

НОВИНИ КОСМІЧНИХ АГЕНТСТВ СВІТУ

(Огляд космічних місій за зарубіжними джерелами Інтернет)

Space Interferometry Mission — пошук позаземних планет

Проект SIM (Space Interferometry Mission) розробляється науковою командою НАСА як перший етап програми пошуку планет земної групи навколо віддалених зірок, у процесі якого мають бути ідентифіковані потенціальні об'єкти спостережень. Космічний інтерферометр SIM повинен бути виведений на орбіту Землі навколо Сонця, позаду планети. Світло, зібране його численними телескопами, буде комбінуватися й оброблятися з

метою отримання інформації, яка за звичай отримується за допомогою набагато більших телескопів.

SIM буде запущено в 2009 році. В його наукову програму входить визначення положень та відстаней зірок із точністю, на кілька порядків вищою за ту, що мала місце в будь-якій іншій програмі. Це дозволить здійснити пошуки планет земної групи навколо найближчих зір та планет групи Юпітера на відстанях до 1 кпк.

SIM — перша космічна місія, в якій для досягнення високої позиційної точності використовується технологія оптичної інтерферометрії. Точність визначення положень складатиме 4 мкс дуги, паралаксів — 10 % для відстаней до 25000 пк. При такій точності SIM зможе виміряти відстані до кожного яскравого об'єкта Галактики. Це точність, в кілька сотень разів більша за можливу сьогодні. Калібрування шкали відстаней та яскравості близьких цефеїд за допомогою SIM дозволить встановити відстані до віддалених галактик.

Під час місії буде використана нова технологія блокування світла від яскравої зірки з метою отримання знімків ділянок неба поблизу зірки. Крім того, пошуки планет вестимуться за непрямою методикою — за доплерівськими зміщеннями, які можуть бути результатом радіального руху зірки. Роздільна здатність 10 м/с дозволяє детектувати наявність планет групи Юпітера біля кількох зірок сонячного типу. Друга непряма методика — визначення відбитого руху зірки навколо загального центра мас відносно локальної системи віддалених об'єктів — дає змогу встановити наявність планетної системи для зірок на відстанях до 10 пк. Ця методика реалізується за допомогою вузькокутової астрометрії зірки-кандидата та віддалених зір тла в ділянці діаметром 1°. Точність, яка при цьому може бути досягнена, складає близько 1 мкс дуги. Це дозволяє визначити відбитий рух, спричинений планетами земної групи. Двовимірні астрометричні дані (паралакс) достатні для визначення нахилу орбіт та мас компаньйонів.

В наукову програму місії входять:

- ♦ вивчення динаміки та еволюції подвійних зір, зокрема визначення точних мас зірок, що входять до спектроскопічних подвійних пар, та пряме встановлення відношення маса—світність для зірок з низьким вмістом металів у галактичному гало;
- ♦ вивчення світностей ОВ-зірок головної послідовності, планетарних туманностей та AGB-зір як об'єктів з коротким віком існування на базі точно визначених відстаней дає можливість теоретичного моделювання еволюції масивних зірок після проходження гілки гігантів, зокрема ефекти зоряного вітру та втрати маси;
- ♦ установлення віку кульових скупчень;
- ♦ вивчення динаміки малих зоряних систем, зокрема кульових скупчень, ролі, яку в них відіграють подвійні зорі, вивчення карликових сфероїдальних галактик та проблеми їх незвичайно високого відношення маса—світність;
- ♦ зоряна динаміка Галактики, розподіл маси в Галактиці, оцінка розмірів Галактики, кінематика зірок у зовнішньому гало та біля площини;
- ♦ вивчення динаміки місцевого всесвіту на відстані до 1 Мпк;
- ♦ астрометричні ефекти гравітаційних лінз;

Для досягнення задекларованої точності SIM створить свою власну високоточну жорстку опорну систему з густиною не менше одного об'єкта на 10 град², до якої увійдуть як зірки, рівномірно розташовані по всьому небу, так і квазари, які відіграватимуть роль небесних реперів. Об'єкти опорної системи спостерігатимуться кілька разів на рік, що дозволить проводити калібрування інструмента та обчислювати положення та рухи об'єктів опорної системи. На рівні точності, який дасть SIM, не буде «нерухомих» зірок, для всіх зірок будуть визначені паралактичні еліпси і власні рухи.

