопланет

© Опанасюк А.С.

ВІДКРИТІ ЕКЗОПЛАНЕТИ

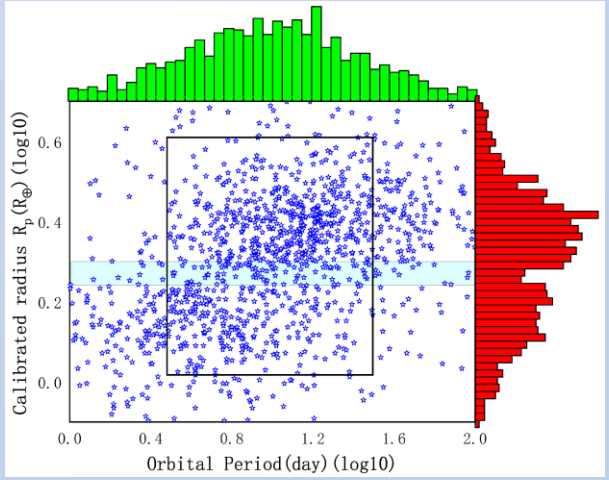


Розподіл відкритих планет за масою



На рисунку зображені зірки, у яких «Кеплер» виявив потенційні планети (3693 штук), вони показані як темні плями на диску світила. Частина з відкритих планет за своїми характеристиками нагадують Землю (***207 тіл порівнянні з нашою планетою за розміром, а ще 680 відносяться до класу так званих Суперземель***).

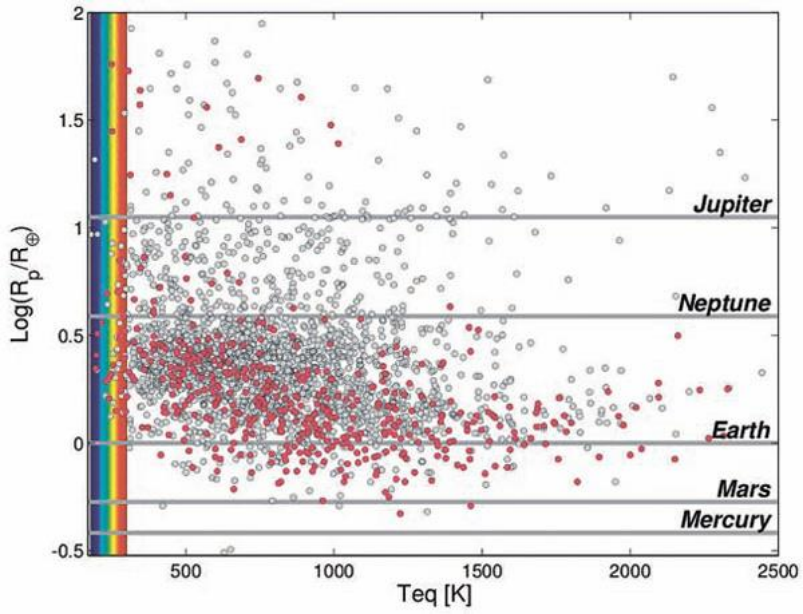
«Простір відкриття» для Кеплера ***обмежувався планетами з орбітальними періодами менше 400 днів і розмірами більшими за Марс.***



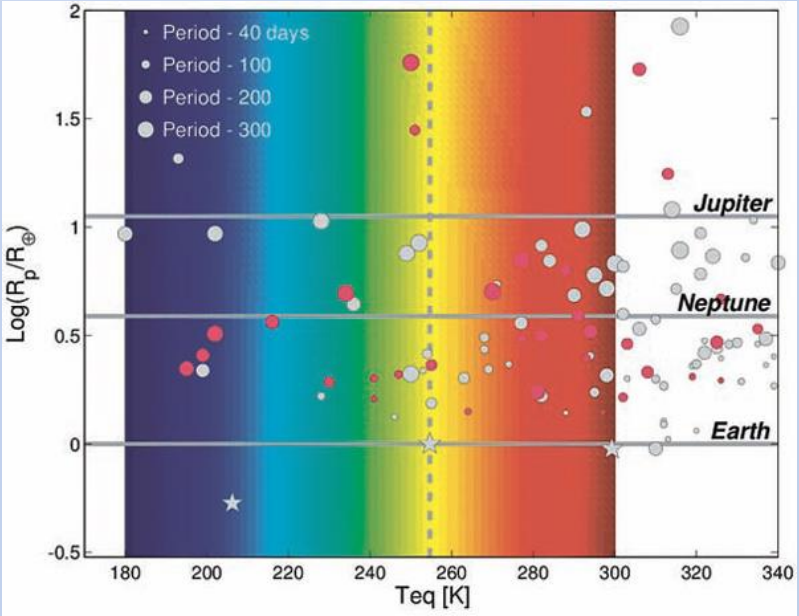
Зв'язок між періодом обертання планети та каліброваним радіусом. *На осі абсцис відкладено логарифм орбітального періоду, а на осі ординат — калібрований радіус.* ***На верхній діаграмі показано розподіл орбітальних періодів у вибірці, а на правій діаграмі — розподіл каліброваних радіусів.***

© Опанасюк А.С.

ВІДКРИТІ ЕКЗОПЛАНЕТИ



Розміри планет і розрахована рівноважна температура на поверхні. Кольором виділена зона з потенційно населеними планетами, на поверхні яких може існувати рідка вода (зі статті C. Burke et al., ArXiv: 1312.5358)



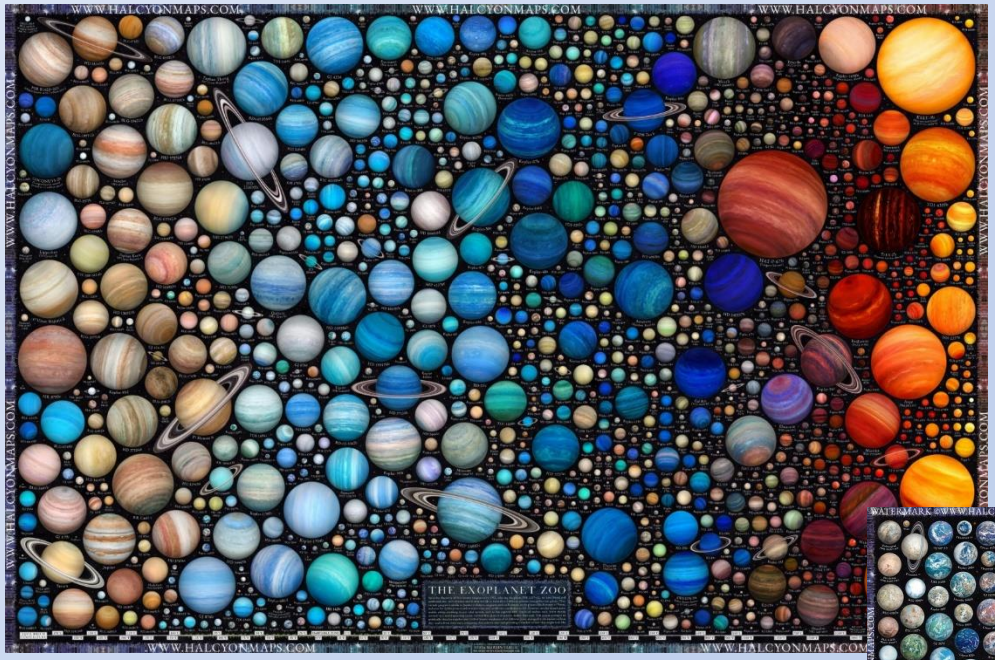
Тут крупно показана область, виділена кольором на рис. 1 ***де планети мають температуру придатну для відомої форми життя*** *(зі статті C. Burke et al., ArXiv: 1312.5358)*

Найпоширеніші розміри планет - це ті, у яких радіуси від 1 до 3 разів перевищують Землю - те, що ми називаємо «Землями» та «Суперземлями». Кожна група зустрічається приблизно в 1/3 - 1/4 зірок.
Найпоширеніші типи планет Галактики повністю відсутні в нашій Сонячній системі

Оцінки показують, що 3,5-7,5% зірок типу Сонця мають планети з приблизно земним розміром і орбітальними періодами 200-400 днів.

© Опанасюк А.С.

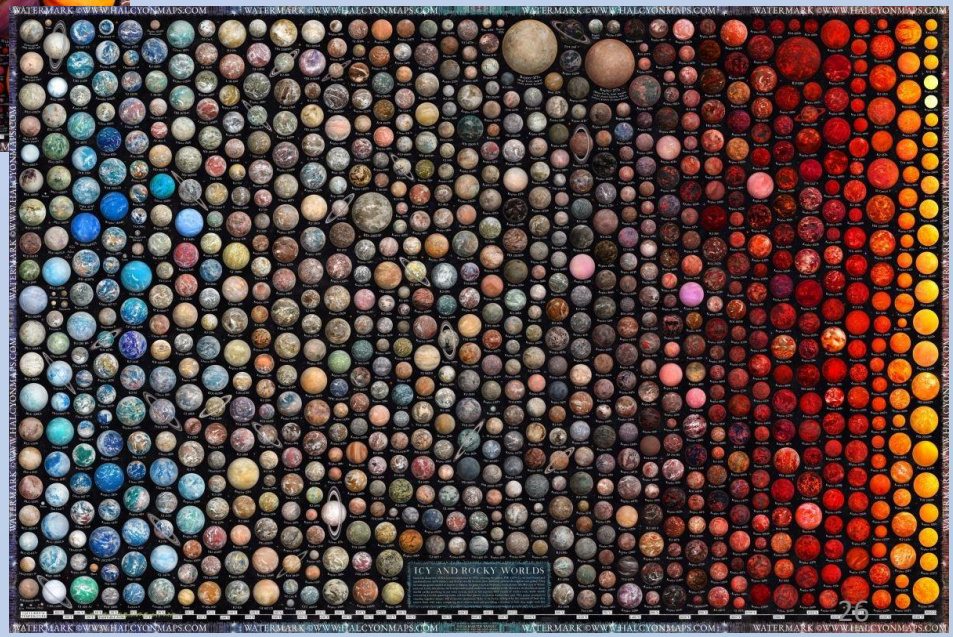
ЗООПАРК ЕКЗОПЛАНЕТ



«Зоопарк екзопланет»

Астроном-аматор, письменник та ілюстратор зі Словаччини, ***Мартін Варгіч*** створив інфографічні плакати із зображенням екзопланет різних типів та розмірів. Один плакат називається ***«Зоопарк екзопланет»*** (The Zoo of Exoplanets), а інший – ***«Крижані і скелясті світи»*** (Icy and Rocky Worlds). ***Дані для інфографіки були зібрані з трьох баз даних про екзопланети***: ***Extrasolar Planet Encyclopaedia, NASA Exoplanet Archive та ExoKyoto.***

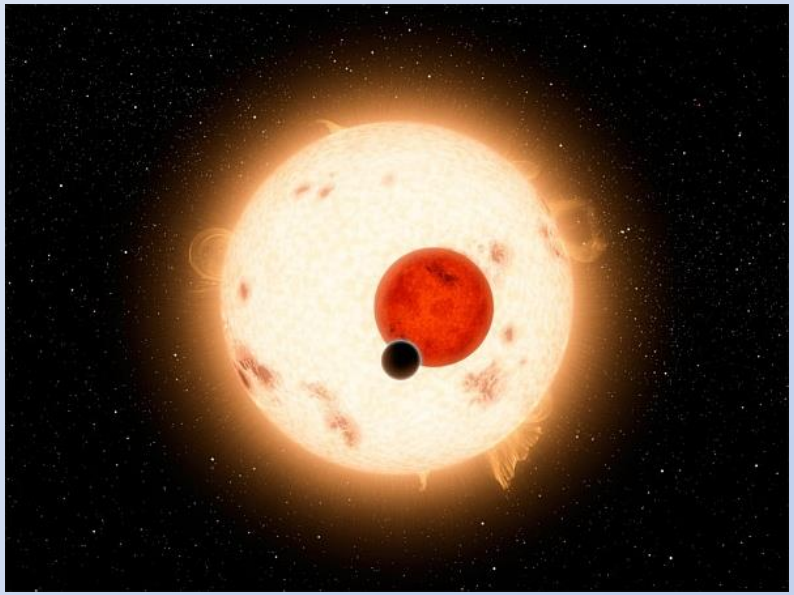
Інфографіки ілюструють понад 1600 відомих екзопланет, упорядкованих за кількістю тепла від своїх зірок, з порівнянням їх розмірів. Плакати створені з використанням наукових моделей та сучасної інформації. Таким чином, ***автор створив візуалізацію для кращого сприйняття далеких світів рядовим читачем***.



«Крижані і скелясті світи»

© Опанасюк А.С.

ЕКЗОТИЧНІ ПЛАНЕТНІ СИСТЕМИ





Планета Кеплер-16b**, обертається навколо подвійної зірки, немов горезвісний Татуїн з «Зоряних війн». На цей час виявлено **27 потенційних** **циркумбінарних планет** у подвійних зіркових системах, що обертаються навколо двох зірок. **Планет S-типу**, де обертання відбувається лише навколо однієї зірки в парі, а друга зірка обертається далі від них **виявлено більше сотні

У потрійних зоряних системах на сьогодні підтверджено існування близько 30–40 екзопланет.

*Однак **відомо лише 2 підтверджені екзопланети** (Кеплер-64b, 30 Ari**), які обертаються в системах із чотирьох зірок.** Погляд художника на захід трьох світил на супутнику планети HD 188753 Ab*

HIP 11952 b і HIP 11952 c - екзопланети у зірки HIP 11952 є найстарішими з відкритих з оціночним віком 12,8 млрд. років. Раніше це місце займала планета PSR B1620-26 c ***з віком 12,7 млрд. р.***

Нагадуємо що Всесвіту, за сучасними уявленнями, 13,8 млд. р., а Сонцю, зірці третього покоління, десь 5 млрд. р. За оцінками 75% потенційно населених або сформованих планетарних систем, старіші за нашу.

© Опанасюк А.С.

ЕКЗОТИЧНІ ПЛАНЕТНІ СИСТЕМИ

•***Лавові світи:*** Кам'янисті планети, ***поверхня яких покрита розплавленою магмою*** через пекучу близькість до світила (CoRoT-7b та TOI-561b).

•***Світи з «космічними опадами»:***

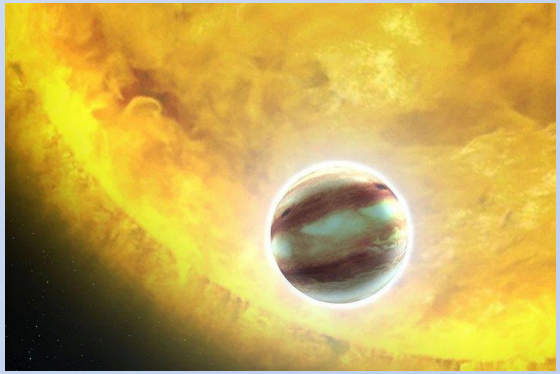
•***HD 189773b*** – планета яскраво-синього кольору, де дмуть вітри зі швидкістю до 7 000 км/год, а ***дощ йде з рідкого скла*** (силікатів).

•***HAT-P-7b,*** в атмосфері якої, за оцінками вчених, можуть випадати ***дощі з рубінів та сапфірів.***

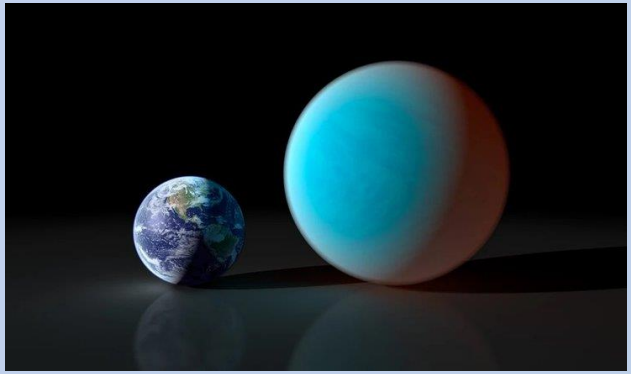
•***WASP-76b*** — ***планета з «металевими» дощами***. На її денній стороні залізо плавиться та випаровується, а сильні вітри (до 18 000 км/год) несуть його на нічну сторону, де воно конденсується і випадає у вигляді розпеченого рідкого заліза.

• ***Алмазні планети:*** Світи з високим вмістом вуглецю. ***55 Cancri e*** – суперземля, ***надра*** якої під дією колосального тиску ***можуть складатися з графіту та алмазів*** (температура на поверхні досягає 2700 °C, а рік триває лише 18 годин).

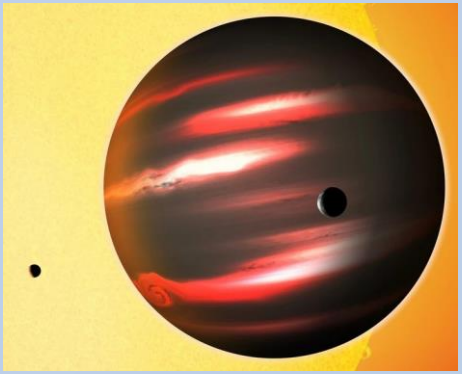
•***KELT-9b*** — ***найгарячіша з відомих екзопланет***. Це ультрагарячий газовий гігант, ***температура на його денній стороні сягає близько 4300 °C***, що робить його гарячішим за деякі зірки.



HAT-P-7b *– планета із* ***сапфіровими дощами***



55 Cancri e *є першою суперземлею, яка знаходиться поряд із зіркою у стабільній фазі свого життя. Учені вважають, що* ***вся внутрішня частина планети є алмазною.***



Екзопланета ***TrES-2b*** *вважається* ***найтемнішою з усіх відомих****, вона відбиває менше ніж 1% світла*

© Опанасюк А.С.

ІНДЕКС ПОДІБНОСТІ ДО ЗЕМЛІ

•***Індекс подібності до Землі* — параметр, що показує, наскільки близько умови на екзопланеті відповідають Земним.**

• ***Індекс може набувати значення в діапазоні від 0 до 1, де «1» означає ідентичність Землі. Значення між «0,8» і «1,0» відповідають кам'янистим землеподібним планетам, які можуть мати подібну до Землі атмосферу з помірною температурою і підтримувати земні форми життя. Індекс є функцією від радіусу планети, її густини, другої космічної швидкості та температури поверхні.***

•***Основний рівень життєпридатності* - параметр, що визначає водно-теплову придатність клімату планети для існування наземних продуцентів (рослинності). Параметр набуває значення в діапазоні від 0 до 1, де «1» - найбільш придатні для життя умови і є функцією від температури поверхні та відносної вологості. Значення «1» надається планетам із середньою приповерхневою температурою 25 °C, що є найбільш оптимальною для більшості видів рослин**; ***"0" - планетам з температурою вище 50 °C і нижче 0 °C***. Для екзопланет використовується лише температурна складова і передбачається, що на планеті є вода.

•***Відстань від населеної зони* — параметр, що визначає віддаленість планети від центру населеної зони батьківської зірки. Планети в зоні життя мають значення від -1 до +1, де «0» позначає центр населеної зони, а -1 і +1 - її внутрішній і зовнішній край***. Відстань від населеної зони є функцією від світності зірки, її температури, і навіть відстані до планети.

•***Атмосфера населеної зони* - параметр, що характеризує можливість екзопланети тримати атмосферу***. Значення нижче -1 позначають тіла зі слабкою атмосферою або без неї. Значення вище +1 позначають тіла з щільною водневою атмосферою (газові гіганти, наприклад). ***Значення між −1 і +1 - мають атмосферу, придатну для життя***, але 0 необов'язково означає ідеальні умови.

•***Планетний клас* - параметр, що характеризує планетні тіла у вигляді комбінації з трьох температурних класів та семи категорій мас.** Температурний клас залежить від положення планети відносно населеної зони і може бути трьох видів: гарячий, теплий і холодний (теплий відповідає населеній зоні). ***Категорія мас підрозділяється на такі типи: астероїд, меркурій, мініземля, земля, суперземля, нептун і юпітер.*** Класифікація може застосовуватися для екзопланет (включаючи супутники), і навіть будь-яких планет Сонячної системы.

