

ЕКЗОПЛАНЕТИ

або планетні системи поблизу інших зір

Впродовж тривалого часу питання, чи існують планетні системи біля інших зір, не давало спокою астрономам. Наявний парадокс — відсутність бодай якихось натяків на існування планет біля найближчих до Сонця зір — знаходив широкий спектр пояснень. На одному його кінці панувала думка про те, що планети насправді є, але спостережні засоби астрономів ще не такі досконали, щоб їх виявити. На другому кінці думка перебувала в полоні іншої ідеї: планети — це дуже рідкісне явище в космосі. Такий погляд нав'язувала, наприклад, гіпотеза походження планет англійського астронома Джінса. Згідно з нею, планети Сонячної системи утворилися зі струменя речовини, вирваного з Сонця зорею, що в якийсь момент проходила на відносно близькій відстані від Сонця. Оскільки зближення зір у нашій ділянці Молочного Шляху рідко дуже рідкісна (краще сказати — небачена), то й утворення планет, за теорією Джінса, теж виявлялось вкрай рідкісною подією. Заради справедливості зазначимо, що гіпотеза Джінса про походження нашої планетної системи була не єдиною — існували й інші гіпотези, суть яких не була такою категоричною щодо можливого походження інших планетних систем.

Як би там не було, але у ХХ ст. більшість астрономів вважали, що планетні системи поблизу інших зір, імовірно, існують, але спостережні докази цих припущень були відсутні. Така позиція не стримувала, до речі, прихильників пошуку життя у Всесвіті. Згадаймо, що було реалізовано декілька суто наукових проектів у цьому напрямку (ОЗМА Ф. Дрейком, послання позаземним цивілізаціям на космічних апаратах "Піонер" та

"Вояджер", зрештою, — SETI). Очевидно, що ініціатори і прихильники (а головне, фінансисти) цих проектів виходили з твердження про поширення планетних систем у космічному просторі.

Ситуація кардинально змінилася, коли в 1992 році Алекс Волчан знайшов одну (можливо кілька) планет поблизу пульсара. Пульсар ледь-ледь змінював своє положення на небесній сфері, очевидно, в результаті гравітаційного впливу близьких до нього, але невидимих з Землі об'єктів. Параметри коливань дозволили Волчану визначити сукупну масу цих об'єктів. Вона виявилась набагато меншою від маси, притаманної зорям, проте була в межах маси однієї дуже великої планети або кількох менших. Це відкриття не стало світовою сенсацією, але воно вказало шлях до пошуку планет біля інших зір.

Як відкривали екзопланети?

Одразу ж зазначимо, що пряме спостереження екзопланети (такий термін прийнято вживати щодо планет, які не належать до складу Сонячної системи) на кінець ХХ ст. було справою безнадійною. Адже планети світять тільки за рахунок відбитого ними світла своєї зорі, і їхнє випромінювання (наприклад, у Сонячній системі) у мільярди разів менше, ніж випромінювання самої зорі. Світло зорі просто затьмарює світіння планети. Та й теплове (інфрачервоне) випромінювання планети також таке слабе, що його не можуть вловити існуючі прилади.

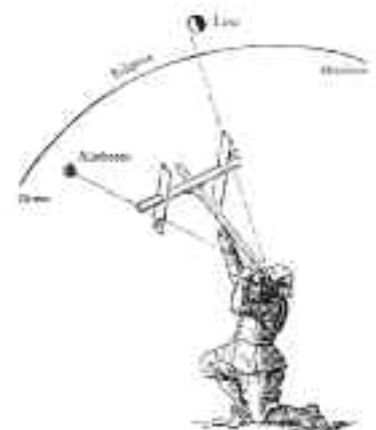
Першу екзопланету було відкрито у 1995 р. в Женевській обсерваторії Майором і Квелозом. Вони скористалися досвідом А.Волчана трьохрічної давнини — зафіксували зміщення

на небесній сфері зорі 51 із сузір'я Пегаса і за цим зміщенням розрахували масу її невидимого супутника. За кілька місяців потому інші астрономи — Марсі й Батлер — відкрили свій "планетний рахунок", знайшовши планету біля 70-ї зорі сузір'я Діви. Потім, у середньому кожні два місяці, з допомогою телескопічних спостережень виявляли по одній планеті, а починаючи з 1997 р. число відкриттів подвоїлося. На кінець 2006 року повний список відкритих астрономами екзопланет досяг 200!

