

---

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2017.03.073>

УДК 629.78

**А. А. Василенко**

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ, Україна

## **КОСМІЧНІ МІСІЇ НАЙБЛИЖЧОГО МАЙБУТНЬОГО: ВНУТРІШНЯ ОБЛАСТЬ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ**

---

*Наведено огляд найближчих за часом проведення космічних місій для дослідження внутрішньої області Сонячної системи, а саме «Solar Probe Plus», «Solar Orbiter», «BepiColombo», «EXOMars» та «InSight». Їхній запуск заплановано на 2018—2020 рр., і кожна з них буде досліджувати або Сонце, або планету земної групи. Коротко описуються призначення та технічне оснащення космічних апаратів, плани їхнього польоту та наукові цілі.*

**Ключові слова:** космічні апарати, орбіта, сонячний вітер, магнітне поле Меркурія, атмосфера Марса, поверхня Марса.

---

Дослідження Сонячної системи космічними апаратами, що триває вже понад півстоліття, допомагає відповісти на найбільш важливі наукові проблеми вивчення ближнього космосу. Це проблеми як астрофізики, так і «земних» наук, адже вони стосуються не тільки фізичних процесів як таких, але й загальної картини того, чому, як і коли сформувались Сонце, планети у завершеному вигляді, виникли умови для появи складних органічних сполук та самого життя.

Завдяки суттєвому технологічному прогресу останнього десятиліття космічні апарати отримали змогу виконувати задачі, які раніше здавались неможливими без втручання людини або з огляду на умови перебування апарата. Яскравим прикладом виходу із зони «комфорту» роботи попередніх апаратів є кілька місій, запланованих на наступні 2—3 роки. Особливо це стосується дослідження Сонця з надзвичайно малої відстані апаратами «Solar Probe Plus» та «Solar Orbiter», а також марсіанської місії EXOMars, який вперше

виконає відносно глибоке буріння верхнього шару поверхні Марса та проаналізує отримані зразки.

Представлений огляд висвітлює найбільш важливі та перспективні місії до внутрішніх областей Сонячної системи впродовж 2018—2020 років, які вже перебувають на завершальній стадії виготовлення космічного апарата або його тестування як цілого.

### **«SOLAR PROBE PLUS»**

Ця американська космічна місія є не тільки першою у списку в нашому огляді, але й «найгарячішою» через те, що космічний апарат, метою якого є вивчення Сонця, наблизиться до нього на безпрецедентну відстань — до 6.2 млн км, тобто на відстань близько 8.5 радіусів Сонця <sup>1</sup>! Таке «екстремальне» наближення із зануренням у корону Сонця потрібне для вирішення двох значущих питань геліофізики <sup>2</sup>: а) чому корона Сонця має настільки вищу температуру, ніж його поверхня?

---

© А. А. ВАСИЛЕНКО, 2017

<sup>1</sup> [https://solarprobe.gsfc.nasa.gov/spp\\_mission.htm](https://solarprobe.gsfc.nasa.gov/spp_mission.htm)

<sup>2</sup> [https://solarprobe.gsfc.nasa.gov/spp\\_science.htm](https://solarprobe.gsfc.nasa.gov/spp_science.htm)

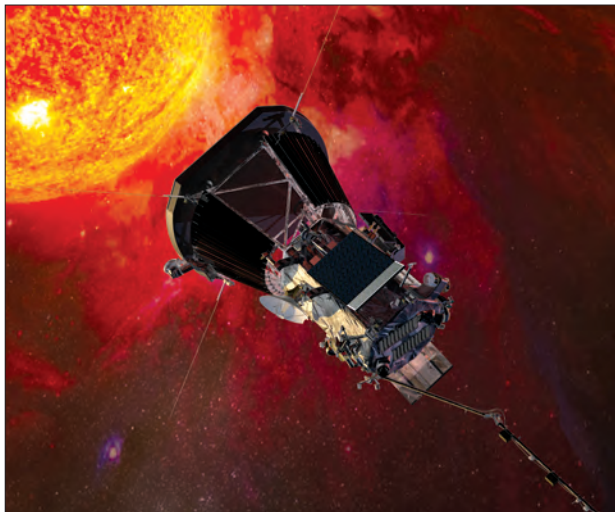


Рис. 1. «Solar Probe Plus» у космосі. Ілюстрація. Credit: Johns Hopkins University

