

РАДІОЗАТИШОК НА ЗВОРТНОМУ БОЦІ МІСЯЦЯ

*До 50-річчя космічної ери дослідження
природного супутника Землі*



Віталій Кислюк
доктор фіз.-мат. наук,
професор,
гол. наук. співр.
Головної астрономічної
обсерваторії НАН України,
м. Київ

З самого початку космічної ери астрономи мріють про встановлення радіотелескопа на зворотному боці Місяця, де можна було б не лише позбутися обмежень і завад, спричинених впливом земної атмосфери, але й надійно захиститися від впливу техногенних радіозавад, створюваних на Землі в результаті людської діяльності. Потреба в дотриманні зворотного боку Місяця вільним від штучно створюваних інтерференцій радіочастот жваво дискутується міжнародним науковим співтовариством. Зокрема, астроном з Центру астрономіки в Турині (Італія) *Клаудіо Макконе* пропонує спорудити радіобазу на дні 80-кілометрового кратера Дедал, розташованого в самому центрі зворотного боку Місяця, де відкритуться неймовірні можливості для наукових досліджень. З допомогою встановленого там радіотелескопа можна було б реєструвати радіохвилі всіх типів, які неможливо детектувати на Землі з-за постійного зростання радіозавад. Запропоновано виділити на зворотному боці Місяця так звану “охоронну зону” й обмежити впровадження нових технологій, здатних засмітити “місячний радіоефір” у районі кратера Дедал.

ВСТУП

Півстоліття тому в колишньому СРСР відбулися три події, з якими асоціюють початок космічної ери дослідження нашого найближчого небесного сусіда — Місяця. Протягом 1959 року вперше вдалося облетіти Місяць (“Луна-1”), улучити в нього (“Луна-2”), а найголовніше — сфотографувати зворотний бік Селени (“Луна-3”). З того часу до Місяця здійснено понад 100 запусків космічних апаратів — автоматичних і пілотованих, вдалих і невдалих — але згадані місії увійшли в історію космонавтики як епохальні. Період активних польотів до Місяця (так звана “золота пора”) тривав майже 18 років. Після того, як 1976 року космічний апарат (КА) “Луна-24” доставив на Землю останні 170 г місяч-

ного ґрунту у космічних дослідженнях Місяця, настало такої ж тривалості затишшя. Лише в 90-ті роки минулого століття польоти до Місяця відновилися. Американські зонди “Клементина” та “Лунар Проспектор” (Місячний розвідувач), запущені відповідно у 1994 та 1998 роках, започаткували якісно новий етап дослідження Місяця, який отримав назву “Повернення до Місяця”.

На початку третього тисячоліття інтерес до природного супутника Землі відчутно зріс. 14 січня 2004 р. президент США *Джордж Буш-молодший* виступив у штаб-квартирі НАСА (NASA, National Aeronautics and Space Administration) — Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору — з новою іні-

ціативою щодо освоєння космічного простору, орієнтованою на відновлення польотів на Місяць з метою його активного освоєння, а також організації експедицій на Марс та інші планети Сонячної системи. Ця ініціатива викликала широкий резонанс у світі. Створення населеної бази на Місяці, зокрема і як стартової платформи для польотів до інших світів, стало одним із першочергових завдань нової космічної стратегії.

До нових місячних перегонів приєдналися багато країн світу. Деякі з них (Японія, Китай, Індія) уже фактично приступили до реалізації планів створення на місячній поверхні довготривалих наукових та виробничих баз. 14 вересня 2007 року Японія запустила свій КА “Кагуїя” (попередня назва “Селена”), 24 жовтня того ж року до Місяця полетів китайський зонд “Чаньє-1”, а 22 жовтня 2008 року свій полярний супутник Місяця “Чандраян-1” запустила Індія. Незабаром до цього переліку підключиться “ЛРО” (LRO: Lunar Reconnaissance Orbiter) — Місячний розвідувальний орбітальний апарат (США). Названі апарати — це лише початок небувалого донині штурму Місяця.

ЧОМУ НА МІСЯЦЬ?

Нові проекти освоєння Місяця вражають. Вони спрямовані на комплексне дослідження Селени з допомогою автоматів, головним чином з навколomisячних орбіт. Проте, це розглядають лише як проміжний етап на шляху освоєння Місяця в недалекому майбутньому. Очевидно, людство неминуче наближається до фази активної колонізації шостого континенту Землі, як іноді називають Місяць. Чим же так приваблює Місяць? Якої користі для людства слід очікувати від здійснення цих амбітних проектів? Розглянемо детальніше ці питання.

Необхідність і доцільність активного освоєння Місяця шляхом створення на його поверхні постійних баз зумовлена декількома аспектами.

1. Місяць — зберігач унікальної інформації про ранні етапи історії розвитку Сонячної системи. Давня незаймана поверхня Місяця приховує докази процесів її формування, що добре збереглися з перших сотень мільйонів років. Місяць і Земля близькі одне до одного і знання їхньої спільної історії може допомогти кращому розумінню різниці еволюцій в ранній Сонячній системі.

2. Місяць — наукова база. Специфіка місячного доквілля (надзвичайно високий вакуум, відсутність відчутного магнітного поля, сейсмічна ста-

більність, безпосередній доступ до дуже високих і дуже низьких температур) створює сприятливі умови для проведення астрономічних спостережень та експериментів у галузях фізики, хімії, біології, медицини. На Місяці можливі експерименти, які потребують особливої ізоляції, високої стерильності, відсутності домішок органічних сполук. Відкриваються нові, числі серед них і принципово нові можливості для матеріалознавства, мінералогії, архітектури тощо.

3. Місяць — гігантська стабільна платформа з ресурсами, яка може стати першою і головною індустріальною базою (мінеральною й енергетичною). Місячна індустрія зможе задовольнити різні потреби як на поверхні Місяця, так і на Землі та навколосезних станціях. Отримання конструктивних матеріалів, ракетного пального та всіх елементів системи життєзабезпечення безпосередньо на Місяці може бути значно дешевше, ніж доставка їх із Землі. В майбутньому місячна індустрія зможе задовольнити також енергетичні та ресурсні потреби Землі та її доквілля.

