

«Екзопланети, чи є на них життя»?

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

КАФЕДРА ЕКТ

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

F7 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ.

**G5 ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОННІ КОМУНІКАЦІЇ,
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ ТА РАДІОТЕХНІКА.**

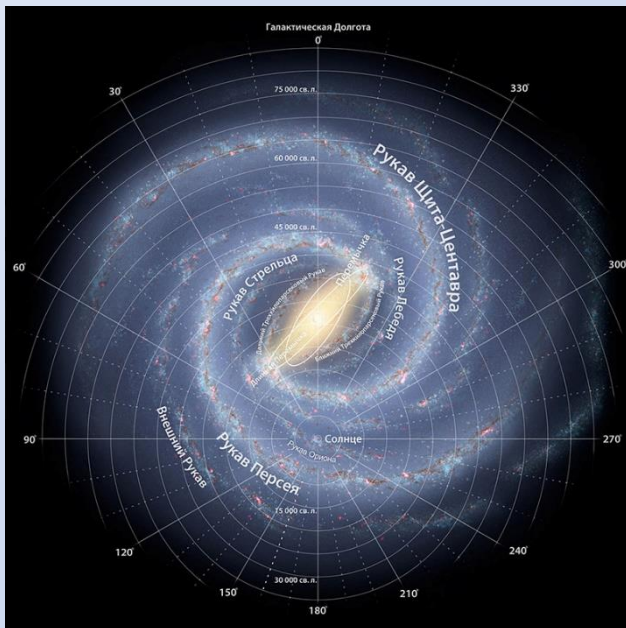
Освітні програми:

«Електронні системи та компоненти»,

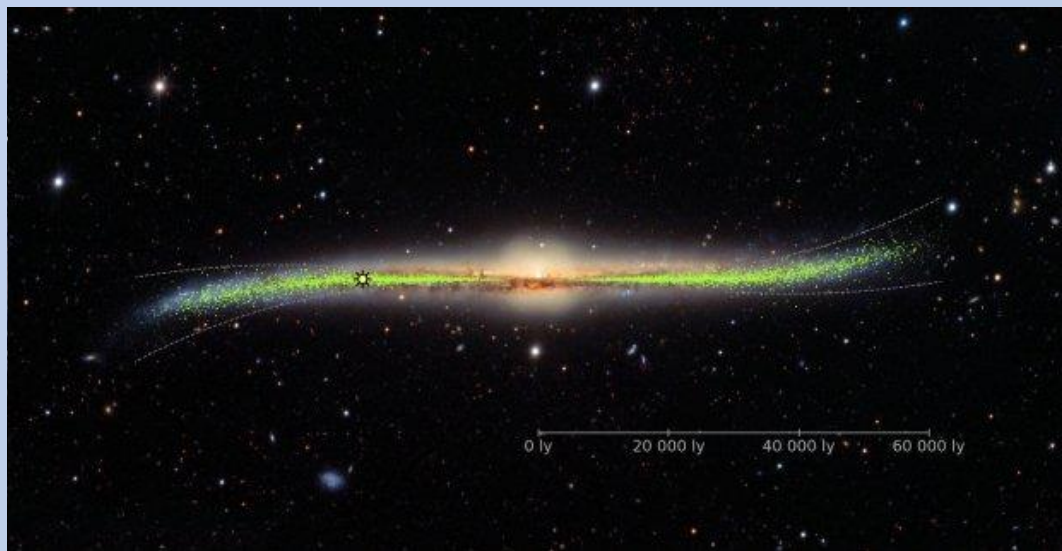
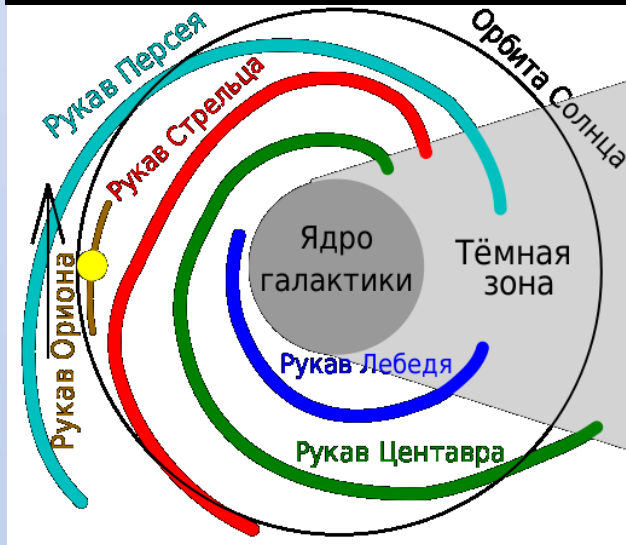
«Мережеві та інтернет технології».

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

НАША ГАЛАКТИКА



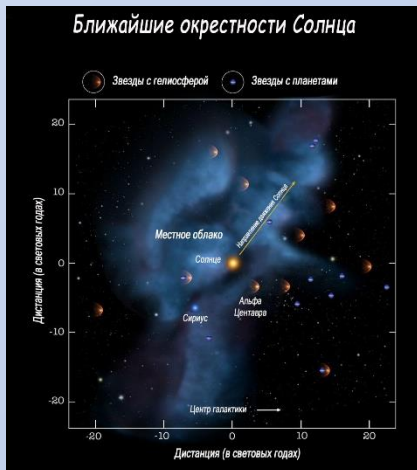
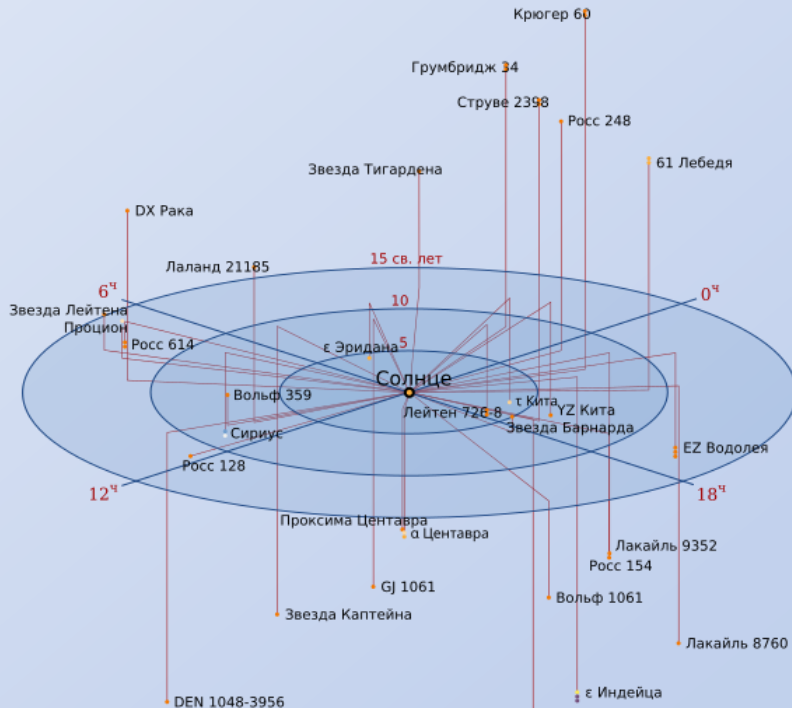
Сонце знаходиться у спіральній галактиці **Чумацький Шлях**. Її основний диск складає близько 80 000 - 100 000 світлових років у діаметрі та близько 250 000-300 000 у периметрі. Поза межами ядра галактики товщина Чумацького Шляху складає приблизно 1000 світлових років. Якщо зменшити діаметр галактики до 130 кілометрів, то Сонячна система займала б лише 2 міліметри. Гало Чумацького шляху простягається набагато далше 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 нашому всесвіті людству зараз відомо десь 2 трл. галактик.



ЗОРЯНЕ ОТОЧЕННЯ СОНЦЯ

•Зірки звичайно поділять на спектральні класи за кольором.

У зоряне оточення Сонця, яке відноситься до спектрального класу **G** (жовтий карлик), радіусом 16 світлових років, увійшло входить **57 зіркових систем**. Деякі з них – це не самотні світила, а подвійні та потрійні зірки, тому **загальна кількість небесних тіл досягає 64**. У перелік внесли і 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 Кита, 61 Лебеда**. Усі вони мають видиму величину у межах від 1,43 до 6,03. **Більшість світил відносяться до спектрального класу M** (червоний), їх температура становить (2600-3800) К. Гарячі зірки – Сиріус 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 (за винятком Сонця) 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.**



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 1 квітня 2025 року підтверджено існування 7443 екзопланет в 5105 планетарних системах, з них 1038 систем мають 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 р. - понад **4800** кандидатів, проте для отримання ними статусу підтверджених планет **потрібна їх повторна реєстрація за допомогою наземних телескопів.**

• **Найменш масивною відомою екзопланетою є Драйг, вона приблизно вдвічі більша за масою ніж Місяць.** **Наймасивніша екзопланета,** зазначена в архіві екзопланет НАСА, — це HR 2562 b, вона **приблизно в 30 разів більша за масою ніж Юпітер.** Однак, згідно з деякими визначеннями планети (на основі ядерного синтезу дейтерію), вона занадто масивна, щоб бути планетою, і реально може бути **коричневим карликом.**

• **Відомий орбітальний час 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. Майже всі виявлені на сьогодні планети знаходяться в межах Чумацького Шляху. Однак **є докази того, що позагалактичні планети, екзопланети, можуть бути розташовані в інших галактиках.**

• **Найближчі екзопланети розташовані на відстані 4,2 світлових років (1,3 парсека) від Землі й обертаються навколо Проксими Центавра, найближчої до Сонця зірки.** **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. Проте вивчення придатності планети для життя також враховує широкий спектр інших факторів у визначенні придатності планети для існування життя.

• **Планети-ізої - це ті, які не обертаються навколо жодної зірки.** Такі об'єкти вважаються окремою категорією планет, особливо якщо вони є газовими гігантами, часто зараховуються до субкоричневих карликів. **Планет-ізоїв у Чумацькому Шляху, ймовірно, налічується мільярди чи більше. На них також можливе життя.**

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** - метод, заснований на спостереженні зменшення світності зірки під час проходження планети по профілю зірки. 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.

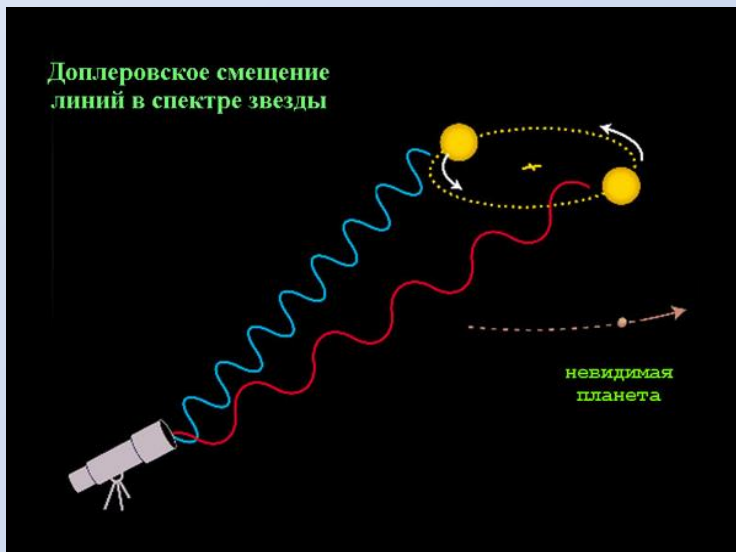
• **Метод гравітаційного мікролінзування**. Між об'єктом (зіркою, галактикою) і спостерігачем на Землі повинна бути інша зірка, яка виступає в ролі лінзи і фокусує своїм гравітаційним полем світло системи, що спостерігається. Якщо зірка-лінза має планети, то з'являється асиметрична крива блиску. Цей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

• **Астрометричний метод** - метод, заснований 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.

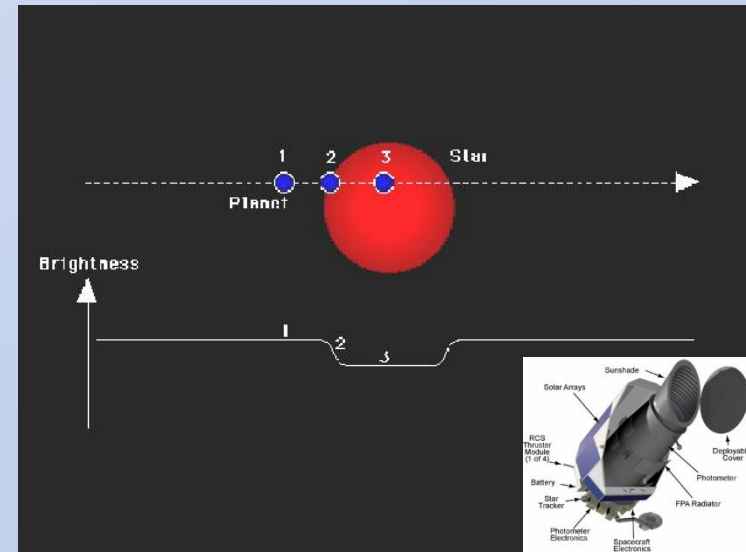
• **Метод прямого спостереження** - метод отримання прямих зображень екзопланет за допомогою ізолювання екзопланет від світла їхньої зірки. Оскільки метод дає найкращі результати для планет, віддалених від своєї зірки на ~10-100 а. о. і гарячих внаслідок тепла, що залишилося після їх утворення, метод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

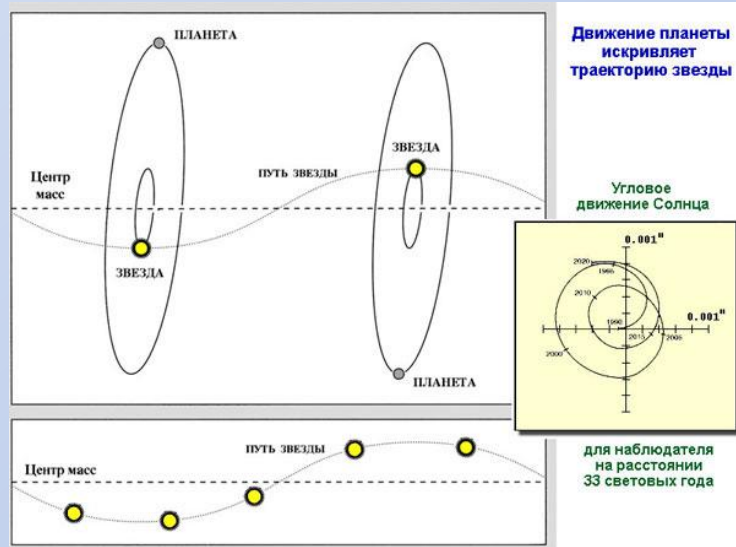
ПОШУК ЕКЗОПЛАНЕТ



Метод Доплера



Транзитный метод

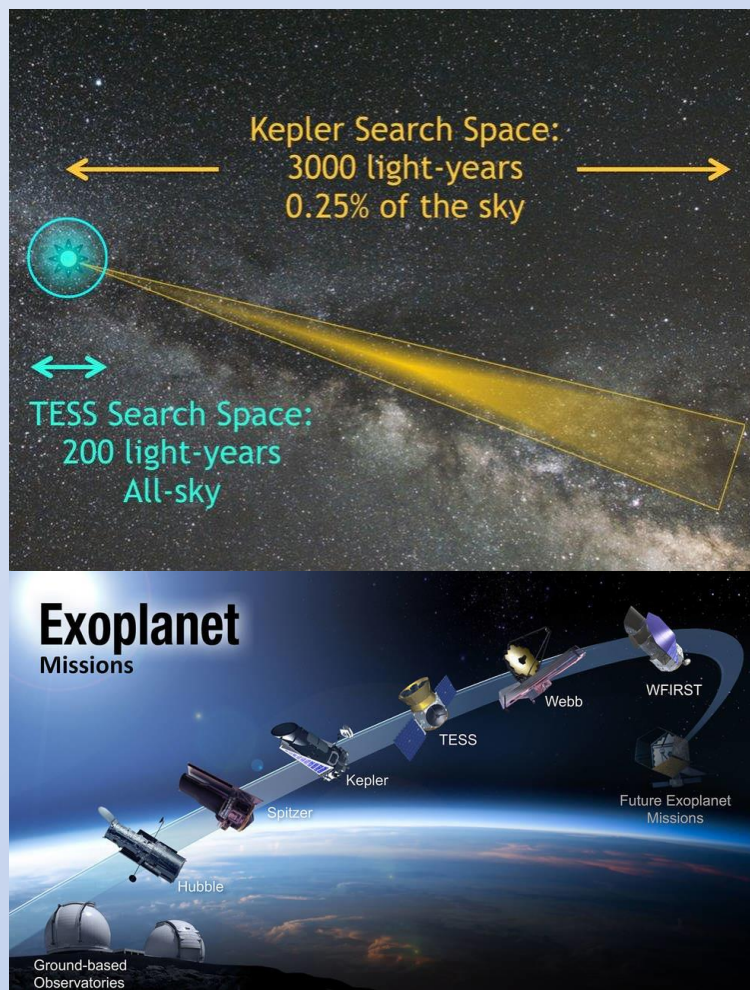


Астрометрический метод

Поиск экзопланет здійснюється, як з використанням орбітальних телескопів, так і телескопів, що знаходяться на поверхні землі.