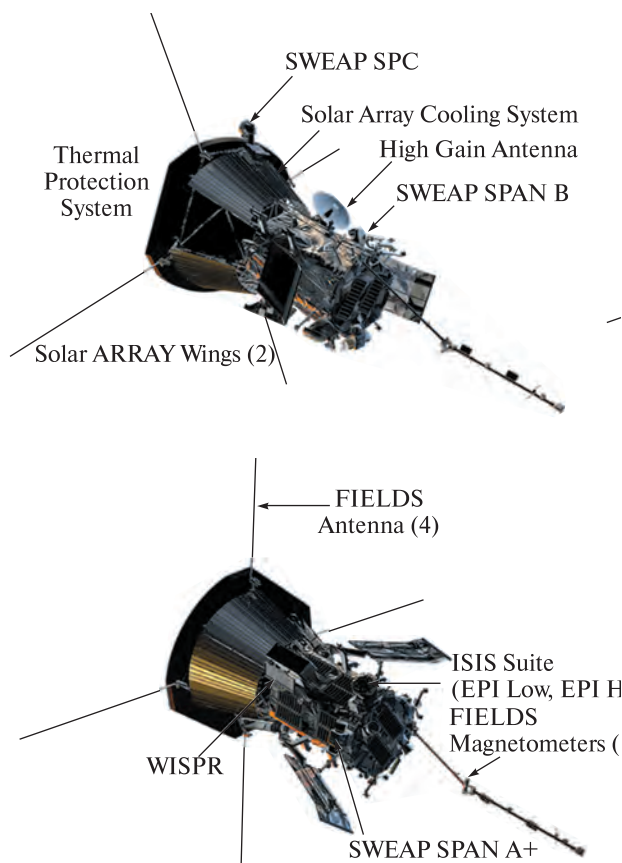


Рис. 2. Розташування інструментів «Solar Probe Plus» з двох позицій. Credit: Johns Hopkins University

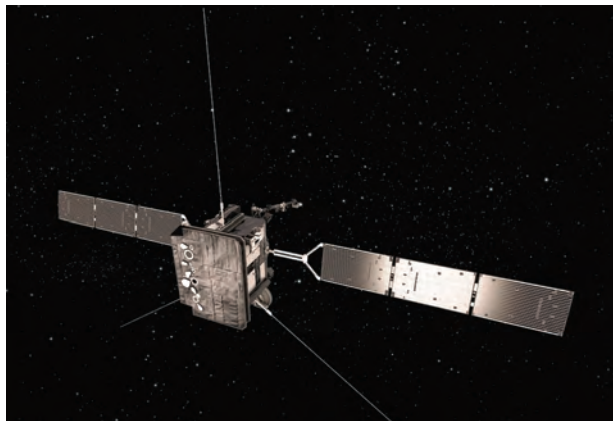


Рис. 3. «Solar orbiter» у космосі. Ілюстрація. Copyright: ESA

Які фізичні механізми за це відповідають і як саме вони діють? б) як і чому відбувається прискорення частинок сонячного вітру? Яка структура та роль у цьому магнітних полів?

У доповнення до наукової мотивації основних цілей «Solar Probe Plus» нещодавно було виконано важливе дослідження властивостей сонячного вітру. А саме, у середині 2016 р. команді вчених, які працюють з апаратами STEREO, завдяки застосуванню складних алгоритмів для очищення та обробки зображень корони вдалось виявити важливу просторову характеристику сонячного вітру [3]. Вони визначили межу, після якої сонячний вітер з упорядкованої структури променів (які чітко спостерігаються під час сонячних затемнень) переходить у турбулентний стан, — це приблизно 32 млн км від поверхні Сонця. З фізичної точки зору це область, де напруженість магнітного поля падає настільки, що воно не може повністю контролювати поведінку речовини вітру, яка починає вести себе як «звичайний гарячий газ». Оскільки «Solar Probe Plus» кілька разів перетинатиме цю межу, він значно допоможе зрозуміти поведінку магнітних полів та вітру під час «розпаду» його упорядкованої структури.