4. Місяць — стартова платформа для здійснення пілотованих місій на Марс та інші тіла Сонячної системи (планети, астероїди). Вважають, що освоєння Марса відбудеться людству значно дешевше і відбудеться набагато швидше, якщо основні елементи і технології будуть відпрацьовані на Місяці.

5. Нарешті, зовсім екзотичний аргумент. Освоєння Місяця — потенційно можливий крок людства до розселення в космічному просторі, перевірка можливості створення в жорстких умовах космосу повністю замкнутих самозабезпечуваних колоній на основі використання наявних там ресурсів.

Особливо цікавим з погляду освоєння Місяця є його зворотний бік. Зокрема, радіоастрономи сподіваються захиститись там від двох основних завад, що обмежують ефективність наземної радіоастрономії, а саме: вплив іоносфери Землі (шару заряджених частинок), яка не пропускає низькочастотні радіосигнали і постійного зростання техногенних завад, створюваних у результаті людської діяльності на нашій планеті.

ЩО Ж ТАМ — НА “ТОМУ БОЦІ”?

Дивовижно, але факт, що півстоліття тому про Місяць, до якого рукою подати, ми знали наполовину менше, ніж про інші небесні тіла. Причина в так званому синхронному осьовому й орбітальному обертанні Місяця. Ін-

шими словами, період обертання Місяця навколо власної осі збігається з періодом обертання його навколо Землі. Тому єдиний природний супутник нашої планети завжди повернутий до неї одним і тим самим боком. Здавалося, що потойбічний світ Селени людина ніколи не побачить. Стосовно його вигляду існували різні гіпотези, які народжувались польотом людської фантазії, але були й такі, що базувалися на певних наукових міркуваннях. Скажімо, у другій половині XIX ст. оригінальну гіпотезу щодо будови невидимого боку Місяця висунув відомий німецький астроном і геодезист *Петер Ганзен*, який плідно займався проблемою уточнення теорії руху Місяця. З його міркувань випливало, що центр мас нашого нічного світила майже на 60 км зміщений відносно центра його фігури в напрямку до Землі й, отже на “звороті” Місяця має бути велетенська западина, в якій можуть зосередитись необхідні для життя вода і повітря. Варто зауважити, що згідно з існуючими даними, зазначене зміщення центрів справді існує, але воно набагато менше і становить всього близько 2 км.

Першим “побачити” зворотний бік Місяця пощастило КА “Луна-3”, який стартував 4 жовтня 1959 року. Цей старт прогрімів як своєрідний салют на честь другої річниці початку космічної ери людства. Через дві доби, виведений на сильно витягнуту еліптичну орбіту штучного супутника Землі (апогей близько 485 000 км, перигей ~ 47 500 км, період обертання ~ 21 доба), КА “Луна-3” (масою 278,5 кг) пролетів на відстані 6200 км від місячної поверхні. 7 жовтня, після того, як станція обігнула Місяць, відбувся 40-хвилинний сеанс фотографування освітленої частини його поверхні. Двома камерами (з довго- та короткофокусним об'єктивами) було відзнято близько 70% місячної поверхні, з них дві третини належить зворотному боку Місяця. Отримана фотоплівка була проявлена на борту апарата, і з допомогою фототелевізійного пристрою зображення місячної поверхні були передані на Землю (мал.1), що означувало народження “космічного телебачення”. Згодом вивчення зворотного боку Місяця продовжили КА серії “Зонд”, штучні супутники Місяця серії “Луна” та “Лунар Орбітер”, а найретельніше це здійснили згадані вище американські апарати “Клементина” та “Лунар Проспектор”.

Головна особливість зворотного боку Місяця — його материковий характер. Відомо, що на видимій з Землі півкулі Місяця моря становлять приблизно

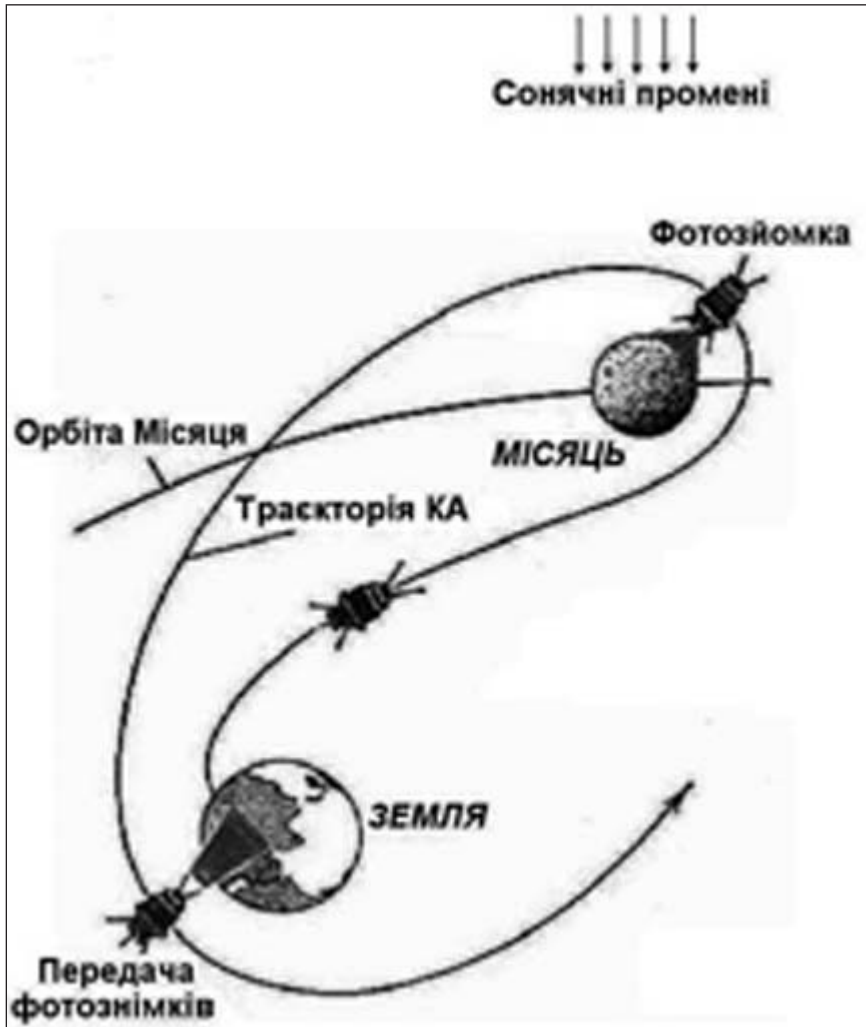


Рис. 1. Траекторія польоту КА "Луна-3", який першим сфотографував зворотний бік Місяця