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-носіє Delta II. Місія коштувала приблизно 467 мільйонів доларів. Весь цей час телескоп спостерігав близько **100 тисяч схожих на Сонце зірок**, навколо яких можуть обертатися екзопланети.

СУПЕРТЕЛЕСКОП TESS



•**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 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 $24^\circ \times 24^\circ$ з об'єктивом апертурою 10 см.

КОСМІЧНИЙ ТЕЛЕСКОП "ДЖЕЙМС ВЕББ"

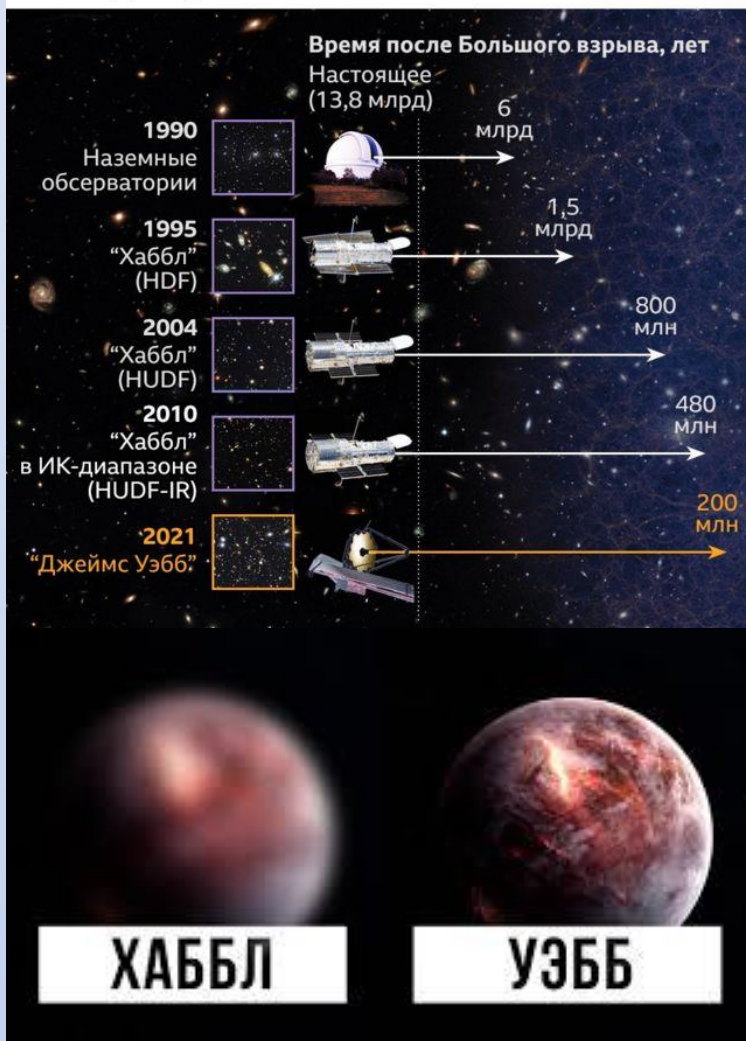
Космический телескоп "Джеймс Уэбб"



• 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.

КОСМІЧНИЙ ТЕЛЕСКОП "ДЖЕЙМС ВЕББ"

Взгляд в прошлое



•Телескоп захищений 5-шаровим тепловим екраном, що дозволяє підтримувати температуру дзеркала та приладів нижче 50 К (–223 °С), 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, LUVIR чи HabEx).

ВИДИ ЕКЗОПЛАНЕТ

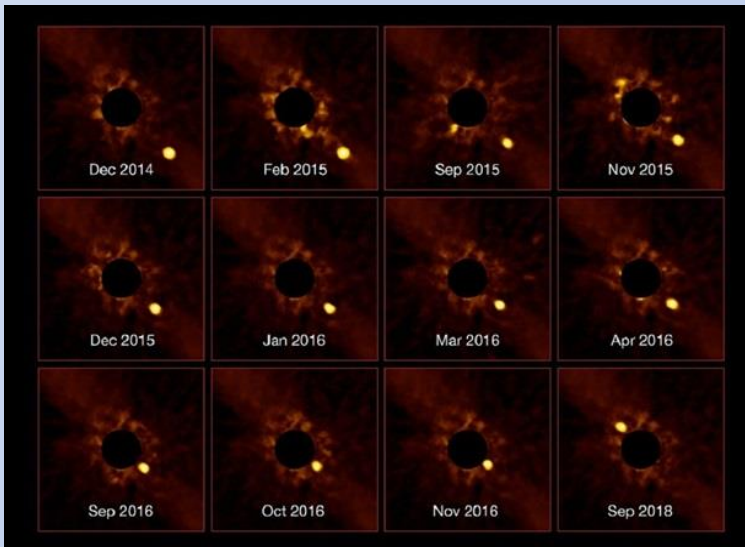
Графік відкриття екзопланет за роками



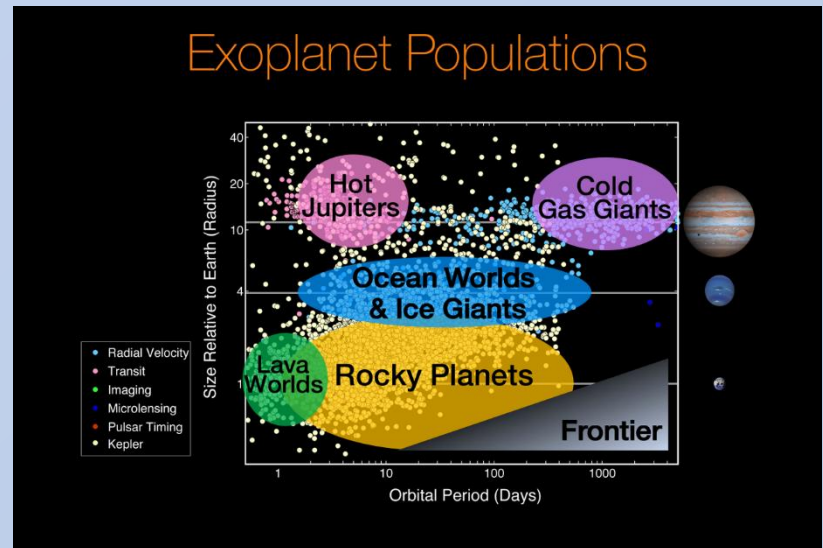
Основними методами відкриття екзопланет є: *метод радіальних швидкостей; транзитний метод (зелене); метод Доплера (синє); метод синхронізації; візуальне спостереження; гравітаційне лінзування; астрометричний метод.* Станом на 1 квітня 2025 р. підтверджено існування 7443 екзопланет в 5105 планетарних системах, з них 1038 систем мають більше однієї планети.

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. Вважається, що кількість можливо заселених екзопланет у нашій галактиці становить близько 300 млн. Також, згідно з поточними оцінками, близько 34% сонцеподібних зірок мають в населеній зоні планети, які можна порівняти з Землею.

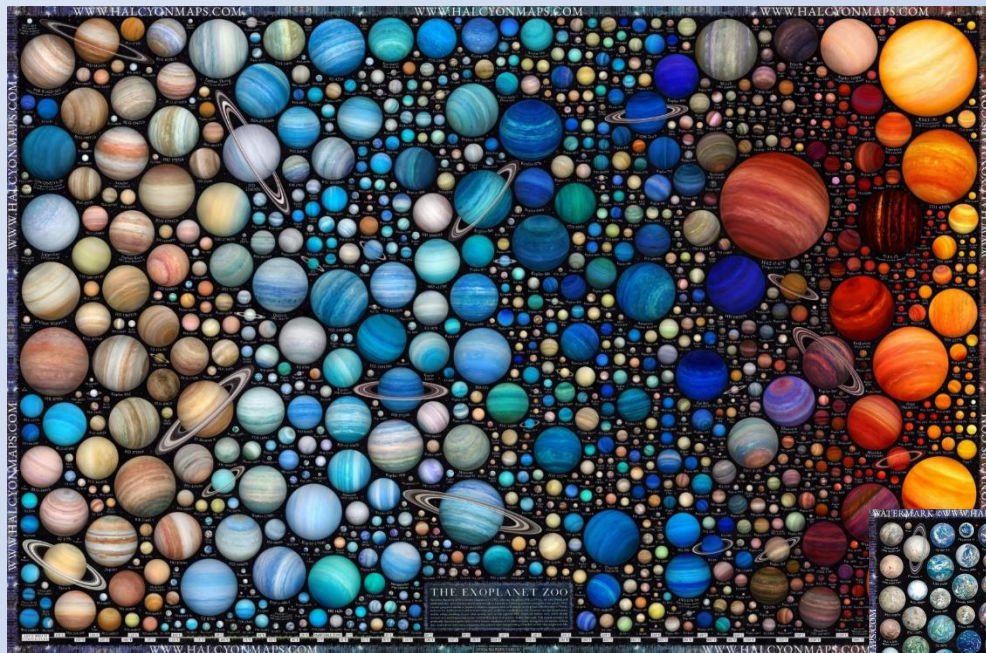
Рух екзопланети навколо зірки β -Живописця. Вона віддалена від Сонячної системи на 64 світлові роки і в 1,75 рази масивніша Сонця



Класифікація екзопланет

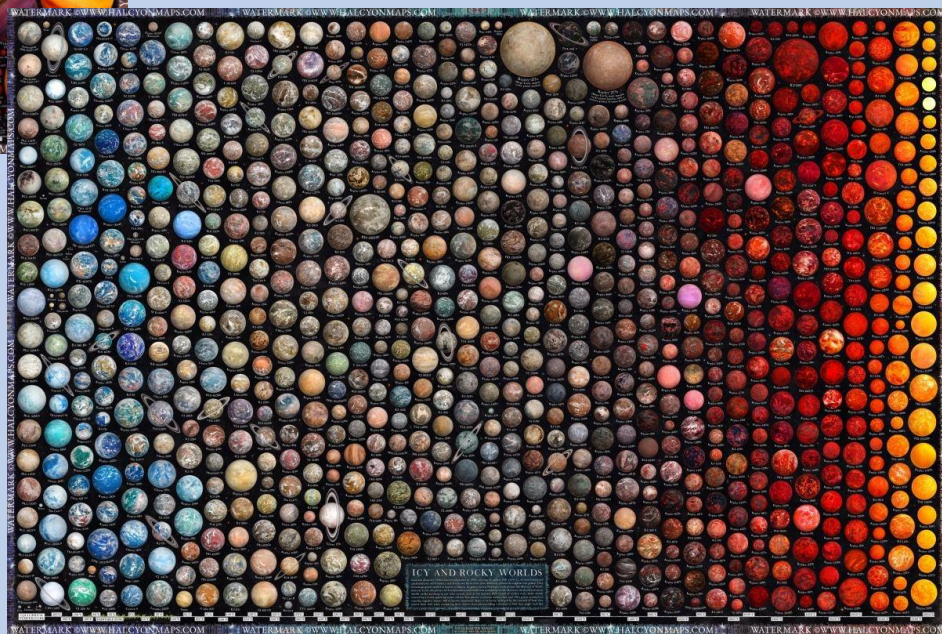


ЗООПАРК ЕКЗОПЛАНЕТ

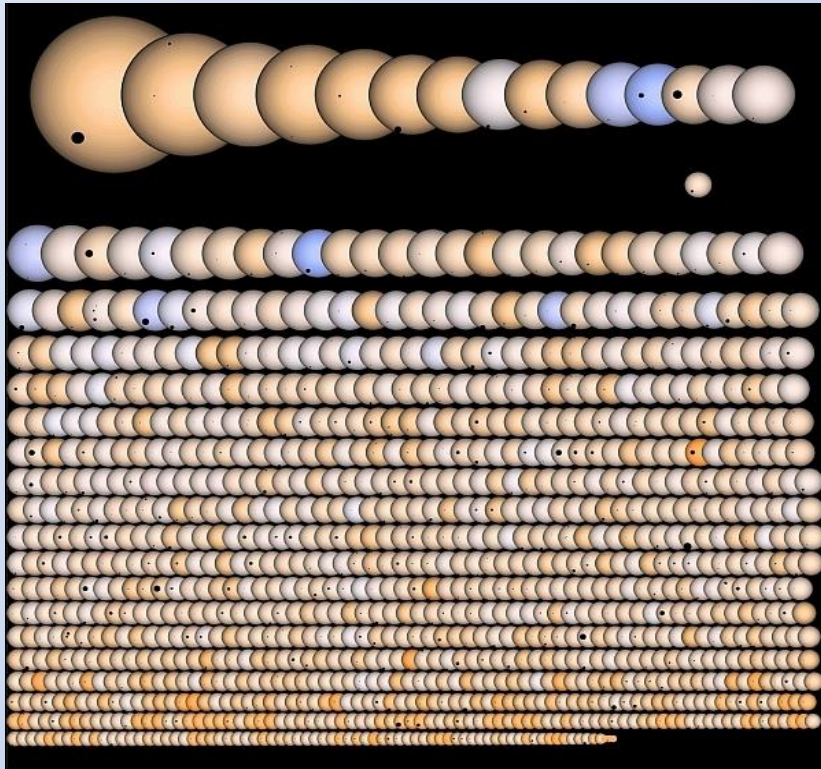


Астроном-аматор, письменник та ілюстратор зі Словаччини, *Мартін Варгіч* створив два нові інфографічні плакати із зображенням екзопланет різних типів та розмірів. Один плакат називається *"Зоопарк екзопланет"* (The Zoo of Exoplanets), а інший - *"Крижані і скелясті світи"* (Icy and Rocky Worlds). Дані 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.

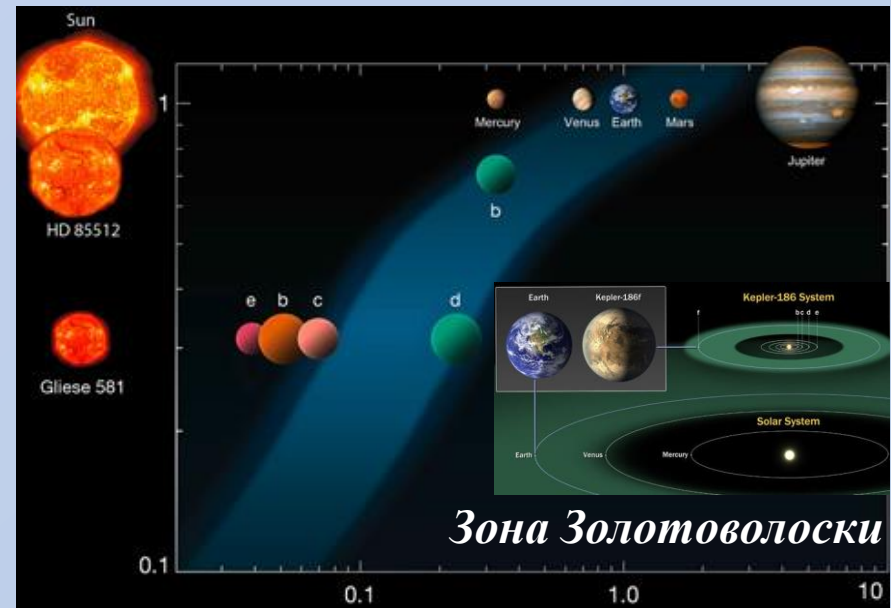


ВІДКРИТІ ЕКЗОПЛАНЕТИ

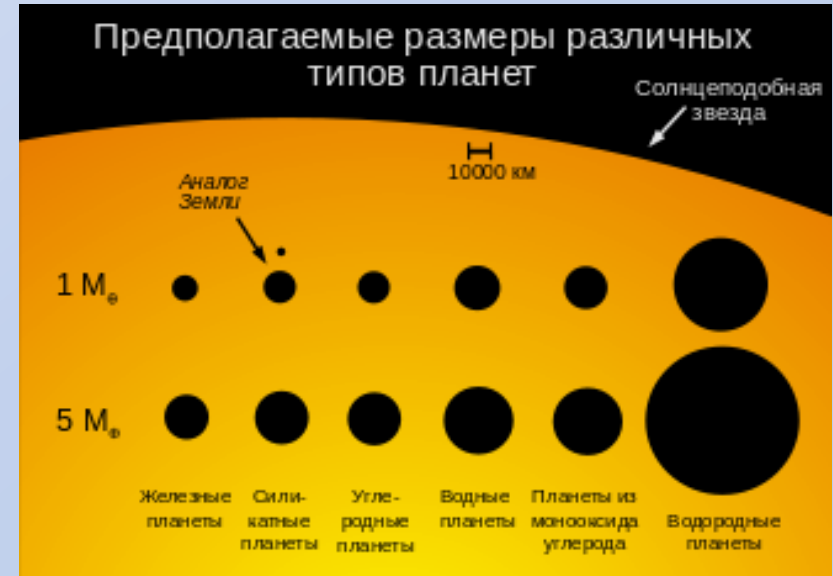
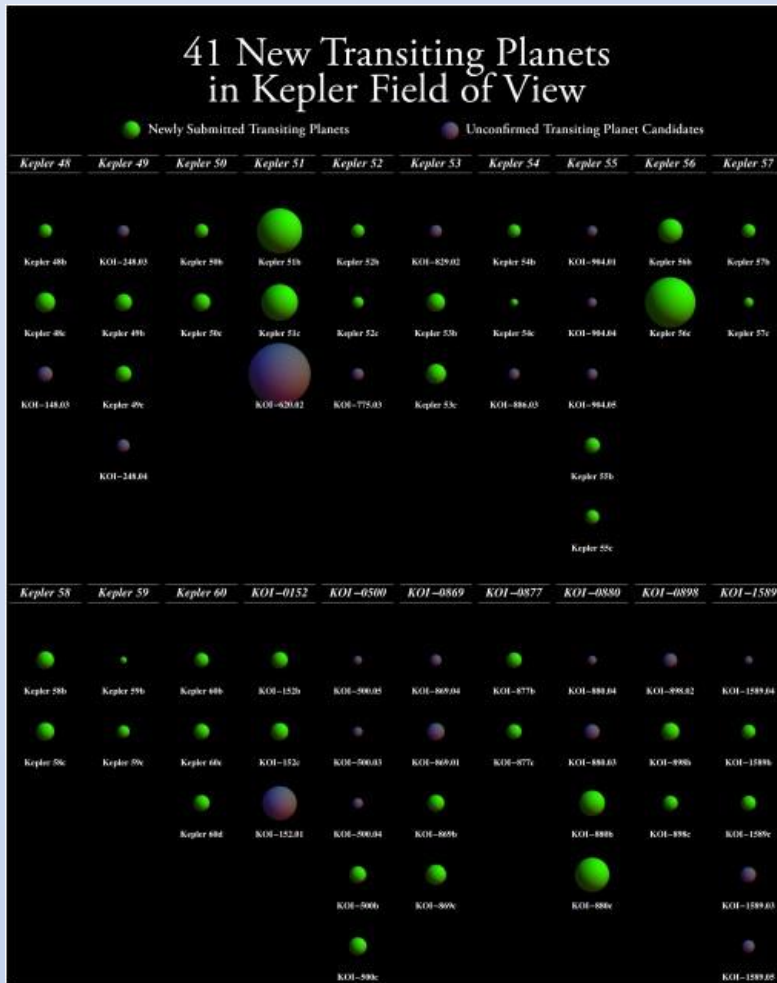


На рисунку зображені зірки, у яких «Кеплер» виявив потенційні планети (3693 штук), вони показані як темні плями на диску світила. Частина з відкритих планет за своїми характеристиками нагадують Землю (207 тіл порівнянні з нашою планетою за розміром, а ще 680 відносяться до класу так званих Суперземель).

