



Олександр Шевчук

Розповідь третя: Які ж вони — екзопланети?

Позначення та назви екзопланет

Сьогодні, згідно даних Міжнародного Астрономічного Союзу, немає загальноприйнятої системи найменувань для планет, що обертаються навколо інших зір. Відкритим екзопланетам присвоюють назви, що складаються з назви зорі, навколо якої обертається планета, і додаткової малої літери латинського алфавіту, починаючи з літери „b” (наприклад, 51 Пегаса b). Наступній планеті цієї ж планетної системи присвоюється літера „c”, потім „d” і так далі за алфавітом. При цьому літера „a” у назві не використовується, бо таке позначення застосовують для позначення самої зорі. Крім того, слід звернути увагу на те, що планетам присвоюються назви в порядку їхнього відкриття, а не в міру віддалення від зорі. Тобто, планета „c” може бути ближче розташованою до зорі, ніж планета „b”, просто відкрита вона була пізніше (як, приміром, у системі Глізе 876).

Наприклад, екзопланета 16 Сугні Bb є першою екзопланетою (про це свідчить літера b у позначенні), знайденою біля зорі з номером 16 у сузір’ї Лебеда (лебідь на латинській мові – Sturnus, родовий же відмінок запису-

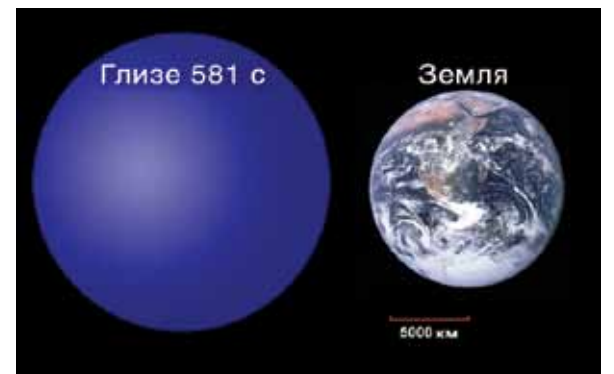
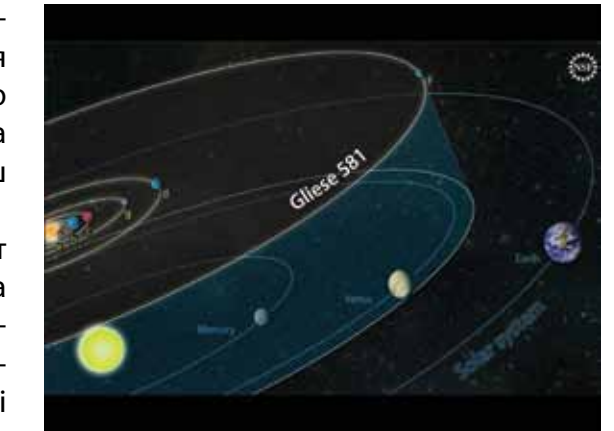
ється як Sturni). Літера B у позначенні вказує на те, що зоря є не поодинокую, а кратною зоряною системою, і відкрита екзопланета належить до більш слабкої зорі.

У позначеннях екзопланет трапляються і винятки. Справа в тому, що до відкриття системи 51 Пегаса у 1995 році екзопланети називали інакше. Перші виявлені екзопланети у пульсара PSR 1257 +12 були названі великими літерами PSR 1257 +12B і PSR 1257 +12C. Крім того, після виявлення нової, ближчої до зорі планети, вона була названа PSR 1257 +12A, а не PSR 1257 +12D. Згодом ці планети були перейменовані, щоб уникнути плутанини відповідно до сучасної системи іменування екзопланет.

Деякі екзопланети мають додаткові неофіційні „прізвиська” (як, наприклад, 51 Пегаса b неофіційно названа „Беллерофонт”). Проте в науковому співтоваристві нині присвоєння офіційних особистих імен планетам вважається недоцільним.

Зона життя

Зона життя в астрономії – область у космосі, поблизу зорі, де умови сприяють зародженню і розвитку життя, аналогічні умовам на Землі. Планети і супутники у цій зоні теоретично можуть бути населеними. Науковці вважають, що колонізація космосу на першому етапі охопить саме зону життя у Сонячній системі. Вважається, що у Сонячній системі зона життя займає проміжок від 0,95 до 1,37 астрономічних одиниць від Сонця. Для умов вуглецевого життя земного типу на планетах, що знаходяться в зоні життя, повинна бути вода в рідкому стані, оскільки вона потрібна для біохімічних реакцій. Крім того, необхідні певні температурні умови тощо.