40% її території, тоді як на зворотному боці на морські утворення припадає менше 10%. Зворотний бік Місяця густо усянений кратерами, які накладаються один на одного, утворюючи кільцеві структури та ланцюжки довжиною в сотні кілометрів. Але найбільше вражає велика кількість кратерів великих розмірів. Якщо видимий бік Місяця характеризується в основному як морський, то зворотний — наявністю великих кратерів. На "тому боці" Місяця налічується 19 кратерів діаметром 200 і більше кілометрів (на видимому — лише 5). Перевага ясноти кратерів на звороті Місяця порівняно з його видимим боком, свідчить про асиметрію процесів їх утворення (вулканічних та ударних). На рис. 2 показано найбільші рельєфні утворення зворотного боку Місяця.

Проте найвизначнішою місциною зворотного боку є басейн "Південний полюс — Ейткен" (ППЕ) — велетенська ударна структура діаметром близько 2500 км і завглибшки 13 км — найбільша не лише на Місяці, але й у всій Сонячній системі. Назву басейну ППЕ складено з назв двох деталей

зворотного боку Місяця, до яких цей басейн простягається, а саме: від кратера Ейткен (широта — 30°) до південного полюса Місяця. З півночі до басейну ППЕ прилягає найвищий на Місяці материковий масив (заввишки приблизно 8 км), на якому, зокрема, є два з найбільших кратерів Герцшпрунг і Корольов (діаметром відповідно 594 і 437 км). Природу басейну ППЕ ще належить розгадати. Поки-що є принаймні дві гіпотези його походження.

1. Басейн ППЕ — це результат зіткнення з астероїдом, який врізався в Місяць з його протилежного боку. Деякі вчені-планетологи вважають, що ударна хвиля, яка утворилась від такого зіткнення, могла пронизати все тіло Місяця — крізь місячне ядро до видимого боку Селени. Результатом цього катаклізму стали характерні "шрами" на видимому боці Місяця (моря, долини, гірські хребти тощо). Від такого удару зсунувся також центр мас Місяця (як зазначено вище, таке зміщення величиною близько 2 км нині достеменно встановлено), а його фігура стала доволі асиметричною.

2. Заслугує на увагу також припущення, що така протяжна заглибина, якою є басейн ППЕ, могла утворитися внаслідок зіткнення не з важким астероїдом, а з тілом набагато меншої густини, тобто з кометою. Підставою для такої думки є мала величина співвідношення "глибина-діаметр" для басейну ППЕ, яке становить приблизно 1/200.

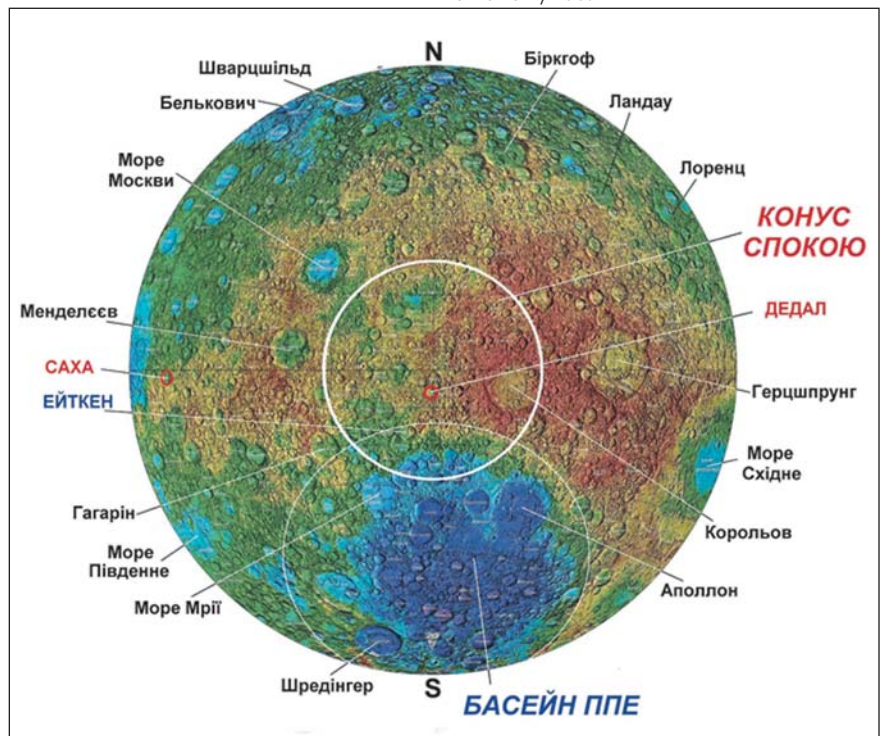


Рис. 2. Найбільші рельєфні утворення зворотного боку Місяця (в центрі виділено так званий "конус спокою", про який йтиметься далі)

Для отримання відповіді на всі запитання стосовно природи утворення басейну ППЕ та інших рельєфних структур Місяця необхідно детально вивчити не лише топографію фізичної поверхні Місяця, але і структуру й фігуру його мантії та ядра. Згадані вище космічні місії націлені якраз на розв'язання серед інших і цих завдань.

При розробці глобальної стратегії дослідження Місяця використанню специфіки невидимого з Землі боку Місяця — цього унікального місця в системі Земля-Місяць — надають значної уваги. Повністю захищений від техногенних електромагнітних завад зворотний бік Місяця є ідеальним полігоном, де максимально забезпечується, зокрема, "чистота" виконання програми пошуку позаземних цивілізацій.