Порівняння зон населеності 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.



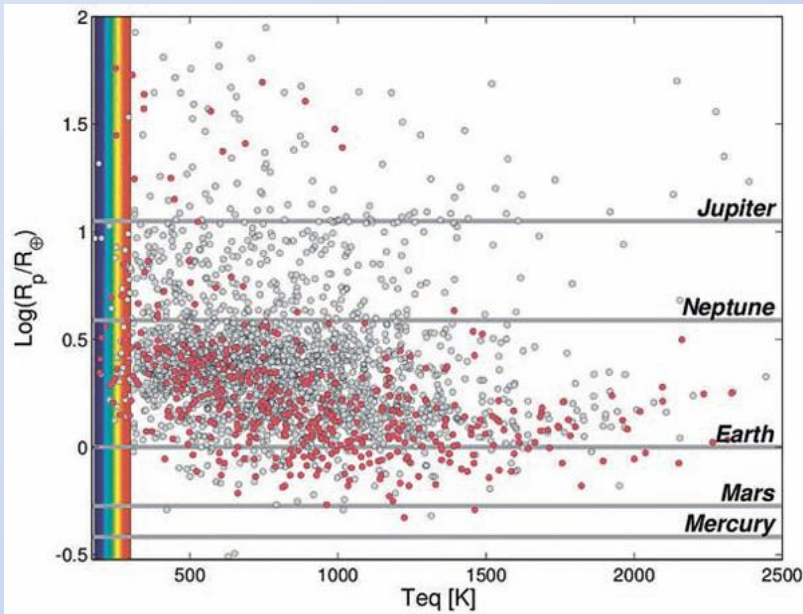
ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТЕЛЕСКОПА “КЕПЛЕР”



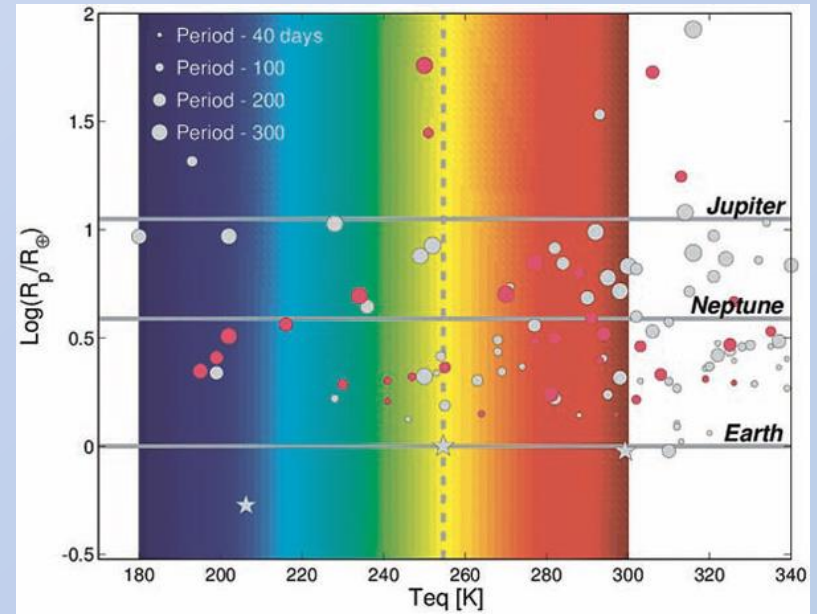
Таблиця нових екзопланет виявлених телескопом Кеплер. Зеленим позначені планети виявлені за допомогою транзитного методу. Фіолетовим — ймовірні кандидати в планети, виявлені в тій же системі за допомогою методу варіації часу транзитів.

З 3869 кандидатів, виявлених телескопом Кеплер, 647 мають приблизно земний розмір (104 знаходяться у зоні Златовласки), 680 має розміри суперземлі, 1181 - Нептуна, 203 - розмір, порівнянний з юпітеріанських, і 55 - більший, ніж у Юпітера.

ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТЕЛЕСКОПА “КЕПЛЕР”



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 (зі статті C. Burke et al., ArXiv: 1312.5358)

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

ЕКЗОТИЧНІ ПЛАНЕТНІ СИСТЕМИ



Планета Кеплер-16b, обертається навколо подвійної зірки, немов горезвісний **Тамуїн** з «Зоряних війн» (зображення NASA / JPL-Caltech).

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. років.

Нагадуємо що Всесвіту, за сучасними уявленнями, 13,8 мld. р., а Сонцю, зірці третього покоління, десь 5 млрд. років.

ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ НА ЗЕМЛІ

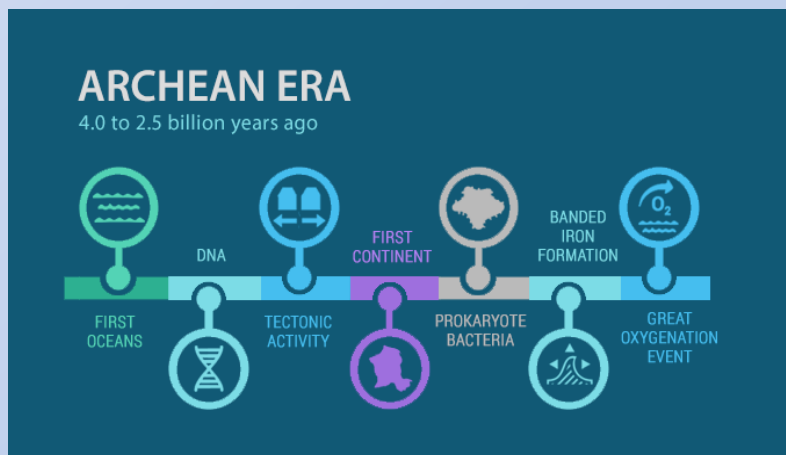
•Наша планета – знаходиться у зоні життя (*зоні златовласки*), як і Марс та Венера, Сонячної системи, тому вона найкращим чином підходить для зародження життя. *Вік Землі вважається рівним 4,6 мільярдам років, а перші осадові породи, що свідчать про появу крупних водоймищ, заповнених рідкою водою, датуються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

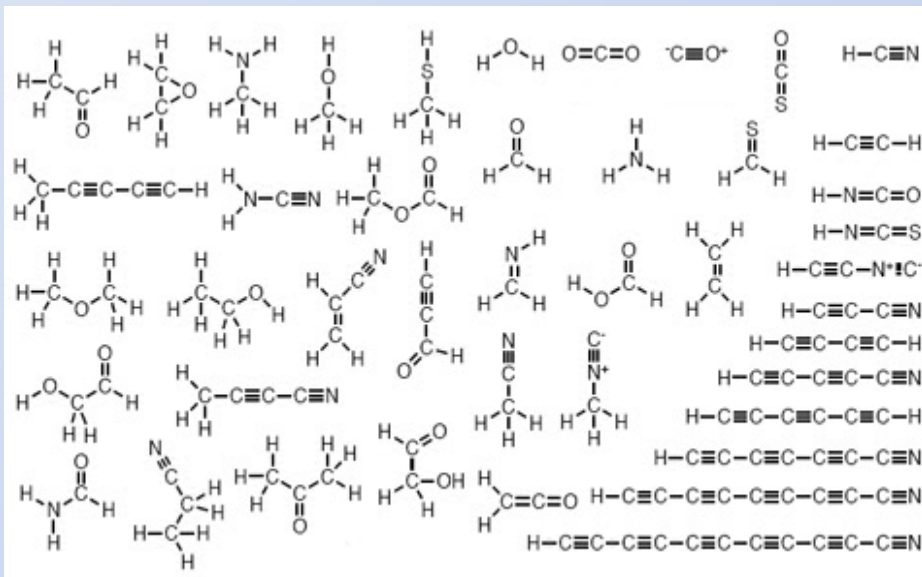
•*Спочатку атмосфера була такою тонкою, що парниковий ефект був малим. При цьому середня температура поверхні Землі була близька до 15 °С.* А при такій температурі всі пари води повинні були конденсуватися, за рахунок цього й утворилися океани.

•*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, інші - 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.*



Японські геологи знайшли на північному сході Канади поклади органічних порід, які свідчать про те, що життя на Землі вже мало існувати як мінімум 4 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 молодшої 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.

ОРГАНІКА У КОСМОСІ



Деякі органічні молекули, що знайдені астрономами в міжзірковому середовищі

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 відсотків води являє собою лід, сконденсованих на холодних порошинках, і лише 1 відсоток - в газовій формі**.

На цей час людству відома тільки одна форма життя – **органічна на основі атомів вуглецю**. **Вважається що для її утворення обов'язково потрібна вода 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 (Златовласки), в яку потрапила Земля.

ІНДЕКС ПОДІБНОСТІ ДО ЗЕМЛІ

Індекс подібності до Землі — параметр, що показує, наскільки близько екзопланета відповідає Землі. 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.

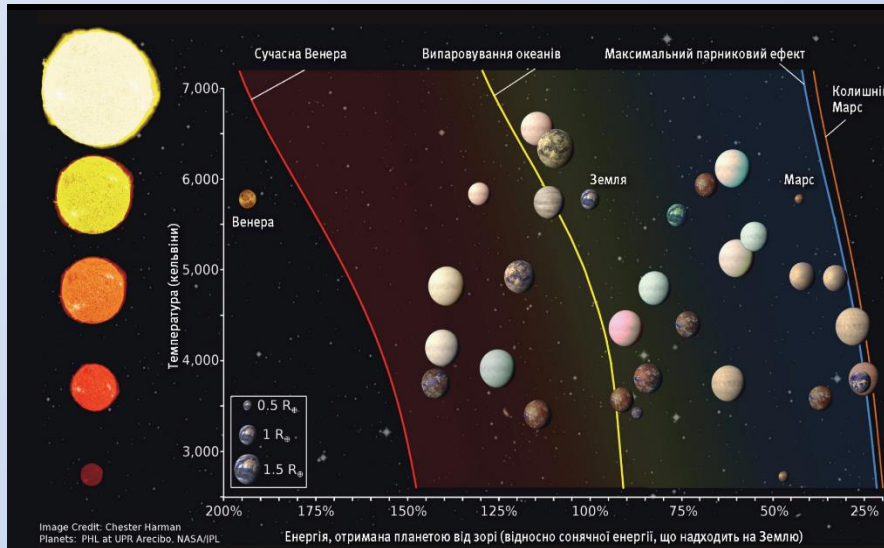
Відстань від населеної зони — параметр, що визначає віддаленість планети від центру населеної зони батьківської зірки. Планети в населеній зоні мають значення від -1 до +1, де «0» позначає центр населеної зони, а -1 і +1 - її внутрішній і зовнішній краї. Відстань від населеної зони є функцією від світності 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 системи.

Клас життєпридатності — параметр, що є класифікацією лише життєпридатних світів і що складається з п'яти температурних категорій: гіпопсихропланети (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.

ПОТЕНЦІАЛЬНО ЗАЛЮДНЕНІ ЕКЗОПЛАНЕТИ



• Директор Лабораторії вивчення населеності планет (PHL) Університету Пуерто-Ріко в Аресібо Абель Мендес і його колеги **склали список з 104 екзопланет та 121 супутника планет** ([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 «Златовласки») біля зірок різної світності

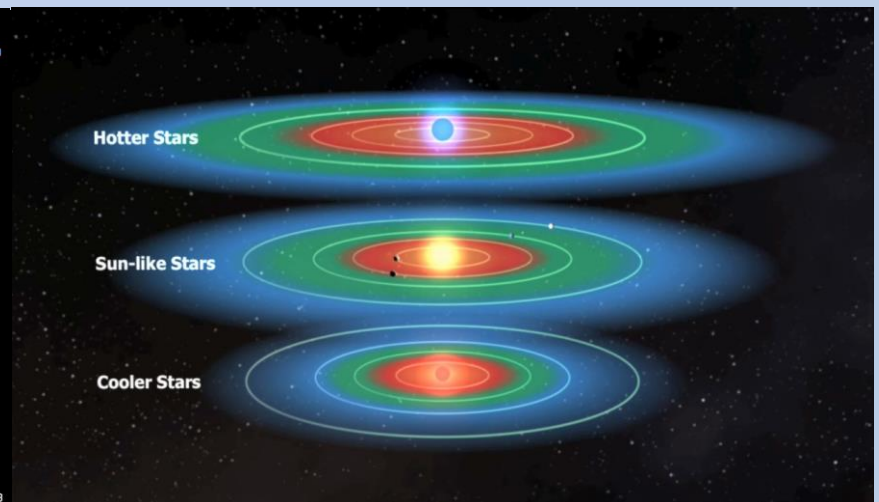
Potentially Habitable Exoplanets

Sorted by the Earth Similarity Index (ESI)



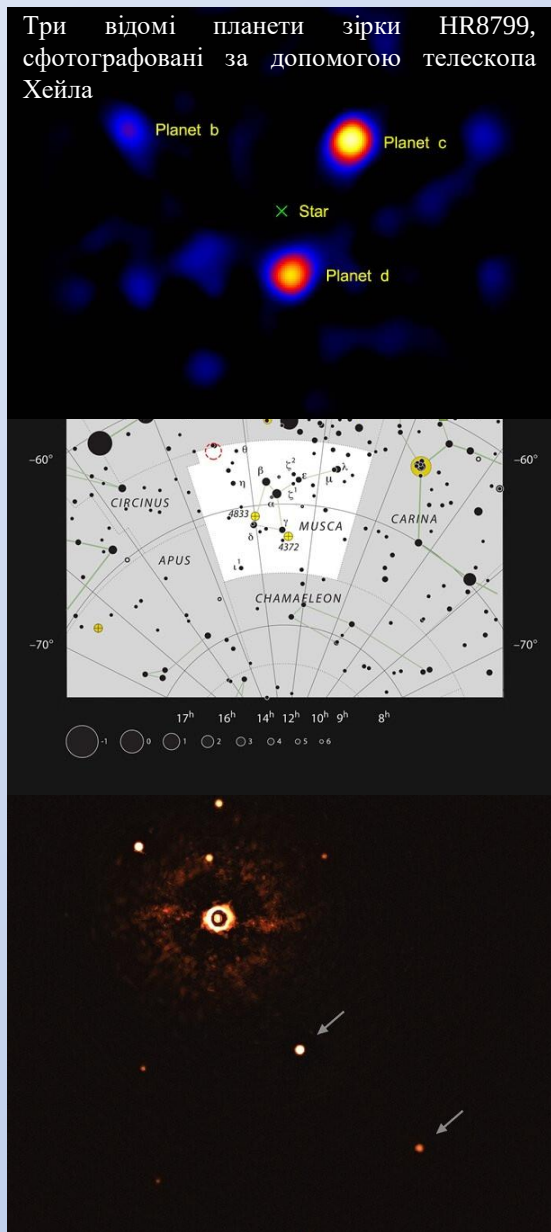
Artistic representations. Earth, Mars, Jupiter, and Neptune for scale. Similarity (ESI) to Earth's size and insolation is between brackets.