Старт місії заплановано на літо 2018 р. Під час місії апарат повинен здійснити 24 оберти навколо Сонця та сім гравітаційних маневрів біля Венери.

Екстремальні умови роботи зонду вимагають таких же технологій для його роботи<sup>3</sup>. Так, з боку

<sup>3</sup> <http://parkersolarprobe.jhuapl.edu/index.php#the-mission>

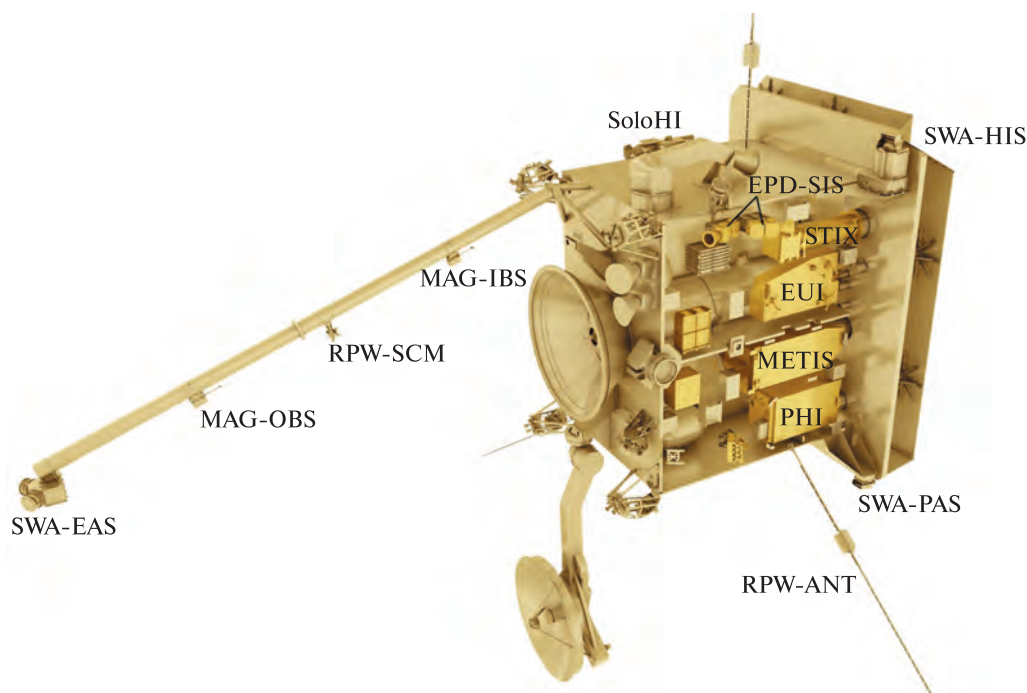


Рис. 4. Розташування інструментів «Solar Orbiter». Для ілюстрації бічна стінка видалена. Інструмент SPICE (не показаний) кріпиться до верхньої панелі знизу. Copyright: ESA

Сонця його буде захищено спеціальним товстим (11.43 см) вуглецево-композитним екраном TPS (діаметр 2.43 м), який повинен витримати температури до 1400 °С.

На борту буде розташовано чотири комплекси: а) FIELDS — набір інструментів для прямих вимірювань електричних та магнітних полів, густини плазми, електронної температури, радіовипромінювання та потоку Пойнтінга; б) ISIS — пристрій для вимірювання енергій заряджених частинок від десятків кеВ до 100 МеВ; в) WISPR — телескоп видимого діапазону для отримання зображень корони та внутрішньої геліосфери; г) SWEAP — три пристрої для вимірювання швидкості, густини та температури альфа-частинок, протонів та електронів.

Прогнозується, що зонд функціонуватиме до 2025 року включно.

31 травня 2017 р. НАСА прийняло рішення назвати цей космічний апарат іменем Юджина Паркера — астрофізика, який виконав піонерські роботи з дослідження сонячного вітру (саме він запропонував цю назву у 1958 р.) та його взаємодії з магнітним полем.