•***Клас життєпридатності* — параметр, що є класифікацією лише життєпридатних світів і що складається з п'яти температурних категорій: *гіпопсихопланети*** (клас hP, дуже холодні планети) - температура від -50 °C і нижче; ***психопланети*** (клас P, холодні планети) - температура від -50 до 0 °C; ***мезопланети*** (клас M, планети з помірною температурою, типовою мезопланетою є Земля) - температура від 0 до 50 °C; ***термопланети*** (клас T, гарячі планети) – температура від 50 до 100 °C; ***гіпертермопланети*** (клас hT, дуже гарячі планети) - температура від 100 °C і вище.

© Опанасюк А.С.

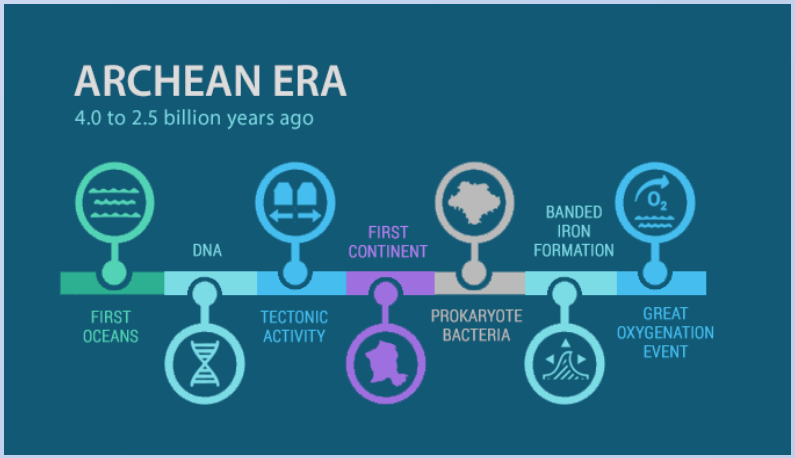
ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

•***Наша планета – знаходиться у зоні життя*** (***зоні Золотоволоски***), ***як і Марс та Венера***, Сонячної системи, тому вона найкращим чином підходить для зародження життя. ***Вік Землі вважається рівним 4,6 мільярдам років, а перші осадові породи, що свідчать про появу крупних водоймищ, заповнених рідкою водою, датуються віком 3,8 мільярдів років, хоча деякі учені відносять його ще далі, вважаючи рівним 4,2 мільярдам років.***

•***На Землі поступово виникли атмосфера і гідросфера*** - моря, океани і таке ін. Виникли вони за ***рахунок дегазації лав***, що виплавлялися з верхньої мантії при інтенсивному вулканізмі. Не дивлячись на те, що об'єми океанів і атмосфери весь час росли, вони і сьогодні складають малу частину маси планети. ***Океани разом із льодовиками складають одну чотирьохтисячну, а атмосфера - одну мільйонну частину маси Землі.*** Ми маємо всі підстави вважати, що при дегазації вулканічних лав на поверхню Землі поступали перш за все пари води і газоподібні сполуки вуглецю, сірки, азоту. ***Спочатку атмосфера була такою тонкою, що парниковий ефект був малим. При цьому середня температура поверхні Землі була близька до 15 ^{0}C.*** А при такій температурі всі пари води повинні були конденсуватися, за рахунок цього й утворилися океани.

•***Первинна атмосфера не містила вільного кисню***, оскільки його не містили ті гази, які викидалися при виверженні вулканів. Це міркування підтверджує і аналіз бульбашок газу, виявлених у протоархейських породах. ***60% цих газів складала вуглекислота, інше - сполуки сірки, аміаку, інші оксиди вуглецю. Кисень створили набагато пізніше бактерії та рослини. Що стосується води первинного океану, то дослідники сходяться на тому, що його склад був близький до сучасного***. Цьому є немало доказів. Але так само, як і ***в первинній атмосфері, в первинному океані вільного кисню не було. Саме в цих умовах на Землі зародилися найпростіші форми життя у вигляді бактерій.***

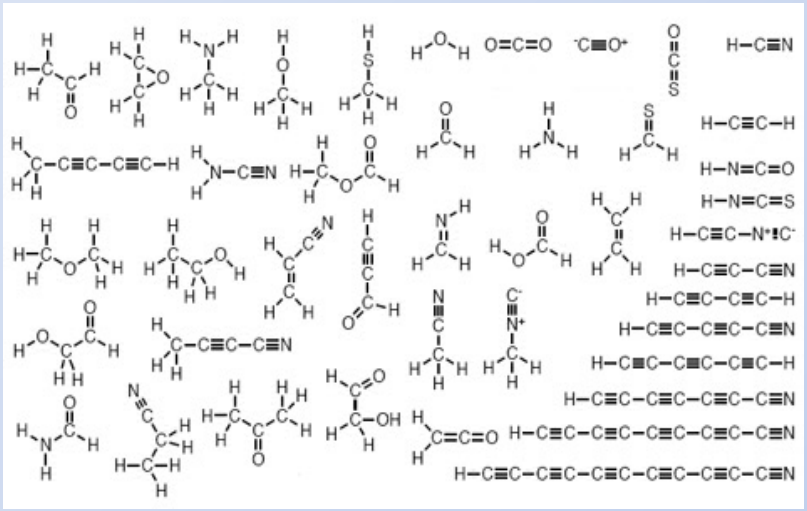
•Астроном Девід Кіппінг з Колумбійського університету застосував баєсівський статистичний аналіз, базуючись на найдавніших свідченнях існування життя на Землі. Серед них: ***мікрофосилії віком 3,7 мільярда років, ізотопні сліди в австралійських породах віком 4,1 мільярда років та структури в канадських породах, вік яких може сягати 4,28 мільярда років.*** Аналіз цих даних показав, що ***ймовірність швидкого виникнення життя на планеті, схожій на Землю, перевищує співвідношення 13:1 — показник, який у науковій статистиці вважається «сильним доказом».***



Японські геологи знайшли на північному сході Канади поклади органічних порід, які свідчать про те, що життя на Землі вже мало існувати як мінімум 4,2 млрд років тому. Це майже миттєво після встановлення потрібних для цього умов. Нагадуємо, що ***Місяць утворився близько 4,5 млрд років тому в результаті зіткнення молодої Землі з протопланетою Теєю (фрагменти її знайдено у глибинах нашої планети), яка досягала розмірів нинішнього Марса.*** Після цього потрібен був час (декілька десятків чи сотень млн. років) для остигання розплавленої поверхні планети до температури конденсації води.

© Опанасюк А.С.

ОРГАНІКА У КОСМОСІ



Деякі органічні молекули, що знайдені астрономами в межзірковому середовищі

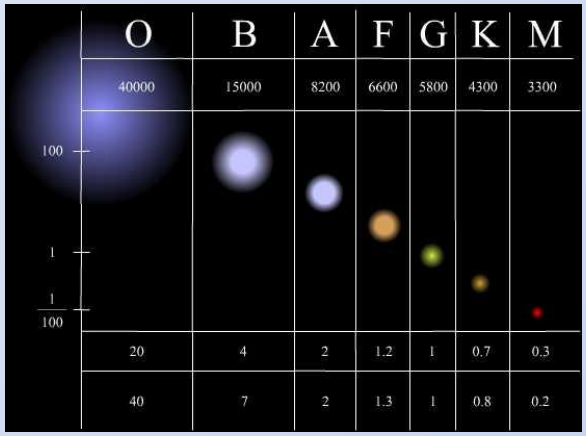
На цей час людству відома тільки одна форма життя – органічна на основі атомів вуглецю. Вважається що для її утворення обов'язково потрібна вода, вуглець і джерело енергії яким є Сонце. Сто років тому людство вважало космос неживим, ми думали, що в космічному просторі є лише атоми та прості молекули: ***вода, вуглекислий газ, кремнієвий чи вуглецевий пил***. Все це знаходиться в екстремальних умовах: моторошний холод і згубне космічне випромінювання або, навпаки, високі температури та тиску в надрах Зірок та їх оточення. Здавалося, що в таких умовах немає умов для появи складних органічних молекул, а життя може зародитися тільки в "тихій гавані", у вузькій зоні проживання (Золотоволоски), в яку потрапила Земля. Однак, на сьогодні ***в міжзоряному середовищі виявлені молекули 276 органічних речовин,*** хоча тільки 19 з них складаються з 12 і більше атомів.

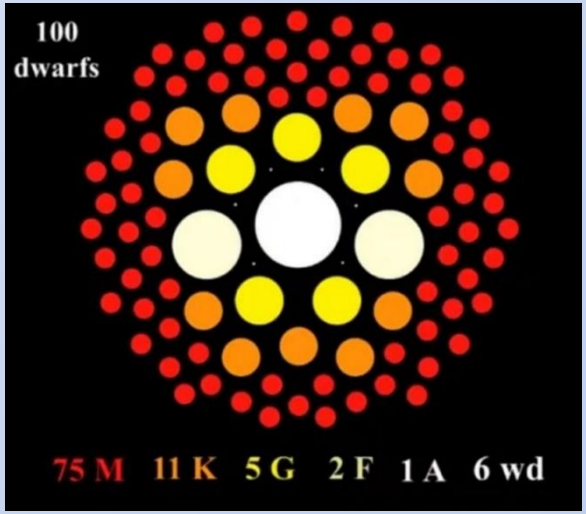
Таким чином ***тепер ми знаємо, що у Всесвіті є безліч складних органічних сполук - перших "цеглинок" органічного життя, які здатні дати старт розвитку життя в багатьох куточках там, де є умови для його розвитку та підтримки.*** Нові спостереження обраних областей нашої Галактики, де йдуть процеси зіркоутворення, показали, що ***вміст води там вище, ніж очікували***. ***Виявилося, що в холодних хмарах речовини так само багато води (пари + лід), як і в областях активного зореутворення.*** А ***найголовніший результат полягає в тому, що після молекулярного водню та окису вуглецю, вода - найпоширеніша молекула***. Наприклад, в одній з холодних хмар з масою в тисячу мас Сонця, кількість води (пари + лід) еквівалентна сотні мас Юпітера. Вчені також виявили, що в холодних хмарах ***99% води являє собою лід, сконденсованих на холодних порошинках, і лише 1 % - в газовій формі.***

На астероїді Бенну, вчені виявили 14 з 20 амінокислот на яких засноване білкове життя на Землі, він також містить високу концентрації аміаку, п'ять азотистих основ і необхідну для утворення життя воду. Таким чином, ***умови необхідні для виникнення життя були широко розповсюджені у всій ранній Сонячній системі.***

© Опанасюк А.С.

ЗІРКИ НАЙБІЛЬШ ПЕРСПЕКТИВНІ ДЛЯ ПОШУКУ ЖИТТЯ





Статистика розподілу різних типів зірок на 100 карликів у межах 10 парсеків від Сонця.

•***Червоні карлики є головною ціллю для пошуку екзопланет*** (особливо потенційно заселених), оскільки ***вони є найпоширенішими зірками у Всесвіті, а виявити невеликі планети біля них технічно набагато простіше. Червоні карлики (М-карлики) складають близько 70–75% усіх зірок у нашій галактиці Чумацький Шлях.*** Червоні карлики спалюють своє водневе паливо дуже повільно. ***Вони можуть жити від сотень мільярдів до трильйонів років*** (для порівняння, тривалість життя ***Сонця (клас G2V) ~10 млрд років***). ***Це теоретично дає життю на таких планетах колосальний запас часу для виникнення та еволюції.***

•Попри всі переваги для пошуку, ***життя на таких екзопланетах стикається з серйозними викликами:***

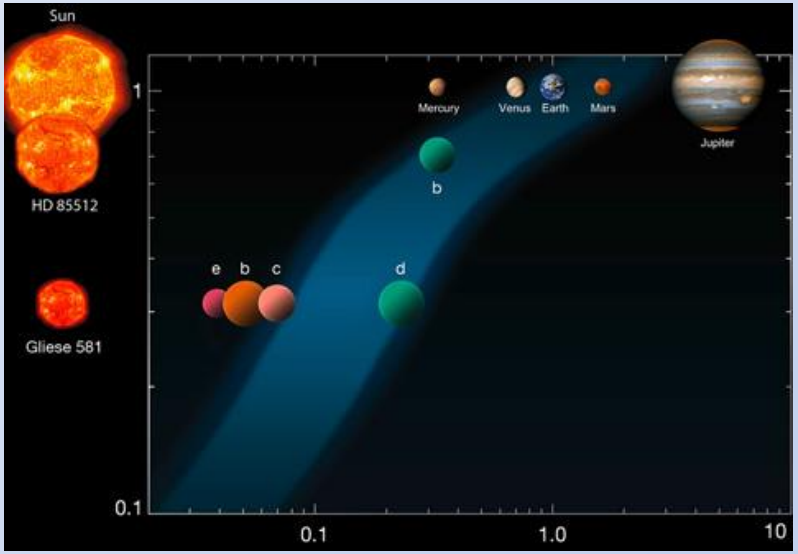
•***Припливне захоплення:*** Через близькість до зірки ***планети часто повернуті до неї однією стороною*** (як Місяць до Землі). На одному боці панує вічний день і спека, на іншому — вічна ніч і холод.

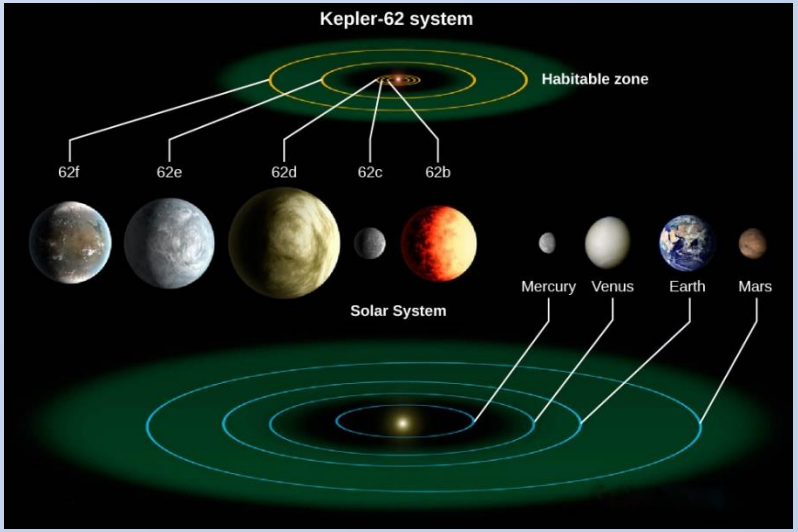
•***Зоряна активність:*** ***У молодому віці червоні карлики дуже нестабільні***. Вони ***випускають потужні спалахи та рентгенівське випромінювання***, які можуть повністю «здути» атмосферу планети та стерилізувати її поверхню.

•***Нещодавно астрономи провели пошук зірок типу К (помаранчеві карлики) у відносній близькості від Сонця*** - в межах 108 світлових років. ***Зірки типу К, живуть значно довше, ніж наше Сонце - від 20 до 70 млрд р., що створює набагато більш тривале за часом «вікно» для формування та стійкого існування біосфер на їхніх планетах***. З отриманого масиву спостережень по всьому небу, ***дослідники виділили 529 зрілих і слабоактивних К-зірок, які мали найбільш підходящі умови для пошуку землеподібних планет і потенційно придатних для життя світів***. При цьому на сьогодні лише невелика частка відібраних зірок - близько 7,5 % - має підтверджені екзопланети, що вказує на те, що більшість підходящих систем поки що залишається недостатньо вивченими. Важливо зазначити, що ***К-зірки займають значну частку локального зоряного населення - близько 11 % усіх зірок у радіусі 33 парсеків (жовті карлики, як Сонце -7%).***

© Опанасюк А.С.

ЗОНИ ЖИТТЯ (ЗОЛОТОВОЛОСКИ)





"Зона Золотоволоски" (або зона життя) ***- це область космосу навколо зірки, в якій температура на поверхні екзопланети дозволяє воді існувати в рідкому вигляді.*** Назва походить з дитячої казки «***Золотоволоска і три ведмеді***», де дівчинка вибирала все «в самий раз» (не надто гарячу кашу, не надто жорстке або м'яке ліжко). У цій зоні ***планета знаходиться на ідеальній відстані від свого сонця. Вона залежить від типу зірки: якщо зірка тьмяна і холодна (наприклад, червоний карлик, як TRAPPIST-1), то «зона Золотовласки» буде дуже близько до неї. Якщо зірка велика і яскрава, зона зсувається далеко назовні.***

Порівняння зон життя і розташування планет у Сонячній системі (вгорі) і системах зірок HD 85512 (в центрі) і Gliese 581 (внизу). *Шкала по вертикалі - маса зірки (у сонячних масах), шкала по горизонталі - відстань планети від світила (в астрономічних одиницях). Гарантована* ***зона населеності (Золотоволоски), там де вода може знаходитися у рідкому стані,*** ***відзначена світло-синьою смугою****. Темно-синя окантовка праворуч і ліворуч від неї показує можливе розширення зони населеності через низку невідомих поки параметрів.*

Екзопланетна система Кеплер-62 (перша підтверджена екзопланета в зоні життя), в порівнянні з Сонячною системою в тому ж масштабі*. Зелені зони - це «зони життя», діапазон відстані від зірки, де температура поверхні, ймовірно, буде відповідати рідкій воді.*

© Опанасюк А.С.