CREDIT: PHL @ UPR Arcibo (phl.upr.edu) Jan 5, 2023



ПЕРШИЙ ЗНІМОК ПЛАНЕТНОЇ СИСТЕМИ

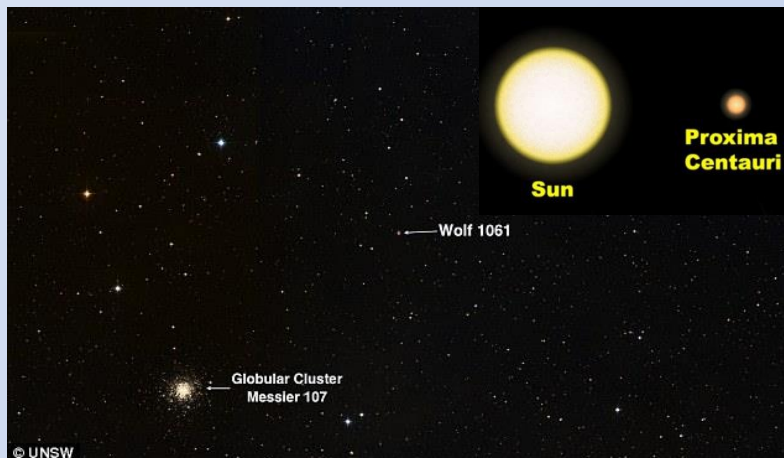
Три відомі планети зірки HR8799, сфотографовані за допомогою телескопа Хейла



•Дуже великий телескоп за допомогою інструменту SPHERE (Спектро-поляриметричних високо-контрастне дослідження екзопланет) зробив **перше в історії пряме зображення планетної системи навколо молодой, схожой на Сонце, розташованої на відстані близько 300 світлових років і відомой 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. **Нове зображення ESO VLT стало першим прямим зображенням більш ніж однієї екзопланети навколо сонцеподібної зірки.** VLT був також першим телескопом, який безпосередньо побачив екзопланету ще в 2004 році, коли закарбував відблиск навколо коричневого карлика. Спостереження можуть допомогти астрономам зрозуміти, як планети формувалися і розвивалися навколо 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 коронаграф, 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. Команда також виявила, що дві екзопланети набагато важчі, ніж в нашій Сонячній системі: внутрішня планета в 14 разів масивніша Юпітера, а зовнішня - в 6 разів.**

Перше в історії пряме зображення планетної системи навколо молодой, схожой на Сонце зірки

НАЙБЛИЖЧІ ПЛАНЕТИ, ДЕ МОЖЕ БУТИ ЖИТТЯ



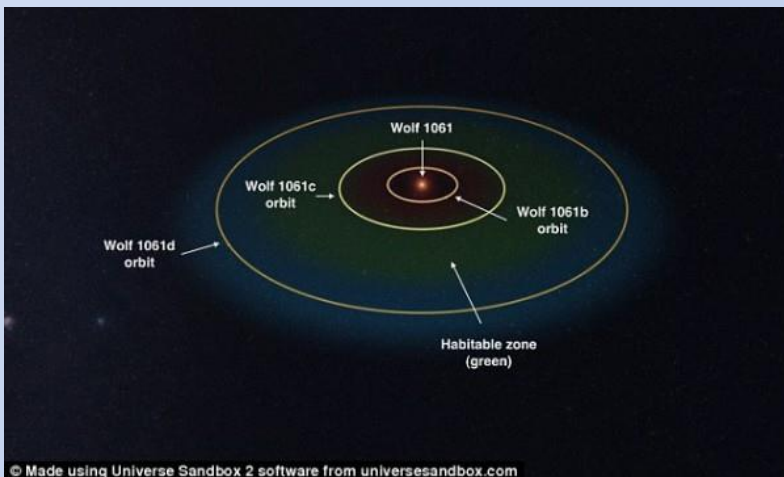
• **Проксима Центавра b** - екзопланета в системі червоного карлика Проксима Центавра, найближчої до Сонця зірки. Вона в сім разів менша Сонця і лише на п'ятдесят відсотків більша Юпітера. А ще вона у вісім разів легша Сонця. Розташована на відстані близько 4,25 світлових років (1.3 парсека або 40 трлн км) від Землі у сузір'ї Центавра. **Проксима Центавра b на сімнадцять відсотків більша за Землю і на десять важча. За оцінками дослідників, планета перебуває в зоні Золотоволоски, тобто зоні де можливе життя.**

• Австралійські науковці кажуть, що визначили одну з найближчих до нас планет поза Сонячною системою, на якій потенційно може бути життя. **Небесне тіло Wolf 1061C лежить у 14 світлових роках від Землі.** Це одна з найближчих зоряних систем до нас - вона на 36-му за близькістю місці від нашої Сонячної системи. Wolf 1061C червоний карлик, прохолодніший за наше Сонце.

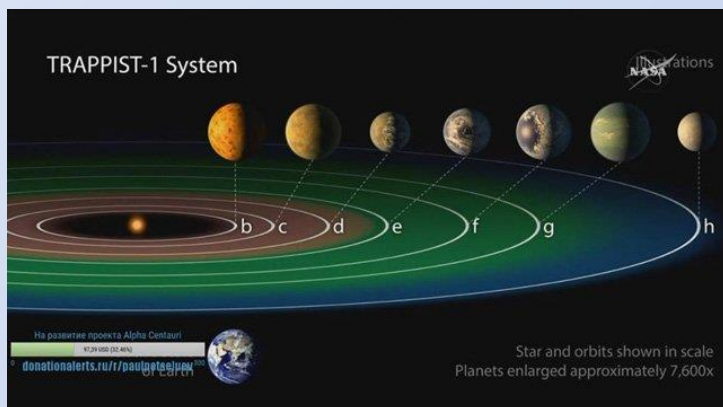
• Група науковців з Університету Нового Південного Вельсу відкрила планету, проаналізувавши дані про віддалені зірки, зібранні Європейським телескопом у Чилі. **Керівник дослідження доктор Дункан Райт говорить, що орбіта планети проходить на оптимальній відстані від зірки - такій, щоб на ній могла бути вода і життя.**

• Проксима Центавра b

• Симуляція сонячної системи зірки Wolf 1061C свідчить, що планета C 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

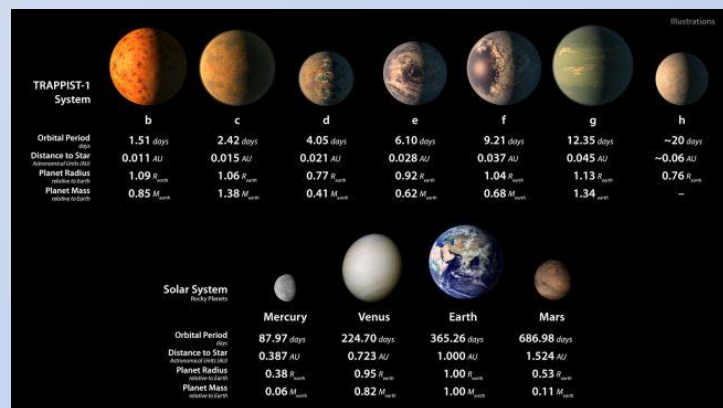


СИСТЕМА TRAPPIST-1

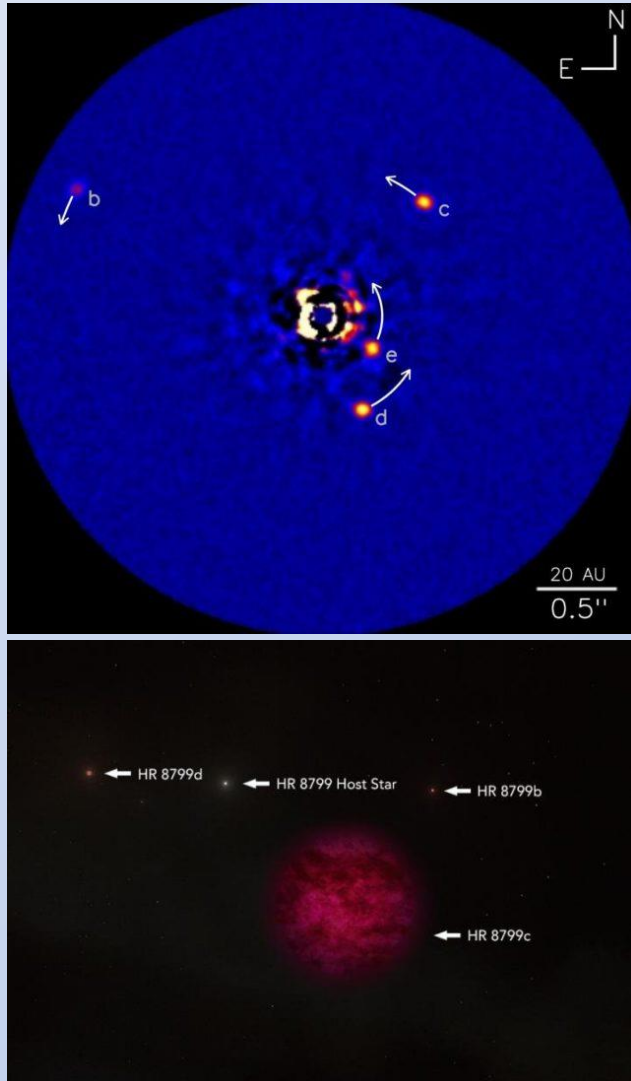


• **Астрономи виявили цілих сім землеподібних кам'янистих планет біля зірки TRAPPIST-1** - «надхолодного» червоного карлика, розташованого приблизно в 39 світлових роках від нас, в сузір'ї Водолія. Ця зірка має поверхневу температуру близько 2550 кельвінів, а її маса досягає всього лише 0,08 маси Сонця. 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.**



ВОДА НА ЕКЗОПЛАНЕТАХ



•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.

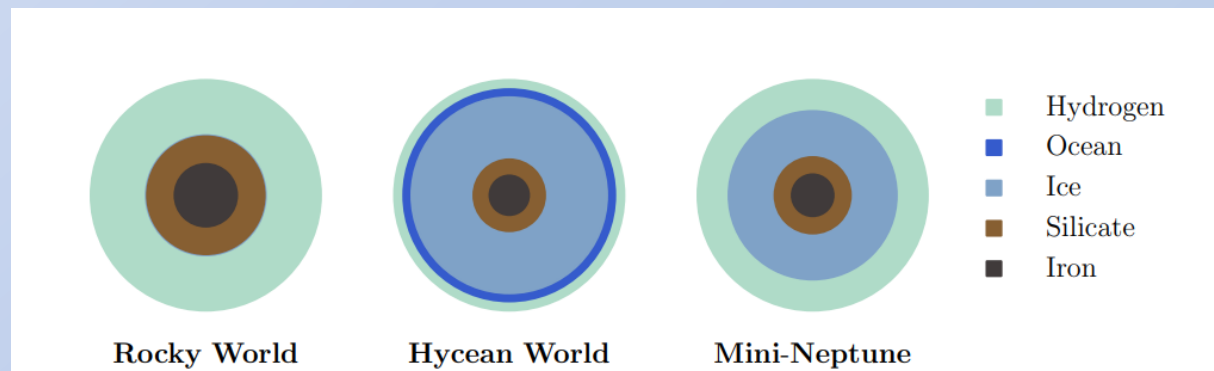
•Команда вчених вже працює над наступним новітнім інструментом в Обсерваторії Кека, який називається KPIC (Keck Planet Imager і Characterizer). *KPIC також буде використовувати адаптивну оптику і спектроскопію, проте з його допомогою астрономи зможуть вивчати планети, світло яких значно слабше і які знаходяться набагато ближче до своєї зірки, ніж HR 8799c.* Така технологія, здатна відобразити цю планету, буде використовуватися і на наступних телескопах.

ПЛАНЕТИ ГІКЕАНИ

• У 2021 р. був вперше запропонований *новий клас екзопланет, що мають переважно водневі атмосфери і вкриті глибокими до сотень 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*. Станом на 2023 р. підтверджених гікеанів немає, але місія "Кеплер" виявила безліч кандидатів.

• Гікеани можуть бути значно більшими, ніж попередні оцінки розмірів для населених планет, з радіусами, що досягають $2,6 R_{\oplus}$ ($2,3 R_{\oplus}$) 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 більше Землі.

ПЕРША ПЛАНЕТА ГІКЕАН

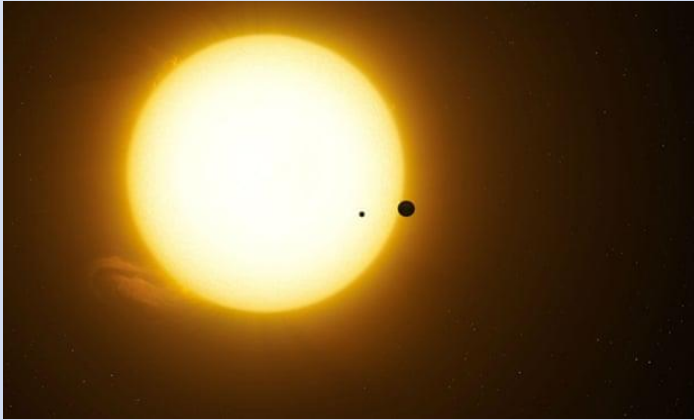


• **K2-18 b, також EPIC 201912552 b - екзопланета у червоного карлика K2-18.** Вона була виявлена в 2015 р. космічним телескопом Kepler, ставши однією з більш ніж 1200 екзопланет, виявлених під час місії «Second Light». **Знаходиться на відстані 124 світлових років від Землі, обертається навколо зірки за 33 дні та, можливо, містить у атмосфері воду.** За масою класифікується як суперземля. Занадто низька середня густина $2,4 \pm 0,4 \text{ г/см}^3$ 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 проживання, 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 диметилсульфіда, що може свідчити існування життя гіпотетичному океані з її поверхні.** У квітні 2025 року опубліковано результати додаткових вимірювань, які підтвердили значну ($\geq 10 \text{ ppmv}$) наявність в атмосфері **диметилсульфіду та/або диметилдисульфід.** 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.

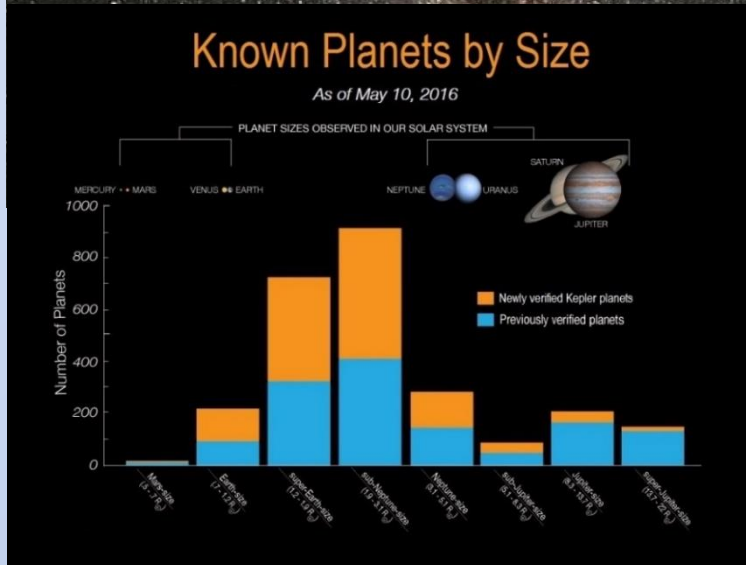
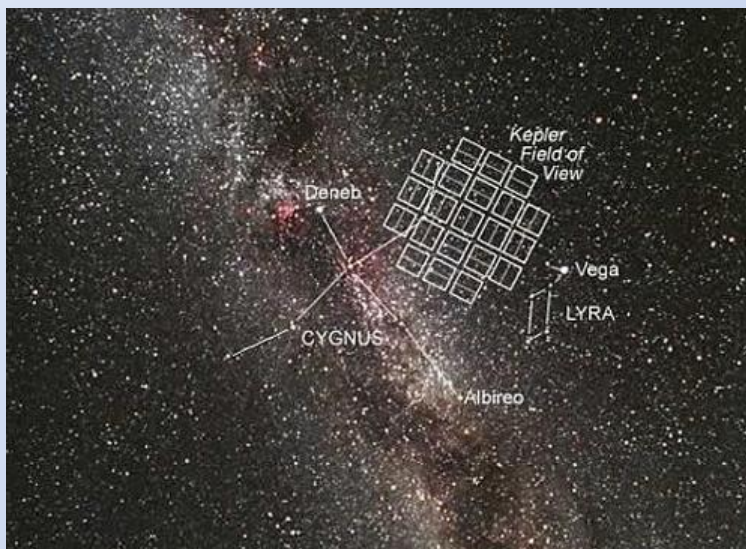
Хоча K2-18 b знаходиться в зоні проживання і містить вуглецевмісні молекули, **це не обов'язково означає, що вона придатна для життя.** Великий розмір планети - в 2,6 рази більше Землі - означає, що планета, ймовірно, має мантию з "льоду" високого тиску, як у Нептуна, але при цьому більш тонку атмосферу,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

ВИЯВЛЕНО ПЕРШИЙ СУПУТНИК ЕКЗОПЛАНЕТИ



•Астрономи вперше **виявили супутник планети 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.**

ПІДСУМКИ



Вчені провели облік відкритих екзопланет в нашій галактиці **Чумацький шлях**. Виявилося, що це число досить велике і давно перевалило за тисячі. Тільки космічний телескоп НАСА Кеплер (Kepler) всього за 136 днів роботи в 2011 році виявив 1235 екзопланет. І це після обстеження невеликої ділянки нашої галактики. У поле зору телескопу потрапило не більше чотирьохсоті частини небесної сфери. Конкретно та зона, де розташоване сузір'я Лебідь. 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 - більші ніж у шість разів більше Землі.**

Загальна кількість екзопланет в галактиці Чумацький Шлях за новими даними від 200 млрд., з яких від 11 до 40 мільярдів можливо є «землеподібними». При цьому близько декількох мільярдів з цього числа можуть бути в зоні життя. Вивчаючи дані, отримані за допомогою телескопів «Гайя» і «Кеплер», астрономи прийшли до висновку, що приблизно у кожній 10-ї зірці в нашій Галактиці, порівнянної з Сонцем, є планета, що є практично повним аналогом Землі. В кінці жовтня 2020 р. вчені підраховали загальну кількість можливо населених екзопланет в галактиці Чумацький шлях, їх число становить близько 300 мільйонів. Таким чином, Всесвіт заповнений життям і можливо розумним.