#### «SOLAR ORBITER»

«Solar Probe Plus» не буде єдиним у своїх дослідженнях Сонця та його околиць. У жовтні 2018 р. паралельно повинна розпочатись місія ЄКА «Solar Orbiter». Це буде складний та великий апарат з більш ніж десятком наукових інструментів<sup>4</sup>. Після запуску він здійснить серію гравітаційних маневрів, які виведуть його на орбіту з максимальним наближенням до Сонця на відстань 42 млн км. Завдяки тому що період цієї еліптичної орбіти буде резонансним до руху Венери, поступово буде збільшуватись її нахил відносно екватора Сонця. Наприкінці основного терміну (біля 7 років) нахил становитиме 25°, а під кінець розширеної місії — 34°. Така особливість руху «Solar Orbiter» дозволить йому спостерігати за полярними областями Сонця.

Як і для «Solar Probe Plus», серед основних цілей європейського апарата значиться дослідження геліосфери (вплив на неї транзєнтів та соняч-

<sup>4</sup> <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter>



Рис. 5. Модулі МРО та ММО на орбіті навколо Меркурія. Ілюстрація. Copyright: ESA

них викидів), магнітосфери та корони Сонця, сонячного динамо, походження сонячного вітру [4, 5]. Принципова відмінність між цими двома апаратами полягає у тому, що «Solar Orbiter» нестиме на собі три телескопи для отримання зображень самого Сонця, а не тільки його корони. По-перше, це буде 16-см телескоп Річі — Кретьєна РНІ, метою якого буде побудова векторів магнітного поля та отримання значення швидкості речовини фотосфери на промені зору. У точці перигелію він зможе розрізняти деталі на поверхні Сонця розміром до 150 км. По-друге, це два 3.5-см телескопи EUI<sup>5,6</sup> для УФ-діапазону.

Усі інструменти «Solar Orbiter» можна поділити на два типи — прямої дії та дистанційного вимірювання. Інструменти прямої дії (детектор частинок EPD, магнітометр MAG, реєстратор радіо- та плазмових хвиль RPW, аналізатор SWA) будуть працювати постійно протягом кожної 168-денної орбіти. Інструменти дистанційного вимірювання (телескопи РНІ<sup>7</sup> та EUI, коронограф METIS<sup>8</sup>, рентгенівський спектрометр STIX, корональний спектрограф SPICE<sup>9</sup> та геліосферна камера SoloHI) працюватимуть лише протягом 30 днів на одному

оберті — у точці перигелію та точках найбільшої кутової відстані від екватора Сонця.

Працюючи у тандемі, «Solar Probe Plus» та «Solar Orbiter» зможуть принести вченим не лише багато нових, але й, можливо, революційних знань, адже ще жодного разу так добре оснашені апарати не запускались настільки близько до Сонця.

#### «BEPICOLOMBO»

Меркурій — найближча до Сонця та найменш вивчена планета земної групи. Пояснюється це головним чином тим, що спостерігати Меркурій із Землі дуже незручно: він ніколи не відходить далеко від Сонця — його максимальна елонгація всього 28°. До того ж це маленька планета — її діаметр лише на 1400 км більший від діаметра Місяця.

Запускати для його вивчення космічні зонди — теж непросте завдання. Причин тут дві — велика інтенсивність теплового потоку від Сонця та гравітаційний вплив останнього, що значно ускладнює виведення апарата на стабільну орбіту навколо Меркурія. До цього часу планету вивчали лише два апарати — «Марінер-10», який у 1974—1975 рр. здійснив три прольоти біля планети [1], і «Мессенджер» — перший апарат, який вийшов на орбіту навколо Меркурія. Ця остання місія<sup>10</sup>, яка була також дуже успішною, тривала з березня 2011 р. до квітня 2015 р.

Наступним етапом вивчення Меркурія стане місія «BepiColombo»<sup>11</sup>, яка орієнтовно стартуватиме у жовтні 2018 р. запуском ракетою «Аріан-5». Протягом трохи більше семи років польоту до своєї цілі апарат виконає 9 гравітаційних маневрів: один біля Землі, два біля Венери та шість біля Меркурія. На початку 2026 р. очікується старт основної роботи на навколомеркуріанській орбіті<sup>12</sup>.