КАМЯНІСТІ ПЛАНЕТИ ПРИДАТНІ ДЛЯ ЖИТТЯ

•***Науковцям відомо про понад 8 тис. планет за межами Сонячної системи.*** З них за даними каталогів NASA***, близько 700 є скелястими (землеподібними) планетами та 1761 суперземлями, але лише кілька десятків із них можуть бути придатними для існування. Вчені нарахували 45 кам'янистих планет, які розташовані в "зоні життя" – умовній відстані від їхньої зорі, де умови можуть дозволити появу живих організмів.*** Про це йдеться в дослідженні, опублікованому в Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. Хоча одна оцінка визначає ***45 придатних для життя планет, більш консервативний критерій, який враховує вужчу зону життя на основі сонячного тепла, зменшує їхню кількість до 24***. Серед них – планета ***Проксима Центавра b***, розташована приблизно за 4,2 світлові роки від Землі. Об'єкт вважають найближчою екзопланетою до нашої, де може бути життя. Іншими у списку є ***планети системи TRAPPIST-1,*** які обертаються навколо своєї карликової зорі за 40 світлових років від нас. На думку авторів, ***найцікавішими є планети: TRAPPIST-1 d; TRAPPIST-1 e; TRAPPIST-1 f; TRAPPIST-1 g, та LHS 1140 b***, яка розташована на відстані 48 світлових років від Землі. ***Здатність цих об'єктів мати на своїй поверхні рідку воду частково залежить від того, чи можуть вони утримувати атмосферу.***

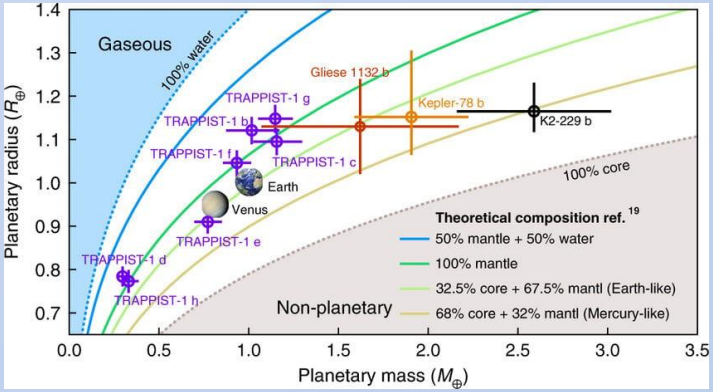
•***Планетами, які отримують схожу кількість світла від своїх зір, як Земля, є транзитні***:

•***TRAPPIST-1 e; TOI-715 b; Kepler-1652 b; Kepler-442 b; Kepler-1544 b.***

•Схожі властивості мають планети, які змушують власні зорі гравітаційно "похитуватися":

•***Проксима Центавра b; GJ 1061 d; GJ 1002 b; Wolf 1069 b,***

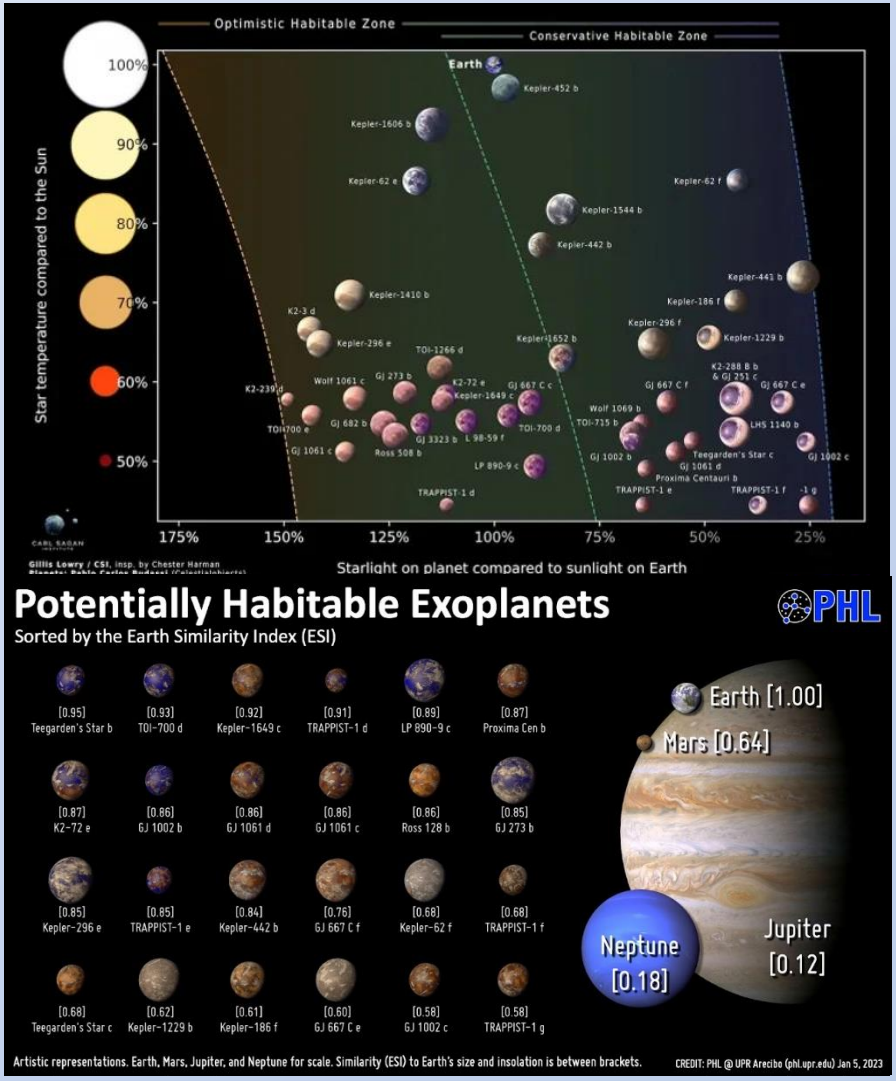
•По внутрішньому краю межі придатності для життя знаходяться ***K2-239 d, TOI-700e, K2-3d, Wolf 1061c та GJ 1061c***, а зовнішньому – ***Trappist-1g, Kepler-441b та GJ 102***, де умови стають холодними для життя.



Діаграма «маса — радіус» для відомих планет земного розміру*. Тут представлені лише ті планети, маса яких визначена з точністю кращою за 50%. Різні лінії відображають можливі теоретичні варіанти складу планет земного типу. Об'єкти, густина яких перевищує густину чистого ядра (100 % ядра), вважаються такими, що не належать до планет, а об'єкти, густина яких менша за густину чистої води (100 % води), — газовими тілами.*

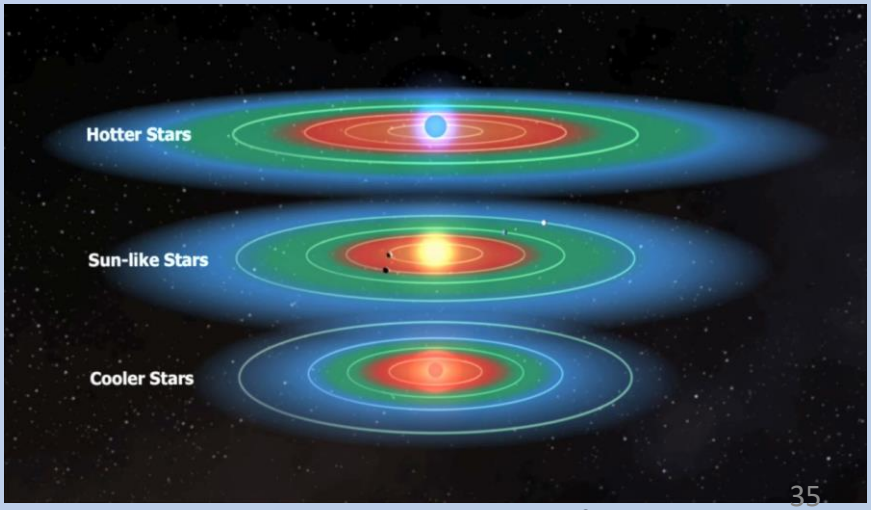
© Опанасюк А.С.

ПОТЕНЦІАЛЬНО ЗАЛЮДНЕНІ ЕКЗОПЛАНЕТИ



•Директор Лабораторії вивчення населеності планет (PHL) Університету Пуерто-Ріко в Аресібо Абель Мендес і його колеги ***склали список*** (Habitable Worlds Catalog) ***з 104 екзопланет*** (Глизе 667 Cc, Глизе 163 c, Kepler-22 b, Kepler-186 f...), ***відсортувавши їх за найбільшою подібністю до Землі. З них двадцять кандидатів лежать всередині «більш консервативних» (менш великих) зон життя і мають радіус менший двох радіусів Землі. Це робить їх в значній мірі схожими з нашою планетою.***

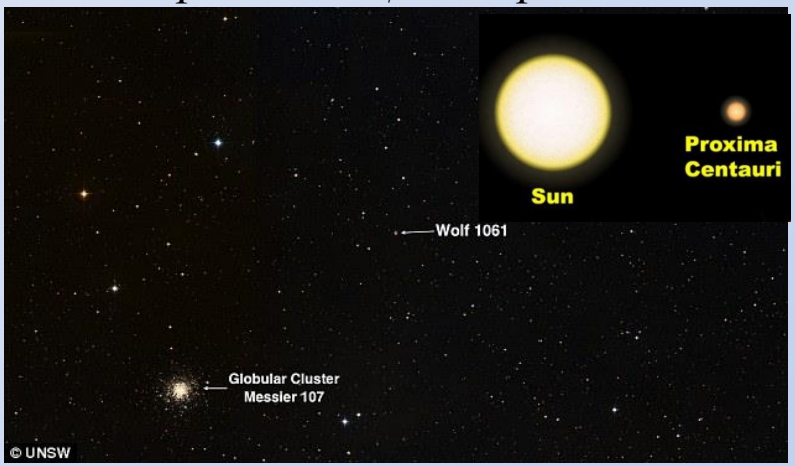
*Розміри зон "придатності для життя" (зон **«Золотоволоски)** біля зірок різної світності*



© Опанасюк А.С.

НАЙБЛИЖЧІ ПЛАНЕТИ, ДЕ МОЖЕ БУТИ ЖИТТЯ

Проксима Центавра b



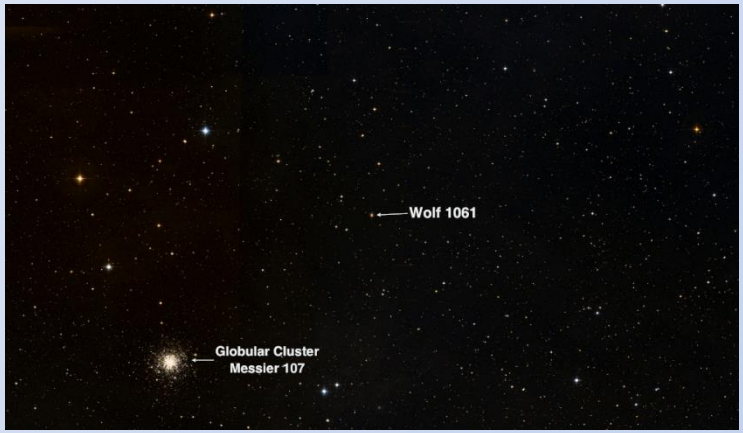


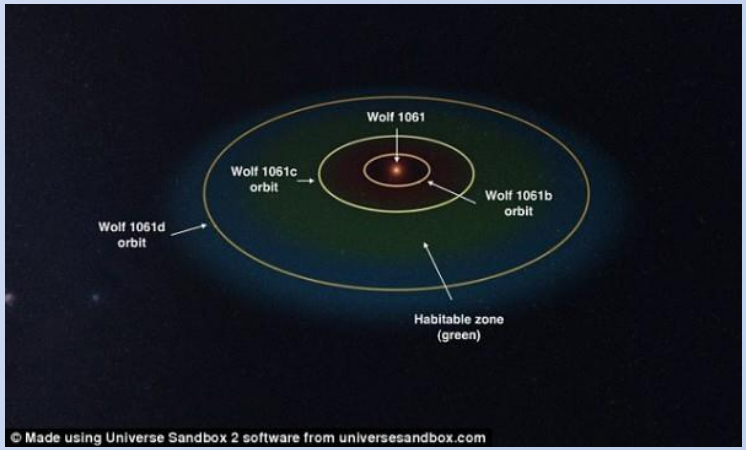
Поверхня Проксими Центавра b — в уяві художника Мартіна Корнмессера

- ***Проксіма Центавра b - екзопланета в системі червоного карлика Проксіма Центавра, найближчої до Сонця зірки. Вона в сім разів менша Сонця і лише на п'ятдесят відсотків більша Юпітера. А ще вона у вісім разів легша Сонця.*** Розташована на ***відстані близько 4,25 світлових років*** (1.3 парсека або 40 трлн км) ***від Землі*** у сузірї Центавра. 1 парсек = 3,26 св. роки.
- ***У системі Проксіми Центавра відомі дві планети.***
- ***Проксима Центавра b на сімнадцять відсотків більша за Землю і на десять важча.*** Відстань планети до своєї зірки (радіус орбіти) становить близько 0,05 астрономічних одиниць (7,5 млн км). Це лише 5 % відстані між Землею і Сонцем, але оскільки випромінювання червоного карлика значно слабше, ніж випромінювання Сонця, ***Проксима b перебуває у зоні придатній для життя*** (***в зоні Золотоволоски***).
- ***Проксима Центавра – активний червоний карлик, який часто випромінює потужні зоряні спалахи.*** Через близькість до зірки планета, найімовірніше, ***перебуває у стані приливного захоплення*** (завжди повернута до неї однією стороною). ***Наявність у неї щільної атмосфери чи магнітного поля досі точно не доведено***

© Опанасюк А.С.

НАЙБЛИЖЧІ ПЛАНЕТИ, ДЕ МОЖЕ БУТИ ЖИТТЯ





Симуляція сонячної системи зірки Wolf 1061C свідчить, що планета с знаходиться на оптимальній з температурної точки зору відстані. Орбіти планет b, c і d (рахунок іде від внутрішньої планети до зовнішньої) мають періоди обертання навколо зірки 4,9, 17,9 і 67,2 днів

•***Планетна система зірки Вольф 1061 (Wolf 1061) - це компактна система з трьох відомих екзопланет, що обертаються навколо червоного карлика.*** Сама зірка знаходиться на відстані близько ***13,8-14,1 світлових років від Землі в сузір'ї Змієносця***.

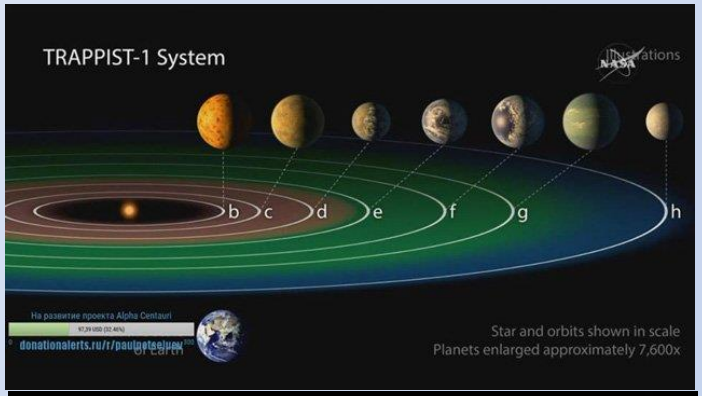
•***Червоний карлик Вольф 1061 значно холодніший і тьмяніший за наше Сонце*** (температура поверхні близько 3300 К проти 5900 К), ***комфортна для рідкої води зона розташована до нього дуже близько***.

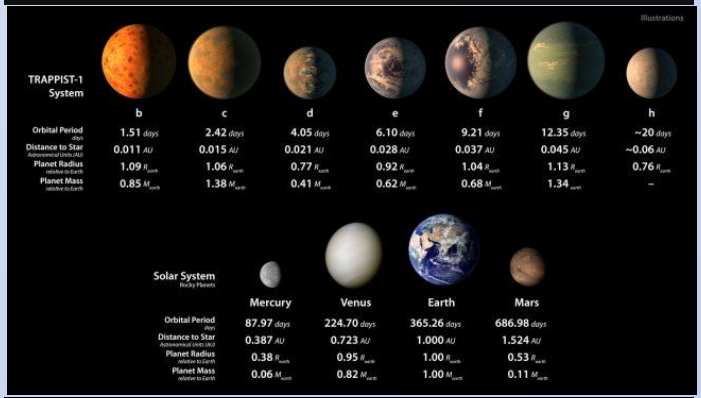
•Всі ***три планети біля цієї зірки відносяться до класу суперземель*** (планети масивніші за Землю, але поступаються газовим гігантам) і, швидше за все, мають кам'янисту поверхню.

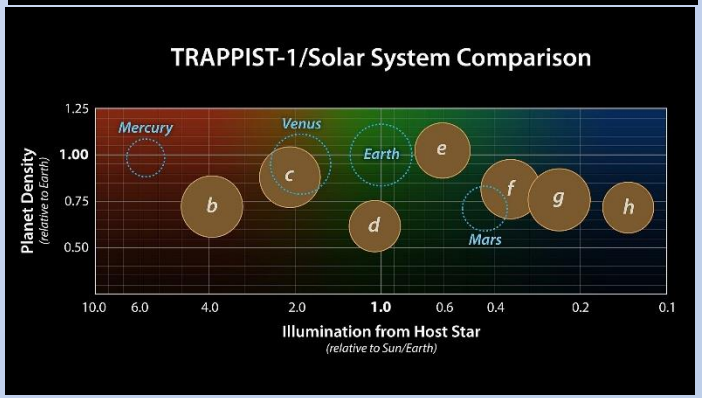
•***Вольф 1061 с - друга за віддаленістю планета у цій системі***. Вона ***знаходиться в межах зони Золотоволоски своєї зірки*** біля внутрішнього краю зони проживання. ***Рік на планеті триває лише 18 земних діб.*** Вона знаходиться до своєї зірки в 10 разів ближче, ніж Земля до Сонця (загалом 0,089 а.е.). Через близькість до зірки планета, швидше за все, ***знаходиться у припливному захопленні***. Це означає, що вона завжди повернута до світила однією стороною (там вічний день та спека), а на протилежному боці панує вічна ніч та холод. ***Життя в такому випадку можливе на вузькій смузі «вічних сутінків» на стику півкуль***. Середня температура без урахування атмосфери становить приблизно -50 °C. Однак, якщо у планети щільна атмосфера, парниковий ефект може зробити її тепліше (або, навпаки, перетворити на подобу розпеченої Венери)

© Опанасюк А.С.

СИСТЕМА TRAPPIST-1





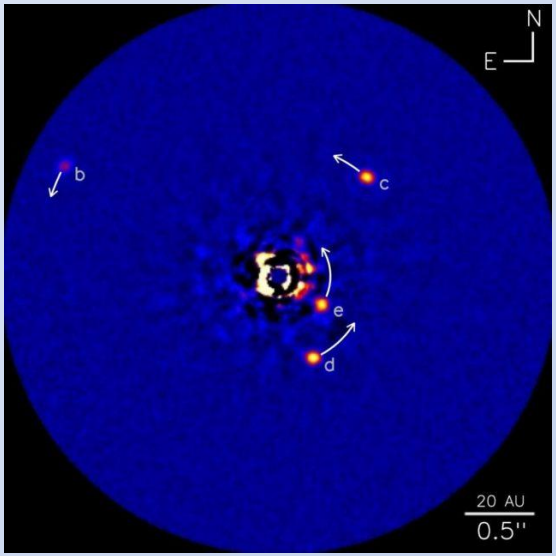


•***Астрономи виявили цілих сім земплеподібних кам'янистих планет біля зірки TRAPPIST-1*** - «надхолодного» ***червоного карлика***, розташованого приблизно в ***39 світлових роках від нас, в сузір'ї Водолія***. ***Ця зірка має поверхневу температуру близько 2550 кельвінів, а її маса досягає всього лише 0,08 маси Сонця.*** TRAPPIST-1 відноситься до спектрального класу M8V, і ***його світність досягає лише 0,05 відсотків світності Сонця***.

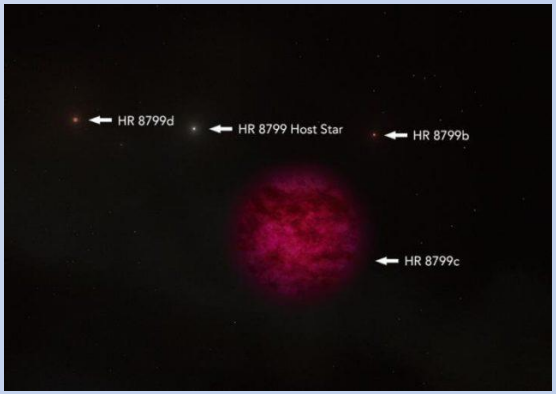
• ***Екзопланети, що отримали назву TRAPPIST-1b, c, d, e, f, g і h, мають схожі з нашою планетою розміри - за оцінками дослідників, їх радіуси варіюються від 1,19 до 0,76 земного.*** Найближча з них, TRAPPIST-1b, віддалена від материнської зірки всього на 0,011 астрономічних одиниць і має період обертання всього 1,51 день. Найдальша планета TRAPPIST-1h, ймовірно, робить один оборот навколо центрального світила за 20 днів і видалена на 0,06 астрономічних одиниць від нього, однак орбітальні параметри цієї планети тільки належить підтвердити. ***За оцінками дослідників, принаймні шість з семи екзопланет імовірно мають кам'янистий склад.*** Крім того, ***на поверхню трьох з них, TRAPPIST-1c, d і f, потрапляє приблизно така ж кількість енергії, скільки на Венеру, Землю і Марс. Відповідно вони повинні мати рівноважну температуру - +69, +15 та -22 ^{0}C. TRAPPIST-1e (найбільш перспективна для життя планета) за даними досліджень і моделювання може мати вуглецево-азотну атмосферу (переважно азот (N_2) з можливими слідами вуглекислого газу (CO_2) и метану (CH_4) що нагадує земний тип атмосфери.***

© Опанасюк А.С.

ВОДА НА ЕКЗОПЛАНЕТАХ



Вода в атмосфері планети зірки HR 8799 в сузір'ї Пегаса.



•На цей час вода знайдена в атмосфері сотен екзопланет, а теоретичні моделі показують, що близько третини всіх відомих планет за межами Сонячної системи можуть бути багаті на воду.