БІЛЯ ЗІРКИ KIC 8462852

СФЕРА ДАЙСОНА???

ШКАЛА КАРДАШЕВА

6 ТИПОВ ЦИВІЛІЗАЦІЙ

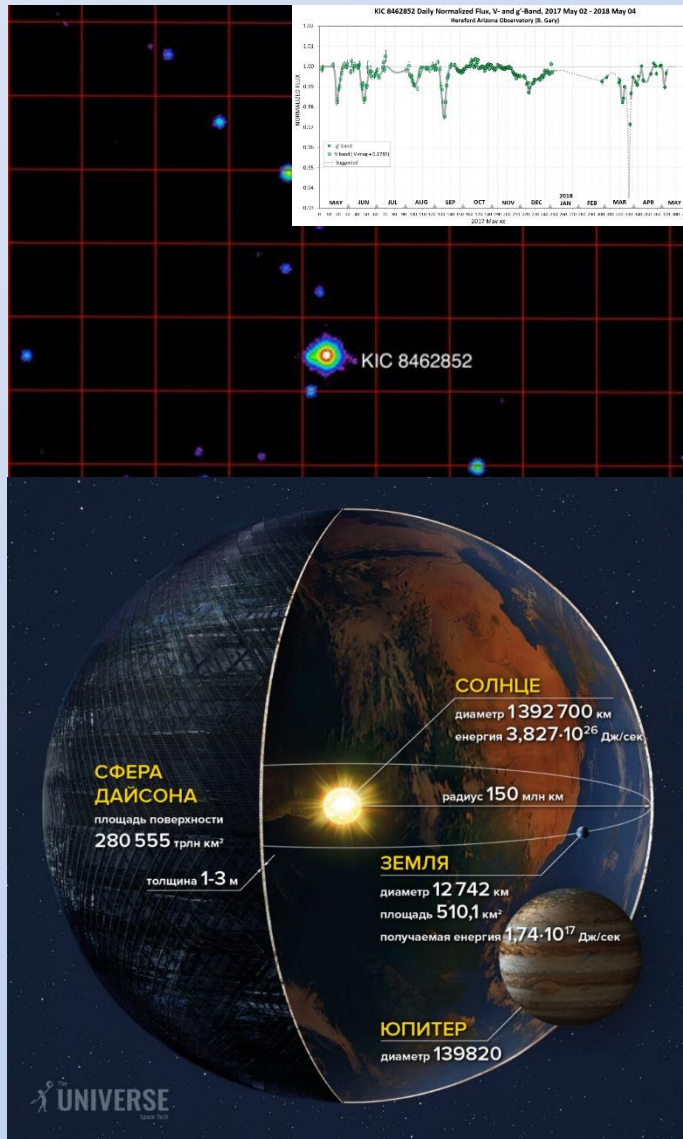


• **KIC 8462852** (зірка Таббі) - *оптично подвійна зірка в сузір'ї Лебедя. Знаходиться на відстані 1480 світлових років від Сонця.* Потенційний компаньйон являє собою, якщо перебуває на тій же відстані, маломасивну зірку $\sim 0,4 M_{\odot}$ спектрального класу M2V на відстані близько 885 а. о.

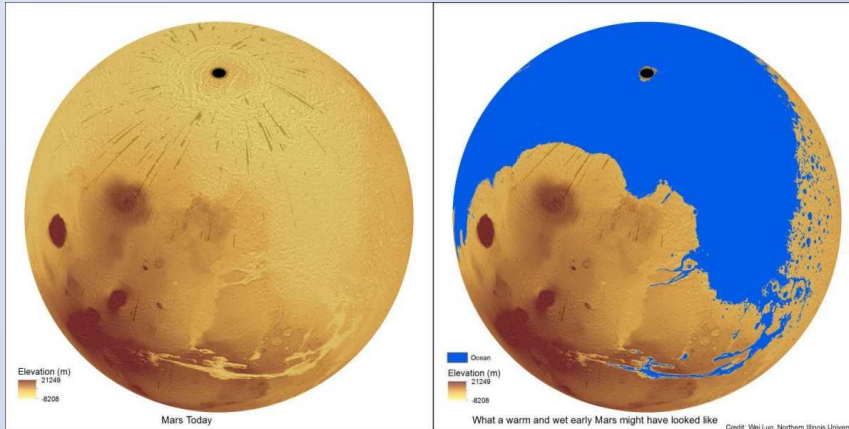
• *У вересні 2015 р. кілька астрономів опублікували результати досліджень змін світності зірки, які привернули увагу світових ЗМІ.* Реєстрація таких змін проводилася космічною обсерваторією Kepler, в рамках програми пошуку екзопланет. Зазвичай через проходження планети перед зіркою її світло незначно меркне на короткий час, що повторюється через регулярні інтервали. Проте зірка KIC 8462852 виявилася виключенням: *її світність падала на величину до 22 відсотків, причому такі падіння спостерігалися впродовж різних проміжків часу (від 5 до 80 днів), що призвело до появи великої кількості гіпотез.*

• *Мерехтіння KIC 8462852 може вказувати на спробу будівництва астроінженерних споруд типу сфери Дайсона або іншого набору гігантських об'єктів* (наприклад, колекторів світла), які високорозвинена неземна цивілізація побудувала для акумулювання енергії своєї зірки,

• *У 2024 р. група астрономів на чолі з Матіасом Суасо з Упсальського університету опублікувала результати пошуку кандидатів на сфери Дайсона в рамках проекту «Гефест», де було знайдено 7 можливих кандидатів.*



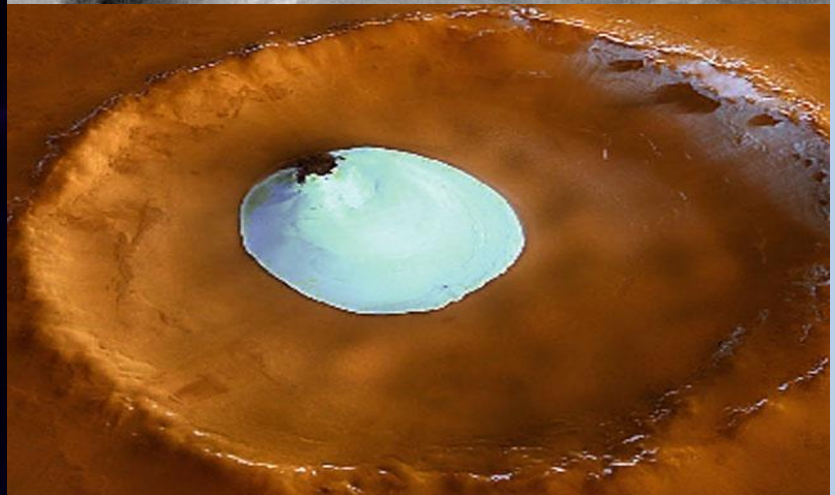
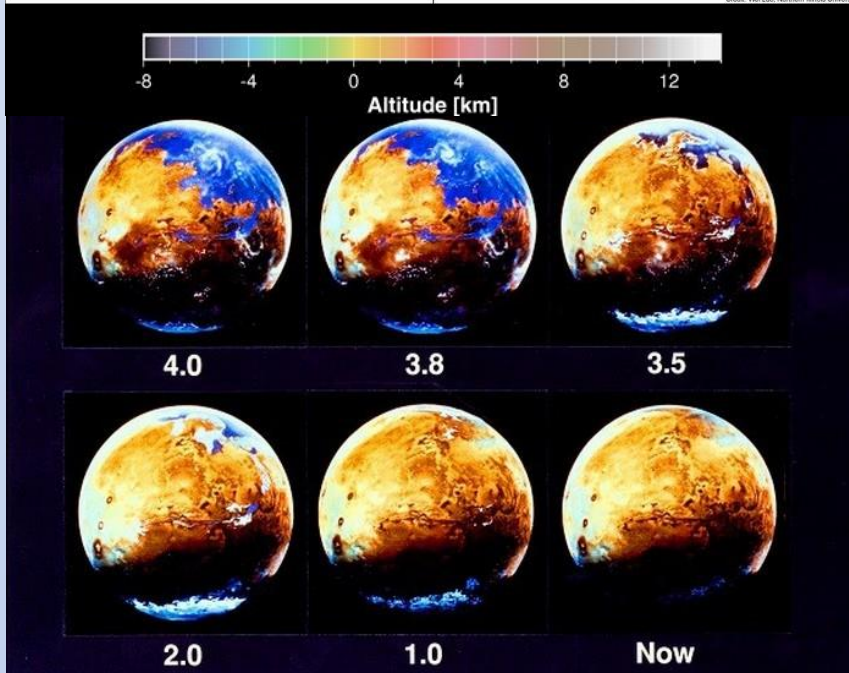
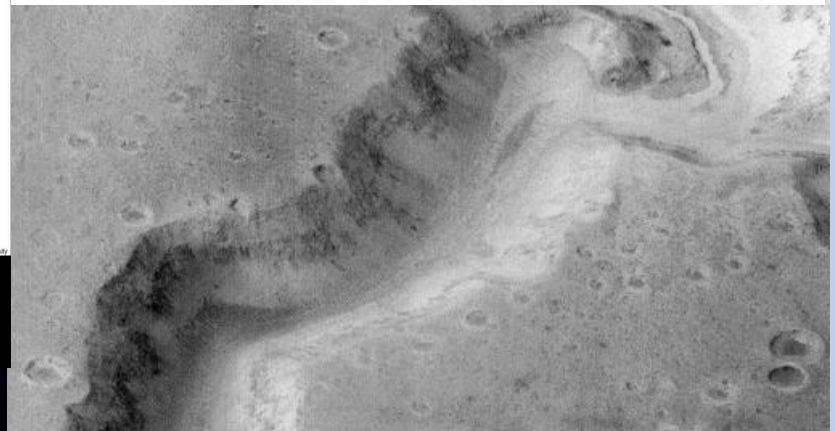
ЗАГАДКИ МАРСУ



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

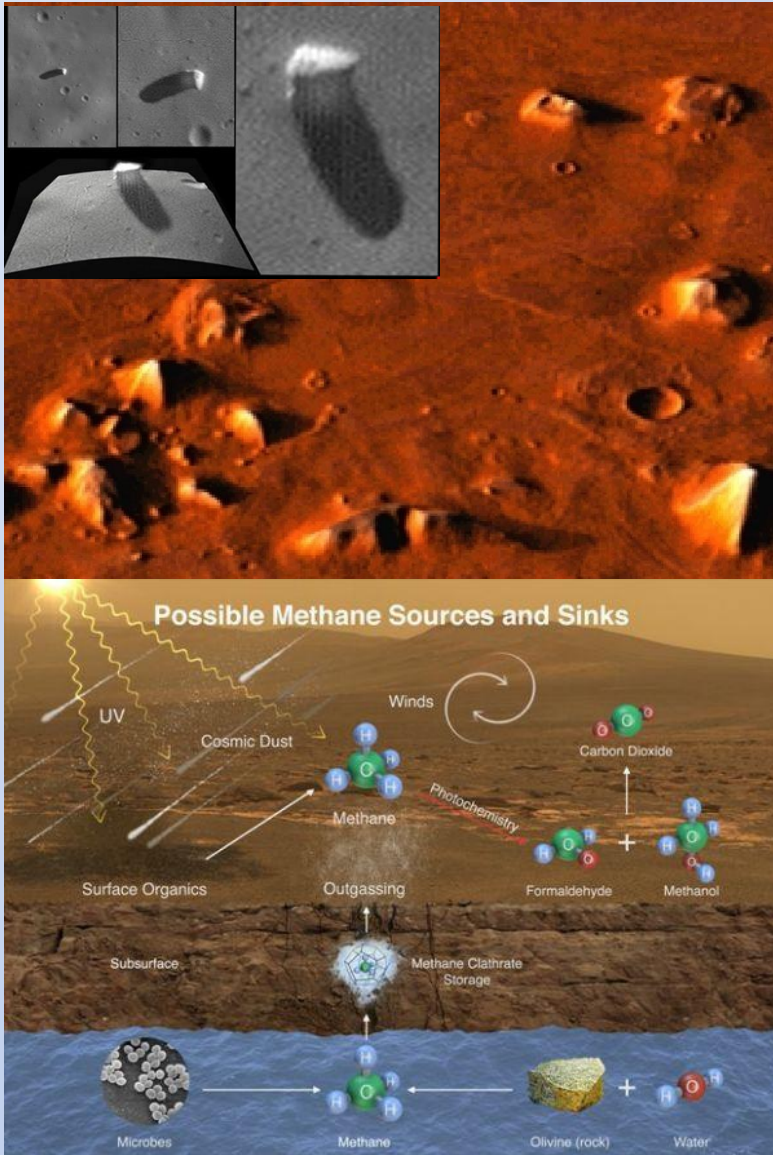
Сукупність водяних запасів планети Марс.

Русло річки, що висохла. Льодяне озеро на Марсі



ЗАГАДКИ МАРСУ

Марс на цей час досліджує 3 апарати на його поверхні та 8 на орбіті



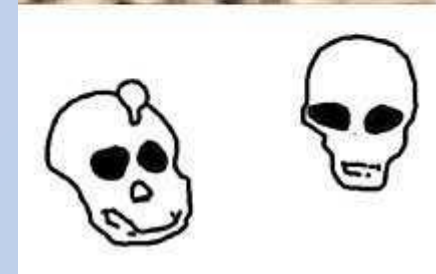
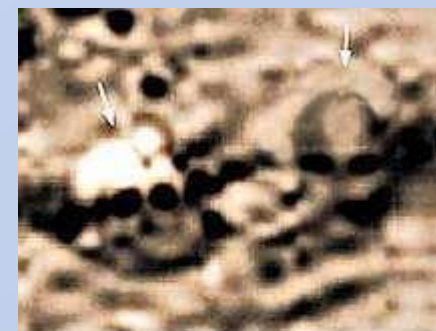
Район Марсу Сідонія

*Моноліт на супутнику Марса **Фобосі** (вставка)*

«Чорна дірка» (колодець) з діаметром більшим ніж 150 м на поверхні Марсу. Видно частину бокової стінки.

На Марсі виявлено органічні сполуки та метан концентрація якого змінюється залежно від пори року планети.

ЗАГАДКИ МАРСУ



*Літальний апарат? Ложка? на поверхні Марсу
Череп? у кратері Гусєва та у інших місцях
Знімки робота Spirit (Привід)*

ЗАГАДКИ МАРСУ

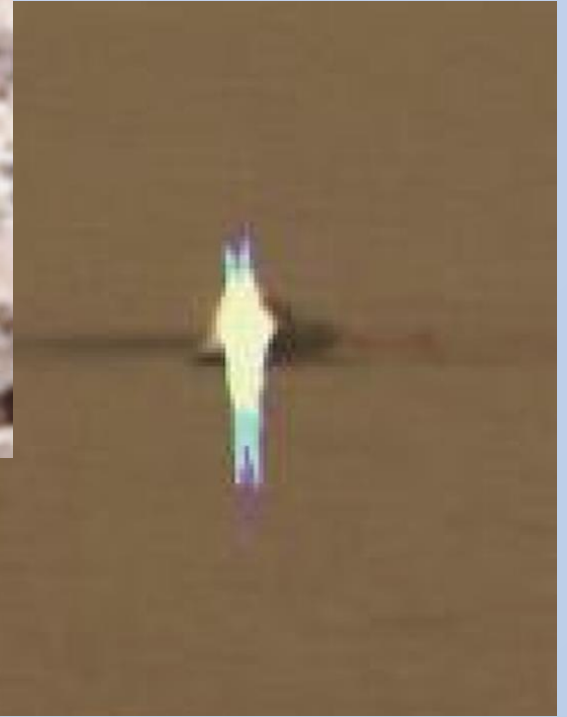
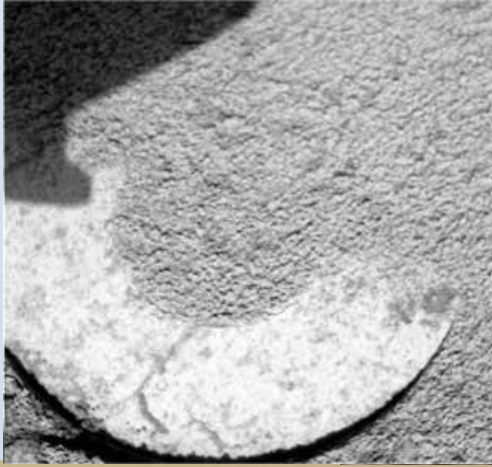


Статуетка? Монета?