Космічний апарат «BepiColombo» складатиметься з трьох окремих модулів, які разом утворюють комплекс «Mercury Composite Spacecraft» (MCS). Перший і найбільший модуль — європейський «Mercury Planetary Orbiter»<sup>13</sup> (МРО), дру-

<sup>5</sup> <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-eui>

<sup>6</sup> <http://eui.sidc.be/public/eui-short.php>

<sup>7</sup> <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-phi>

<sup>8</sup> <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-metis>

<sup>9</sup> <https://www.mps.mpg.de/solar-physics/solar-orbiter-spice>

<sup>10</sup> <http://sci.esa.int/bepicolombo/56015-missions-to-mercury/>

<sup>11</sup> <http://sci.esa.int/bepicolombo/33022-summary/>

<sup>12</sup> <http://sci.esa.int/bepicolombo/47346-fact-sheet/>

<sup>13</sup> <http://sci.esa.int/bepicolombo/48872-spacecraft/>

гий модуль — європейсько-японський «Mercury Magnetospheric Orbiter»<sup>14</sup> (ММО). Третій модуль — «Mercury Transfer Module» (МТМ) — перелітний модуль, який забезпечить доставку МРО та ММО до цілі. Особливістю МТМ буде використання ксенонового електронно-іонного двигуна SEP, який має малу тягу, але може безперервно працювати дуже довго.

Після виходу на орбіту МРО та ММО розділяться: перший працюватиме на полярній орбіті 480 км та 1500 км для перигелію та афелію відповідно, а другий — також на полярній орбіті з параметрами 590 км та 11 640 км. МРО має на борту 11 інструментів, серед яких різні камери (SIMBIO-SYS), 5 спектрометрів — SIMBIO-SYS (ІЧ), PHEBUS (УФ), MIXS (X-ray), MGNS (γ-ray та нейтронів); лазерний альтиметр BELA, радіометр MERTIS тощо. ММО нестиме більш вузькоспеціалізовані прилади для вивчення магнітосфери та сонячного вітру, а саме магнітометр MERMAG-M/MGF, камера MSASI для спостереження екзосфери Меркурія у лініях натрію, аналізатор частинок плазми MPPE, аналізатор хвиль у плазмі PWI, пиловий монітор MDM. Основними цілями місії<sup>15</sup> є [2]: а) вивчення Меркурія як планети — його форми, внутрішньої будови, геології, складу та кратерів; б) вивчення структури та динаміки екзосфери та магнітосфери; в) визначення походження магнітного поля Меркурія; г) дослідження полярних областей, які містять водяний лід та водневомісткі сполуки; д) виконання тестів для перевірки ЗТВ.

Ця місія розрахована щонайменше на один земний рік (або 4 меркуріанських роки) з можливістю продовження.

#### «EXOMARS»

Марс... Цю планету людство буде, скоріше за все, вивчати постійно до тих пір, доки воно туди не прийде у вигляді малої колонії або поселення. Починаючи від войовничих інопланетян Герберта Веллса і закінчуючи мікроорганізмами або їхніми скам'янілостями, люди постійно хотіли «заселити» цю планету. Але до сьогодні вчені так і не

<sup>14</sup> [http://www.stp.isas.jaxa.jp/mercury/p\\_mmo.html](http://www.stp.isas.jaxa.jp/mercury/p_mmo.html)

<sup>15</sup> <http://sci.esa.int/bepicolombo/31350-objectives/>



Рис. 6. Модулі ММО та МТМ (справа) у складальному цеху. Copyright: ESA — Anneke Le Floc'h



Рис. 7. Підготовка до з'єднання модулів МРО (зверху) та МТМ. Copyright: ESA — Anneke Le Floc'h

відповіли чітко на питання — чи є/було життя на Марсі. Двохетапна місія EXOMars повинна виконати суттєвий крок у його пошуку, адже вперше на марсоході буде використано бур для отримання глибоких проб ґрунту.