ПРОГРАМА CETI/SETI

Чи одні ми у Всесвіті? Мабуть, що не одні. В останнє десятиліття астрономи відкрили близько 200 зір нашої Галактики, які мають планетні системи (див. "Світогляд", № 1, 2007 р., стор. 69). Нині вченим відомо близько 400 так званих екзопланет, розташованих у 246 планетних системах за межами Сонячної системи. Цілком імовірно, що серед них є й такі, що заселені розумними створіннями. Астрономів давно цікавить проблема позаземних цивілізацій — гіпотетичних спільнот розумних істот, існування яких можливе на інших планетних системах. В 50-ті роки ХХ ст., з появою відповідних технічних засобів, була започаткована програма пошуку зв'язку з позаземними цивілізаціями (англ. Communication with Extra Terrestrial Intelligence, абр. CETI). Згодом, коли зрозуміли, що перш ніж встановлювати зв'язок з позаземними розумними істотами, необхідно спочатку віднайти хоча б якісь сліди їхньої діяльності, ця програма зазвучала дещо по-іншому, а саме: як програма пошуку позаземних цивілізацій (англ. Search for Extra-Terrestrial Intelligence, абр. SETI). Основна мета проекту CETI/SETI — огляд неба з метою виявлення можливих сигналів від цивілізацій віддалених планет.

Пошук по всьому небу сигналів, які можна було б характеризувати як розумні, пов'язаний з великими труднощами, бо спектр та напрям розповсюдження цих сигналів, як і метод зв'язку з ними завчасно невідомі. Для того, щоб зареєструвати ці сигнали, необхідно виключити всі радіочастотні завади (РЧЗ), які через невпинний технологічний ріст земної цивілізації досягли нині стану, коли широка смуга

радіодіапазону спотворена численними легальними і нелегальними радіопередавачами. Тому ентузіазм у прихильників програми SETI згодом почав згасати. Дехто навіть вважає, що взагалі радіоастрономія з поверхні Землі приречена на загибель через кілька десятиліть, якщо буде продовжуватись безконтрольний ріст РЧЗ.

Проте останнім часом інтерес до проблеми SETI знову почав зростати. До пошуку позаземних сигналів активно підключилась армія аматорів. До того ж, нині й НАСА планує розширити свою діяльність у цьому напрямку. Зокрема, американське космічне відомство розпочало виділення коштів на виплату стипендій тим дослідникам, які спробують виявити життя на планетах, розташованих за межами нашої Сонячної системи. Крім того, 7 березня 2009 року здійснено запуск космічного телескопа "Кеплер", здатного відстежувати одночасно до 100 тисяч зір з метою пошуку землеподібних планет.

На успіх у пошуку розумних сигналів можна було б сподіватися проведенням постійного моніторингу екзопланет з допомогою потужного радіотелескопа, встановленого на зворотному боці Місяця, поки що захищеного сферичним тілом Місяця від усіх РЧЗ, продукованих на Землі. Підкреслимо — поки що! Виявляється, що загрозою для програми SETI можуть стати телекомунікаційні супутники, які в перспективі можуть бути розташованими в точках Лагранжа системи Земля-Місяць.

ГРАВІТАЦІЙНІ ПАСТКИ В СОНЯЧНІЙ СИСТЕМІ

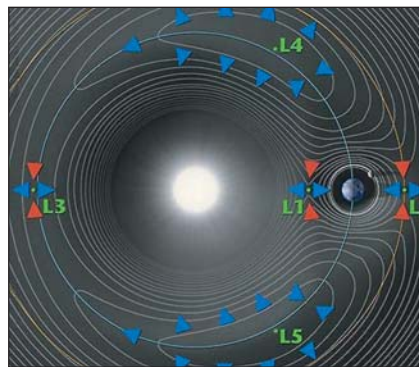


Рис. 3. Точки Лагранжа системи двох тіл (в розгляданому випадку Сонце і Земля)

В системах двох масивних небесних тіл (таких як Сонце-Земля, Сонце-Юпітер, Земля-Місяць тощо) існують так звані точки лібрації (від лат. libration — погойдування, коливання), в яких третє тіло (масою якого можна

знехтувати) постійно залишається нерухомим відносно них. Ці особливі точки ще відомі як точки Лагранжа, названі так на честь французького математика й астронома *Жозефа-Луї Лагранжа*, який дослідив їхні властивості. Точки Лагранжа позначають латинською літерою L з числовим індексом від 1 до 5. На рис. 3 показані точки Лагранжа для системи Сонце-Земля.

Показані траєкторії тіл у стані вільного падіння під впливом сили тяжіння і доцентрової сили, якщо розглядати з оберткової системи координат, в якій Сонце і Земля залишаються нерухомими. Тіла, які обертаються з тим же періодом, що і Земля, почнуть рухатись у відповідності з ізолініями, які означають поверхні однакового гравітаційного потенціалу. Стрілки показують градієнти підвищення потенціалу навколо п'яти точок Лагранжа — в напрямку до них (червоні стрілки) або від них (сині стрілки), проте в самих точках Лагранжа ці сили збалансовані.

Так звані колінеарні точки Лагранжа L_1 , L_2 і L_3 розташовані на лінії, що з'єднує центри двох тіл системи. Об'єкти, які потрапляють у ці точки, перебуватимуть у нестійкій рівновазі. Наприклад, якщо об'єкт у точці L_1 дещо змістити вздовж прямої, що з'єднує два масивні тіла, то сила, яка притягує його до ближчого тіла, збільшиться, а сила притягання з боку іншого тіла, навпаки, зменшиться. В результаті, об'єкт все більше віддалятиметься від положення рівноваги. Проте навколо колінеарних точок лібрації існують стабільні замкнуті орбіти (принаймні, у випадку задачі трьох тіл). Якщо ж на рух впливають і інші тіла (як це відбувається в Сонячній системі), то замість замкнутих орбіт об'єкт буде рухатись по квазіперіодичних орбітах, які мають форму фігур Ліссажу. Незважаючи на нестійкість такої орбіти, космічний апарат може залишатися в ній протягом тривалого часу, витрачаючи для підтримки такого стану відносно невелику кількість пального.