При знаходженні на орбіті космічний апарат SIM буде поступово віддалятися від Землі за швидкістю приблизно 0.1 а.о. за рік і досягне максимальної комунікаційної відстані 95 млн км через 5.5 років. На цій орбіті апарат буде отримувати достатнє освітлення Сонця без затемнень, які можуть відбуватися на орбіті Землі.

Після виходу на свою орбіту КА розверне сонячні панелі та високу приймальну антену. Системи КА будуть перевірені, а дані перевірки будуть використані для обчислення точних параметрів орбіти. Після кількох днів стабілізації будуть розвернуті крила сидеростата, та протягом шести місяців виконуватиметься перевірка та калібрування інтерферометра, яка завершиться в кінці 2011 року. Після цього будуть розпочаті неперервні спостереження, які покриватимуть всю небесну сферу. Для орієнтації КА передбачена система двигунів малої тяги.

Орієнтація виконуватиметься таким чином, щоб номінальна вісь зору знаходилась під кутом не менше ніж 45° до напрямку на Сонце для попередження нагрівання оптики. Швидкість КА повинна бути визначена з точністю не гірше 20 мм/с для виконання корекції. Для цього з трьох 34-м станцій мережі спостереження за глибоким Всесвітом (Deep Space Network — DNS) будуть проведені наземні спостереження, 10—11 двогодинних серій на тиждень. Дані будуть записуватись на борту та передаватись на наземні станції під час серій спостережень.

Телеметричні дані SIM будуть прийматись мережею DNS, що складається з 34-м антен Beam Wave Guide. Ці станції стеження забезпечуватимуть двосторонній зв'язок з SIM у рентгеновському діапазоні. Усі телеметричні та польотні дані передаватимуться в Лабораторію вивчення реактивного руху через систему Multi-Mission Ground Data System. Протягом перших шести місяців польоту буде проведена орбітальна перевірка функціонування апаратури. На цьому етапі дані з КА прийматимуться щоденно. Передавання команд на борт КА відбуватиметься по мірі необхідності протягом 20 хв в кожному сеансі з однієї станції стеження. Дані наукових спостережень будуть накопичуватись на бортовому носії та передаватись кожні 48 год 2-годинними порціями на три спостережні комплекси мережі спостережень. Протягом двох годин пересилатимуться 3.53 Гб наукових та технічних даних.

Інструмент SIM складається з оптичного зоряного інтерферометра Майкельсона з довгою базою. В конструкції SIM використовуються три інтерферометри, змонтованих паралельно на 10-м щоглі. Кожний інтерферометр збирає та об'єднує світлові потоки від двох пар сидеростатів. Два з трьох інтерферометрів отримують інтерференційні діаграми від яскравих опорних зірок для точної орієнтації КА, третій спостерігає зірки програми відносно мережі опорних зірок.

Головні технологічні проблеми, які повинні бути вирішені для отримання задекларованої точності, полягають у наступному:

- ◆ контролювання та стабілізація положення оптичних елементів у гнучкій полегшеній структурі на рівні 10 нм для астрометричних цілей;
- ◆ субнанометровий рівень чутливості контролю відносного розташування оптичних елементів, рознесених на кількадесят метрів відстань: положення оптичних елементів повинні бути відомі з точністю 50 нм для вузькокутової астрометрії і 200 нм для астрометрії із широким кутом зору;
- ◆ загальна складність конструкції інструмента та необхідність застосування для його розгортання та тестування бортових операцій в автономному режимі.

SOFIA — інфрачервоний телескоп на борту літака

SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) — це унікальна кооперативна програма НАСА і Німецького аерокосмічного центру (DLR) зі створення 2.5-м телескопа-рефлектора, який буде встановлений на літаку «Boeing 747SP». SOFIA буде найбільшим телескопом, який працює на борту літака й отримує спостереження в ІЧ-діапазоні спектру. Наукові спостереження планується почати наприкінці 2002 року.

Загальна тривалість програми — 20 років.