•Так завдяки технологіям ***Обсерваторії Кека*** вдалося ***виявити воду в атмосфері планети зірки HR 8799 в сузір'ї Пегаса.*** Сама зірка - зірка головної послідовності віком в 30 мільйонів років. ***У 2008 р. астрономи оголосили про спостереження за трьома екзопланетами навколо цієї зірки b, c і d - за допомогою телескопів Keck і Gemini, а в 2010 р. вони заявили про відкриття четвертої планети - HR 8799 e. Нові спостереження відносяться до HR 8799 c - це молода гігантська газова планета, в сім разів перевищує масу Юпітера,*** яка кожні 200 років робить оборот навколо своєї зірки. ***Отримані зображення підтверджують наявність води в її атмосфері і відсутність метану***. Відкриття вдалося зробити завдяки використанню ***двох технологій телескопа обсерваторії Кека***. Це ***адаптивна оптика, яка протидіє розмитим ефектів атмосфери Землі, і спектрометр на телескопі Кек 2***, званий спектрофотометром Cryogenic Echelle з ближнім інфрачервоним випромінюванням (NIRSPEC) - спектрометром з високою роздільною здатністю, який працює в інфрачервоному L-діапазоні (типі інфрачервоного світла з довжиною хвилі близько 3, 5 мкм). Об'єднавши спектрографію L-діапазону з адаптивною оптикою, вченим вдалося подолати труднощі спостереження за планетою, зумівши зробити найбільш точні вимірювання планети і підтвердивши наявність води і відсутність метану.

•На сьогоднішній день воду у атмосфері малих кам'янистих екзопланет земного типу не фіксували. Однак її знайшли у кількох перехідних світах (***суперземель та міні-нептунів***): ***K2-18 b –*** суперземля (або міні-нептун), ***GJ 9827 d*** - невелика екзопланета приблизно вдвічі більша за Землю, ***LHS 1140 b - скеляста суперземля в населеній зоні*** (дані телескопа JWST вказують на те, що ***вона може бути "планетою-океаном"*** з високою часткою води, хоча склад її атмосфери все ще досліджується).

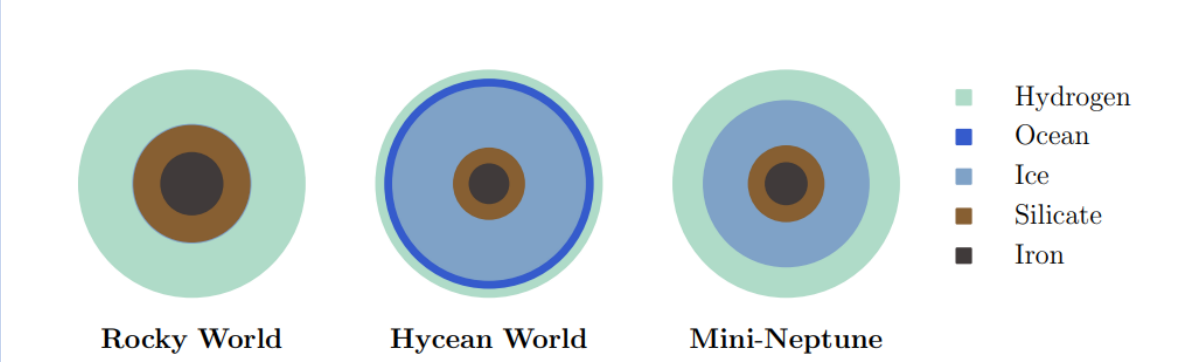
© Опанасюк А.С.

ПЛАНЕТИ ГІКЕАНИ

•У 2021 р. був вперше запропонований ***новий клас екзопланет, що мають переважно водневі атмосфери і вкриті глибокими до сотен і тисяч кілометрів океанами***. Цю гіпотезу висунула команда під керівництвом ***Ніккі Мадхусудхана***, який викладає планетологію в ***Кембриджському університеті.*** Гіпотеза видалася життєздатною, оскільки саме водень — найпоширеніший елемент у Всесвіті та у протопланетних хмарах. ***Такі планети назвали гікеанами.***

•Гікеан (англ. hycean planet) - це гіпотетичний тип планети з океанами рідкої води під водневою атмосферою. Наявність позаземної рідкої води робить гікеани перспективними кандидатами на планетарне проживання. Зазвичай вважається, що ***вони більші і масивніші за Землю***. Дані про густину припускають, що як кам'янисті суперземлі, так і суб-Нептуни (такі як K2-18b і TOI-1231b) можуть відповідати цьому типу, і тому ***очікується, що вони будуть поширеними екзопланетами.***

•Гікеани можуть бути значно більшими, ніж попередні оцінки розмірів для населених планет, з радіусами, що досягають 2,6 R⊕ (2,3 R⊕) і масами 10 M (5 M). Більше того, зона проживання для таких планет може бути значно ширшою, ніж у планет земного типу. Рівноважна температура планети може досягати 430 K (157 °C) для планет, що обертаються навколо пізніх M-карликів. Однак, маса і радіус самі не визначають склад планети, оскільки тіла з однаковою масою і радіусом можуть мати різний склад: таким чином, дана планета може бути гікеаном, або суперземлею. ***Такі планети можуть мати безліч різних складів атмосфери та внутрішніх структур***. Також можливі захоплені приливними силами «темні гікеани» (придатні для життя лише на боці постійної ночі) або «холодні гікеани» (з незначною іррадіацією, що обігріваються парниковим ефектом). Темні гікеанські світи можуть утворюватися, коли атмосфера не може ефективно переносити тепло з постійної денної сторони на постійний нічний бік, таким чином, нічна сторона має помірні температури, тоді як денна сторона занадто гаряча для життєпридатності. ***Холодні гікеани можуть існувати навіть за відсутності власного сонця, наприклад, планети - ізгої, викинуті з власної сонячної системи приливними силами.***



Очевидно, гікеан - це окремий випадок розвитку міні-нептунів. Ці планети в кілька разів менші за Нептун, але приблизно в 1,5 рази більші Землі.

© Опанасюк А.С.

ПЕРША ПЛАНЕТА ГІКЕАН



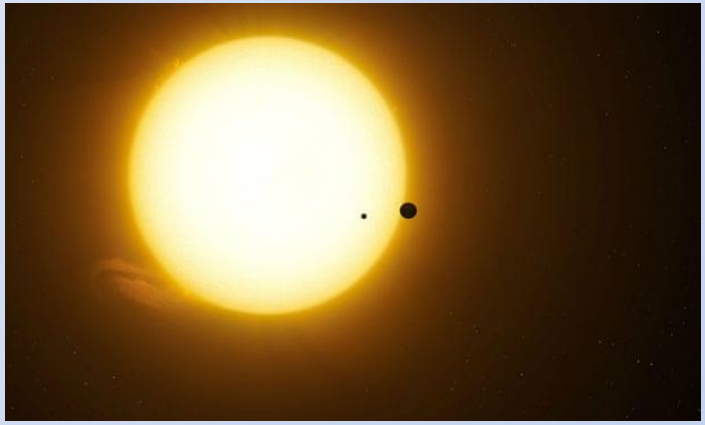
•***K2-18 b, (EPIC 201912552 b) - екзопланета у червоного карлика K2-18.*** Вона була ***виявлена в 2015 р. космічним телескопом Kepler,*** ставши однією з більш ніж 1200 екзопланет, виявлених під час місії «Second Light». ***Знаходиться на відстані 124 світлових років від Землі, обертається навколо зірки за 33 дні.*** За масою ***класифікується як суперземля***. Занадто низька середня густина 2,4 ± 0,4 г/см^3 говорить про те, що ***ця планета, швидше за все, є мінінептуном***. Проте, спектроскопічні дані припускають, що ***планета може бути гікеаном***. ***У 2019 році*** два незалежні наукові дослідження, об'єднавши дані космічних телескопів Kepler, Спітцер і Хаббл, дійшли висновку, що ***в атмосфері K2-18 b існує значна кількість водяної пари***.

У екзопланети, що знаходиться в зоні Золотоволоски, це було виявлено вперше. 2023 р. планету спостерігав телескоп Джеймс Вебб. ***У її атмосфері було виявлено молекули метану, вуглекислого газу, і навіть ознаки можливої наявності диметилсульфіду, що може свідчити про існування життя у гіпотетичному океані та на її поверхні.*** У квітні 2025 року опубліковано результати додаткових вимірювань, які підтвердили значну (≥10 ppmv) наявність в атмосфері ***диметилсульфіду та/або диметилдисульфіду***. ***Обидва гази в земних умовах мають лише біологічне походження і невідомі інші способи їхньої природнього утворення у помітних кількостях***. Точність вимірів оцінюється ***на рівні 3-σ*** (імовірність, що результат правильний, становить близько 99,7%). ***На Землі диметилсульфід і диметилдисульфід утворюються виключно біологічними шляхами: диметилсульфід переважно синтезується морськими фітопланктоном і бактеріями, а диметилдисульфід виникає при мікробному розкладанні органічних речовин і служить продуктом метаболізму різноманітних мікроорганізмів. Невідомі позабіологічні процеси утворення цих газів у значних концентраціях***, що робить їх одними з найбільш надійних біосигнатур.

Хоча K2-18 b знаходиться в зоні життя і містить вуглецевмісні молекули, це не обов'язково означає, що вона придатна для життя. Великий розмір планети - в ***2,6 рази більше Землі*** - означає, що планета, ймовірно, має мантію з "льоду" високого тиску, як у Нептуна, але при цьому більш тонку атмосферу, багату воднем, і океан. Однак океан може бути занадто гарячим, щоб бути придатним для життя або бути рідким.

© Опанасюк А.С.

ВИЯВЛЕНО ПЕРШІ СУПУТНИКИ ЕКЗОПЛАНЕТ?





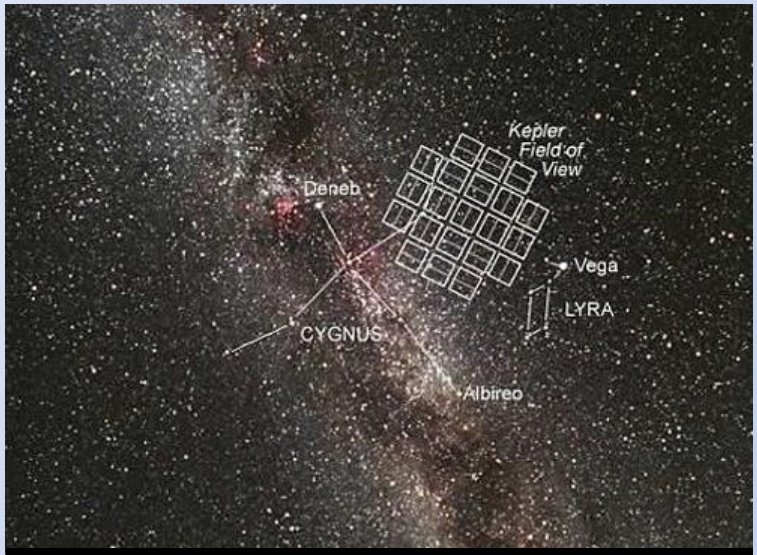
*Життя на супутнику гарячого Юпітера описано у фільмі «**АВАТАР**»*

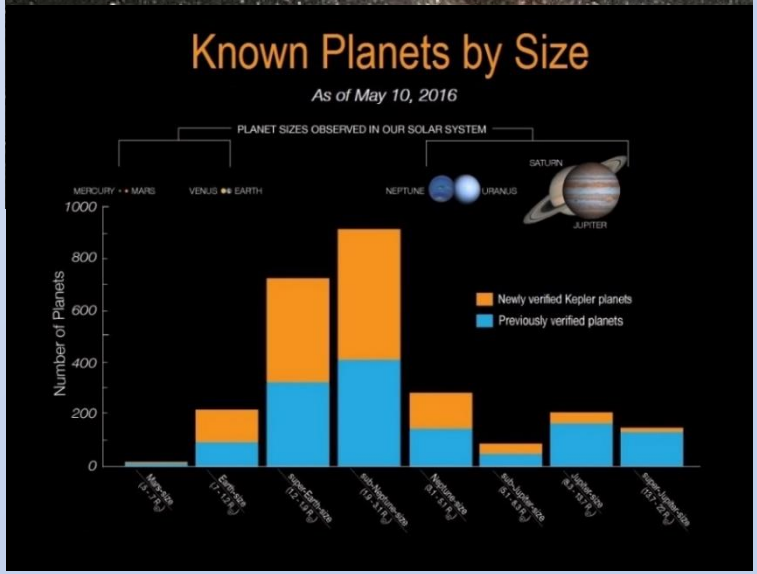
•***Астрономи вперше виявили супутник (екзосупутник) планети Кеплер 1625b за межами Сонячної системи.*** Він обертається навколо гігантської екзопланети на відстані близько 8000 світлових років від нас. ***Екзомісяць, який за розміром може зрівнятися з Нептуном, більше всіх відомих супутників Сонячної системи***. Девід Кіпінг, астроном з Колумбійського університету в Нью-Йорку разом зі своєю командою проаналізував дані про майже 300 віддалених планет, виявлених за допомогою космічного телескопа Kepler транзитним методом. Вчені помітили аномалії в спостереженнях газової планети Kepler 1625b, яка в кілька разів перевищує розмір Юпітера. "Ми побачили невеликі відхилення і коливання на кривій блиску, які привернули нашу увагу", - сказав Кіпінг. Щоб знайти причину аномалій, вчені використали телескоп "Хаббл". Вони побачили, що через 3,5 години після того, як перед зіркою проходить Kepler 1625b, світність знову падає, хоча і не так сильно. За словами авторів, у них відразу з'явилася здогадка, що падіння світності викликає супутник, який слідує за своєю планетою, як "собака на повідку". ***Маса екзомісяця становить всього 1,5% від маси своєї планети - це близько до співвідношення мас між Землею і Місяцем. Однак, на відміну від Землі і Місяця, Кеплер 1625b і її супутник обидва є газоподібними планетами.***

•У 2022 р. ті ж учені оголосили ***про виявлення другого екзосупутника***, який обертається навколо газового гіганта, ***маса якого в 4,6 рази більше Юпітера, під назвою Kepler-1708b.*** Планета знаходиться на відстані 5400 світлових років від нас. Цей екзосупутник отримав назву ***Kepler-1708b I***. ***Обидва екзосупутники мають розмір, який перевищує розмір Землі та більше схожі за цим параметром на планети***.

© Опанасюк А.С.

ПІДСУМКИ





Вчені провели облік відкритих екзопланет в нашій галактиці ***Чумацький шлях***. У результаті був зроблений висновок, що у ***Всесвіті набагато більше планет, ніж зірок***. За оцінками астрономів, які працювали з Кассані в Європейській південній обсерваторії, ***кожна зірка, має, як мінімум, одну планету***. Але ***зазвичай - їх більше***.

Із загальної кількості досліджених Кеплером планет 10,5% мають розміри, близькі до земних, 7,3% належать до класу суперземель (від 125% до 200% маси Землі), 20,8% мають розміри Нептуна (від двох до шести разів більше розміру Землі), і 5,2% належать до класу Юпітерів - більш ніж у шість разів більше Землі.

Загальна кількість екзопланет в галактиці Чумацький Шлях на даний час оцінюється не менше ніж в 200 млрд, з яких 11 млрд є потенційно придатними для життя та мають розмір із Землю. Це число зростає до 40 млрд, якщо включити планети, що обертаються навколо численних червоних карликів. Згідно з поточними оцінками, кожна п'ята зірка має землеподібну планету в населеній зоні, в той час як близько 34% сонцеподібних зірок мають планети, які можна порівняти з Землею. Таким чином, вважається, що кількість можливо заселених екзопланет у нашій галактиці становить близько 300 млн. Всього у відомому всесвіті з 2 трильонами відомих галактик може існувати 10^{23} екзопланет!!!!!

© Опанасюк А.С.

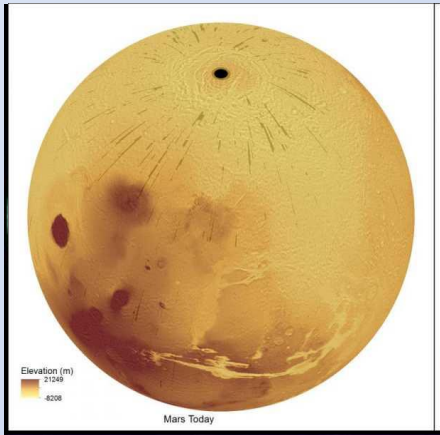
ЧИ Є СОНЯЧНА СИСТЕМА УНІКАЛЬНОЮ??

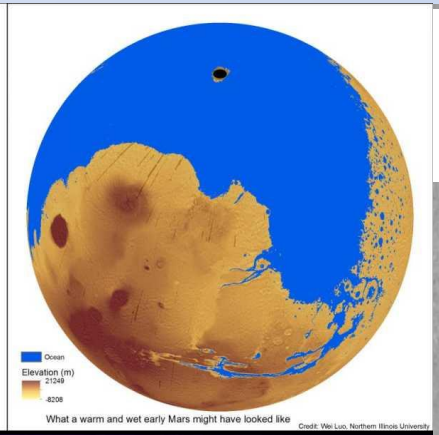
- ***Сонячна система помітно відрізняється від більшості відомих науці екзопланетних систем*** своєю внутрішньою структурою, типом зірки та характером орбіт. Дослідження показують, що ***наша система багато в чому є рідкісним винятком у Галактиці.***
- ***Головні відмінності Сонячної системи***
- ***Упорядкована архітектура*** («порядкова» система): За сучасною класифікацією планетних систем, ***Сонячна система відноситься до «упорядкованого» типу: усередині розташовуються маленькі кам'янисті планети (Меркурій, Венера, Земля, Марс), а далі — масивні газові та крижані гіганти (Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун).*** У більшості відкритих систем спостерігається тип «***гороху в стручці***» (***однакові за розміром планети поспіль) або змішана/антиупорядкована структура.***
- ***Відсутність планет біля зірки***: ***У Сонячній системі немає планет ближче за орбіту Меркурія***. В інших зіркових системах часто-густо близько до зірки обертаються планети.
- ***Відсутність «гарячих юпітерів»: Приблизно у 75% зірок із планетами є газові гіганти, які знаходяться екстремально близько до свого світил***а (так звані ***гарячі юпітери***). У нашій системі гіганти віддалені далеко на периферію, а внутрішній простір віддано скелястим світам.
- ***Майже кругові орбіти: Орбіти планет Сонячної системи майже ідеальні***, кругові та лежать приблизно в одній площині. У ***багатьох екзопланет орбіти сильно витягнуті*** (ексцентричні), що створює хаотичні умови для клімату.
- ***Тип центральної зірки: Наше Сонце – жовтий карлик (спектральний клас G).*** Більшість відкритих планетних систем у Галактиці обертаються ***навколо холодних червоних карликів***. Крім того, ***багатозвязні зірки (подвійні та потрійні) у Всесвіті зустрічаються набагато частіше, ніж одиночне сонце.***

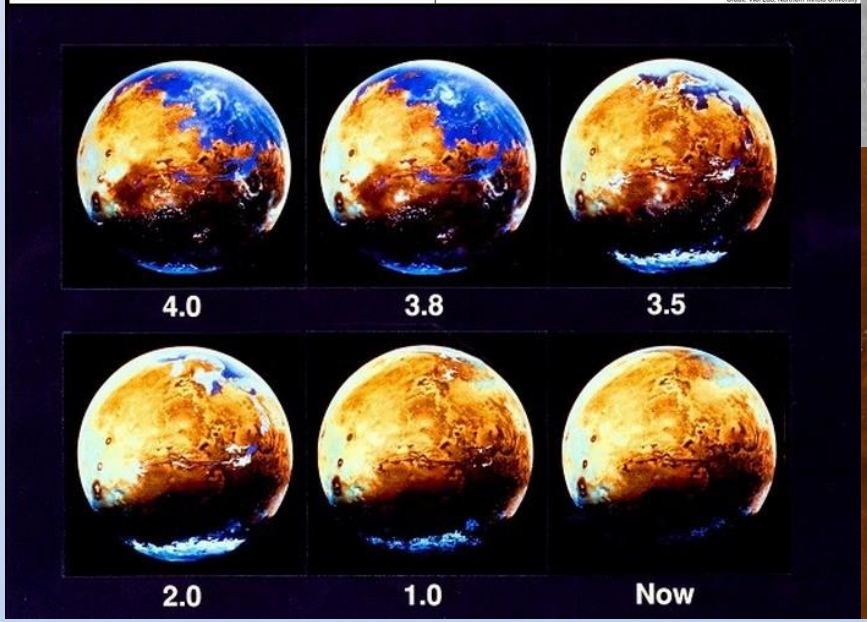
© Опанасюк А.С.