Зовсім по-іншому поводитиме себе тіло, яке опиниться в точках L_4 або L_5 . Вони розташовані в вершинах рівносторонніх трикутників з основою, яка збігається з відрізком, що з'єднує два масивні тіла. На відміну від колінеарних точок, в трикутних точках лібрації забезпечується стійка рівновага. При зміщенні об'єкта виникають сили Кориоліса, які викривляють його траєкторію, й об'єкт рухається по стійкій орбіті навколо точки Лагранжа.

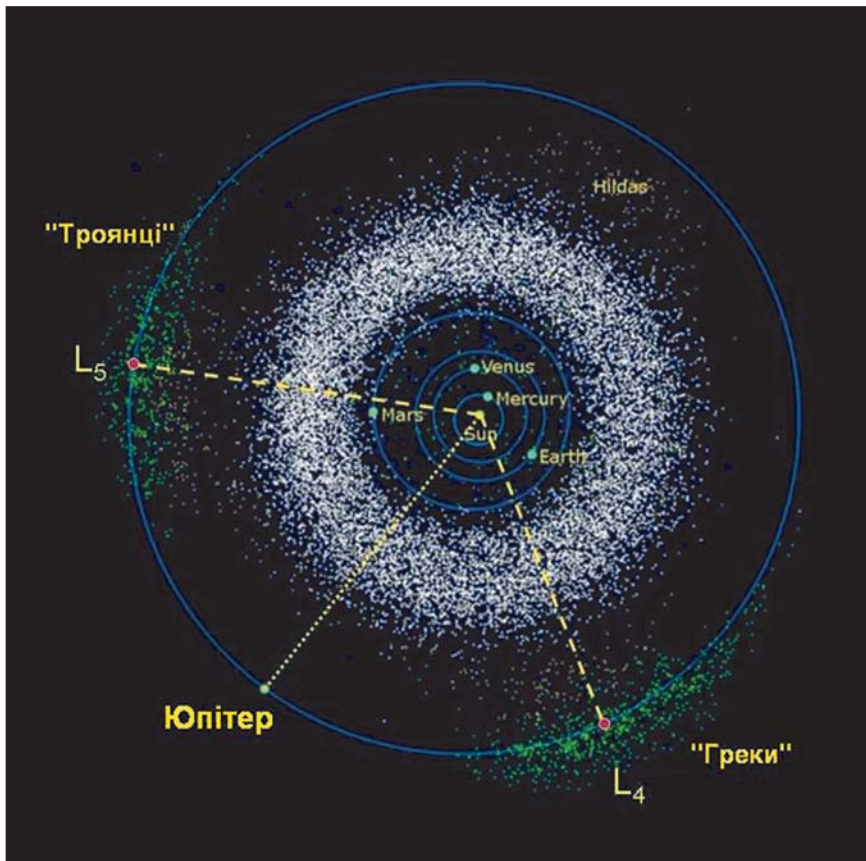


Рис. 4. Троянські астероїди в системі Сонце-Юпітер

Яскравим підтвердженням стійкості лібраційних точок L_4 і L_5 є наявність так званих “троянців” і “греків” — двох родин астероїдів, розміщених в околицях трикутних точок Лагранжа системи Сонце-Юпітер (рис. 4).

Найбільші з цих астероїдів названі на честь героїв троянської війни, оспіваної славетним Гомером в “Ілліаді”. “Греки” (Одісей, Ахілл, Гектор та ін.) випереджають Юпітер приблизно на 60° дуги орбіти, а “троянці” (Пріам, Еней, Патрокл, Троїл та ін.) настільки ж відстають від планети. Астероїди цих груп, які розташовані надто далеко від точок лібрації L_4 і L_5 , мають навколо них складні траєкторії. Деякі космічні тіла віддаляються від лібраційних точок на мільйони кілометрів, але повертаються, проте, в околиці цих точок. Тому точки L_4 і L_5 часто називають троянськими точками Лагранжа.

Важливу роль у справі освоєння ближнього космосу мають відіграти також точки Лагранжа системи Земля-Місяць (рис. 5), в яких сили притягання Землі і Місяця збалансовані.

Точка L_1 системи Земля-Місяць зручна для розміщення ретрансляційної станції в період освоєння Місяця. Вона міститься в зоні прямої видимості для більшої частини оберненої до Землі півкулі Місяця, а для зв'язку з нею знадобляться передавачі

в десятки разів менш потужні, ніж для безпосереднього зв'язку з Землею. Існують пропозиції щодо використання точки L_2 , в околі якої можуть діяти ретрансляційні станції для передачі на Землю інформації про зворотний бік Місяця. Принагідно відзначимо, що якоюсь стратегічною ролі поки-що не відведено для точки лібрації L_3 .

Та найбільший інтерес можуть становити трикутні точки лібрації L_4 і L_5 в системі Земля-Місяць. Спостереження за “троянцями” спонукали астрономів до тривалих пошуків подібних супутників у цих точках.

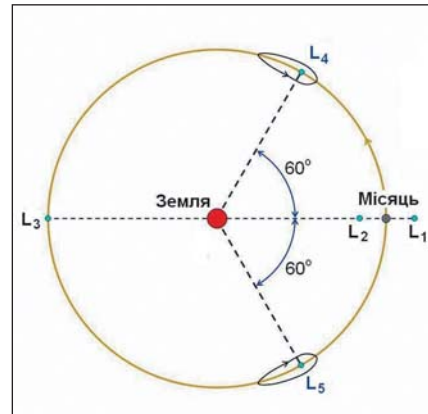


Рис. 5. Точки Лагранжа системи Земля-Місяць.