Великий транспортний літак «Boeing 747SP», спроектований для тривалого перебування в стратосфері, надзвичайно зручний для ІЧ-астрономії. Більша частина ІЧ-випромінювання поглинається водяною парою в атмосфері і не доходить до наземних обсерваторій. SOFIA буде прекрасним доповненням до розташованих на космічних апаратах телескопів, які здатні проводити спостереження в усьому діапазоні довжин хвиль з дуже великою чутливістю, але мають короткий термін існування й обмежені розміри. Маючи всі переваги космічних телескопів в спостережному діапазоні, телескопи на борту літака зможуть довгий час підтримуватись в робочому стані і модернізуватись протягом усього терміну існування обсерваторії.

З наукової точки зору SOFIA продовжить і розширить рамки досліджень в інфрачервоній ділянці спектру за рахунок високої спектральної й просторової роздільної здатності. До кола завдань, які складають наукову програму проекту, входять:

Фізика міжзоряних хмар і зореутворення в нашій Галактиці; Протопланетні диски і утворення планет у системах близьких зір; Джерела й еволюція атомів, молекул і твердих матеріалів біогенетичного походження; Склад і структура комет, планетних атмосфер і кілець; Зореутворення, динаміка і хімічний склад інших галактик; Динамічна активність у центрі Галактики.

За угодою між НАСА і DLR 2.5-м телескоп проекту SOFIA розроблено і побудовано в Німеччині консорціумом німецьких компаній під керівництвом MAN Technologie та при участі Kayser-Threde, GMBH. Телескоп буде встановлений на літаку в 2002 році.

Ключові характеристики телескопа:

Вага телескопа із науковим
обладнанням:
Конфігурація:
Система обертання:

20 000 кг
телескоп Кассегрена с фокусом Несміта, доступ до інструмента з кабіни
гідростатичний підшипник з 2 кільцевими сегментами діаметром 1.2 м,
тиск 10—30 бар

Двигуни системи обертання:	грубе переміщення для підняття і тонке переміщення (безщіткові мотори постійного струму зі сферичними сегментами) для підняття, поперечного підняття і візирної лінії
Система гасіння вібрації:	12 пружин/амортизаторів навколо гідростатичного підшипника в довготному та тангенціальному напрямках
Первинне дзеркало (ПД):	діаметр 2.7 м, ефективна апертура 2.5 м, полегшена структура ZERODUR на 18-точковій каскадній опорі, відношення ПД $f/1.28$, алюмінієве покриття
Вторинне дзеркало (ВД):	діаметр 352 мм, виготовлене з SiC-матеріалу, алюмінієве покриття
Третинне дзеркало(ТД):	2 плоских змінних дзеркала, дихроїчне (золоте покриття) і недихроїчне (алюмінієве покриття)
Фокальне співвідношення системи:	$f/19.6$
Діапазон довжин хвиль:	0.3—1600 мкм
Невіньєтоване поле зору:	8'
Діапазон руху:	підняття 15—70° (20—60° невіньєтованих), поперечне підняття і візирна лінія $\pm 3.0^\circ$
Якість зображень:	80 % енергії у колі діаметром 1.5" для довжини хвилі 0.6
Стабільність зображень:	середня квадратична похибка 0.2" для гідуювання у фокальній площині.

США розробляють для цього проекту ще вісім наукових інструментів:

- ПЗЗ-фотометр для спостереження покриття зірок;
- Багатоцільова тест-камера для спостережень у близькому ІЧ-діапазоні;
- Ешеле-спектрометр;
- Болометрична камера для спостережень у далекому ІЧ-діапазоні;
- Камера для спостереження в середньому ІЧ-діапазоні;
- Спектрометр «ешелон»;
- Гетеродинний спектрометр;
- Болометричний матричний спектрометр.

«Stardust» — зоряний пил в руках дослідників

«Stardust» — це четверта місія, яка входить до складу програми НАСА під назвою «Discovery». Першими трьома були «Mars Pathfinder», NEAR і «Lunar Prospector». Програма «Discovery» будується на нових принципах організації досліджень з КА, головним з яких є використання найновітніх технологій в сполученні з невеликими витратами. «Stardust» є першою космічною місією в історії США, яка цілком присвячена

вивченню комет, і першим автоматичним космічним апаратом, конструкція якого передбачає повернення позаземного матеріалу з-за орбіти Місяця.