Першим її етапом став запуск 14 березня 2016 р. комплексу TGO-EDM — орбітального апарата



Рис. 8. «Exomars Rover» на поверхні Марса. Ілюстрація. Copyright: ESA/ATG medialab

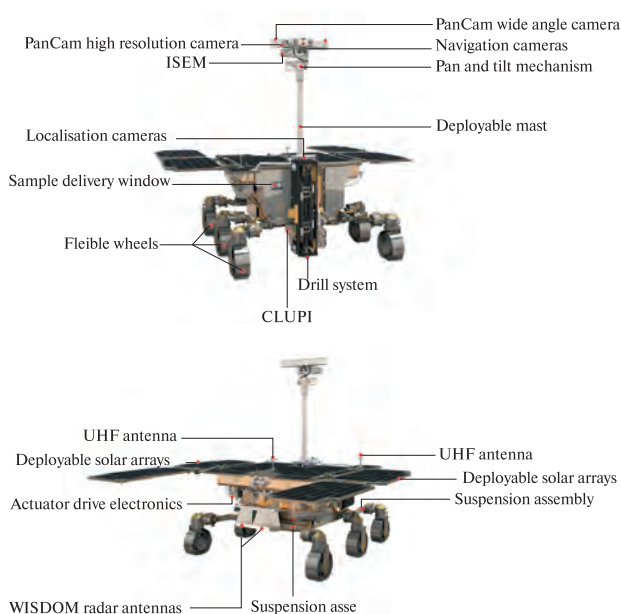


Рис. 9. Розташування інструментів лабораторії «Exomars Rover». Copyright: ESA/ATG medialab

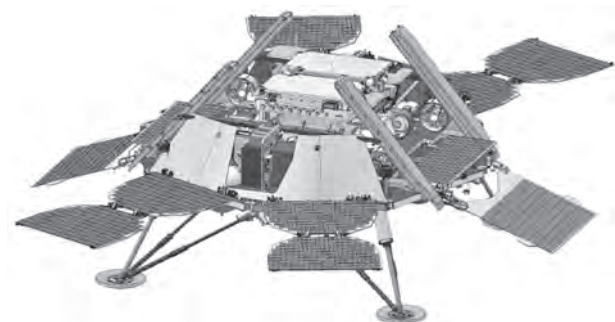


Рис. 10. Макет посадкової платформи разом з «Exomars Rover». Credit: Roscosmos/Lavochkin/IKI

«Trace Gas Orbite» та експериментального посадочного модуля «Скіапареллі». Перший є спільним європейсько-російським апаратом для вивчення складу атмосфери Марса та його поверхні. Містить у собі чотири інструменти: нейтринний детектор FRENД, УФ/ІЧ-спектрометри ACS та NOMAD та стереокамеру CaSSIS. 19 жовтня 2016 р. TGO успішно вийшов на свою орбіту та наразі працює. Модуль «Скіапареллі» зазнав сумної долі, розбившись на поверхні Марса через помилки системи спуску та посадки.

Найважливішою частиною програми EXOMars стане другий етап у 2020 р., коли планується посадити на Марс дві великі лабораторії — мобільну «ЕхоMars Rover» і стаціонарну платформу з великою кількістю наукових інструментів.

Побудовою марсохода займається ЄКА<sup>16</sup>, і його головною особливістю стане наявність поворотного бура<sup>17</sup>, який зможе брати проби з глибини максимум 2 м. Цікаво, що бур включає у себе мініатюрний ІЧ-спектрометр Ma\_MISS, який буде безпосередньо досліджувати мінералогію в отриманій свердловині. Марсохід також нестиме на собі низку інструментів<sup>18</sup>: мультиспектральні камери (PanCam, CLUPI), спектрометри (ISEM, MicrOmega), радарну систему WISDOM, російський нейтронний детектор «Adron», комплекс для аналізу зразків ґрунту. Останній, окрім дослідження ґрунту самого по собі, буде також шукати біомаркери, ймовірність виявлення яких під поверхнею набагато більша, ніж ззовні через більшу захищеність від опромінювання Сонця та фотохімічних процесів. Для пошуків слідів життя на ЕхоMars Rover поставлено комплекс пристроїв під загальною назвою «Аналітична лабораторія Пастера», куди входить аналізатор молекул МОМА, раманівський спектрометр RLS.