Колінеарні точки L_1 і L_2 містяться на відстані приблизно 61 350 км від центра Місяця, точка L_3 — на відстані близько 384 400 км (середня відстань від Землі до Місяця). Трикутні точки L_4 і L_5 утворюють із Землею і Місяцем рівносторонні трикутники

У 1961 році польський астроном К. Кордилевський після десятирічних зусиль і роздумів оголосив про відкриття супутників, знайдених у трикутних точках лібрації системи Земля-Місяць. Але те, що спостерігав Кордилевський, а згодом й інші астрономи, назвати супутниками Землі в їх звичному розумінні не можна. Це згустки дрібного космічного пилу, які важко спостерігати через їхню дуже малу яскравість. Хмари К. Кордилевського мають розміри Землі, але їхня густина дуже мала (приблизно одна порошинка на кубічний кілометр космічного простору). І все-таки хмари Кордилевського — це своєрідні земні супутники. Кожна з порошинок змінює фазу (подібно до Місяця); тому хмари бувають то більше, то менше яскравими.

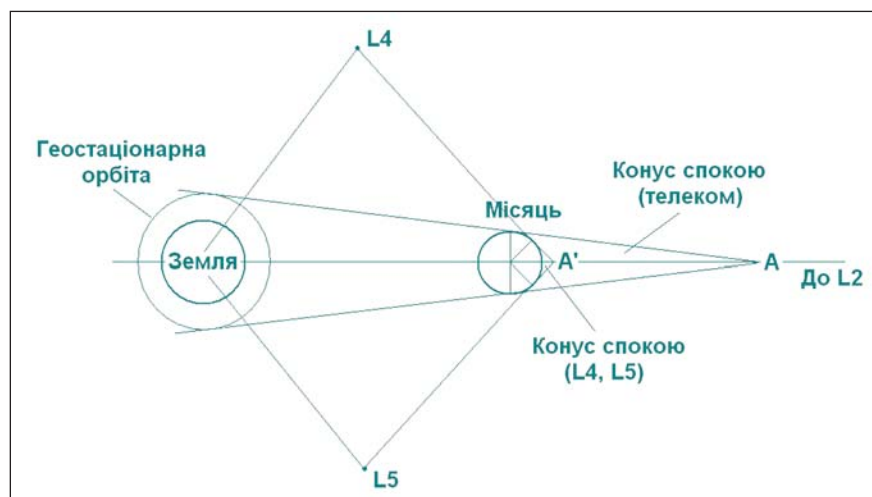


Рис. 6. Конуси радіоспокою на зворотному боці Місяця

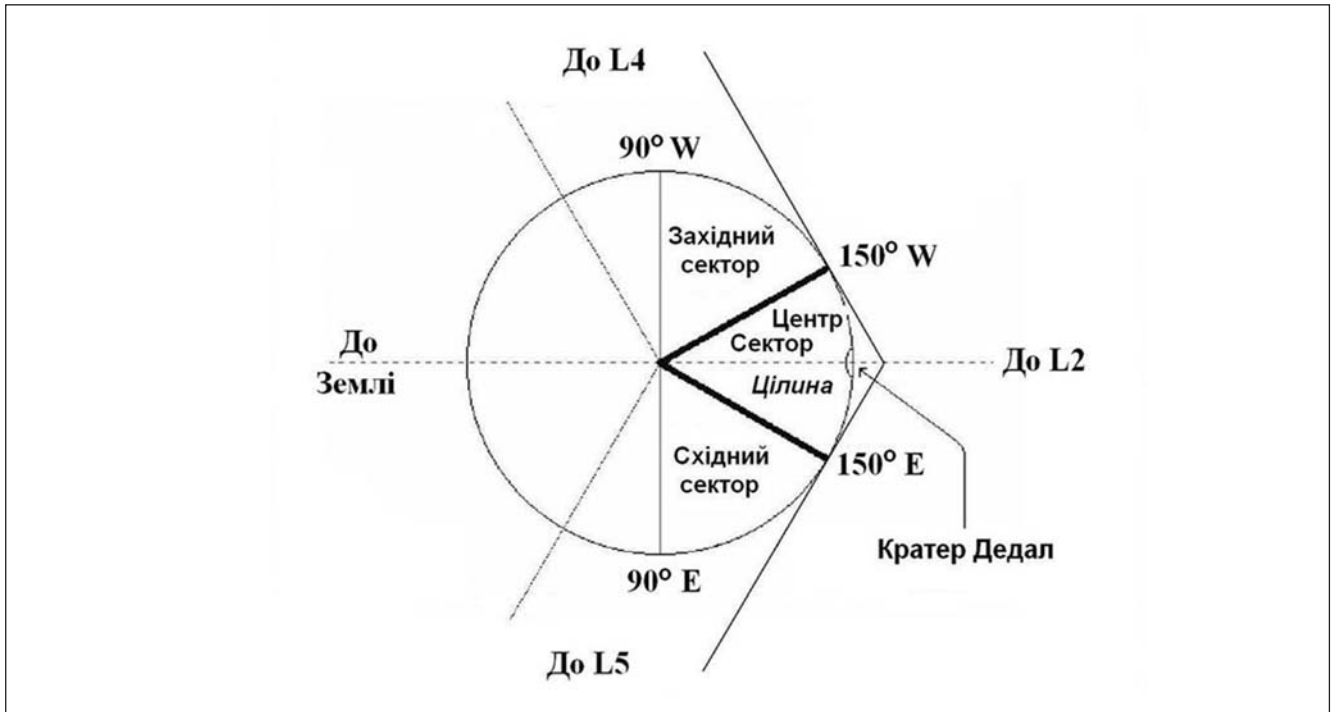


Рис. 7. Різні "колонізаційні режими" зворотного боку Місяця (вигляд з північного полюса Місяця).

Внаслідок чудових властивостей троянських точок лібрації системи Земля-Місяць, вони в майбутньому можуть стати частиною гігантського індустріального комплексу. Сюди, зокрема, будуть винесені телекомунікаційні супутники, які поки що розташовуються на геостационарній орбіті (радіус її становить приблизно 42 240 км), і яким уже доволі тісно там (нині налічується понад 900 геостационарних супутників). А це може становити загрозу для виконання програми SETI. Подивимося, чи такий уже захищений зворотний бік Місяця від РЧЗ.