ЗАГАДКИ МАРСУ

На ранніх етапах свого розвитку Марс мав океани і можливо умови прийнятні для зародження життя.



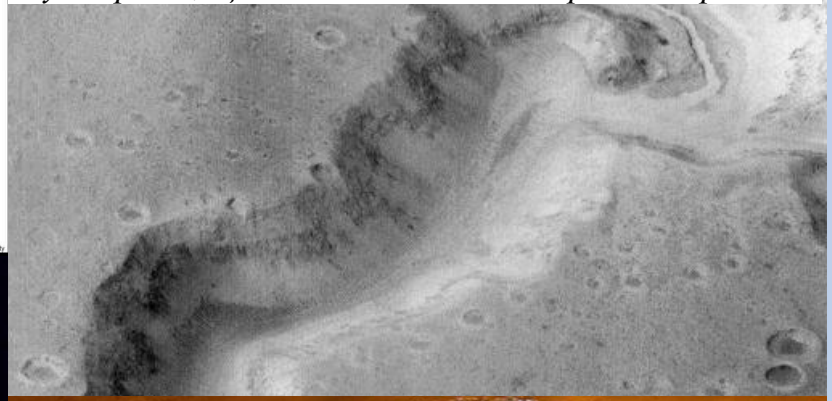


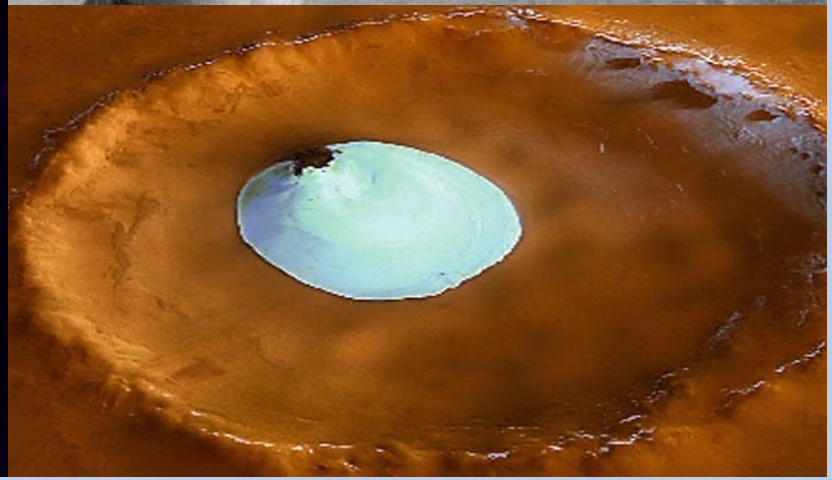


Океани Марса (3,7 млрд. років тому назад).

Сукупність водяних запасів планети Марс.

Русло річки, що висохла. Льодяне озеро на Марсі

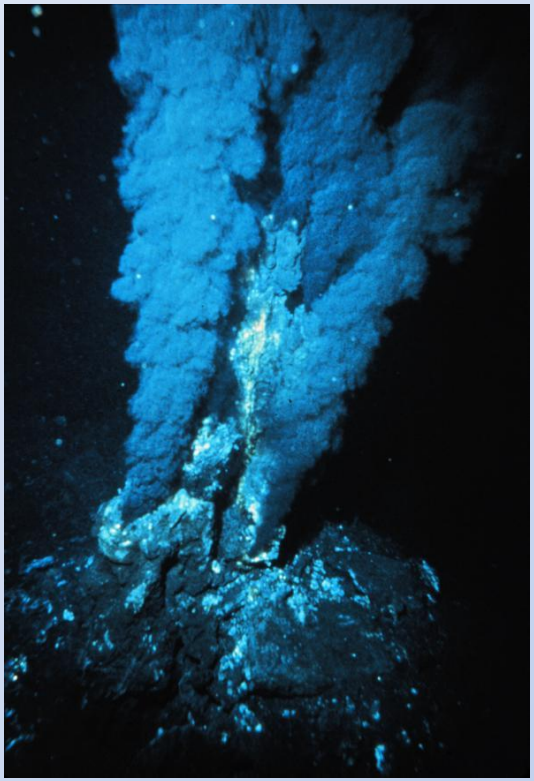




Сейсмічні дослідження свідчать що навіть зараз на глибині від 5,4 до 8,0 км під землею знаходяться запаси води достатні для того щоб покрити поверхню Марса океаном глибиною від 700 до 900 м.

© Опанасюк А.С.

ЧОРНІ ДИМАРІ





•***Гідротермальні джерела серединно-океанічних хребтів*** (також відомі як «***чорні димарі***» **- *джерела, що діють на дні океанів, локалізовані в осьових частинах серединно-океанічних хребтів.*** З них до океанів надходить високомінералізована гаряча вода під тиском у сотні атмосфер. Вони є трубоподібними утвореннями, що досягають висоти в десятки метрів, стійкість яких забезпечується дією сили Архімеда (сила виштовхування).

•***Вперше гідротермальні джерела на дні океану були досліджені в 1977 р. під час занурення глибоководного населеного апарату «Алвін» на схід від Галапагоських островів. Гідротермальні океанічні джерела виносять розчинені елементи з океанічної кори в океани, змінюючи кору і роблячи значний внесок у хімічний склад океанів. Димарі вивергають геотермальну воду температурою до 400 ℃. Через великий тиск ця вода не кипить, а перебуває у надкритичному стані. Всього існує два типи гідротермальних джерел***: так звані "***білі димарі***" і "***чорні димарі***". "Білі димарі" зазвичай холодніші і виглядають блідими через кремнезем і барит, а "чорні димарі" гарячіші і вивергають рідину, що містить переважно сульфіди заліза. Стикаючись з океанською водою, геотермальна охолоджується, з неї першими випадають сульфіди заліза, міді та нікелю, пофарбовані в чорний. Саме з них утворюються труби димарів. У процесі подальшого охолодження (200-300 °C) з геотермальної води випадають сульфіди цинку і марганцю, пофарбовані в білий колір, так що дно навколо "чорних курців" біле. При повільному підйомі геотермальної води вона остигає до 300 °C ще до зіткнення з океанською водою, при цьому утворюються «білі димарі» з трубами з сульфідів цинку та марганцю. ***У геотермальній воді також містяться сірководень, калій, магній.*** Вона має лужну реакцію.

•***Гідротермальні джерела є своєрідними «оазисами життя» у глибинній зоні океану, що існують на основі не фотосинтезу, а бактерій, що хемосинтезують.*** Це місце існування незвичайних біологічних співтовариств, які забезпечують формування незалежних екосистем. Таким чином, до них приурочені найглибші частини біосфери, що досягають глибини 2500 і більше метрів.

•***У 2016 р. опубліковано дослідження, згідно з якими останній загальний предок усіх живих організмів LUCA (Last Universal Common Ancestor), який існував приблизно 4,28 млрд років тому, міг бути мешканцем саме гідротермального джерела.***

© Опанасюк А.С.

ЖИТТЯ У ПЕЧЕРІ АЯЛОН





Печера Аялон ***знаходиться приблизно за 4 км на південний схід від міста Рамла і за 21 км від Середземного моря*** ***в центральному районі Ізраїлю***. Печера розташована у вапняковому кар'єрі компанії Nesher Israel Cement Enterprises Ltd., що займає площу близько 1300 600 м.

Печера Аялон, яка ***десятки мільйонів років була повністю ізольована від сонячного світла та дощової води, виявилася домівкою для унікальної екосистеми, аналогів якої немає у світі. Її відкрили випадково у 2006 році під час робіт у кар'єрі Нешер Рамла поблизу Хайфи***. Невеликий отвір у дні кар'єру привів дослідників до величезної підземної порожнини з озером. Саме ***там вчені вперше побачили живі організми, які раніше не були відомі науці.*** За словами фахівців, ***печера була повністю відрізана від поверхні Землі протягом мільйонів років, без доступу до світла, фотосинтезу чи поверхневих вод***. Екосистема Аялона є винятковою, адже її харчова мережа не залежить від сонячної енергії. Натомість ***життя підтримується завдяки хемосинтезу*** — ***бактерії одержують енергію з хімічних реакцій за участю сірководню у підземній воді, а також використовують розчинений у воді діоксид вуглецю для формування біомаси. У печері виявили вісім нових для науки видів тварин - серед них ракоподібні, безокі наземні істоти і скорпіон, що представляв зовсім новий рід***. Всі організми були пристосовані до життя у повній темряві та стабільному середовищі без зовнішніх впливів. Вчені відзначають: справжня цінність відкриття — не лише в нових видах, а в самій печері як ***рідкісний приклад стародавньої ізольованої екосистеми.*** Дослідники порівнювали перше влучення в печеру з висадкою на Місяць.

© Опанасюк А.С.

КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ

•***Згідно з сучасними уявленнями, для виникнення життя необхідні три ключові фактори: джерело енергії, доступ до поживних речовин та наявність рідкої води.*** Теоретично, ***на місці води може бути інший розчинник***, наприклад, ***аміак або більше екзотичні сполуки***, але поки що домінує ідея, що життєздатна планета повинна багато в чому нагадувати Землю. Оскільки вода є основою життя, ***джерело енергії може мати не зоряне, а геотермальне походження***, тому ***життя варто пошукати у водно-крижаних світах*** (***у нашій системі це великі супутники планет-гігантів***), ***розташованих далеко за межами зони проживання***. ***Такі екосистеми можуть обживатися організмами, пристосованими до високого тиску, метаболізм яких заснований не на фотосинтезі, а на хемосинтезі***.

•***Хемосинтез*** - спосіб автотрофного харчування, при якому ***джерелом енергії для синтезу органічних речовин з CO_2 є реакції окислення неорганічних сполук***. ***Подібний варіант отримання енергії на Землі використовується лише бактеріями чи археями***. Це було відкрито у 1887 році російським ученим З.Н. Виноградським. Мікроорганізми, здатні до хемосинтезу, Віноградський називав ***аноргоксидантами***. Назву ***хемосинтез*** ввів німецький хімік і ботанік Вільгельм Пфеффер у 1897 році.

•***Хемосинтезуючі організми (наприклад, сіробактерії) можуть жити в океанах на величезній глибині, в тих місцях, де з розломів земної кори у воду виходить сірководень***. Звичайно ж, кванти світла не можуть проникнути у воду на глибину близько 3-4 кілометрів (на такій глибині перебуває більшість рифтових зон океану). Таким чином, ***хемосинтетики - єдині організми на Землі, які не залежать від енергії сонячного світла і є первинними продуцентами***. Хемосинтетичні організми можуть споживатись іншими організмами в океані або утворювати симбіотичні асоціації з гетеротрофами. Наприклад, гігантські багатощетинкові черв'яки використовують бактерій в своїх трофосомах для зв'язування CO_2 (використовуючи сірководень як джерело енергії) продукування цукрів і амінокислот. За сучасними оцінками, ***біомаса «підземної біосфери», що перебуває, зокрема, під морським дном і включає хемосинтезуючі анаеробні метаноокислюючі архебактерій, може перевищувати біомасу решти біосфери.*** Було висунуто гіпотезу про те, що ***хемосинтез може підтримувати життя під поверхнею Марса, супутників Юпітера і Сатурна та інших планет***. ***Хемосинтез також може бути першим типом метаболізму, який виник на Землі, що призвело пізніше до виникнення клітинного дихання та фотосинтезу***.

© Опанасюк А.С.

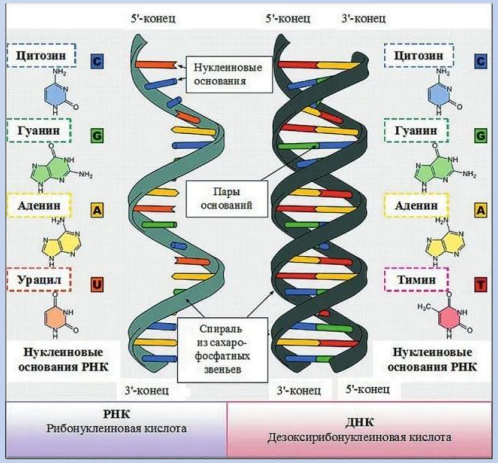
УСІ КОМПОНЕНТИ ДНК ЗНАЙДЕНІ В АСТЕРОЇДАХ РЮГУ ТА БЕННУ

•Ми звикли думати, що ***нуклеобази*** — ***аденін (А), гуанін (Г), цитозин (Ц), тимін (Т), урацил (складові ДНК, РНК)*** — унікальні для живих організмів Землі. Однак ***команда японського геохіміка Тосікі Когі з JAMSTEC знайшла всі п'ять нуклеобаз у зразках астероїда Рюгу - неторкнаному матеріалі, доставленому на Землю зондом Hayabusa2. Вперше всі «генетичні літери» підтверджені в одному позаземному зразку***. І найважливіший доказ того, що це не земне забруднення - знахідка молекули, якої на Землі просто не існує. Відкриття стає ще більш вагомим у поєднанні з даними NASA.

•***У 2023 році місія OSIRIS-REx знайшла всі п'ять нуклеобаз у зразках астероїда Бенну — астероїда зовсім іншого типу, з іншою орбітою і різним геологічним і хімічним минулим***. Дві різні місії, два різних астероїди, два різних наукових колективи — і та сама знахідка. ***Рюгу і Бенну обидва є вуглецевими астероїдами класу С — найпоширенішого типу в астероїдному поясі (~75%).***

•***П'ять нуклеобаз — аденін (А), гуанін (G), цитозин (С), тимін (Т) і урацил (U) - це «літери» генетичного алфавіту. ДНК записує спадкову інформацію послідовностями чотирьох із них (A, G, C, T); РНК використовує A, G, C і U. Саме ці молекули кодують, зберігають і передають інформацію в усіх живих організмах на Землі - від бактерій до людини. Звідки вони взялись у ранній Землі — одне з найфундаментальніших питань про походження життя. Одна з провідних гіпотез***: нуклеобази і інші ***пребіотичні молекули сформувались у космосі і потрапили на Землю разом з метеоритами і астероїдами в епоху «великого бомбардування» - 4 мільярди років тому***. Нова стаття дає цій гіпотезі найміцніше підтвердження за всю її історію.

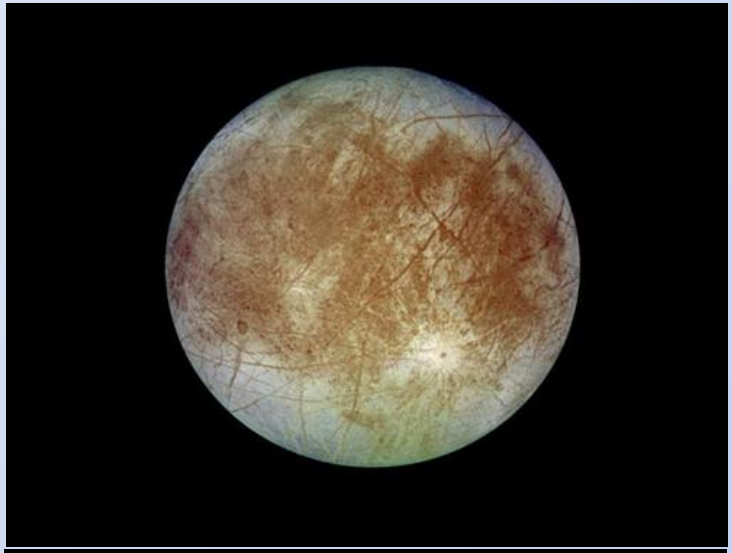
•Аструбіолог Сезар Менор Сальван з Університету Алькала прокоментував: «З цим і результатами з Бенну, ми маємо дуже чітке уявлення про те, які органічні матеріали можуть формуватись за пребіотичних умов будь-де у Всесвіті». ***Якщо нуклеобази незалежно виникли на двох різних астероїдах - вони, ймовірно, є загальнопоширеним продуктом хімії ранньої сонячної системи і, можливо, будь-якої планетарної системи взагалі.***

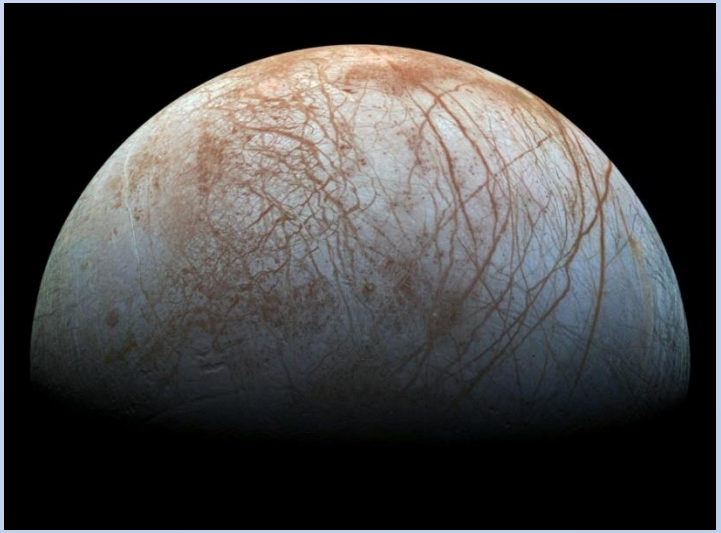


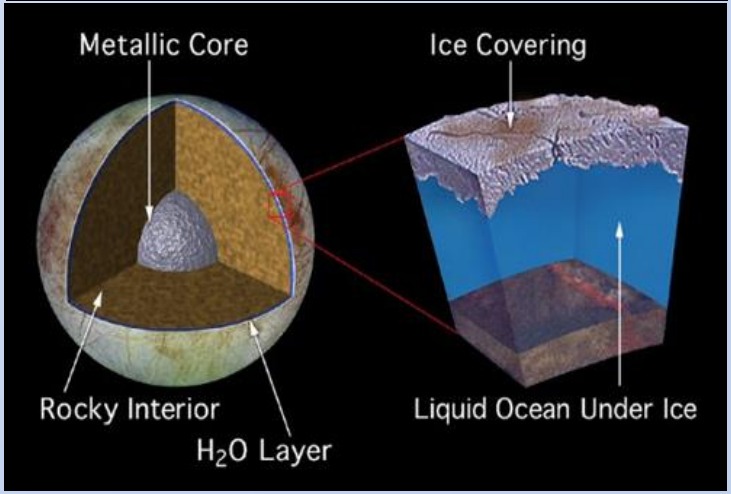
Когі і його колеги не стверджують, що на Рюгу було або є життя. «Скоріше, первісні астероїди могли виробляти і зберігати молекули, важливі для хімії, пов'язаної з походженням життя». Це і є «***псевдопанспермія***» — гіпотеза, що відрізняється від справжньої панспермії (доставки живих організмів з космосу). ***Псевдопанспермія стверджує: не організми, а їхні хімічні «цеглини» можуть подорожувати між планетами і зоряними системами на борту астероїдів і метеоритів***. Потрапивши на молоду планету з рідкою водою і відповідними умовами, ці молекули слугують стартовим матеріалом для виникнення складних органічних структур — і зрештою, можливо, самого життя.

© Опанасюк А.С.