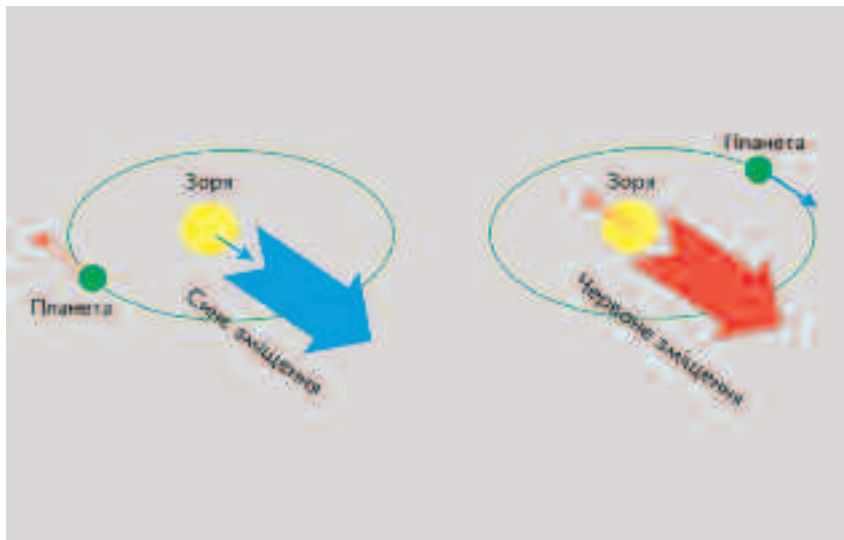
Останнім часом темп відкриттів екзопланет неухильно збільшується. Цьому сприяє як постійне вдосконалення технічних засобів спостережень, так і поліпшення методик пошуку. Коротко зупинимось на існуючих сьогодні методах пошуку екзопланет.

Першим (історично) є астрометричний метод (див. мал. 1). Суть його є в тому, що під час спостережень зоряного неба визначають взаємні кутові зміщення світил, що рухаються навколо спільного центра мас. ►

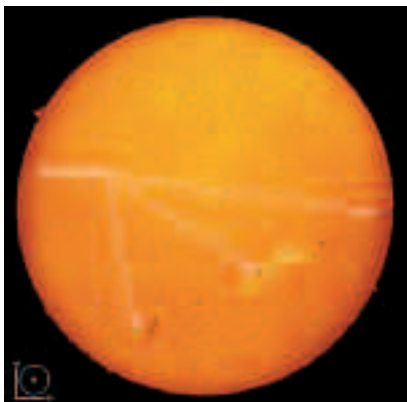
Мал. 1. Астрометричні вимірювання кутових відстаней на небесній сфері.



Другий метод пов'язаний із проходженням планети на тлі зорі. Цей метод називають методом перехідної фотометрії. Суть його в тому, що планета закриває частину поверхні зорі, а тому яскравість світила дещо зменшується. У разі, наприклад, проходження Юпітера по диску Сонця — приблизно на одну соту, а у випадку Землі — на одну десятитисячну відсотка від його повної яскравості. Здавалося б, це дуже незначне послаблення світла зорі, але сьогодні його вже можна зафіксувати спеціальними приладами — фотометрами. Зокрема, дієвість цього метода було продемонстровано за допомогою фотометра Vulcan, встановленого в обсерваторії Lick (США).



Мал. 3. Суть спектрометричного метода пошуку екзопланет.



Мал. 2. Проходження Меркурія по диску Сонця, як приклад проходження планети на тлі зорі.