КОНУС РАДІОСПОКОЮ НА ЗВОРОТНОМУ БОЦІ МІСЯЦЯ

Донедавна радіоастрономи найкращим місцем для SETI-бази вважали кратер Саха (див. рис. 2) діаметром близько 100 км, оточений валом заввишки 3 км. Вважали, що його близьке розташування (103° східної довготи і 2° південної широти) від місячного лімба сприятиме вирішенню проблеми зв'язку з населеною науково-виробничою базою на видимому боці Місяця. Легко з'ясувати з геометричних міркувань, що кратер Саха захищений від впливу електромагнітних хвиль від телекомунікаційних супутників розташованих на геостационарній орбіті, бо він не виступає за межі так званого конуса спокою (рис. 6). Сторони конуса обмежені дотичними до Місяця радіохвилями від телекомунікаційних супутників Землі, а його



Рис. 8. Знімок кратера Дедал на зворотному боці Місяця, отриманий з орбіти КА "Аполлон-11" в липні 1969 року.

В той час як астронавти *Нейл Армстронг* (командир) і *Едвін Олдрін* (пілот місячного модуля) разом із місячним модулем "Орел" здійснили посадку в Морі Спокою, астронавт *Майкл Коллінз* (пілот командного модуля) залишався в командно-службовому модулі "Колумбія" на навколomisячній орбіті.

Координати кратера Дедал: 179° сх. д. і 5.5° півд. ш., діаметр — приблизно 80 км.

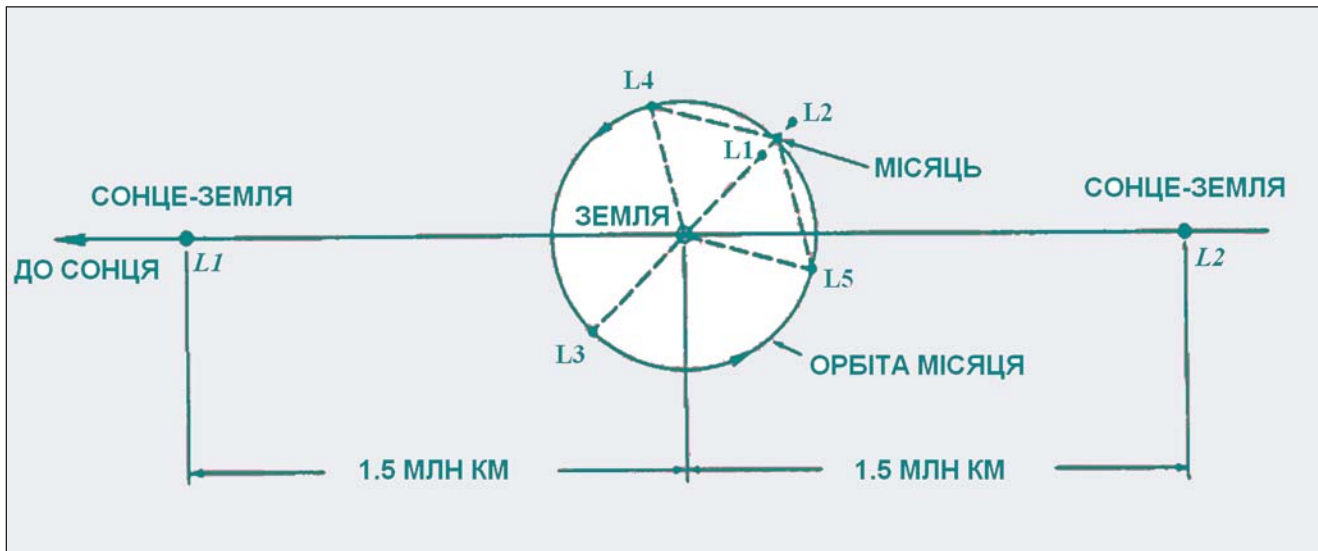


Рис. 9. Взаємне розташування точок Лагранжа (L₁-L₅) системи Земля-Місяць і (L₁, L₂) системи Сонце-Земля. Стрілками позначено напрям руху Місяця навколо Землі

вершина (апекс) А міститься на лінії Земля-Місяць (в напрямку до точки лібрації L₂) на відстані 16 496 км від центра Місяця. Отже, у цьому випадку близько 90% поверхні зворотного боку Місяця буде захищено від впливу РЧЗ Землі і телекомунікаційних супутників.

У разі розташування телекомунікаційних супутників у трикутних точках Лагранжа, відстань апекса конуса спокою від центра Місяця становитиме близько 2080 км (точка А' на мал.6). Як видно, захищений простір зворотного боку Місяця суттєво зменшується. *Клаудіо Макконе* пропонує створити на зворотному боці Місяця своєрідне “захищене антиподальне коло” (ЗАК) — англ. Protected Antipode Circle. Це велика кругла ділянка поверхні діаметром близько 1820 км (див. рис. 2) з центром в антиподі зворотного боку (точці, діаметрально протилежній центру видимого з Землі диска Місяця). Центральний кут відповідного конуса з вершиною в центрі Місяця становить близько 60° (рис. 7). ЗАК — єдина ділянка зворотного боку, якої ніколи не досягає випромінювання від майбутньої населеної космічної бази, розташованої в точках Лагранжа L₄ і L₅ системи Земля-Місяць.

У зв'язку з цим можлива така стратегія подальшого освоєння Місяця.

1. Видимий бік є вільним для розгортання будь-якої діяльності: наукової, комерційної і виробничої.
2. На зворотному боці запропоновано виділити три сектори, розділені по довготі на 60 градусів, а саме:

— Східний і Західний сектори, які можна використовувати для встановлення там радіопристроїв, але лише під контролем Міжнародного союзу телекомунікацій (МСТ). Залежно від того, котра із точок Лагранжа (L₄ чи L₅) буде “колонізованою”, повністю захищеними від продукуваних ними РЧЗ будуть відповідно Східний чи Західний сектори.

— Центральний сектор, який має залишатись незайманою “цілиною”, тобто повністю вільним від впливу рукотворних РЧЗ. Майже в центрі зворотного боку Місяця на 180-му меридіані міститься 80-кілометровий кратер Дедал (рис. 8) — ідеальне місце для встановлення радіотелескопа. Запропоновано зробити Дедал “охоронною зоною” і обмежити впровадження там нових технологій, здатних засмітити “місячний радіофер” в районі цього кратера.