Космічний апарат «Stardust» був запущений в лютому 1999 р. з мису Канаверал ракетою-носієм «Delta II». Головною метою запуску було збирання пилу та частинок, що вміщують вуглець, під час найближчого підходження КА до комети Wild 2, яке за розрахунками відбудеться в січні 2004 року. Апарат повинен пролетіти на відстані від 100 до 148 км від ядра комети, крізь газову та пилову оболонку її голови. Траєкторія розрахована таким чином, що відносна швидкість КА і комети складатиме не більше 6 км/с. Навігація поблизу комети здійснюватиметься за допомогою оптичної навігаційної камери, роздільна здатність якої дозволяє ідентифікувати зірки 9 зоряної величини. Встановлені на КА інструменти, аналізатори Dust Flux Monitor і Comet and Interstellar Dust Analyzer (CIDA) дозволять провести підрахунки кількості частинок, що складають кометний матеріал та їхній склад. Для захоплення частинок використовуватиметься спеціально розроблена субстанція на основі кремнію під назвою аерогель, нанесена на ґратку Aerogel Collector Grid.

Крім того, космічний апарат «Stardust» повинен повернути на Землю зібраний матеріал, включно з частинками нещодавно відкритого потоку пилу в напрямку, що йде до Сонячної системи від сузір'я Стрільця. Вважається, що цей матеріал складається з досонячних частинок міжзоряного пилу, які є залишками матеріалу формування Сонячної системи. Повернення капсули із зібраними зразками відбудеться в січні 2006 р.

При побудові КА «Stardust» були використані найновіші технології, починаючи з полімерних композитних матеріалів, із яких виготовлені компоненти, і закінчуючи електронними керуючими системами. Полегшена конструкція апарата включає кремнієві сонячні панелі. Загальна вага апарата 380 кг разом з паливом, необхідним для маневрів в глибокому космосі. Загальна довжина складає 1.7 м.

В січні 2001 р. КА «Stardust» закінчив свою першу петлю навколо Сонця, отримавши від Землі необхідне гравітаційне прискорення. Під час зближення з планетою були проведені роботи з очищення лінз навігаційної камери від бруду, що залишився внаслідок випаровування газів після злету. Отримані після цих робіт знімки поверхні Місяця демонструють потрібну працездатність камери.

Кількома рядками

Радарна система SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), яка десять днів працювала на шаттлі «Ендеavour» під час його польоту в лютому 2000 року, збрала дані про топографічні висоти приблизно для 80 % земної поверхні. І хоча за конструкцією вона неспроможна вимірювати висоти будівель, система виявилась достатньо чутливою, щоб легко розпізнати масив хмарочосів Манхеттена в Нью-Йорку, але не спромоглася визначити їхні індивідуальні форми. Результати зондування складуть найбільш детальну базу топографічних даних про Землю з високою роздільною здатністю.

Вимірювання проводились методом радарної інтерферометрії. Різниці зображень, отриманих із близьких точок, дають інформацію щодо висот та змін земної поверхні. Для отримання близьких зображень на шаттлі було змонтовано дві антени, одна на вантажній платформі, друга віднесена від неї на відстань 60 м за допомогою щогли.

SRTM була запущена на орбіту з нахиленістю 57°, що забезпечило повне покриття поверхні Землі між широтами +60° ÷ -56° (80 % земної поверхні).

♦ За допомогою спектрометра у близькому ІЧ-діапазоні, встановленому на КА «Galileo», зареєстровані виключно високі температури (понад 1500 °С) в середині вулканів супутника Юпітера Іо, чисельність яких виявилась набагато більшою, ніж вважалось раніше, наявність в кратерах вулканів у значних кількостях двоокису сірки у вигляді сульфатного снігу, а на поверхні супутника — наявність деяких неочікуваних субстанцій (ймовірно мінералів, що вміщують залізо), які, як показали подальші дослідження з високою роздільною здатністю, не могли бути винесені з лавою, але, можливо, вивержені з вулканічними викидами.

За даними того ж інструмента Іо в загальному обсязі має стільки тепла (13.5 Вт на квадратний метр поверхні), що фактично вся його поверхня повинна бути покрита недавно виверженою лавою, яка продовжує охолоджуватись. Нічні температури на поверхні супутника за даними «Galileo» складають 90—95 К, що досить близько відповідає розрахункам теплових потоків. Температурні різниці на поверхні планети невеликі, що вказує на внутрішнє походження джерел розігріву.