Третій, найпоширеніший на сьогодні метод — спектрометричне визначення радіальної швидкості зорі. Зоря, поблизу якої є планета, демонструє коливання швидкості "до нас — від нас", які можна виміряти, спостерігаючи доплерівське зміщення в її спектрі. На перший погляд, це неможливо, бо, наприклад, під дією Землі швидкість Сонця змінюється впродовж року на сантиметри в секунду, під дією Юпітера — на метри в секунду. При цьому теплове розширення спектральних ліній зорі, що жодним чином не пов'язане з існуванням біля неї планети, відповідає зміні швидкості приблизно на 1 км/с. Тобто навіть у разі Юпітера треба вимірювати зсув спектральних ліній на тисячну частку від їхньої ширини.

Задача здається неймовірною, але її було блискуче вирішено. Ми не будемо описувати, як саме це вдалося зробити, зазначимо лише, що в результаті було одержано точність 3 м/с (зараз точність вже наближається до 1 м/с). Саме цей метод забезпечив прорив у пошуках екзопланет.

І четвертий метод — гравітаційне мікролінзування. Коли одна зоря проходить на тлі іншої, тяжіння ближньої зорі викривляє світло віддаленішої зорі і її яскравість збільшується. Якщо у ближчій зорі є планети, то це позначиться на кривій зміни блиску віддаленішої зорі. Оскільки спостереження мікролінзування зір ведуть давно (з іншою, правда, метою), то вже знайдено кілька кандидатів у планетні системи.

Як бачимо, пошук екзопланет є однією з найцікавіших тем сучасної астрономії. Очевидно, що головний його напрямок — це пошук планет земного типу. У зв'язку з цим уже здійснюють і ведуть підготовку кількох космічних проектів, спрямованих на вирішення саме цієї задачі. Серед тих, що вже здійснюють — проект COROT (Європейське космічне агентство, ESA) — спеціалізований 30-см космічний телескоп, що реєструє криві блиску багатьох зір у момент проходження перед ними планет. Запуск космічного апарата відбувся наприкінці 2006 р. Передбачуваний

потенціал відкриттів за час роботи — десятки планет земного типу. KEPLER (NASA) — космічний телескоп Шмідта (діаметр дзеркала 0,95 м), здатний одночасно відслідковувати 100 000 зір. Потенціал цього телескопа: близько 50 планет, подібних до Землі, або 640 планет у 2,2 рази переважаючих по масі Землю. Запуск апарата планували на 2005 р., але рішенням NASA його було на певний час відкладено.

У найближчих планах — проект SIM (Space Interferometry Mission, або "Космічний інтерферометричний зонд", NASA) — оптичний інтерферометр. "Дарвін", так ще називають майбутній зонд SIM, через дуже точне визначення положення зір на небесній сфері буде спроможний знаходити планети земного типу поблизу найближчих до нас зір. Запуск заплановано на 2009 р.

Дуже цікавим видається проект IRSI/DARWIN (ESA). У ході його реалізації заплановано провести пряме спостереження планет земного типу. Це мають зробити 5–6 інфрачервоних телескопів, розміщених один від одного на відстані 25–50 м (кінцевий варіант конструкції ще не обрано). Апарат планують відправити за межі головного поясу астероїдів (між Марсом і Юпітером — *Ред.*), щоб уникнути впливу на спостереження зодіакального світла. Проект заплановано здійснити не раніше 2015 р. ►



Мал. 4. Один із космічних проєктів (TPF) пошуку землеподібних планет.

Зараз вчені розробляють і інші такі ж проєкти, серед яких Eddington (ESA) та TPF (Terrestrial Planet Finder, або "Шукач землеподібних планет", NASA). Чотири великих дзеркала TRF будуть розміщені по кутах квадрата розміром з футбольне поле, що дозволить розрізнити землеподібні планети навіть на відстані 50 світлових років, а його спектрометр буде спроможний аналізувати атмосферу цих планет, головним чином, на наявність озону, метану й кисню.

Які вони — екзопланети?

Відкриття планет, подібних до Землі, справа, будемо сподіватись, найближчого майбутнього. Що ж відомо про вже відкриті планети, чи можна зробити вже зараз якісь узагальнення й передбачення?