ОКЕАНИ ЕВРОПИ





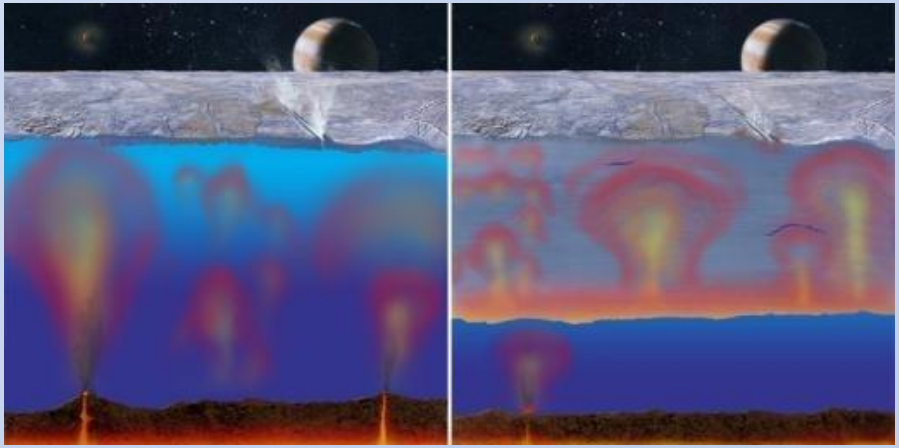


Євро́па (др.-грецьк. Ευρώπη) - ***супутник Юпітера, найменший з чотирьох галілеєвих супутників***. Це ***один з найбільших супутників планет Сонячної системи і за розміром близький до Місяця.*** Європа схожа на планети земної групи, значною мірою складена гірськими породами. ***Це - планета-океан, яка вкрита шаром води товщиною близько 80-180 км*** (частково - у вигляді льоду товщиною 10-30 км; частково, - у вигляді підповерхової рідкої води - рідинного океану). Тобто ***на супутнику Юпітера води приблизно вдвічі більше, ніж містять усі океани Землі.*** Глибше залягають гірські породи, а в центрі імовірно знаходиться невелике металічне ядро.

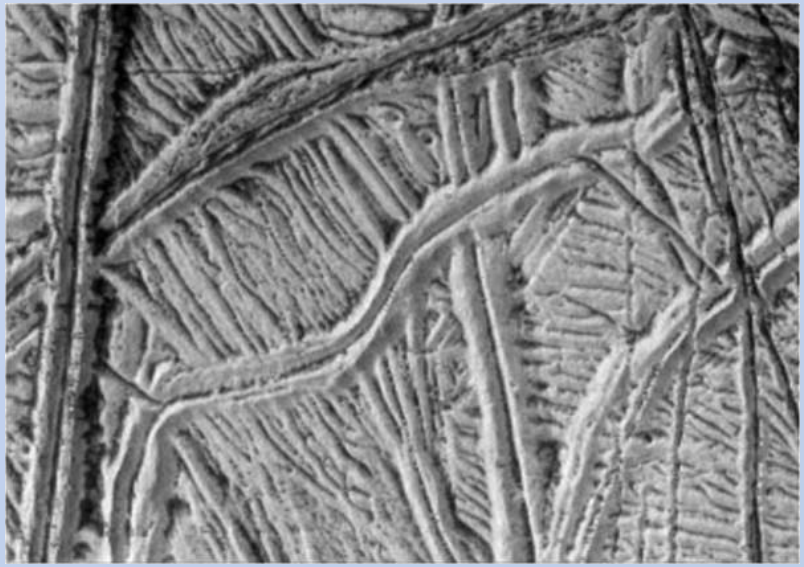
© Опанасюк А.С.

ОКЕАНИ ЄВРОПИ





Підлідний океан на супутнику Юпітера Європі

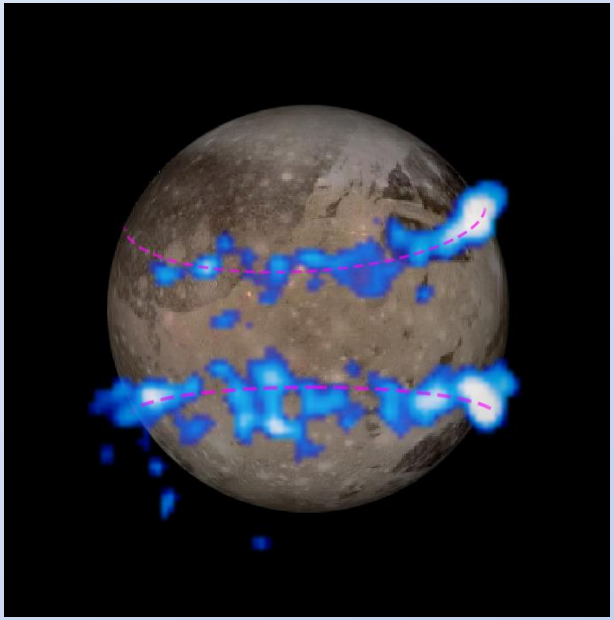


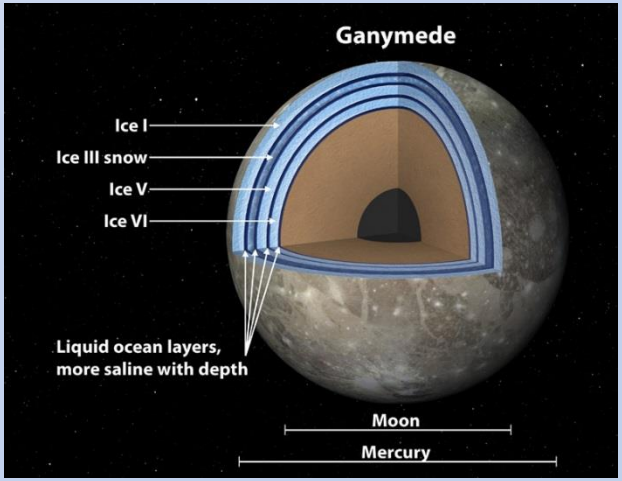
На рисунку система гірських хребтів і розломів на крижаній поверхні супутника Юпітера, Європі. Відстань між сусідніми поздовжніми хребтами на цій фотографії складає приблизно 1 км. ***Складна структура розломів і хребтів свідчить про бурхливе минуле Європи.*** Відмінна риса - повсюдна присутність білого нальоту, можливо, інею. Інша особливість - темні проміжки між хребтами. Можливо, так виглядає замерзла вода, яка прорвалася в розломи з підземного океану.

Флагманська космічна місія NASA Europa Clipper, спрямована на дослідження підповерхневого океану Європи успішно стартувала 14 жовтня 2024 р. Вихід на орбіту газового гіганта очікується у квітні 2030 р.

© Опанасюк А.С.

ОКЕАНИ ГАНІМЕДУ





•Ганімед** - сьомий (з 115!!) за відстанню від Юпітера і найбільший супутник у Сонячній системі*. Його діаметр дорівнює 5268 км, що ***на 2% більше, ніж у Титана (другого за величиною супутника в Сонячній системі) і ***на 8% більше, ніж у Меркурія***.

•Космічний телескоп НАСА Хаббл отримав найкращий доказ ***присутності підземного океану на Ганімеді. У підземному океані, як вважають, більше води, ніж на всій поверхні Землі***. Визначення існування рідкої води має вирішальне значення для пошуків населених світів за межами Землі і для пошуку життя, яке ми знаємо. ***Ганімед є найбільшим супутником у нашій Сонячній системі, і єдиним з власним магнітним полем.*** Магнітне поле створює полярні сяйва - світиться, гарячий електрично збуджений газ, що знаходиться над північним і південним полюсами Місяця. При зміні магнітного поля Юпітера, полярні сяйва на Ганімеді також змінюються, спостерігаються своєрідні "гойдалки", туди і назад. Спостерігаючи за «гойдалками» цих сяйв, вчені змогли визначити наявність великої кількості солоної води, існуючої під корою Ганімеда, яка впливає на його магнітне поле.

•Вчені підрахували, що глибина океану становить 100 км, це в 10 разів глибше, ніж океани Землі. Океан похований під 150 км шаром земної кори в основному льоду.



Порівняння розмірів Місяця, Ганімеда (ліворуч внизу) та Землі. ***Місяць за масою Ганімед перевищує у 2,02 рази***

© Опанасюк А.С.

КРІОВУЛКАНИ ЕНЦЕЛАДУ





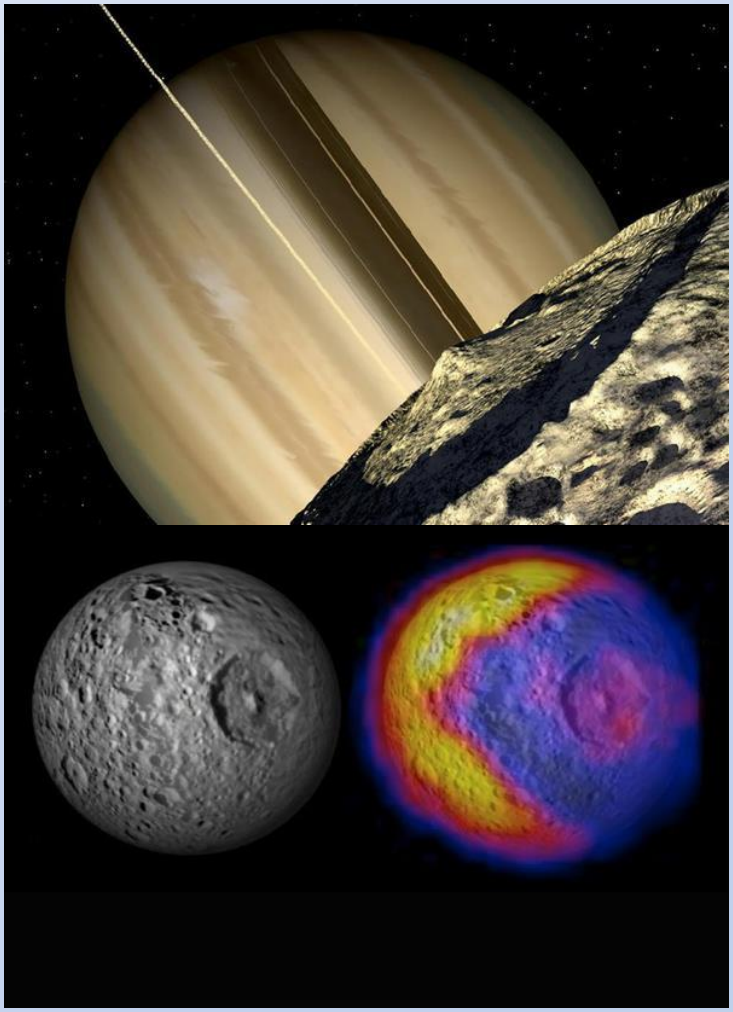
•***Енцелад*** - ***шостий за розмірами супутник Сатурна***. Завдяки спостереженням космічного апарата «Вояджер» було встановлено, що ***діаметр Енцелада складає приблизно 500 км*** (близько 0,1 від діаметра найбільшого супутника Сатурна Титана) і що поверхня Енцелада відбиває майже все падаюче на неї сонячне світло. «Вояджер-2» виявив, що на поверхні невеликого супутника представлені різноманітні ландшафти: від старого рельєфу покритого кратерами, до молодого, на якому вік деяких ділянок не старший 100 млн. років.

•У 2005 році міжпланетному зонду "Кассіні" вдалося отримати більш детальні відомості про поверхню супутника і процесах, що відбуваються на ньому. ***Зокрема, вдалося розгледіти своєрідний багатий водою шлейф, що випаровується з південного полюса*** (крижані фонтани, що ймовірно, сформували кільце Е). ***У 2019 р. у викидах крижаного пилу з надр Енцелада виявлені нові види органічних сполук - "прекурсори" амінокислот***. Це відкриття, поряд з ознаками наявності внутрішнього тепла і малим числом ударних кратерів на південному полюсі, вказує на те, що ***геологічна активність на Енцеладі зберігається донині.*** Супутники у великих супутникових системах газових гігантів часто потрапляють у пастку орбітальних резонансів, які призводять до лібрації або орбітального ексцентриситету; ***близькість до планети може викликати періодичне нагрівання надр супутника, що в принципі може пояснювати їх геологічну активність.***

•***Зараз доведено, що на Енцеладі існує підльодний океан де можливе життя.***

© Опанасюк А.С.

ОКЕАН МІМАСУ



•***Мімас*** ***- найменший і найближчий з восьми головних супутників Сатурна.***

•Супутник був ***відкритий в 1789 році англійським астрономом Вільямом Гершелем*** і відомий кратером Гершель на своїй поверхні, який становить майже третину діаметра самого Мімаса.

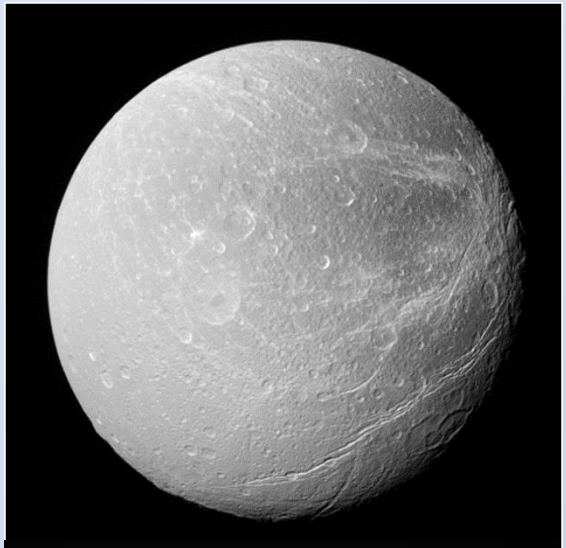
•***У надрах Мімаса, ймовірно, є океан, який може виявитися придатним для існування життя,*** вважають вчені на підставі зображень, отриманих з міжпланетної станції "Кассіні".

•Існування ***океану всередині Мімаса, який розташований на глибині 24-31 км***, може бути однією з двох причин, по якій астрономічне тіло погойдується, обертаючись навколо Сатурна. В якості другої причини вчені розглядають особливу, подовжену, форму ядра супутника.

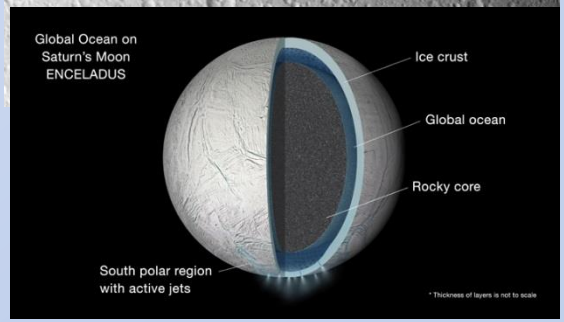
•Подібні коливання супутника при русі по орбіті навколо планети, яка впливає на нього своїм гравітаційним полем, називаються ***лібрацією***. Вони характерні не тільки для Мімаса, але і для ряду інших супутників. Однак амплітуда лібрації Мімаса набагато вища очікуваної.

© Опанасюк А.С.

ОКЕАН ДІОНИ







•Діона - четвертий за величиною супутник Сатурна і четвертий за віддаленістю від планети серед семи найбільших супутників планети. Є п'ятнадцятим за масою та величиною супутником у Сонячній системі.

•Згідно з останніми дослідженнями, опублікованими в журналі Geophysical Research Letters, ***під поверхнею супутника Сатурна Діони може бути цілий океан***. ***Раніше підлідні океани були виявлені у двох інших супутників Сатурна (Титана і Енцелада), а також у трьох супутників Юпитера (Європи, Ганімеда и Калісто).*** Вчені створили геофізичні моделі Діони і, поєднавши з ними зібрані космічним апаратом "Кассіні" дані про деякі аномалії в гравітації, прийшли до висновку, що ***під 100-кілометрової льодяною поверхнею супутника може бути рідкий океан з води***, прямо як у Енцеладу. ***Його глибина може сягати 65 кілометрів.*** "Що стосується Діони, то ми провели гравітаційно-топологічний аналіз, як це було зроблено для Енцеладу, але з використанням більш сучасних методів. Завдяки їм ми отримали кращі на сьогоднішній день докази наявності підповерхневого океану на Діоні." - говорить Мікаел Боте, астроном з Королівської обсерваторії Бельгії. Дані про гравітацію Діони свідчать, що ***супутник має тверде ядро, яке складає до 70% від загального радіусу***. ***При розпаді радіоактивні елементи, що знаходяться в ядрі, виробляють тепло, від чого лід навколо починає танути.*** "Ми ***поки точно не знаємо замерз чи ні цей океан***, однак заморозка викликала б глобальне розширення, що проявилося б у певних типах тріщин на поверхні Діони, які на супутнику поки не спостерігалися", - коментує Боте. Щоб підтвердити наявність океану на Діоні, необхідно відправити туди нову космічну Місію, але чекати потрібно довго. У разі, якщо гіпотеза підтвердиться, є ймовірність, що там могло розвинутися мікробне життя.

© Опанасюк А.С.

СУПУТНИКИ УРАНА

Астрономи вважають, що деякі супутники Урана, яких 29, можуть приховувати під своєю поверхнею океани рідкої води - подібно до того, як це відбувається на Землі. Найбільший інтерес викликають ***Оберон та Умбріель*** - два великі супутники, де, за новими дослідженнями, могли відбуватися прояви кріовулканізму. Це означає, що з глибин цих тіл могли вивергатися не потоки лави, як на Землі, а заморожена солона вода - ознака можливого підземного океану. Дослідники базувалися на даних, зібраних майже 40 років тому апаратом Voyager-2, а також на спостереженнях за карликовою планетою Церера - тілом Сонячної системи, яке має подібні геологічні характеристики. Ці спостереження стали основою для моделювання процесів на супутниках Урана. ***На поверхнях Умбріеля та Оберона виявлено подібні плями, які можуть бути слідами кріовулканічної активності***. Вчені припускають, що потужні удари астероїдів могли спричинити прорив крізь крижану кору й викид внутрішнього вмісту - переважно солоної води. Важливо, що ***такі океани, якщо вони досі існують, потенційно здатні підтримувати життя в мікробному форматі, як на Землі - у глибинах підлідних озер Антарктиди чи біля гідротермальних джерел.*** Попри великий науковий інтерес, супутники Урана досі залишаються майже невивченими. Всі наявні дані — це спадок місії Voyager-2. Тому ***наукова спільнота наполягає на запуску нової дослідницької місії до Урана***, яка б дозволила перевірити ці гіпотези та дізнатися більше про потенційно «живі» океани в межах Сонячної системи.



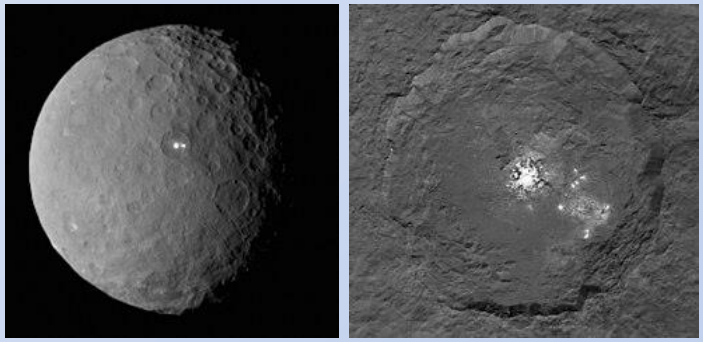
Оберо́н — ***другий за розміром*** *та масою супутник планети Уран, дев'ятий за масою супутник планет Сонячної системи.*

Умбріель - *є* ***третім за розмірами*** *й найтемнішим серед великих супутників Урана: він відбиває всього 16 % світла, що на нього падає.*

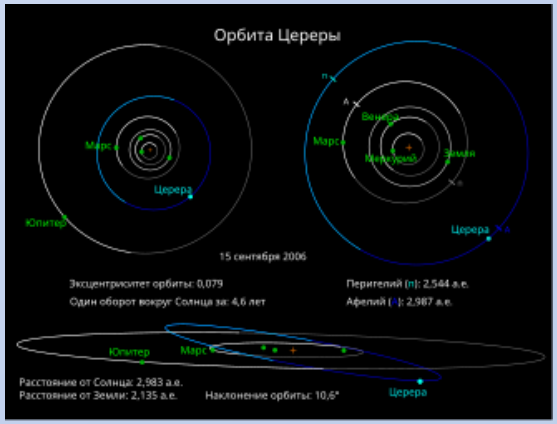
© Опанасюк А.С.