Бункер?? Черепок?

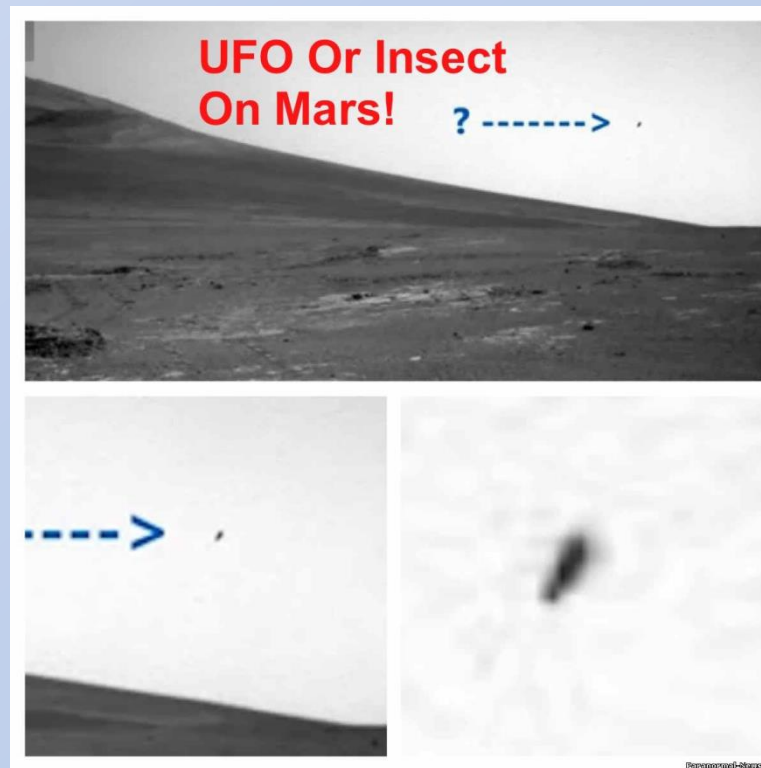
*У кратері Гусєва, знайдена 30 –
50-сантиметрова жіноча
фігурка (?) Скульптури???*

ЗАГАДКИ МАРСУ



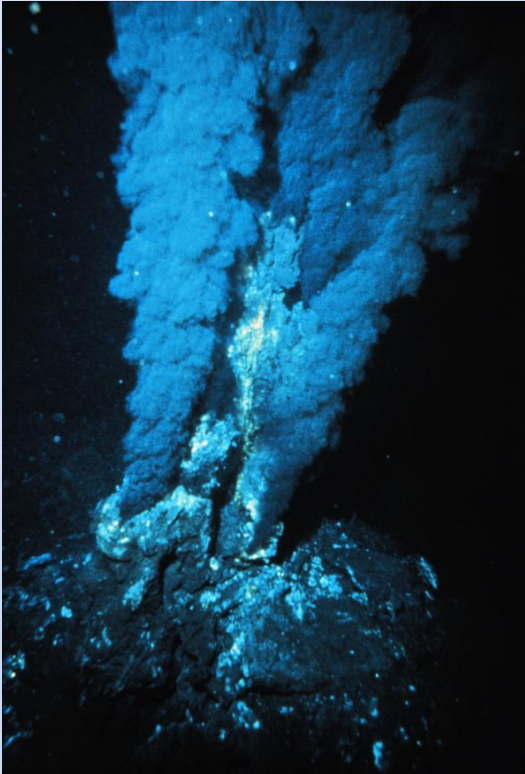
- *Лазерний диск? ДРОН?*
- *Статуя Будди???*
- *Польова істота??*

ЗАГАДКИ МАРСУ



Комахи на Марсі?

ЧОРНІ КУРЦІ



•**Гідротермальні джерела серединно-океанічних хребтів** (також відомі як **«чорні курці»**) - 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. 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 сході від Галапагоських островів. Гідротермальні океанічні джерела виносять розчинені елементи з океанічної кори в океани, змінюючи кору і роблячи значний внесок у хімічний склад океанів.

•Курці вивергають геотермальну воду температурою до 400 °С. Через великий тиск ця вода не кипить, а перебуває у надкритичному стані. Причина чорного кольору та каламутності - завись сульфідів металів. Стикаючись з океанською водою, геотермальна охолоджується, з неї першими випадають сульфіді заліза, міді та нікелю, пофарбовані в чорний. Саме з них утворюються труби курців. У процесі подальшого охолодження (200-300 °С) з геотермальної води випадають сульфіді цинку і марганцю, пофарбовані в білий, так що дно навколо "чорних курців" білого кольору. При повільному підйомі геотермальної води вона остигає до 300 °С ще до зіткнення з океанською водою, при цьому утворюються «білі курці» 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 році опубліковано дослідження, згідно з якими останній загальний предок усіх живих організмів (LUCA), який існував приблизно 3,8 млрд років тому, міг бути мешканцем саме гідротермального джерела.

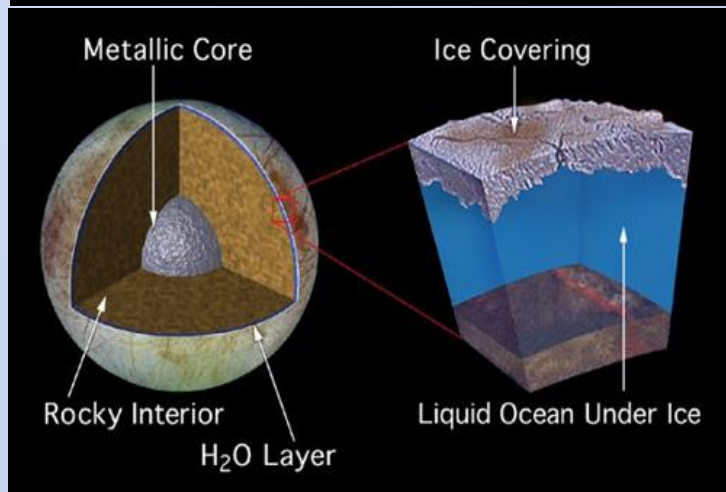
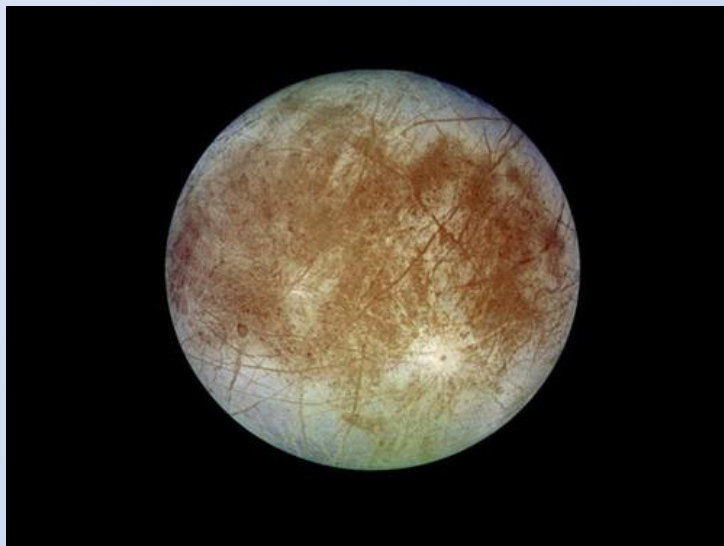
КЛЮЧОВІ ФАКТОРИ НЕОБХІДНІ ДЛЯ ВИНИКНЕННЯ ЖИТТЯ

•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, а **джерело енергії може мати не зоряне, а геотермальне походження**, 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 якого 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 використовується лише **бактеріями чи археями**. Це було відкрито 1887 року російським ученим З. Н. Виноградським. Мікроорганізмів, здатних до хемосинтезу, Виноградський називав аноргоксидантами. Назву хемосинтез ввів німецький хімік і ботанік Вільгельм Пфєффер у 1897 році.

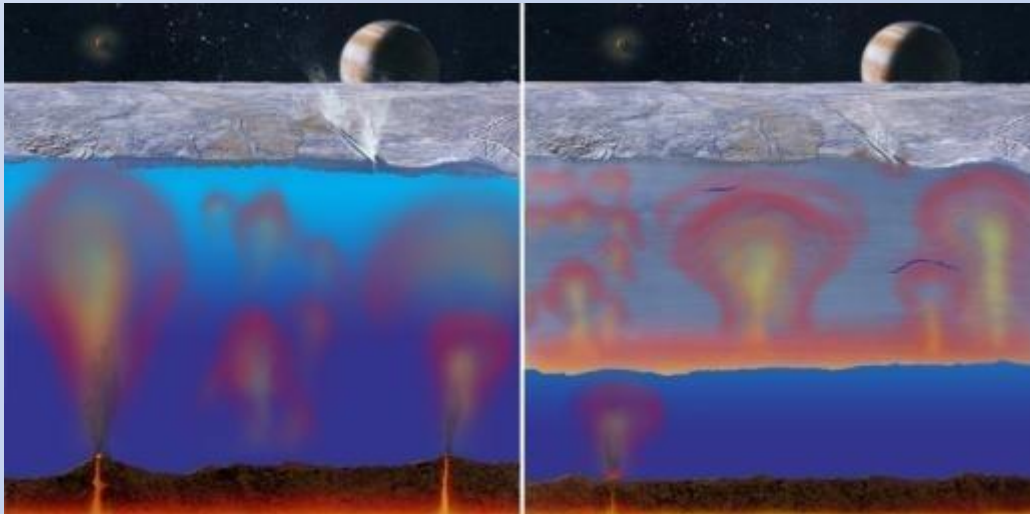
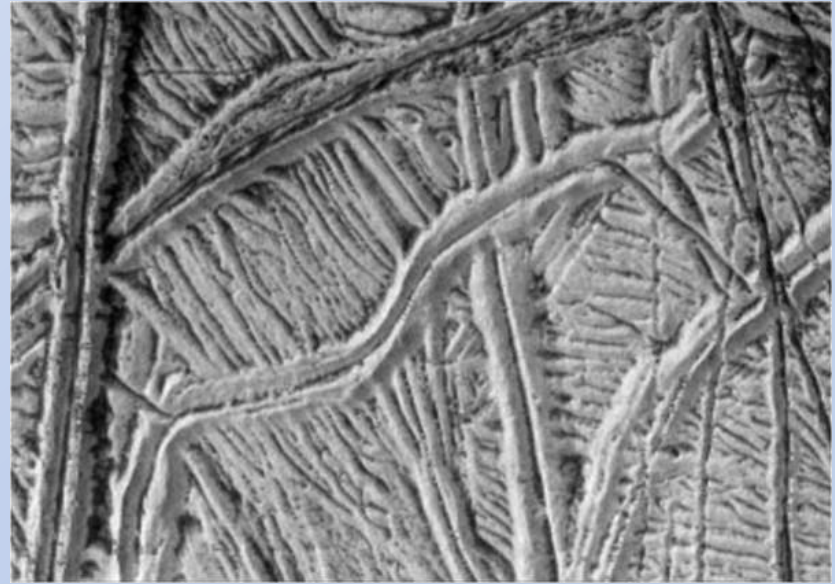
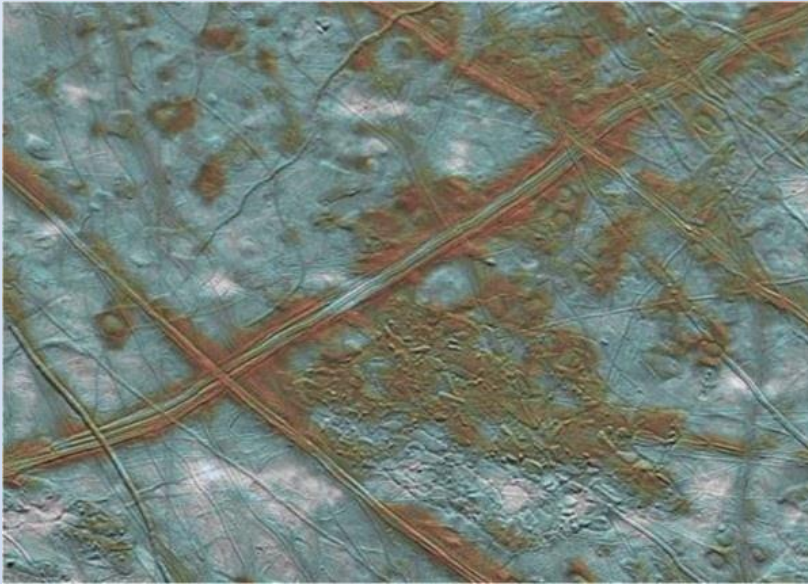
•Хемосинтезуючі організми (наприклад, серобактерії) можуть жити в океанах на величезній глибині, в тих місцях, де з розломів земної кори у воду виходить сірководень. Звичайно ж, кванти світла не можуть проникнути у воду на глибину близько 3-4 кілометрів (на такій глибині перебуває більшість рифтових 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 їх трофосомах для зв'язування діоксиду вуглецю (використовуючи сірководень як джерело енергії) продукування цукрів і амінокислот. За сучасними оцінками, **біомаса «підземної біосфери», що перебуває, зокрема, під морським дном і включає хемосинтезуючих анаеробних метанокисляючих археобактерій, 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.

ОКЕАНИ ЕВРОПИ



Європа (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.

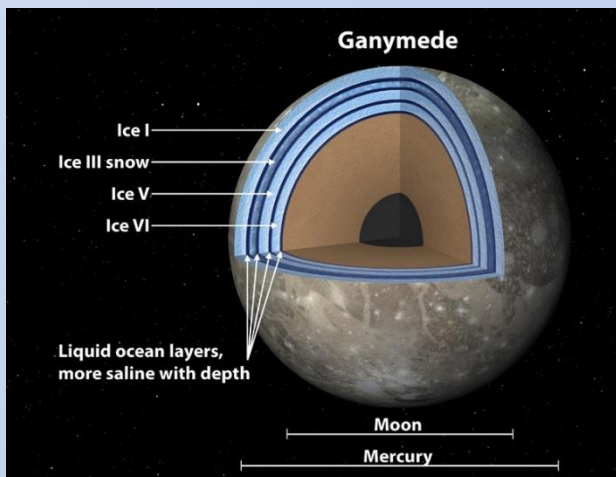
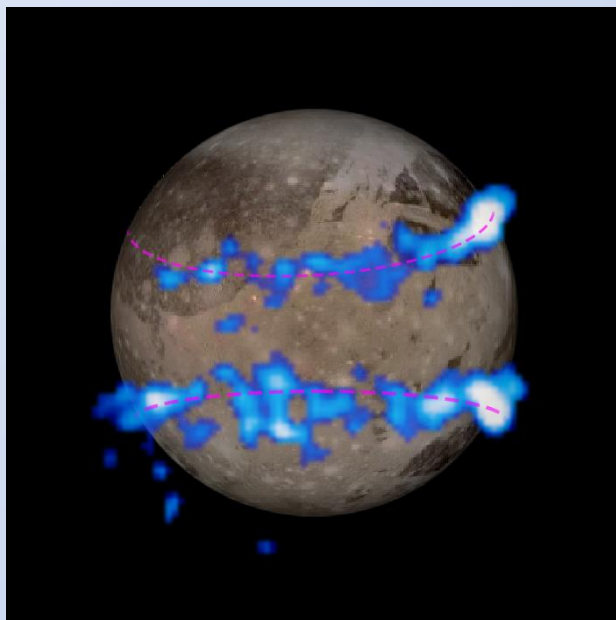
ОКЕАНИ ЕВРОПИ



На рисунку система гірських хребтів і розломів на крижаній поверхні супутника Юпітера, Європи. 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.