Всі відкриті планети належать до сімейства планет-гігантів. (Нагадаємо, що в Сонячній системі в цю групу планет входять Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун.) Планети виявлено у 5–10 відсотків обстежених зір типу Сонця (або близького до цього типу), і можна припустити, що таке ж співвідношення збережеться надалі. Це означає, що в нашій Галактиці можуть існувати сотні тисяч і навіть мільйони планет. Зазначимо, що такий висновок підкріплюють також нові теоретичні уявлення щодо механізму утворення планет.

Властивості відкритих екзопланет виявилися досить несподіваними. Всі, або майже всі, нововідкриті планети або планетні системи демонструють різку відмінність від планет Сонячної системи і від неї самої.

Тільки в одиничних випадках було виявлено планети, що обертаються по колових або майже колових орбітах на відносно великій (як це є, наприклад, у Сонячній системі) відстані від своєї зорі. У переважній більшості це або колові орбіти, що проходять на дуже близькій відстані від зорі (це означає, що планета обертається навколо зорі з дуже великою орбітальною швидкістю), або різко ексцентричні орбіти, існування яких суперечить усім колишнім поглядам на процес утворення планет.

Згадаймо, що, згідно з цими уявленнями, планети Сонячної системи утворилися з того ж протозоряного газопилового диска, з якого утворилося й Сонце. І дійсно, наша Земля

та інші планети — мають той ж вік, що й Сонце. Відмінності між планетами-гігантами і планетами земного типу пояснюють у цій теорії тим, що великі планети сформувалися в центральній частині хмари за рахунок поступового налипання величезної маси газу на первинне тверде ядро, а менші планети утворилися в найближчій до Сонця і в найдальшій від нього частинах диска, бідніших на речовину, за рахунок багаторазових зіткнень і злиття "планетних зародків" ("планетезималей").

У такій картині утворення планетної системи орбіти всіх планет мають бути еліптичними (або ж мати форму кола) і лежати в одній площині, оскільки первинна хмара мала форму плоского диска, що обертався навколо вертикальної осі.

Ця теорія утворення планет різко суперечить фактам, що з'явилися від часу спостереження екзопланет, і не може дати їм пояснення. А пояснити потрібно такі особливості. Усі знайдені на сьогодні планети можна розділити на три нерівні за чисельністю групи: "гарячі Юпітери" — газові гіганти, що обертаються майже поруч зі своєю зорею і поверхнева температура яких через таку близькість різів у десять вища, ніж на Юпітері; ■

Мал. 5. Екзопланета-гігант у системі подвійної зорі (малюнок).



"ексцентричні гіганти" — планети-гіганти, що обертаються навколо своєї зорі по дуже витягнутих еліпсах; "довгоперіодичні малоексцентричні Юпітеро-Сатурни" — планети-гіганти, що обертаються навколо своєї зорі по колових орбітах на великій відстані і з великим періодом.

Зазначені особливості вже є предметом розгляду відразу двох конкуруючих теорій. В одній із них, "теорії збільшення", головним механізмом утворення планети-гіганта є процес поступового й повільного збільшення її твердого ядра, а в другій — головним елементом механізму утворення планети є нестабільність газопилового диска, з якого вона народжується, що виникає знезапек (теорію називають "теорією нестабільності").

Із цих двох теорій випливають дуже цікаві наслідки. Отак, згідно з "теорією збільшення", планетна система з газовими гігантами, подібна до нашої Сонячної системи, — це космічна рідкість, а згідно з "теорією нестабільності", — це типовий результат, зокрема для нашої Галактики, адже планетні системи утворюються одночасно з утворенням зорі. Нагадаємо, що процеси зореутворення астрономи спостерігають вже не один рік, і це є доконаним фактом. Зрозуміло, що перший висновок зменшує, а другий, навпаки, підкріплює надію зустріти в космосі інші планетні системи, подібні до нашої, а в них — і інше життя (ось де ховається справжня причина екзопланетної лихоманки!).