ЦЕРЕРА

•Цере́ра — найближча до Сонця та найменша серед відомих карликових планет Сонячної системи. Розташована в поясі астероїдів. Церера було відкрито 1801 року італійським астрономом Джузеппе Пьяцци в Палермської астрономічної обсерваторії. Названа на честь давньоримської богині родючості Церери. Якийсь час Церера розглядалася як повноцінна планета Сонячної системи; в 1802 році вона була класифікована як астероїд, але продовжувала вважатися планетою ще кілька десятиліть, а за результатами уточнення поняття «планета» Міжнародним астрономічним союзом 24 серпня 2006 на XXVI Генеральній Асамблеї МАС була ***віднесена до карликових планет.***



Знімок Церери та групи яскравих плям у кратері Оккатор, отримані станцією Dawn у 2015 р.

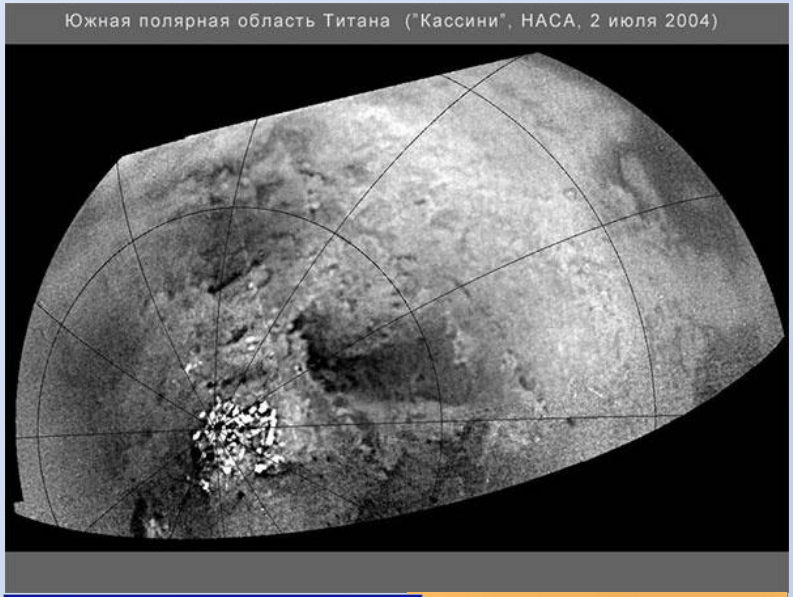


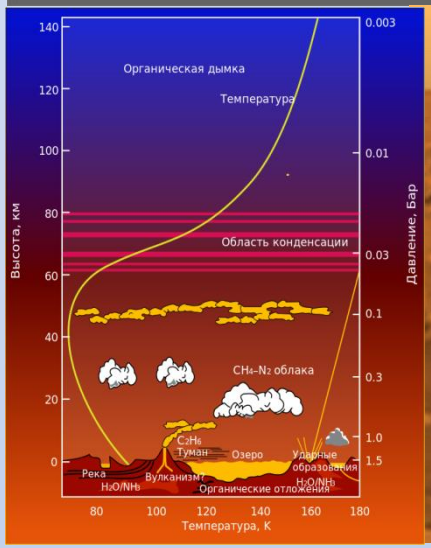
При діаметрі близько 950 км ***Церера є найбільшим і найбільш масивним тілом в поясі астероїдів, за розмірами перевершує багато великих супутників планет-гігантів і містить майже третину (32%) загальної маси пояса***. Вона має сферичну форму, на відміну більшості малих тіл, форма яких через слабкої гравітації неправильна. Судячи з густини Церери, вона на 20—30 % складається з водяного льоду. Ймовірно, ***її надра диференційовані на кам'яне ядро та крижану мантію***. ***Лід виявлено і на поверхні Церери***; крім того, до складу поверхні, ймовірно, входять різні гідратовані речовини, а також карбонати (доломіт, сидерит), також на поверхні Церери був виявлений гідрокарбонат натрію та багаті на залізо глинисті мінерали (кронстедтит). У 2014 році телескоп «Гершель» виявив навколо карликової планети ***водяну пару.***

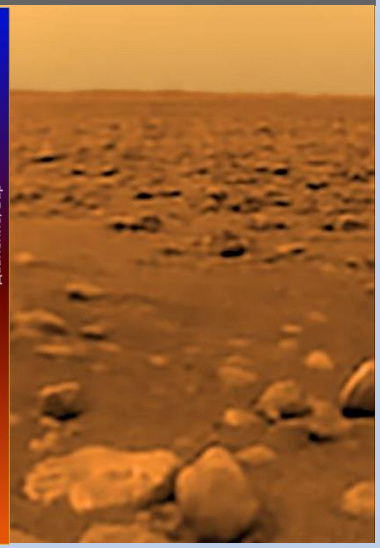
Як підтвердили дані, отримані космічним апаратом NASA Dawn, ***на карликовій планеті Церера існує підземний океан із солоної води***. Резервуари та ***шар солоної води знаходяться під поверхнею карликової планети на глибині приблизно 40 кілометрів***. Дослідження кратера Окатор та інших світлих плям (гідратованих мінералів, таких як карбонат натрію) показали, ***що рідина дуже солона та містить органічні сполуки***

© Опанасюк А.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИТАНУ





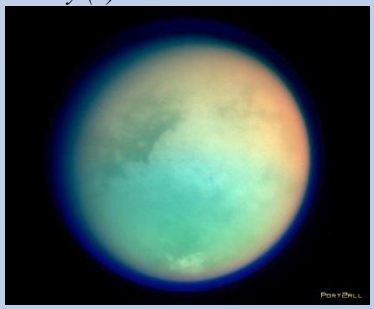


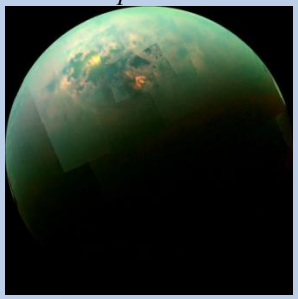
***Титан** - найбільший за розміром з 274 супутників **Сатурна** і другий за розміром (після Ганімеда) у Сонячній системі*. Діаметр Титана наполовину (4400 км) більший діаметру Місяця, при цьому цей супутник на 80 відсотків перевершує супутник Землі за масою.

Титан - єдиний супутник у Сонячній системі, який має щільну атмосферу і єдиний супутник, поверхню якого не можливо спостерігати у видимому діапазоні електромагнітних хвиль через хмари. Тиск біля поверхні приблизно в 1,6 разів перевищує тиск земної атмосфери. ***Температура на поверхні - мінус 170-180 ^{0}C. На Титані, ймовірно, є метанові моря і ріки, а також гори, які складаються з льоду. Титан складається майже наполовину з водяного льоду і наполовину - з кам'янистих матеріалів.*** Такий склад схожий із деякими іншими великими супутниками газових планет: ***Ганімедом, Каллісто, Тритоном***.

У 2005 р. на поверхню Титану сів зонд «Гюйгенс», що зробило його другим природним супутником у Сонячній системі, на який здійснили посадку космічні апарати.

Знімки отримані космічними апаратами «Гюйгенс» і «Кассіні». Атмосфера Титану (а). Сонячне світло відбивається від моря небесного тіла (б).

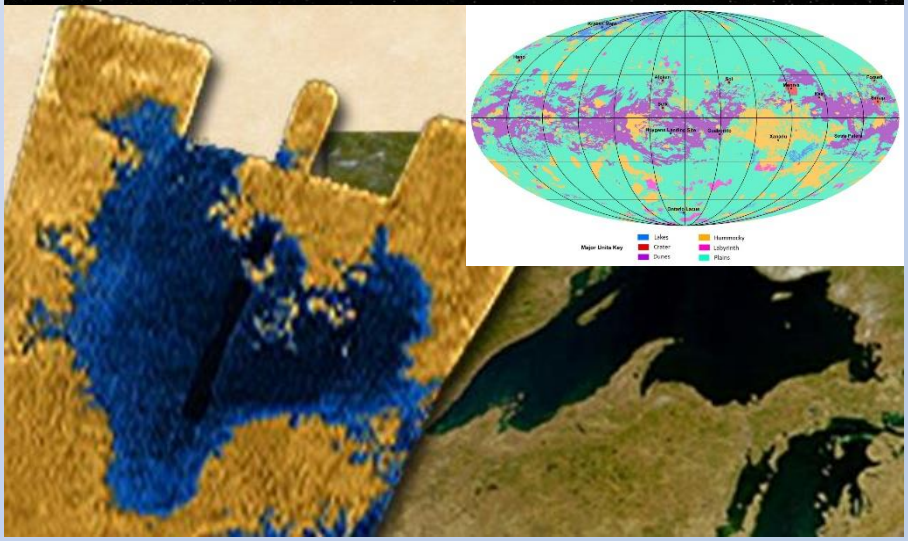




© Опанасюк А.С.

ОКЕАН ТИТАНУ





•Дані, зібрані зондом "Кассіні" під час прольотів повз Титана, стали кращим на сьогодні свідченням того, що найбільший супутник Сатурна ***має під товстою крижаною корою океан води.*** Аналіз показав, що протягом орбітального циклу поверхня Титана може підніматися і опускатися на 10 м. Це говорить про те, що кора Титана піддається істотній деформації. Це може бути пояснено тим що ***крижана оболонка товщиною понад 100 км плаває на вершині «світового океану» глибиною 480 км!!!*** Приливна деформація крижаної кори Титана не дає достатньої кількості тепла, щоб зберегти підземний океан в рідкому вигляді. Але ***енергія, що виділяється при розпаді радіоактивних елементів в ядрі супутника, а також хімічні реакції, що призводять до зневоднення силікатів, і невелика кількість аміаку в океані, швидше за все, не дозволяють океану замерзнути.***

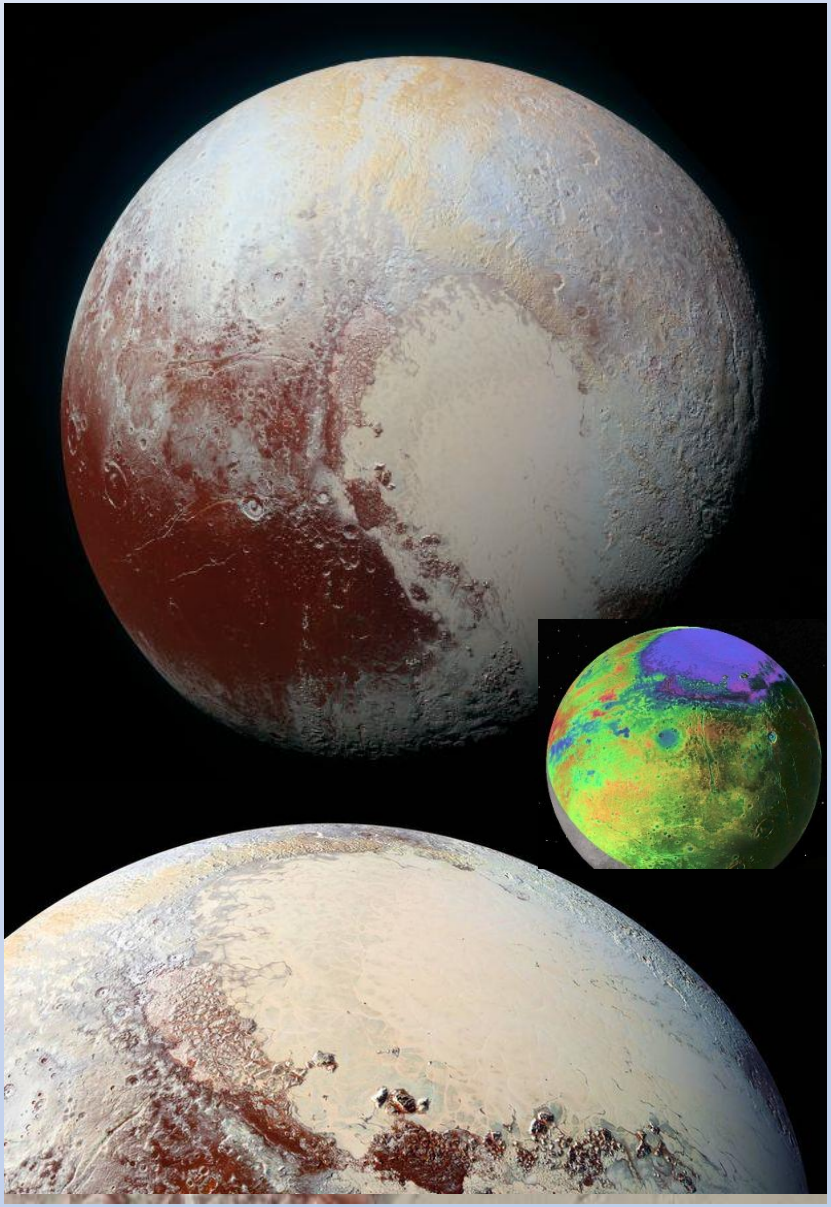
•***В атмосфері Титану знайдені складні органічні молекули (наприклад, вінілаціанід, нітрили) здатні утворювати клітинні мембрани***

•***Dragonfly (NASA): Планується до запуску у 2028 році.*** *Це дрон-вертоліт, який вивчить хімію Титану у пошуках ознак пребіотичної активності та життя.*

Озера рідких ***вуглеводнів*** *(****метану і етану****) на поверхні Титану*

© Опанасюк А.С.

ПЛУТОН

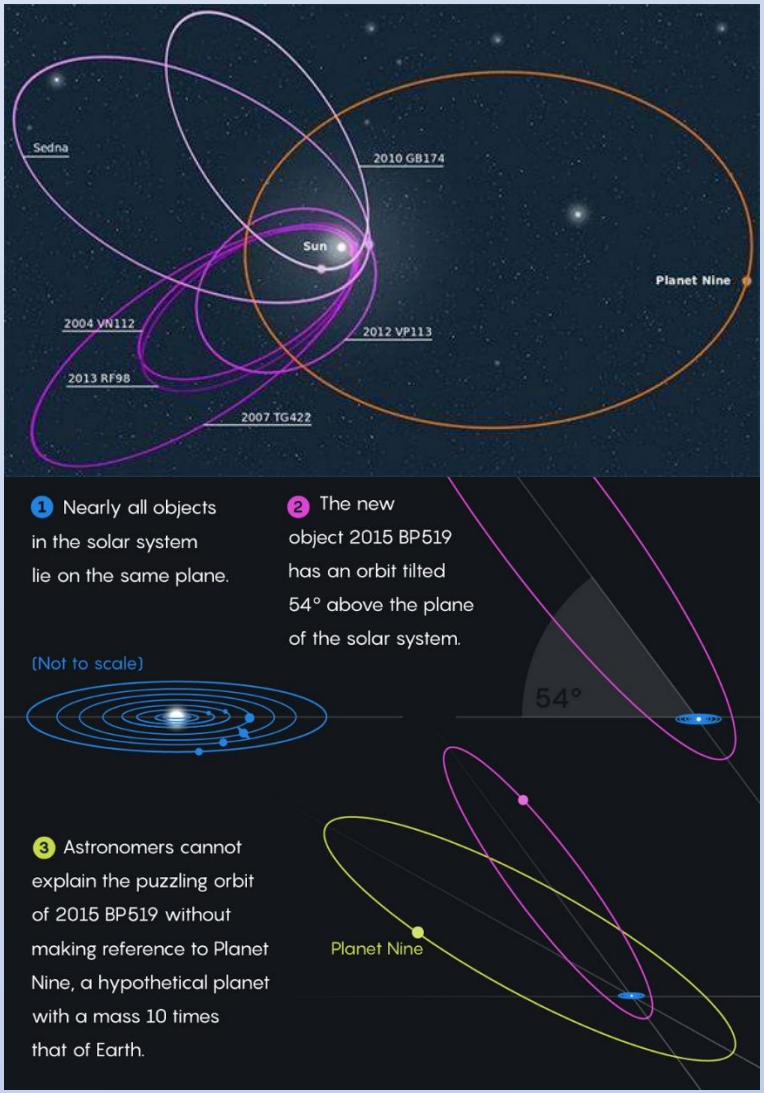


•***Плутон (134340 Pluto)*** - ***найбільша відома карликова планета Сонячної системи, транснептуновий об'єкт (ТНО) і десяте за масою (без урахування супутників) небесне тіло, що обертається навколо Сонця - після восьми планет Сонячної системи і Еріди***. Спочатку Плутон класифікувався як класична планета, однак ***зараз він вважається карликовою планетою*** і найбільшим об'єктом у поясі Койпера. Відкритий у 1930 р.

•***14 липня 2015 р. космічний апарат New Horizons*** вперше за всю історію людства наблизився до карликової планети на максимально близьку відстань та зробив унікальні кольорові знімки Плутона. ***Щоб зробити ці знімки New Horizons пролетів 9 років і подолав більше 3 мільярдів миль***. Надчіткі знімки при найближчому розгляді показали дивовижний і незвичайний ландшафт карликової планети. Величезна мережа дрібних гірських хребтів протяжністю в десятки миль виявилася схожою на кору дерева або луску дракона. За словами вчених, це може бути результатом впливу внутрішніх тектонічних сил на сублімований лід. ***Під замороженою поверхнею карликової планети Плутон має бути океан, який вміщає стільки ж води, скільки й усі моря та океани Землі***. ***Океан Плутона, який скоріш за все складається зі солоної води, схований на рівні 150-200 кілометрів під "серцеподібним" регіоном крижаної поверхні карликової планети і має глибину до 100 кілометрів***.

© Опанасюк А.С.