Стаціонарну платформу розробляє російське НВО ім. С. М. Лавочкіна. Це буде автономний комплекс<sup>19</sup> для дослідження складу, властивостей атмосфери та поверхні Марса, його припо-

<sup>16</sup> <http://exploration.esa.int/mars/45084-exomars-rover/>

<sup>17</sup> <http://exploration.esa.int/mars/43611-rover-drill/>

<sup>18</sup> <http://exploration.esa.int/mars/45103-rover-instruments/>

<sup>19</sup> <http://exploration.esa.int/mars/56933-exomars-2020-surface-platform/>

верхневих шарів та сейсміки. Основними науковими завданнями для приладів платформи буде моніторинг поверхні місця посадки, довготривалий моніторинг клімату та атмосферні дослідження.

#### «INSIGHT»

Окрім питання життя, Марс відомий тим, що це єдина планета у Сонячній системі, де у минулому відбувалась вулканічна діяльність, подібна до земної. Але вона не була довгою, про що свідчить відсутність окремих тектонічних плит, а це, у свою чергу, надає унікальну можливість збереження древнього «фото» структури марсіанського ядра, мантії та кори. Таким чином, з точки зору фундаментальних геологічних процесів Марс є такою собі «золотоволосою»: з одного боку, він є достатньо масивним, щоб у його надрах відбулась диференціація речовини, але не достатньо для того, щоб підтримувати теплові процеси та свої «геологічні» процеси протягом усього часу свого існування.

«InSight» (попередня назва GeMS) — місія НАСА в рамках програми «Discovery», яка буде першою місією, призначеною виключно для дослідження надр Марса<sup>20</sup>. Вона буде вирішувати одну з найбільш фундаментальних проблем<sup>21</sup> — розуміння процесів, які сформували планети земної групи чотири мільярди років тому.

«InSight» буде «проникати» глибоко під поверхню Марса та виявляти «життєво важливі ознаки» планети: її «пульс» (сейсмологія), «температуру» (датник теплового потоку), і «рефлекси» (позиціонування). Найголовнішими в цьому апараті будуть два інструменти. Перший — надзвичайно чутливий французький герметичний сейсмометр SEIS, який після посадки модуля за допомогою маніпулятора буде знято з платформи та поставлено на поверхню Марса. Другий — HP3<sup>22</sup>, який розшифровується як «Комплекс вивчення теплових потоків та фізичних властивостей». По суті це стрічка, на початку якої змонтовано ударний механізм «Grackol mole», який дозволить заглибитися на 5 м під поверхню. На усій довжині стрічки через кожні 10 см змонтовано датники температури. Це дозво-

<sup>20</sup> <https://insight.jpl.nasa.gov/overview.cfm>

<sup>21</sup> <https://insight.jpl.nasa.gov/science.cfm>

<sup>22</sup> <http://www.dlr.de/pf/en/desktopdefault.aspx/tabid-8653>



Рис. 11. «InSight» у чистій кімнаті цеху Lockheed Martin. Credit: NASA/JPL-Caltech/Lockheed Martin

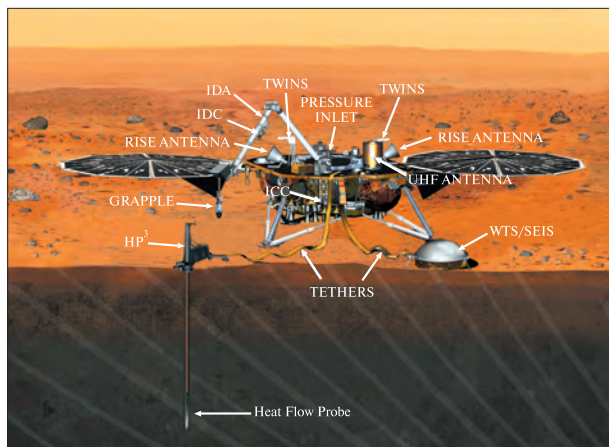


Рис. 12. «InSight» на поверхні Марса та розташування його інструментів. Ілюстрація. Credit: NASA/JPL-Caltech

лить отримати параметри теплопровідності та величину потоку тепла від надр планети.