Очевидно, що описані нами теорії не пояснюють існування планет-гігантів, які обертаються майже впритул до своїх зір або, навпаки, рухаються по витягнутих еліпсах, схожих, скоріше, на орбіти комет, а не планет. З цього приводу теж було висунуто багато різних гіпотез. В одній з них, можливо найцікавішій, ідеться про те, що гігантські протопланети не залишаються в тому місці, де вони утворилися. Вони починають "мігрувати", тобто переміщатися по диску. Ця міграція може бути спрямована як усередину диска, так і назовні, до його периферії. Міграція може бути

також хаотичною, коли кілька масивних планет здійснюють складні взаємопов'язані гравітаційні переміщення.

Кінцеві результати всіх цих міграцій теж можуть бути дуже різними. В одних випадках планета опиняється поблизу своєї зорі і стає "гарячим Юпітером". Її рух сповільнюється гравітаційними припливними силами зорі. Поступово гальмуючи свій орбітальний рух, планета може перейти на спіральну траєкторію і, зрештою, впасти на зорю, а там згоріти. До речі доказом такого сценарію може бути нещодавнє спостереження зорі в сузір'ї Овна, яка раптом тричі підряд спалахнула в сотні тисяч разів яскравіше, ніж Сонце. На думку астрономів, ці спалахи стали результатом послідовного падіння на зорю трьох її найближчих планет-гігантів. Утім, комп'ютерне моделювання показало, що є й інша можливість: у деяких випадках припливна взаємодія планети й зорі може надовго стабілізувати орбіту гарячого Юпітера майже впритул до зорі.

Інший, нагадаємо, сценарій — зміщення планети на периферію протопланетного диска. Такий сценарій вже також моделювали з допомогою комп'ютерів. У цьому зв'язку цікавим є результат, отриманий щодо Нептуна. Розрахунки показали, що наш Нептун народився значно ближче до Сонця, ніж це є зараз, і що його нинішнє положення — результат поступової міграції назовні. Більше того, ті ж розрахунки приводять до висновку, що Нептун рухався на периферію Сонячної системи не на самоті, а штовхаючи перед собою величезну масу твердих брил і ці брили, виштовхнуті за межі орбіти Плутона, утворили там нинішній пояс Койпера.

Зрештою, ще один, принципово важливий, факт. Гравітаційні взаємодії масивних планет можуть привести не тільки до зміни орбіти чи до значного зміщення тієї чи іншої планети від місця її народження, але навіть і до викиду однієї або декількох новоутворених планет за межі даної планетної системи. Подібні міркування підкріплено спостережними даними:

кілька років тому астрономи відкрили в космосі перші "планети-сироти", що не пов'язані з якоюсь конкретною зорею, а рухаються на значній відстані від усіх зір.

Висновки

Сьогодні вже можна з упевненістю сказати, що планети — це досить розповсюджене явище в космосі. Поки що вони відкриті поблизу найближчих до нас зір. Проте вони, напевно, будуть виявлені й біля віддаленіших зір, як тільки це стане технічно можливим.

Словник

ОЗМА — одна з перших спроб прийняти штучний радіосигнал від двох близьких до Сонця зір — Тау Кита та Епсилон Еридана. Проект було запропоновано Д. Кокконі та Ф. Моррісоном з Корнельського університету (США) у 1959 р. і здійснено радіоастрономами Френком Дрейком і Вільямом Уолтоном в Національній радіоастрономічній обсерваторії Грін-Бенк (шт. Західна Вірджинія) у 1960 р.

Пульсар — нейтронна зоря (її поперечник становить близько 10–30 км), що обертається навколо осі з великою швидкістю й випромінює радіоімпульси.

Доплерівське зміщення в спектрі зорі — зміщення спектральних ліній, викликане рухом тіла вздовж променя зору спостерігача від або до нього. Як приклад, що ілюструє подібне явище — зміна звуку потяга, що наближається чи віддаляється від пасажера.

Головний пояс астероїдів — сімейство відносно невеликих за розмірами (найбільший поперечник 1000 км) космічних тіл на орбітах між Марсом та Юпітером.

Пояс Койпера — космічні тіла за орбітою Нептуна. До цього поясу належать, зокрема, Плутон та Еріда, на сьогодні найбільші за розмірами тіла цього сімейства.

За даними мережі Інтернет підготував І.Кречко