Глізе 581 с, друга планета в системі червоного карлика Глізе 581 (20 світлових років від Землі), є прикладом екзопланети, яка теоретично може мати життя земного типу.

Зону життя розраховують на основі теоретичного співвідношення виведеного в астрофізиці, параметрами якого є потужність випромінювання Сонця та зорі, навколо

якої кружляють екзопланети. За цими параметрами із формули отримують $R_{\text{еф}}$ – радіус ефективної земної орбіти, тобто такої відстані від зорі, на якій температурно-радіаційний баланс збігається із температурно-радіаційним балансом на Землі. Що більше значення середнього радіуса R орбіти екзопланети (у випадку еліптичної орбіти – великої півосі цієї орбіти) відрізняється від $R_{\text{еф}}$ у бік перевищення цього параметра, то слабкіше освітлюється екзопланета материнською зорею, то нижча температура на поверхні планети, і навпаки. Отже, температурний режим на екзопланеті визначається відношенням $R/R_{\text{еф}}$. За значенням цього параметра екзопланети поділяють на: гарячі, дуже теплі, теплі, прохолодні, холодні, дуже холодні та крижані.

Прохолодна земля

Одним із найважливіших параметрів у класифікації екзопланет є маса екзопланети. Маса Землі за цим класифікатором прирівнюється до одиниці ($M_3 = 1$). У деяких публікаціях за одиницю вимірювання маси екзопланети приймають масу Юпітера ($M_{\text{ю}} = 1$; $M_{\text{ю}} = 311 M_3$). Якщо маса M екзопланети задо-



вольняє нерівність $0,3 < M/M_3 < 8$, то, як показують теоретичні моделі формування планет поблизу зір, екзопланета за своїм фізико-хімічним складом буде схожою на Землю. Тому такі екзопланети називають землями. Якщо ж виконується співвідношення $8 < M/M_3 < 60$ (самостійно переведіть його у форму $M/M_{\text{ю}}$), то умови формування екзопланети за своїм фізико-хімічним складом будуть нагадувати будову нашого Нептуна. Цілком природно, що такі екзопланети зараховують до категорії нептунів. Якщо ж $60 < M/M_3 < 4\ 500$ (самостійно переведіть його у форму $M/M_{\text{ю}}$), то умови на екзопланеті нагадують ті, які панують на наших Сатурні та Юпітері. Такі екзопланети належать до групи газових гігантів або, по-іншому, юпітерів. Якщо ж $M/M_3 > 4\ 500$, то такий об'єкт уже не буде планетою, він належатиме до категорії коричневих карликів.

Відповідно до цієї класифікації Юпітер і Сатурн є дуже холодними юпітерами, Марс – холодною землею, Земля – прохолодною землею, Венера – теплою землею, Меркурій – дуже теплою землею, а Уран – крижаним нептуну.

Отже, за значеннями класифікаторів $R/R_{\text{еф}}$ та M/M_3 можна поділити екзопланети на 21 категорію. Результати такого поділу представлені у таблиці. У сучасній астрофізиці є й інші підходи до класифікації екзопланет, окрім розглянутої.

Категорії та типи екзопланет

	$0,3 < M/M_3 < 8$	$8 < M/M_3 < 60$	$60 < M/M_3 < 4\ 500$
$R/R_{\text{еф}} > 12$	крижана земля	крижаний нептун	крижаний юпітер
$3 < R/R_{\text{еф}} < 12$	дуже холодна земля	дуже холодний нептун	дуже холодний юпітер
$1,3 < R/R_{\text{еф}} < 3$	холодна земля	холодний нептун	холодний юпітер
$0,8 < R/R_{\text{еф}} < 1,3$	прохолодна земля	прохолодний нептун	прохолодний юпітер
$0,4 < R/R_{\text{еф}} < 0,8$	тепла земля	теплий нептун	теплий юпітер
$0,1 < R/R_{\text{еф}} < 0,4$	дуже тепла земля	дуже теплий нептун	дуже теплий юпітер
$R/R_{\text{еф}} < 0,1$	гаряча земля	гарячий нептун	гарячий юпітер