Апарат також нестиме на борту ще ряд інструментів<sup>23</sup>, такі як різні камери та датники стану зовнішнього середовища. Серед них можна виділити незвичний інструмент RISE, який по суті представляє собою дві антени X-радіодіапазону, направлені у протилежні сторони. Його мета — на основі ефекту Доплера позиціонувати «InSight» на поверхні з точністю до сантиметрів для вивчення обертання Марса навколо своєї осі та визначати його коливання.

<sup>23</sup> <https://insight.jpl.nasa.gov/technology.cfm>

Запуск аппарата заплановано на травень 2018 р. з прибуттям до Марса в кінці листопада. Прогнозована тривалість роботи на Марсі послідовника місії «Phoenix» розрахована на два земних роки.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патон Б. Є., Вавилова І. Б., Негода О. О., Яцків Я. С. Важливі віхи комічної ери // Космічна наука і технологія. — 2001. — 7, № 1. — 92 с.
2. Benkhoff J., van Casteren J., Hayakawa H., et al. BepiColombo — Comprehensive exploration of Mercury: Mission overview and science goals // Planet. Space Sci. — 2010. — 58, N 1-2. — P. 2.
3. DeForest C. E., Matthaeus W. H., Viall N. M., Cranmer S. R. Fading coronal structure and onset of turbulence in the young solar wind // Astrophys. J. — 2016. — 828, N 2. — P. 66—82.
4. Müller D., Marsden R. G., St. Cyr O. C., Gilbert H. R. Solar Orbiter. Exploring the Sun-Heliosphere Connection // Solar Phys. — 2013. — 285, N 1-2. — P. 25.
5. Woch J., Gizon L. The Solar Orbiter mission and its prospects for helioseismology // Astron. Nachr. — 2007. — 328, N 3. — P. 362.

Стаття надійшла до редакції 22.06.17

#### REFERENCES

1. Paton B. Ye., Vavilova I. B., Negoda O. O., Yatskiv Ya. S. Important milestones in the history of the space era. *Kosm. nauka tehnol.*, 7(1): 1—92 (2001).
2. Benkhoff J., van Casteren J., Hayakawa H., et al. BepiColombo — Comprehensive exploration of Mercury: Mission overview and science goals. *Planet. Space Sci.*, 58 (N 1-2), 2 (2010).
3. DeForest C. E., Matthaeus W. H., Viall N. M., Cranmer S. R. Fading coronal structure and onset of turbulence in the young solar wind. *Astrophys. J.*, 828, 66—82 (2016).
4. Müller D., Marsden R. G., St. Cyr O. C., Gilbert H. R. Solar orbiter. Exploring the Sun-Heliosphere connection. *Solar Phys.*, 285 (N 1-2), 25 (2013).

5. Woch J., Gizon L. The Solar Orbiter mission and its prospects for helioseismology. *Astron. Nachr.*, 328 (N 3), 362 (2007).

А. А. Василенко

Главная астрономическая обсерватория  
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

#### КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ БУДУЩЕГО: ВНУТРЕННЯЯ ОБЛАСТЬ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Приводится обзор ближайших по времени запуска космических миссий для исследования внутренней области Солнечной системы, а именно «Solar Probe Plus», «Solar Orbiter», «BepiColombo», «EXOMars», а также «InSight». Их запуск запланирован на 2018—2020 гг., и каждый из них будет исследовать или Солнце, или планету земной группы. Коротко описываются предназначение и техническое оснащение космических аппаратов, планы их полёта и научные цели.

**Ключевые слова:** космические аппараты, орбита, солнечный ветер, магнитное поле Меркурия, атмосфера Марса, поверхность Марса.

А. А. Vasilenko

Main Astronomical Observatory  
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### FUTURE SPACE MISSIONS: THE INNER REGION OF THE SOLAR SYSTEM

The paper deals with an overview of space missions to explore the inner region of the Solar System, the nearest on time of their launch, namely, Probe Plus, Solar Orbiter, BepiColombo, EXOMars, and InSight. Each of them will study either the Sun or the planet of the Earth group. Their launches are planned for 2018—2020. We describe briefly predestination and technical equipment of spacecraft, flight plan and scientific goal of these missions.

**Keywords:** spacecraft, orbit, solar wind, Mercury magnetic field, Martian atmosphere, Martian surface.