Звичайно, точку L₂ не можна заселяти, оскільки вона для кратера Дедал перебуває прямо в зеніті! Будь-які РЧЗ, продукувані в цій точці, заповнили б увесь зворотний бік Місяця. Точка L₂ — єдина з п'яти точок Лагранжа системи Земля-Місяць, яка повинна бути вільною. Разом з тим, саме ця точка цікава з погляду забезпечення навколomisячної навігації.

Проте, як виявляється, загрозу для чистоти виконання програми SETI з радіобазою в кратері Дедал становитиме не лише можлива техногенна діяльність в точці L₂.

ЗАГРОЗА ВІД ТОЧОК ЛАГРАНЖА СИСТЕМИ СОНЦЕ-ЗЕМЛЯ

Отже, в центрі зворотного боку Місяця можна знайти ідеальний радіозатишок. Мабуть, під контролем МТС цього можна було б досягнути. Чи не так? Так, але не зовсім. Необхідно взяти до уваги, що крім розглянутих п'яти точок Лагранжа системи Земля-Місяць, найближчими до нас є також точки Лагранжа L₁ і L₂ системи Сонце-Земля (мал.9). Вони розташовані на лінії Сонце-Земля на відстанях близько 1.5 млн. км від Землі в напрямку до Сонця (L₁) і від Сонця (L₂).

Точки Лагранжа L₁ і L₂, які є своєрідними гравітаційними пастками, не залишені без уваги дослідників космосу. В першій із них зручно розмістити космічну сонячну обсерваторію — вона ніколи не потраплятиме в тінь Землі, а отже спостереження можуть вестись безперервно. Точка L₂ підходить для встановлення космічного телескопа — тут Земля майже повністю застуге сонячне світло, та й сама не заважає спостереженням, оскільки повернута до L₂ неосвітленим боком. Деякі з цих проектів уже реалізовані. Зокрема, в околі точки L₁ нині успішно працює “Сонячна й геліосферна обсерваторія” SOHO (англ. Solar and Heliospheric Observatory), запущена в 1995 році. В протилежній точці L₂ з середини 2001 року космічну вахту несе мікрохвильовий анізотропний зонд Вілкінсона WMAP (англ. Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), призначений для глобального картографування мікрохвильової радіації у

Всесвіті. Є плани щодо подальшого освоєння цих унікальних точок Сонячної системи.

Внаслідок обертання Місяця навколо Землі, його зворотний бік буде періодично спрямованим до точок L_1 і L_2 системи Земля-Сонце, а космічні апарати, розташовані в околі цих точок, спрямовуватимуть туди електромагнітні хвилі. Як бачимо, ідеальної радіотиші не існує навіть у вузькому конусі спокою на зворотному боці Місяця. Але тут уже нічого не вдієш. Залишається лише сподіватися на те, що сигнали, які надходять від точок лібрації системи Сонце-Земля, мають відому природу, і їх можна легко ідентифікувати та відділити від власне позаземних. Крім того, взаємне розташування цих точок можна заздалегідь прогнозувати і відповідним чином спланувати роботу радіо-обсерваторії в кратері Дедал.

КОСМІЧНА МІСІЯ "RADIOMOON"

Отже, створення діючої роботизованої радіолабораторії в кратері Дедал є найоптимальнішим варіантом, проте буде доволі складно налагодити зв'язок її з іншими віддаленими поселеннями на видимому боці Місяця (скажімо, з допомогою волоконної оптики). Відстань від Дедала до будь-якого місця на лімбі Місяця (наприклад, до бази, яку планують побудувати поблизу південного полюса) становить принаймні 2 730 км.

Клаудіо Макконе пропонує спеціальну космічну місію за назвою "RadioMoon", яка складається з двох космічних апаратів (КА): один із них — орбітальний (орбітер), а інший — посадочний модуль (лендер). Обидва апарати летять разом із Землі до Місяця і спочатку розташовуються на навколomisячній майже коловій еквато-

римальній орбіті, радіус якої дорівнює 10000 км. Згодом, в момент, коли "RadioMoon" перетинає вісь Земля-Місяць на видимому боці, лендер звільняється від орбітера і починає спускатися в напрямку місячної поверхні вздовж так званої напів-еліптичної траєкторії Гохмана (рис. 10). Цю траєкторію запропонував німецький інженер *Вальтер Гохман* в 1925 р. як таку, що потребує мінімуму енергетичних затрат. Таким чином, лендер приблизно за 7 год. "примісячиться" в центрі зворотного боку Місяця, а точніше — в кратері Дедал. Звичайно, при цьому знадобиться деякий маневр з метою точнішого попадання в потрібне місце і забезпечення плавної посадки.

Досвід застосування такого орбітального маневру, зокрема, був набутий при посадці на Марс американського КА Pathfinder.

Мал. 10. Траєкторія Гохмана (КА "RadioMoon").

Після примісячення лендер розгортає плоску фазову антену, з якої орбітер, пролітаючи над кратером Дедал, знімає на радіообсерваторії інформацію, а, пролітаючи над видимим боком Місяця, передаватиме її на Землю. Під час інших відвідин зворотного боку орбітер може передавати на радіобазу інструкції і програми, необхідні для її подальшої діяльності. Очевидно, такий сценарій налагодження оперативного зв'язку з радіообсерваторією на зворотному боці Місяця можна вважати найоптимальнішим, хоча можливі й інші варіанти. В будь-якому разі, можна сподіватися на те, що організація перманентного моніторингу екзопланет (серед них і тих, які будуть виявлені за допомогою місії "Кеплер") з радіобазы "Дедал" сприятиме налагодженню зв'язку з позаземними цивілізаціями. Залишається лише ... встановити там потужний радіотелескоп! За деякими розрахунками, на його спорудження знадобиться, як мінімум, 15 років і декілька мільярдів доларів, що можна здійснити лише спільними зусиллями різних космічних агентств світу.