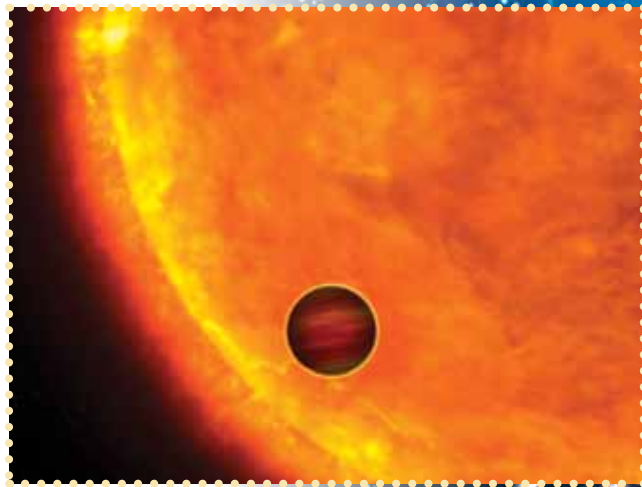


Пухка планета

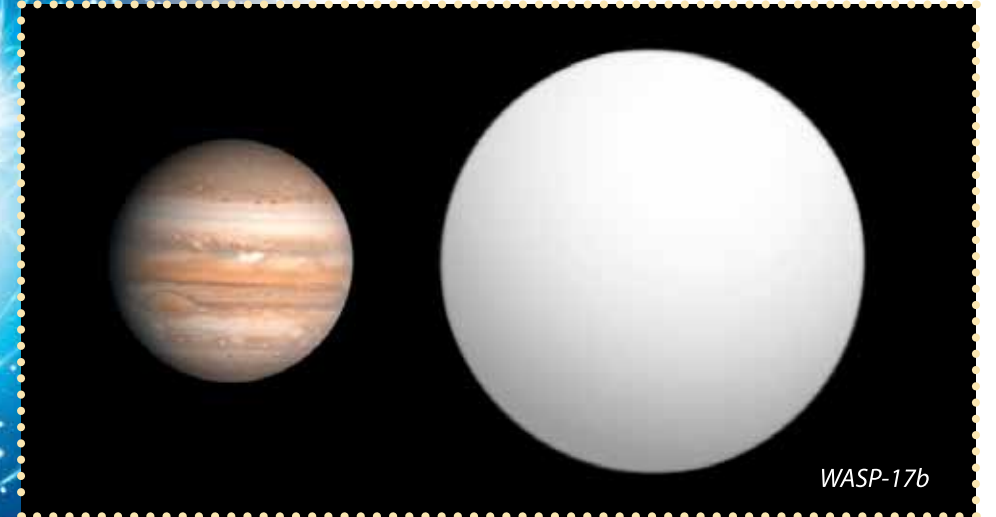
З усіх екзопланет, гарячі юпітери виявити найпростіше, бо вони вносять помітні короткоперіодичні збурення у рух зорі, що виявляються завдяки зміщенням ліній спектра. Крім того, доволі велика імовірність проходження екзоплани-ти перед диском зорі, що дозволяє за зменшенням її світності визначити розмір планети.

При дуже малій відстані від зорі та невеликій масі планети (менше 2 мас Юпітера) планета може втратити рівновагу від нагрівання, що призводить до її сильного термічного розширення і зменшення густини речовини планети. Така планета схожа на газову хмару і називається „пухкою” планетою (англ. – *puffy planet*). Пухка планета – клас планет, газових гігантів, густина яких менше $0,5 \text{ г/см}^3$. Для порівняння: густина Юпітера $1,326 \text{ г/см}^3$, Землі – $5,5 \text{ г/см}^3$.

Планети, які належать до класу гарячих юпітерів, розширюються у безпосередній близькості до материнської зорі. Гарячий юпітер знаходиться від своєї зорі на відстані близько $0,05 \text{ а. о.}$, тобто на порядок ближче, ніж Меркурій від Сонця. Що менша маса газового гі-



ганта, то нижча температура необхідна для того, щоб планета стала пухкою. Якщо маса планети в 2 рази менша за масу Юпітера, то її розігрів поблизу зорі настільки великий, що вона своєю гравітацією не може втримати свою атмосферу і саму себе від розширення. За такого розширення планету оточує хмара газу і пилу. Такі екзопланети зараховують до категорії тих, які випаровуються. Важкі планети (понад 2 маси Юпітера) пухкими не є, оскільки гравітація планети не дозволяє їм розширюватися, не зважаючи на розігрів.



WASP-17b

Типовими представниками такого виду екзопланет є HAT-P-1b, COROT-1b, TrES-4, і WASP-17b (ці екзопланети отримали свої позначення від назв космічних апаратів, які їх відкрили). Всі ці планети відкриті транзитним методом. Сьогодні найбільш розрідженою (тобто з найменшою густиною) є планета WASP-17b. Її маса – близько $0,5$ маси Юпітера, але розміри приблизно у 2 рази перевищують розміри Юпітера. Середня густина цієї екзопланети – $0,1 \text{ г/см}^3$, це менше за густину пінопласту.