9 ТА 10 ПЛАНЕТИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

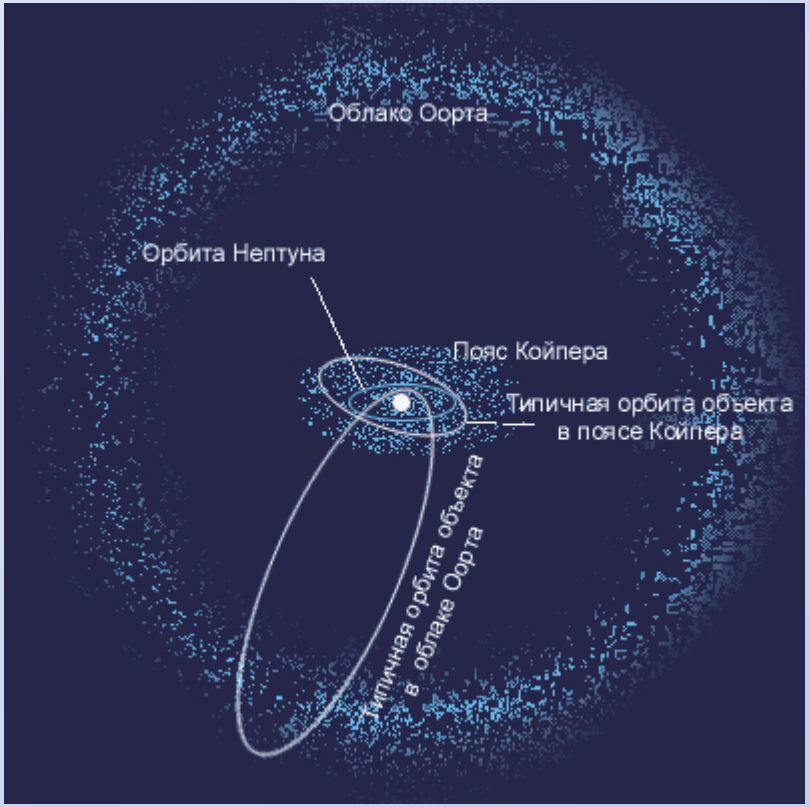


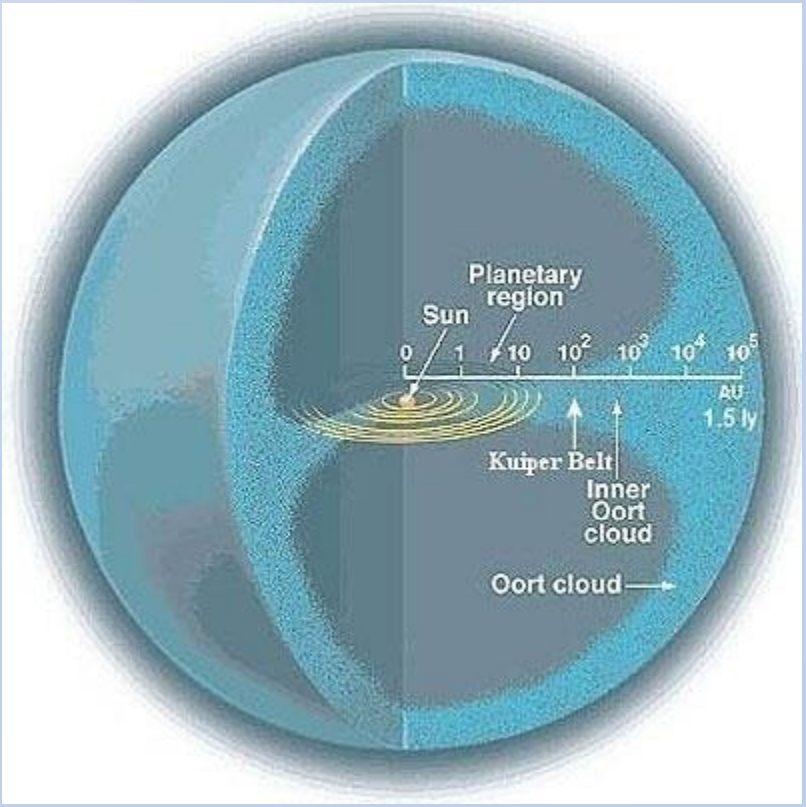
•Карлос де ла Фуєнте Маркос, співробітник Мадридського університету, та його група створили надточний макет того, як виглядають околиці Сонячної системи. Ними було проаналізовано, рух ***24 астероїдів і 28 комет,*** в результаті зроблені висновки, ***що перетин їх орбіт відбувається в ряді точок, віддалених від Сонця в 350 разів далі, ніж наша Земля.*** Як вважають астрономи, ***це і є доказом існування загадкового небесного тіла.*** На думку Маркоса і групи його колег, від ***дев'ятої планети Х*** (***в старовинних легендах Нібіру***) до Сонця приблизно 41 мільярд кілометрів, а ось ***за вагою вона перевищує Землю в 5-10 разів.*** Вважається, що ***один оберт навколо Сонця планета здійснює за 15 тисяч років.***

•Не так давно, до речі, виявлено, що ***нових планет на околиці нашої системи може бути не одна, а дві***. За інформацією американського фахівця Кетрін Вовк, зафіксований ряд аномалій, які пояснюються лише наявністю небесного тіла, подібного Марсу за розмірами. Вченими був розрахований оборот небесного тіла Х, внаслідок чого зроблено висновок, що в сонячній ***системі може бути не 9 великих об'єктів, що обертаються навколо Сонця, а цілих 10.***

© Опанасюк А.С.

ХМАРИ КОЙПЕРА І ООРТА

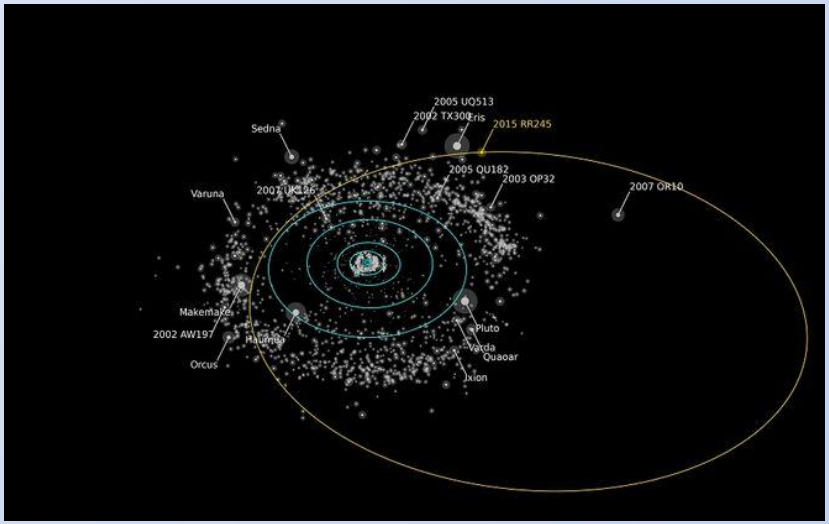




Хмара Оорта - ***гіпотетична сферична область Сонячної системи, яка служить джерелом довгоперіодичних комет***. Відстань до зовнішніх кордонів хмари Оорта від Сонця становить від 50 000 до 100 000 а. о. - приблизно світловий рік. ***Це дорівнює приблизно чверті відстані до Проксими Центавра, найближчої до Сонця зірки.*** Пояс Койпера і розсіяний диск, дві інші відомі області транснептунових об'єктів, в за розмірами в тисячу разів менший ніж хмара Оорта. Зовнішня межа хмари Оорта визначає гравітаційний кордон Сонячної системи - сферу Хілла, яка дорівнює для Сонячної системи 2,0 св. рокам. ***Об'єкти в хмарі Оорта значною мірою складаються з водяних, аміачних і метанових льодів.***

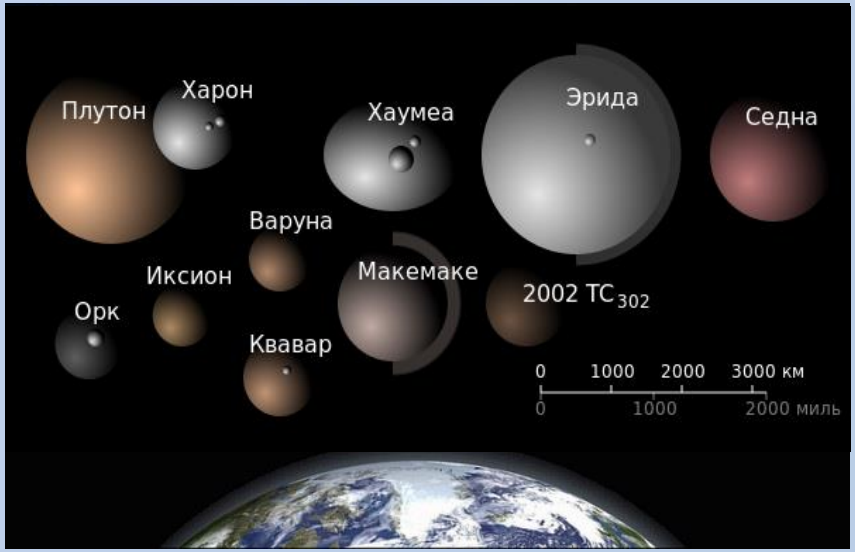
© Опанасюк А.С.

ПОЯС КО́ЙПЕРА



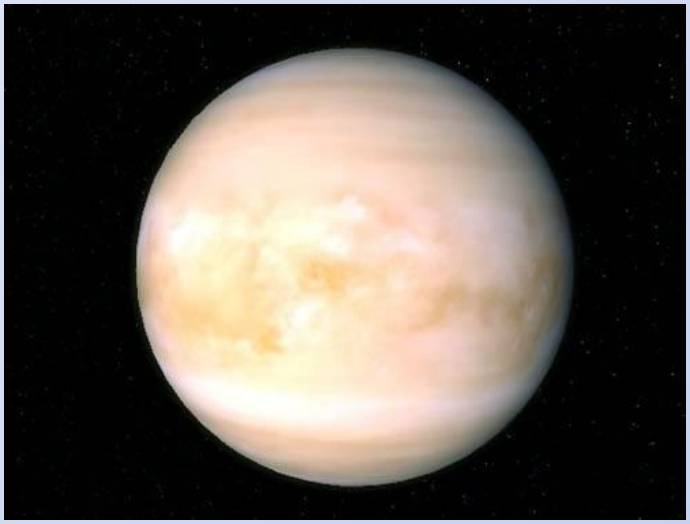
Пояс Койпера** - область Сонячної системи від орбіти Нептуна (30 а. о. від Сонця) до відстані близько 55 а. о. від Сонця. Хоча **пояс Койпера схожий на пояс астероїдів, він приблизно в 20 разів ширший і в 20-200 разів масивніший останнього. Як і пояс астероїдів, він складається в основному з малих тіл, тобто матеріалу, що залишився після формування Сонячної системи. На відміну від об'єктів поясу астероїдів, які в основному складаються з гірських порід і металів, об'єкти поясу Койпера складаються головним чином з летючих ***речовин (льодів), таких як метан, аміак і вода***.

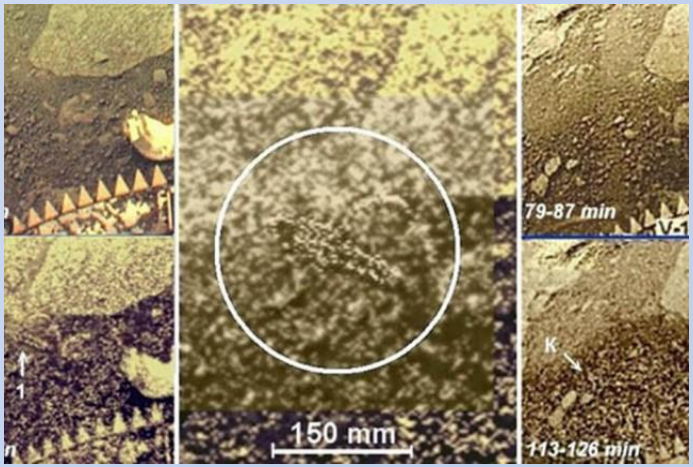
У цій області ближнього космосу ***знаходяться такі карликові планети*** як: ***Плутон, Хаумеа, Макемаке, Седна, тощо***. Крім того, вважається, що деякі супутники планет Сонячної системи, такі як супутник Нептуна - Тритон і супутник Сатурна - Феба, також виникли в цій області. ***З тих пір, як в 1992 р. пояс був відкритий, число відомих об'єктів поясу Койпера перевищило тисячу, і передбачається, що ще більше 70,000 об'єктів з діаметром більшим 100 км поки не виявлені.***
Багато з них також можуть мати підземні (підльодні) океани, а можливо і життя.



© Опанасюк А.С.

ВЕНЕРА



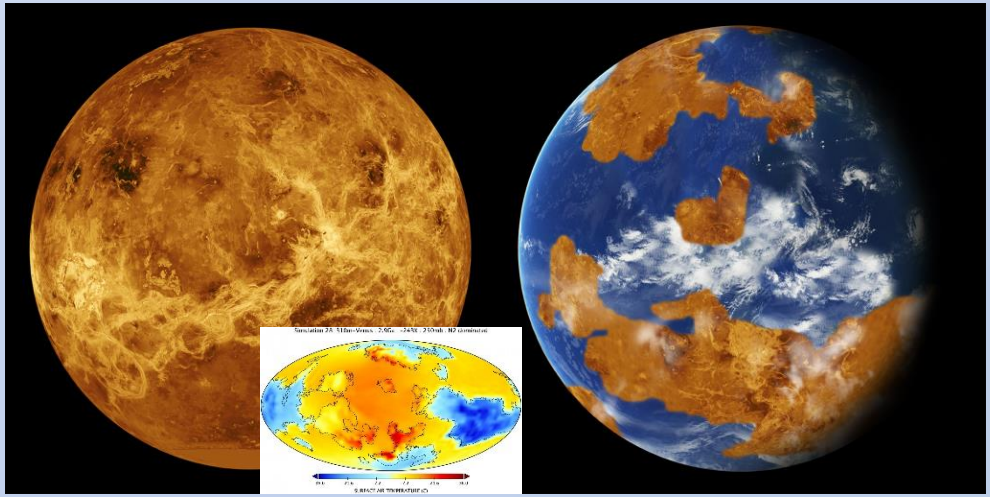


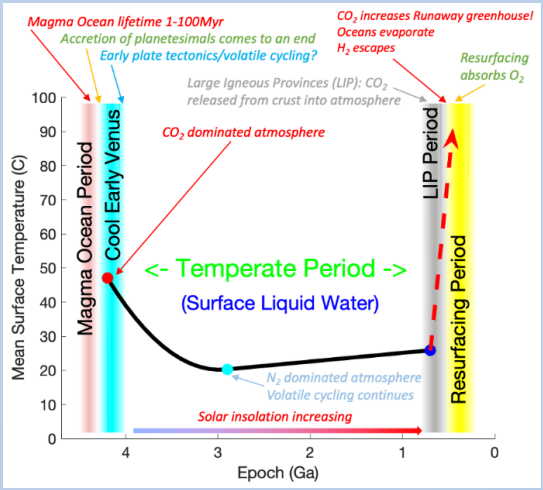
•***Венера друга планета від Сонця***. Вона знаходиться ближче до Землі, ніж будь-яка інша планета. Але щільна, хмарна атмосфера не дозволяє безпосередньо бачити її поверхню. ***Атмосфера: CO_2 (97%), N_2 (бл. 3%), H_2O (0,05%), домішки CO, SO_2, HCl, HF. Тиск у поверхні досягає 93 атм, температура, завдяки парниковому ефекту - 475 °С.*** Це перевищує температуру поверхні Меркурія. Знімки, отримані за допомогою радара, демонструють на поверхні дуже велику різноманітність кратерів, вулканів і гір. Поверхневі породи Венери близькі за складом до земних осадкових порід. ***Зараз вчені вважають, що ще 700 млн років тому на Венері був океан глибиною 100 м який займав 10% поверхні. Температура біля поверхні могла стабільно залишатися в межах від 20 до 50 °С. Планета нагадувала Землю і на ній можливо було життя.*** Перші знімки поверхні були зроблені радянськими космічними апаратами «Венера-13» і «Венера-9». Доктор фіз.-мат. наук ***Леонід Ксанфомаліті, що розшифрував ці кадри, вважає, що на найперших венеріанських фото був виявлений об'єкт, схожий на птицю***. Тоді вчені визнали його просто дивно симетричним каменем химерної форми. У 1982 р. «Венера-13» відправила на Землю фотографії загадкового диска 30 сантиметрів в діаметрі, який міняв форму і то пропадав зі знімків, то з'являвся знову. ***Найбільш сенсаційною знахідкою став «скорпіон», що вибирається з грунту.*** Об'єкт поза всяким сумнівом реальний, бо відкидає тінь. На перших фото видно тільки канавка, яка поступово збільшується, потім «скорпіон» повністю вилазить на поверхню і зникає. ***Вченим не подобається інтерпретація знімків як доказ наявності життя на Венері, але поки що іншого пояснення дивним фотографіям немає.***

© Опанасюк А.С.

РАННЯ ВЕНЕРА

•***Хоча зараз поверхня Венери абсолютно непридатна для життя, це не означає, що так було завжди***. Згідно з сучасними уявленнями, ***відразу після формування вона була покрита океаном рідкої магми, а венеріанська атмосфера містила велику кількість водяної пари***. Подальші події залежали від часу застигання цього "магматичного океану". Якщо цей процес тривав довго (близько 100 млн років), то під дією сонячного випромінювання вода в газовій оболонці планети поступово розщепилася б на кисень і водень. Останній, як найлегший газ, випарувався б у космос, а кисень - поглинувся магмою. В результаті після затвердіння поверхні Венера відразу стала би планетою з сухою поверхнею, практично без води. Але якщо океан магми застиг швидко (протягом декількох мільйонів років), значна частина водяної пари повинна була сконденсуватися, і ***в результаті Венера обзавелася б власною гідросферою.*** Команда співробітників Інституту космічних досліджень імені Годдарда дослідили цю можливість. За допомогою суперкомп'ютера NASA вони змоделювали 45 можливих сценаріїв подальшого розвитку клімату планети за різних варіантів складу атмосфери, кількості сонячного випромінювання і топографії. ***Моделювання показало: якщо рання Венера мала океан, то при певних факторах він міг проіснувати майже 3 млрд років.*** За словами дослідників, умови, найбільш схожі на земні, були отримані в симуляції № 28. ***Якщо вихідний тиск на поверхні досягав приблизно чверть земного, атмосфера була багата на азот, а середня глибина океану становила 310 м, то на полюсах планети навіть міг випадати сніг.*** Але навіть якщо Ранкова зірка і була колись життєпридатна, поступове збільшення сонячної активності і потужні вулканічні виверження призвели до незворотного парникового ефекту, що викликав втрату океану і радикальну трансформацію газової оболонки планети. ***Єдине місце, де могло вціліти гіпотетичне венеріанське життя, — верхні шари атмосфери***. У вересні 2020 р. з'явилося повідомлення про виявлення у хмарах Венери ***фосфіну — молекули, яка на Землі виробляється анаеробними бактеріями***. Однак на Венері немає умов, як у надрах Юпітера, де фосфін утворюється при екстремальних температурах і тиску. ***Його наявність могло б вказувати на невідоме джерело — можливо, біологічне.***





© Опанасюк А.С.

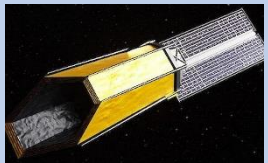
ПРОЄКТИ HWO ТА LIFE

•У найближчі роки вчені ***готують дві масштабні космічні місії для пошуку життя за межами Сонячної системи*** — ***американський проєкт Habitable Worlds Observatory (HWO) від NASA та європейський проект LIFE, очолюваний ETH Zurich***. ***Їхньою метою є виявлення слідів життя на екзопланетах - планетах, що обертаються навколо інших зірок***.

•***NASA планує побудувати телескоп для полювання на придатні для життя світи***. Для цього NASA почало розробляти необхідну технологію. Контракти були укладені з трьома компаніями на дослідження оптики наступного покоління, дизайну місії та функцій телескопа вартістю 17,5 мільйонів доларів. Роботи розпочалися наприкінці літа 2024 року.

•***Метою HWO є запуск великого космічного телескопа, насамперед для прямого зображення планет, схожих на Землю, навколо зірок, подібних до нашого Сонця. Крім того, він вивчатиме їхні атмосфери, щоб виявити хімічні сигнатури, які можуть вказувати на наявність життя. Мета експерименту – дослідити біосигнатури, хімічні речовини в атмосфері, які свідчать про життя.***. Пошук життя у Всесвіті передбачає, що позаземне життя може бути схожим на життя на Землі. Хоча ***життя може бути засноване на зовсім іншій хімії***, має сенс шукати форми життя, схожі на нашу, а не ризикувати невідомими формами. Отже, ***HWO шукатиме такі хімічні речовини, як кисень і метан, які є індикаторами життя***.

•***Європейський проект LIFE передбачає створення телескопа, що складатиметься з п'яти окремих космічних апаратів***, які працюють синхронно. Телескоп LIFE збиратиме інфрачервоне випромінювання в атмосфері екзопланет, дозволяючи аналізувати їх хімічні склади. ***Основна мета проекту - детальне вивчення 30–50 екзопланет розміром із Землю та визначення їх можливої придатності до життя. Серед індекаторів життя — закис азоту та метильовані галогени.*** Навіть якщо ці місії не дадуть позитивного результату, це не буде марною витратою грошей - ***вчені зможуть вперше кількісно оцінити, наскільки рідкісним або поширеним є життя у Всесвіті***. За словами астрофізика Даніеля Анґергавзена, думки в науковому середовищі розділились: ***частина фахівців вважає, що життя у Всесвіті має бути поширеним, інші — що воно є винятковим явищем, притаманним лише Землі***. «Якщо жодна з досліджених планет (припустимо, 50) не покаже ознак життя, це означатиме, що воно зустрічається значно рідше, ніж вважалося, і ми зможемо звузити імовірність його наявності - наприклад, до менш ніж 20% серед потенційно придатних до життя світів», - зазначає дослідник. При цьому, навіть нульовий результат місії допоможе уточнити параметри рівня поширення життя у галактиці. ***Якщо дослідити лише 15 планет, цей показник залишатиметься нечітким — до 50%, тоді як дослідження 30 тіл дозволить зменшити невизначеність до 30%.*** Усе залежатиме від технічних можливостей і бюджету: що більше планет — то більший має бути телескоп, у випадку проекту LIFE — до 5 метрів у діаметрі.



© Опанасюк А.С.

Дякую за увагу







© Опанасюк А.С.