Підлідний океан на супутнику Юпітера Європі

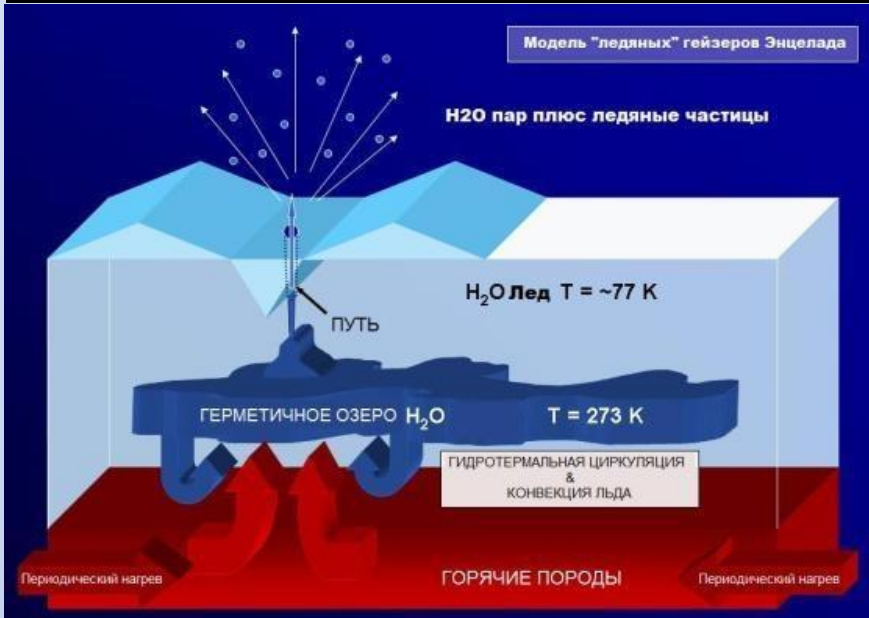
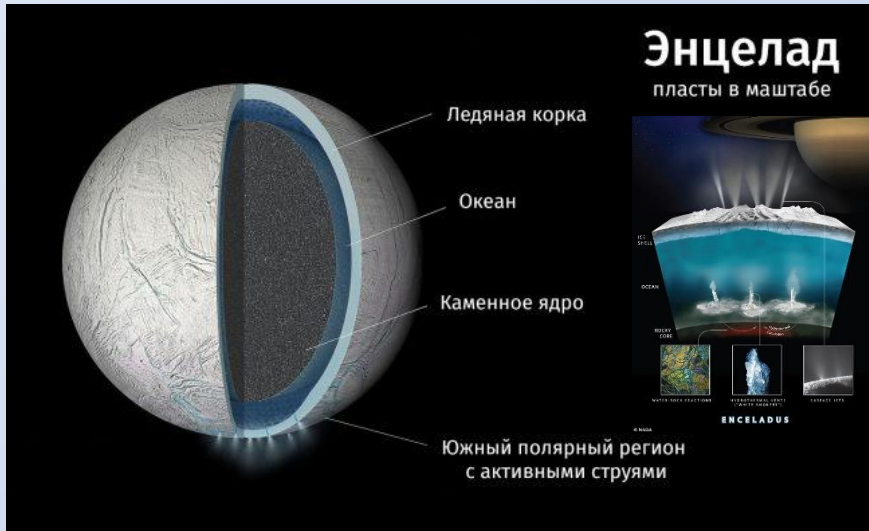
ОКЕАНИ ГАНІМЕДУ



•Космічний телескоп НАСА Хаббл отримав найкращий доказ *присутності підземного океану на Ганімеді, найбільшому супутнику Юпітера. 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. Через близьке сусідство з Юпітером, воно також укладене в магнітне поле Юпітера. При зміні магнітного поля Юпітера, полярні сяйва на Ганімеді також змінюються, спостерігаються своєрідні "гойдалки", туди і назад. Спостерігаючи за «гойдалками» двох полярних сяйв, вчені змогли визначити наявність великої кількості солоної води, існуючої під корою Ганімеда, яка впливає на його магнітне поле.

•*Вчені підраховали, що глибина океану становить 100 кілометрів (60 миль) це в 10 разів глибше, ніж океани Землі. Океан похований під 150 кілометровим (95 миль) шаром земної кори в основному льоду.*

КРІОВУЛКАНИ ЕНЦЕЛАДУ

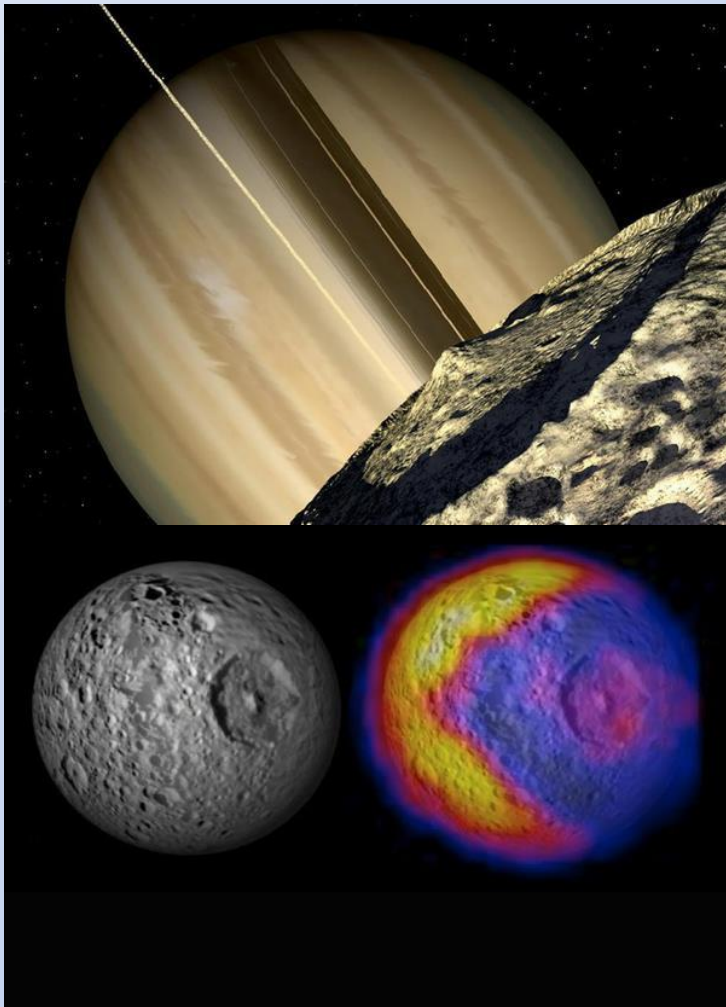


•**Энцелад** - шостий за розмірами супутник Сатурна. Завдяки спостереженням космічного апарата «Вояджер» було встановлено, що **діаметр Энцелада складає приблизно 500 км** (близько 0,1 від діаметра найбільшого супутника Сатурна Титана) і що поверхня Энцелада відбиває майже все падаюче на неї сонячне 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 E). У 2019 р. у викидах крижаного пилу з надр Энцелада 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 Энцеладі 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 Энцеладі існує підльодний океан де можливе життя.**

ОКЕАН МІМАСУ



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

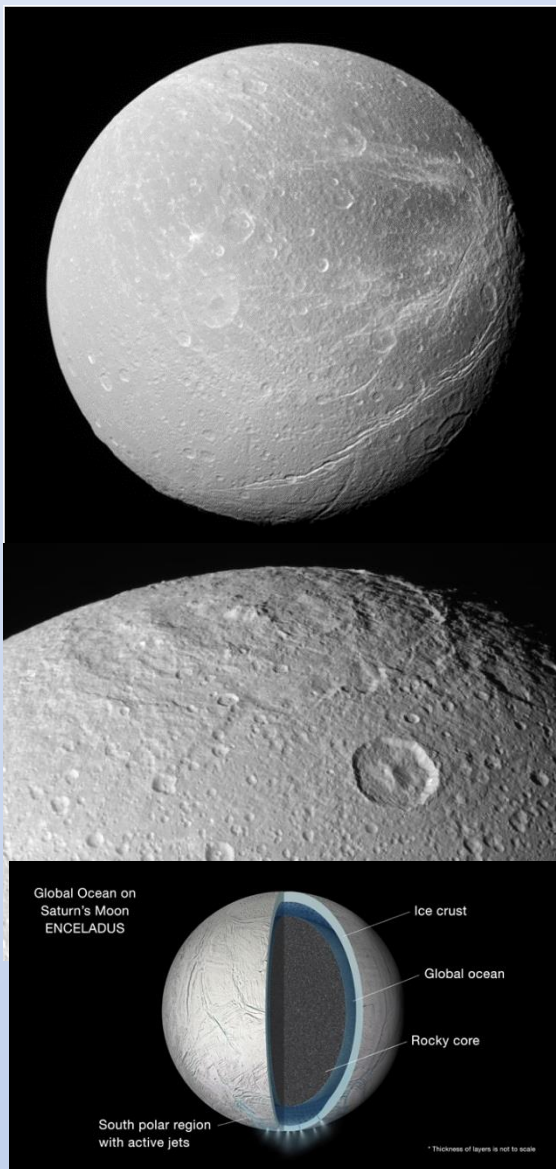
• Супутник був відкритий в 1789 році англійським астрономом Вільямом Гершелем і відомий кратером Гершель на своїй поверхні, який становить майже третину діаметра самого Мімаса.

• 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.

ОКЕАН ДІОНИ



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 і 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 проявилось 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 розвинути мікробне життя.

СУПУТНИКИ УРАНА

Астрономи вважають, що **деякі супутники Урана** 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 вивертатися не потоки лави, як на Землі, а заморожена солоня 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. На Церері було виявлено яскраві плями, пов'язані з викидами замороженої рідини, що, найімовірніше, походить з підземного резервуара. 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 солоня 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.

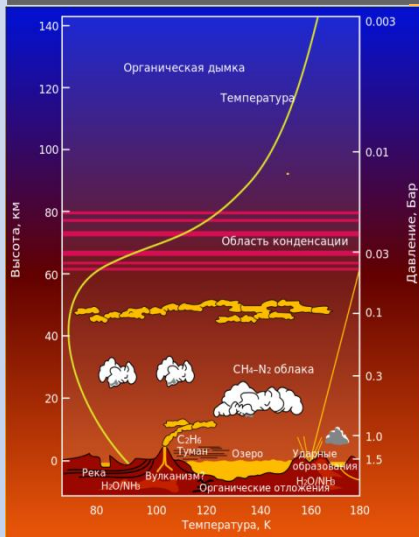
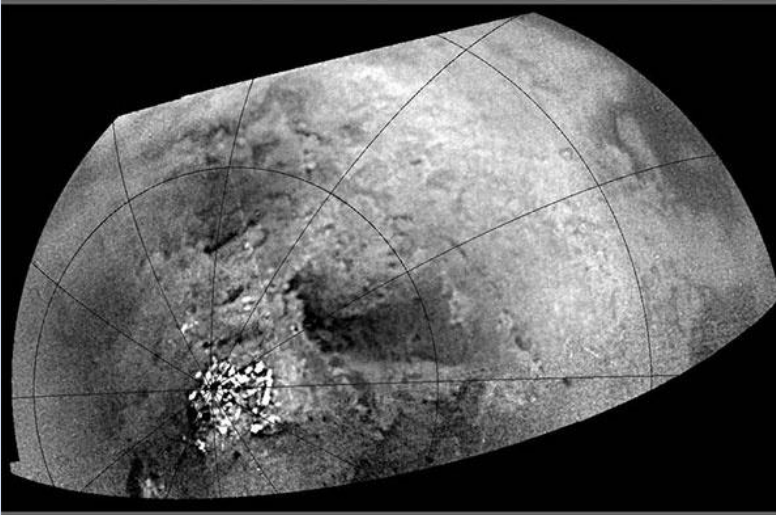


Оберон — другий за розміром та масою супутник планети Уран, дев'ятий за масою супутник планет Сонячної системи.

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

ДОСЛІДЖЕННЯ ТИТАНУ

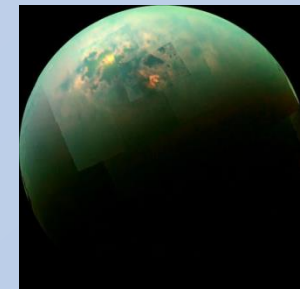
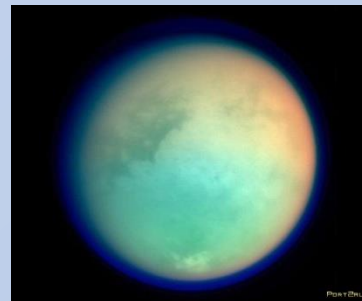
Южная полярная область Титана ("Кассини", НАСА, 2 июля 2004)



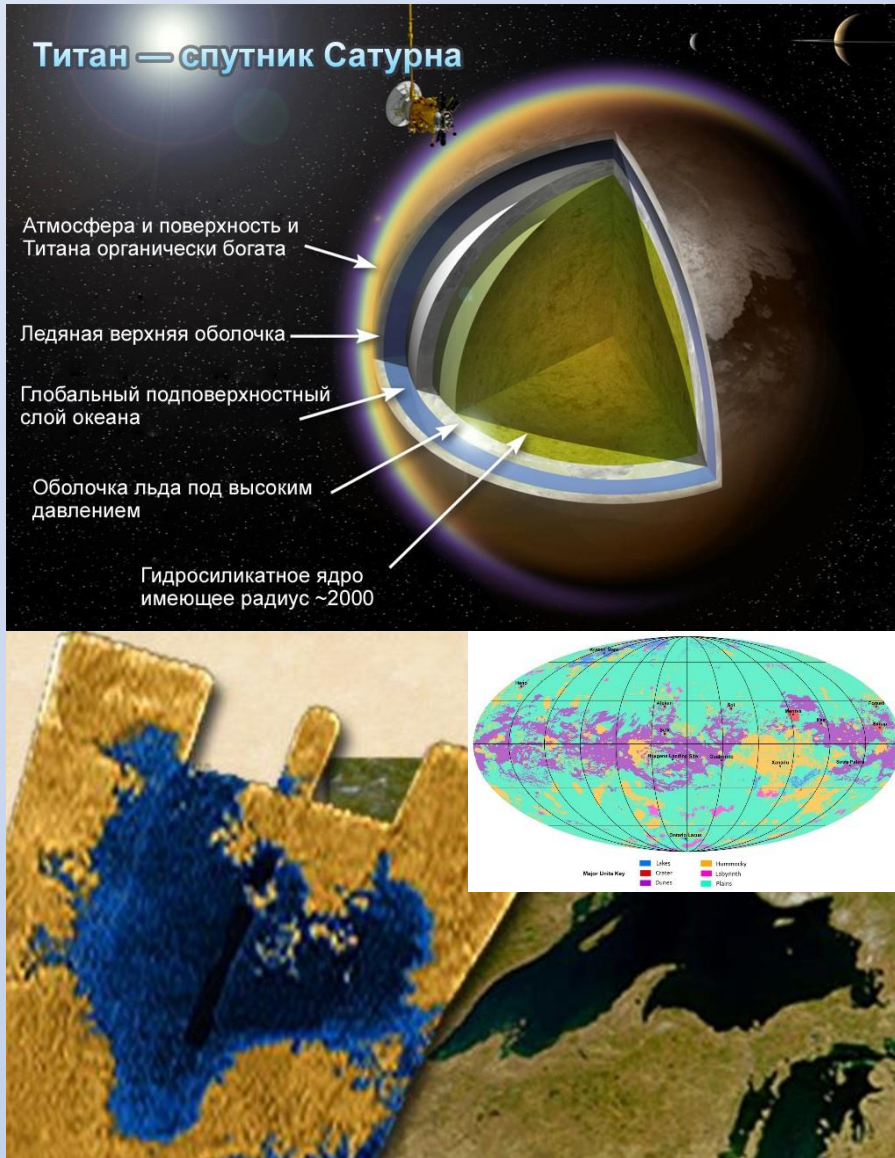
Титан - найбільший за розміром з 63 супутників **Сатурна** і другий за розміром (після Ганімеда) у Сонячній системі. Діаметр Титана наполовину (4400 км) більший діаметру Місяця, при цьому цей супутник на 80 відсотків перевершує супутник Землі за масою.

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 °С. 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.

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



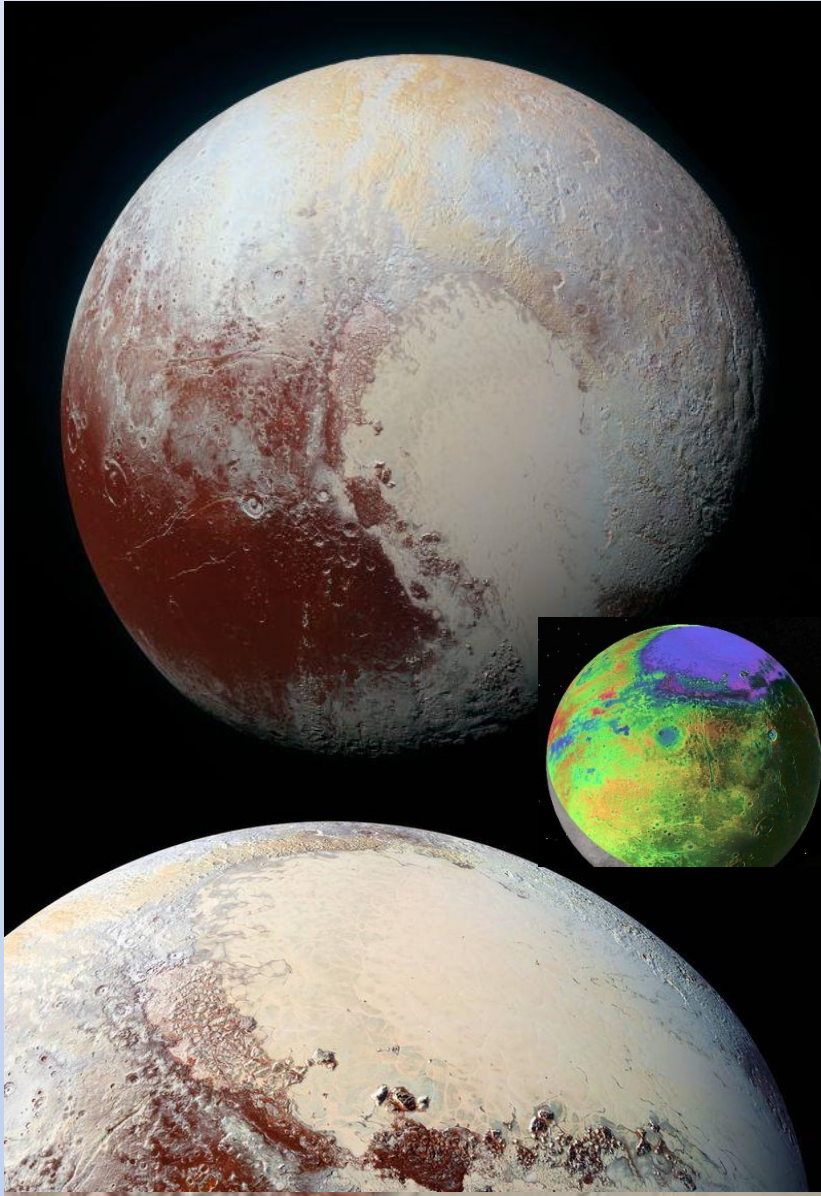
ОКЕАН ТИТАНУ



• 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.