♦ Лабораторія реактивного руху НАСА у співробітництві з Каліфорнійським технологічним інститутом розробляють модель робота-дослідника, який до свого об'єкта спостережень буде наближатись за допомогою комбінації рухів: перекочувань та стрибків. Планується задіяти його в дослідженнях астероїдів на предмет виявлення води. Робот-жаба (frogbot) має масу 1.3 кг, приводиться в дію за допомогою одного мотора. Пристрій обладнаний камерою, сонячними панелями, сенсорами та бортовим комп'ютером, який виконує команди в автономному режимі, що робить робота ідеально придатним для дослідження віддалених планет, комет та астероїдів. Довжина стрибка робота на Землі становить 1.8 м, на Марсі — 6 м. Пересування такого типу буде дуже зручним у середовищах із низьким рівнем гравітації, де стають непридатними колісні пристрої, які використовуються для досліджень великих планет. Щоб бути ефективним в дослідженнях, пристрій повинен долати перепони, що значно перевищують його власні розміри, мати невелику вагу, нести мінімальний набір інструментів та, в разі його втрати, не порушувати працездатність всієї дослідницької мережі. Технологічні розробки «стрибаючого робота» повинні бути завершені протягом трьох-п'яти років. Головною проблемою технології є створення системи точної навігації робота. Інженерна група працює також над механізмом, який буде здатний підстрибувати та прилипати до вертикальних стінок, піднімаючись вгору, і вже провела перші тести на різних місцевостях.

♦ За допомогою 70-м антени-тарілки в Голдстоуні, Каліфорнія, науковій групі НАСА вдалося через 35 років після запуску встановити контакт із космічним апаратом «Піонер-6», який був запущений на навколосонячну орбіту 16 грудня 1965 р. за допомогою ракети-носія «Thor-Delta». Місія повинна була тривати 6 місяців. Рухаючись по навколосонячній орбіті три десятиріччя, апарат масою 63 кг обертався навколо своєї осі зі швидкістю 60 обертів за хвилину і для роботи приладів отримував від Сонця енергію потужністю 79 Вт. У програму досліджень входили вивчення сонячного вітру, магнітного поля і космічних променів. На даний момент апарат знаходиться на відстані 133 млн км від Землі. 8-Вт передавач космічного апарата передавав на Землю дані малими порціями зі швидкістю 16 біт/с. НАСА команди на апарат не відправляла. Передостанній контакт з апаратом відбувся у жовтні 1997 р. Ще один апарат із цієї серії, «Піонер-10», був запущений в 1972 році і зараз знаходиться на відстані 11 млрд км від Землі, що робить контакт із ним надто складним, а в наступному році і зовсім неможливим.

♦ Лабораторія вивчення реактивного руху НАСА встановила на двох супутниках, німецькому Challenging Minisatellite Payload (CHAMP) (запущений у липні 2000 р.) та аргентинському SAC-C (запущений у листопаді 2000 р.), нові експериментальні моделі GPS-приймачів «BlackJack», які на відміну від звичайних приймачів, що використовують радіосигнали від GPS-супутників, аналізують затримки та викривлення, яких радіохвилі зазнають на своєму шляху. Ця методика відкриває нові можливості у вивченні гравітаційного поля Землі та її атмосфери. Обидва супутники розроблені та побудовані в Лабораторії реактивного руху НАСА. За словами одного з розробників апаратури, інженера Томаса Юнка, менеджера мережі GPS-обсерваторій, приймачі «BlackJack» також обчислюють своє положення в часі і просторі, але у порівнянні зі звичайними приймачами вони все одно, що професійна студійна камера проти маленької домашньої відеокамери. Типовий GPS

-приймач може визначити своє положення з точністю до 20 м, приймач «BlackJack» здатен послідовно зареєструвати положення супутника-носія з точністю 2-3 см, що надає можливість покращити комп'ютерні моделі гравітаційного поля Землі, які, у свою чергу, дозволяють вивчити структуру та еволюцію внутрішніх шарів планети, переміщення кори, атмосферних мас та циркуляцію океану.