Озера рідких вуглеводнів на поверхні Титану

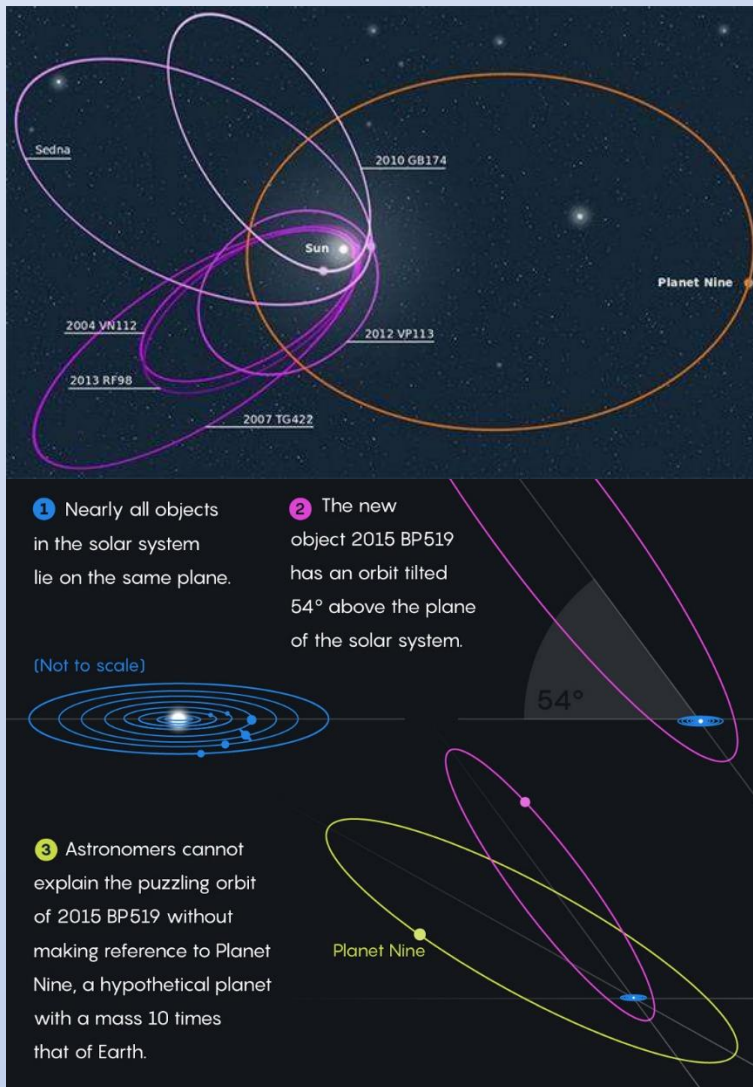
ПЛУТОН



• **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 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.**

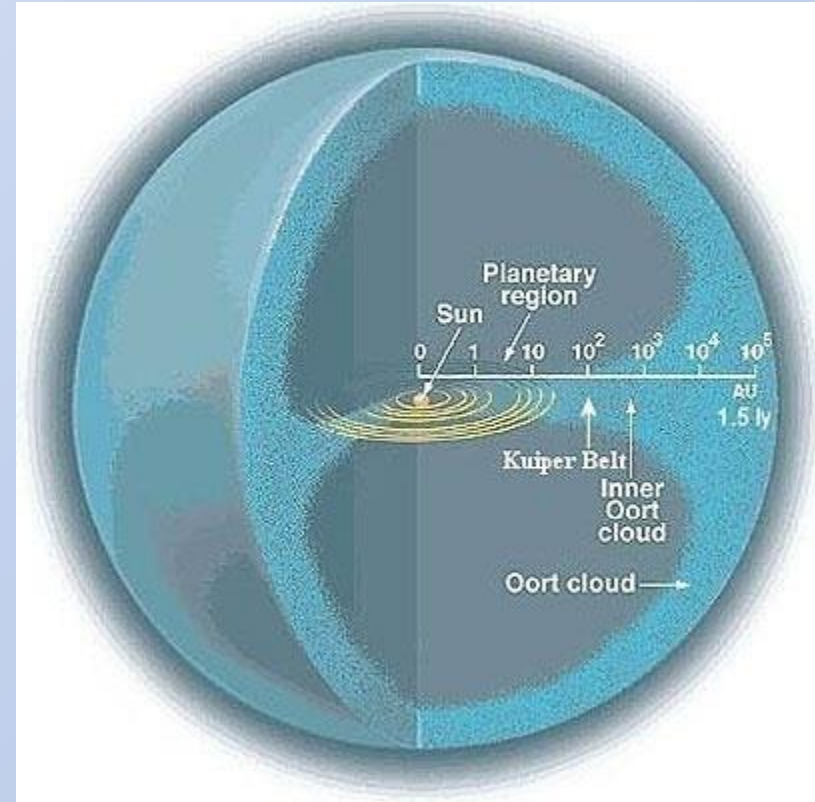
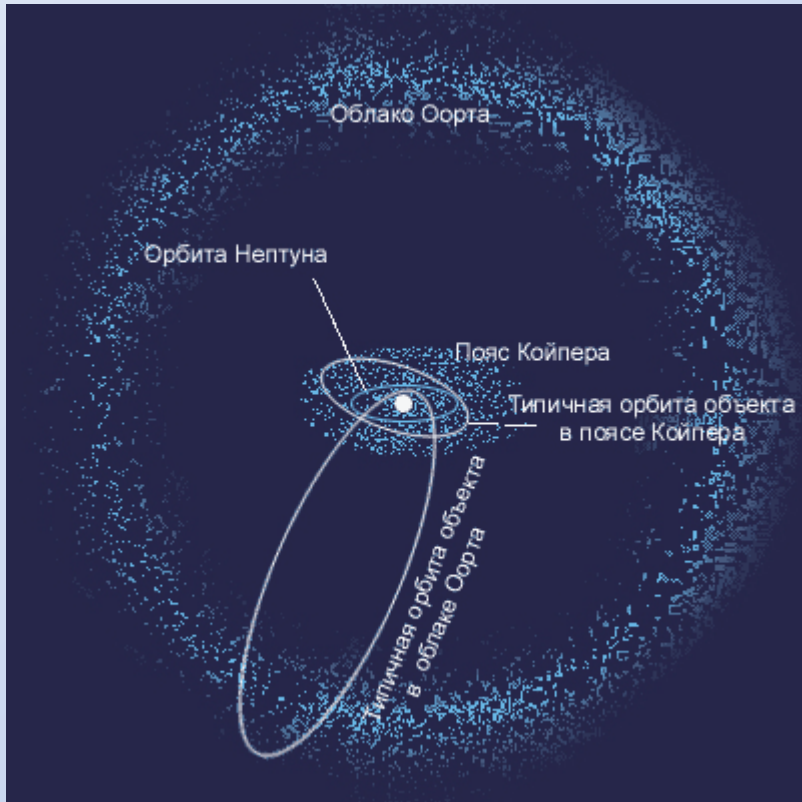
9 ТА 10 ПЛАНЕТИ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ



•Карлос де ла Фуенте 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 X** (в старовинних легендах Нібіру) до Сонця приблизно 41 мільярд кілометрів, а ось за вагою вона перевищує Землю **раз в десять.** Вважається, що **один оберт навколо Сонця планета здійснює за 15 тисяч років.**

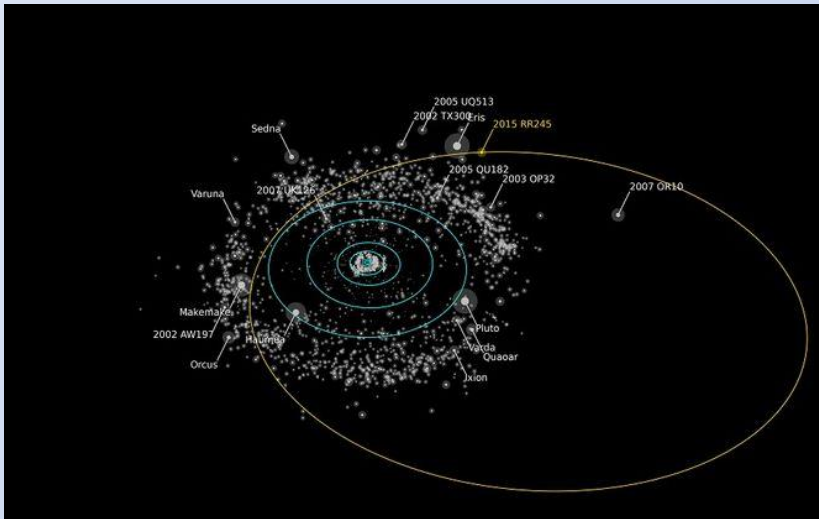
•Не так давно, до речі, виявлено, що **нових планет на околиці нашої системи може бути не одна, а дві.** За інформацією американського фахівця Кетрін Вовк, зафіксований ряд аномалій, які пояснюються лише наявністю небесного тіла, подібного Марсу за розмірами. Вченими був розрахований оборот небесного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

ХМАРИ КОЙПЕРА І ООРТА



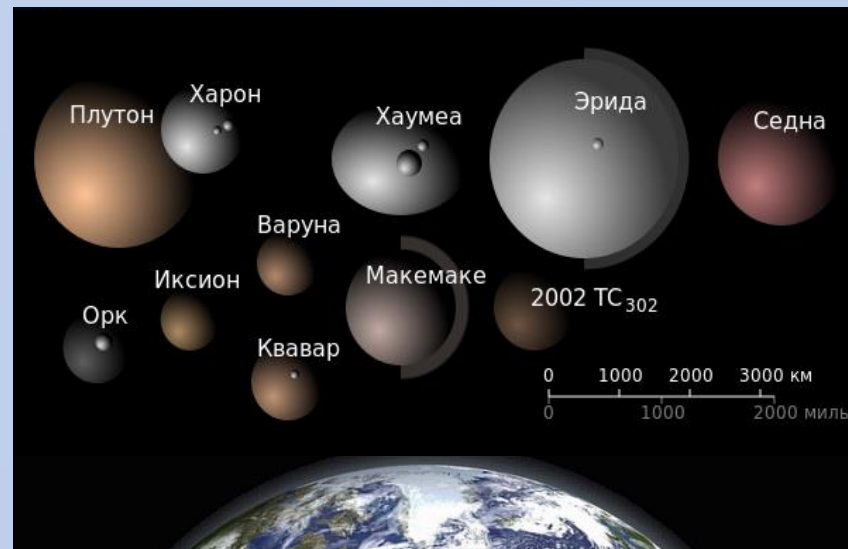
Хмара Оорта - гіпотетична сферична область Сонячної системи, яка служить джерелом довгоперіодичних комет. Відстань до зовнішніх кордонів хмари Оорта від Сонця становить від 50 000 до 100 000 а. о. - приблизно світловий рік. **Це дорівнює приблизно чверті відстані до Проксими Центавра, найближчої до Сонця 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

ПОЯС КОЙПЕРА

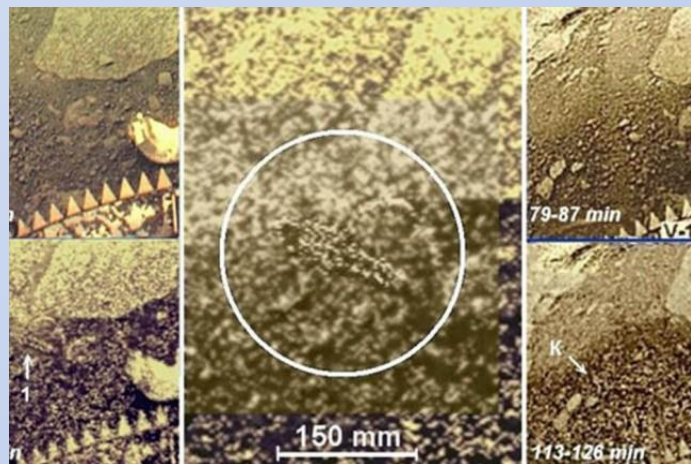
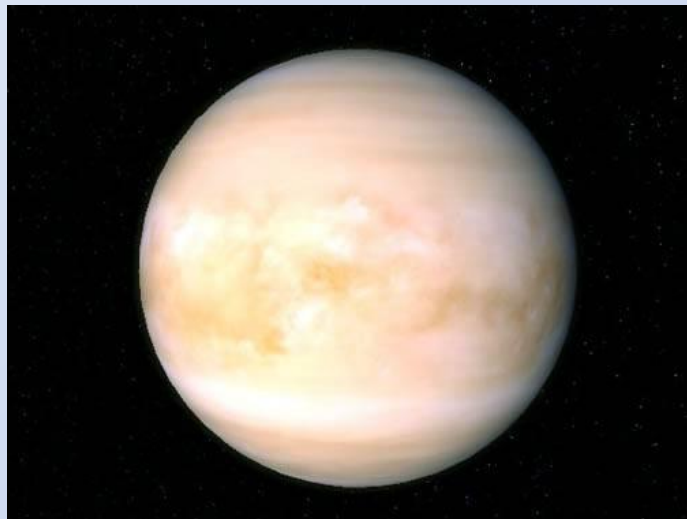


Пояс Койпера - область Сонячної системи від орбіти Нептуна (30 а. о. від Сонця) до відстані близько 55 а. о. від Сонця. Хоча пояс Койпера схожий на пояс астероїдів, він приблизно в 20 разів ширший і в 20-200 разів масивніший останнього. Як і пояс астероїдів, він складається в основному з малих тіл, тобто 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.**



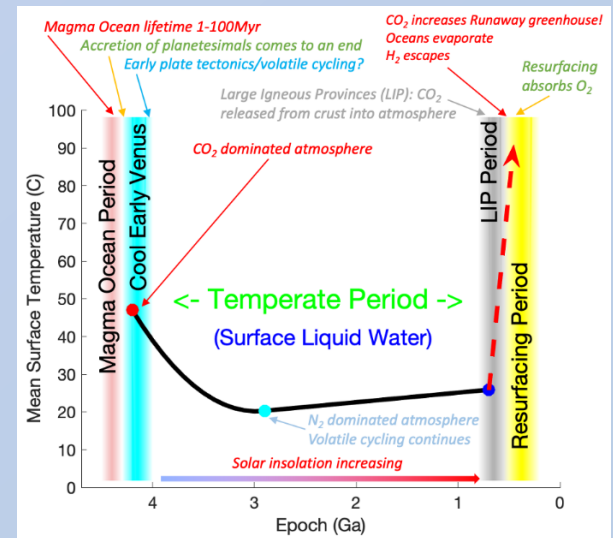
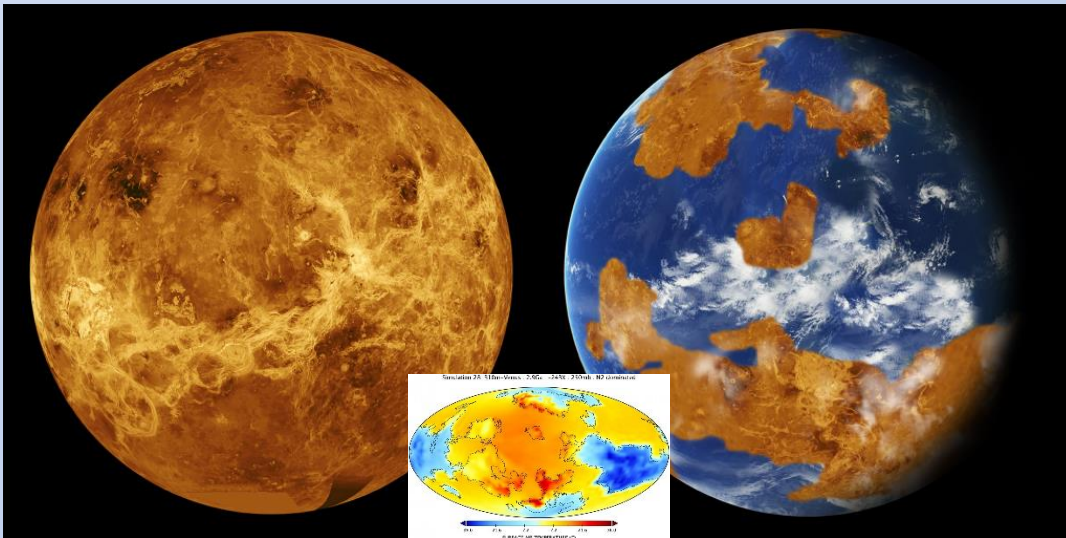
ВЕНЕРА



•**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 році «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 ґрунту.** 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.**

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.**



Дякую за увагу