Найбільш вагомим відмінністю нових приймачів від звичайних є те, що вони можуть відстежувати проходження радіосигналів крізь шари атмосфери в моменти сходу та заходу супутників GPS. Ця інформація дає змогу відтворити детальні зображення іоносфери та побудувати точні профілі атмосферної щільності, тиску, температури та вологості, потрібні для кліматичних досліджень та прогнозування погоди. Приймачі «BlackJack» також обладнані невеликими, направленими донизу антенами для прийому відбитих поверхнею океану сигналів. Ця експериментальна технологія може бути використана для вивчення малих варіацій топографії океану, побудови діаграм океанічної циркуляції, оцінки нерівностей або стану поверхні океану та надповерхневих вітрів. Експерименти, що проводяться за допомогою супутників SAC-C і CHAMP, є першими намаганнями з'ясувати можливість таких вимірювань з інженерної точки зору. Обидва експерименти розраховані на 3 роки.

◆ Для широкої наукової спільноти відкрито дані, отримані за допомогою термочувливого радіометра ASTER, розробленого вченими Японії і США і встановленого на супутнику «Терра». ASTER є інструментом широкої дії. За його допомогою можна провести картографування поверхні Землі та її змін із часом, а також визначити характеристики земної та водної поверхонь. Інструмент працює в 14 спектральних смугах із виключно високою роздільною здатністю та можливістю отримувати стереозображення.

Супутник «Терра» запущений в 1999 році на сонячносинхронну полярну орбіту. ASTER є одним із семи спостережних інструментів, що встановлені на ньому. Кожне місце поверхні планети спостерігалось раз на 16 діб. Інструмент можна було наводити також на задані місця поверхні. ASTER надає дані у вигляді зображень ділянок розмірами 60 × 60 км із просторовою роздільною здатністю від 15 до 90 м. Однією з цілей запуску ASTER є отримання однократного зображення всієї земної поверхні без покриття хмарами з тим, щоб надалі мати можливість визначати зміни середовища як природного походження, так і в результаті діяльності людини.

Моніторинг середовища за допомогою даних ASTER вже дає матеріали для вивчення льодовиків, коралових рифів та районів скорочення площ, зайнятих лісом. Спостереження з ASTER допомагають ідентифікувати нові мінерали, знайти залягання паливних корисних копалин на слабо розвіданих територіях, відстежувати використання земель та забезпечувати необхідною інформацією сільськогосподарські та урбаністичні потреби в районах, де швидко зростає кількість населення. Інструмент, з його здатністю детектувати викиди вулканічного газу і термальні зміни, може також бути корисним для моніторингу вулканів з метою прогнозування вивержень.

◆ На 7 квітня 2001 р. з космодрому Мис Канаверал призначений запуск космічного апарата до Марса, «2001 Mars Odyssey», який буде виведений у простір за допомогою ракети-носія «Delta II» та наблизиться до Марса 24 жовтня 2001 р. Після включення головного двигуна, гальмування та захоплення гравітацією Марса КА почне обертатися навколо планети з періодом 25 годин. Протягом наступних 76 діб КА поступово перейде на близьку до Марса орбіту, використовуючи для цього третю атмосферу планети (аеродинамічне гальмування), доки не досягне запланованої 2-годинної орбіти. З цієї орбіти протягом 917 земних діб КА буде виконувати наукове картографування поверхні планети та служитиме засобом комунікації між Землею та міжнародними зондами, які сідатимуть на Марс у 2003—2004 рр. Методика картографування така ж сама, яку використовують з інструментом ASTER для картографування поверхні Землі.

Наукова програма місії складається з чотирьох головних напрямів:

- Пошук слідів життя на Марсі та виявлення рідкої води або криги на поверхні та під поверхнею планети;
- Визначення характеристик марсіанського клімату;
- Вивчення геології Марса;
- Вивчення можливості проведення людиною геологорозвідувальних робіт на Марсі, зокрема рівнів радіації.

На своєму борту орбітальний апарат «2001 Mars Odyssey» нестиме три спектрометри різного типу, розроблених із метою подальшого вивчення клімату планети, пошуків води та проявів зниклого життя:

◆ термочувлива система отримання зображень, що працює у видимому та інфрачервоному діапазонах спектра та призначена для ідентифікації мінералів на марсіанській поверхні; роздільна здатність інструмента у видимому діапазоні складає 20 м; розміри ділянки на знімках 20 × 20 км.

◆ GRS — гамма-спектрометр для ідентифікації 20 хімічних елементів, зокрема вуглецю, кремнію, заліза, магнію.

◆ MARIE — Mars Radiation Environment Experiment — спектрометр для вивчення радіаційного середовища планети.