

СВІТЛАНА ГЛУБЕНОК

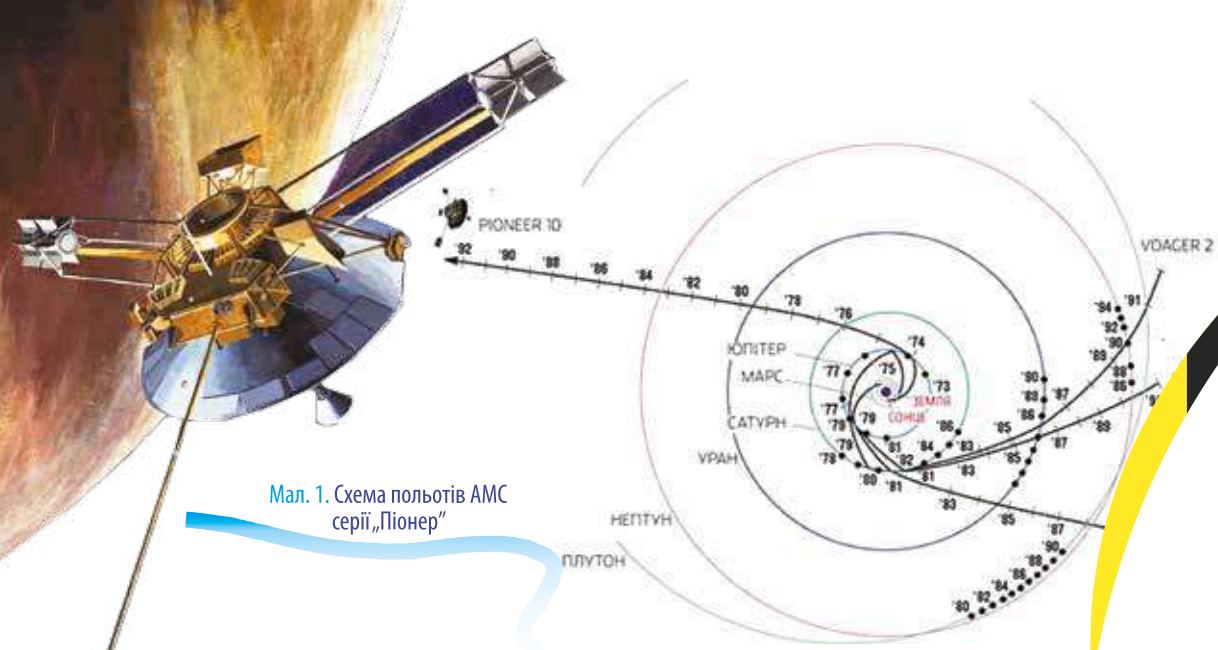
ГРАВІТАЦІЙНИЙ МАНЕВР

Не знаю як ти, шановний читачу, а я була дуже вражена, коли прочитала про невдалі місії до Марса. Особливо здивувало те, що деякі космічні станції взагалі не потрапили на Марс. Як не потрапили, чому? Поцікавилася, якою ж була траєкторія їхнього польоту. Чому саме така?

На схемах траєкторії міжпланетних польотів виглядають дуже просто: від Землі станція рухається по дузі еліпса, яка врешті впирається в планету. Таку орбіту (її ще називають гоманівською, на честь німецького вченого В. Гомана, який вперше запропонував її) диктує перший закон Кеплера. Теоретично вона гарантує мінімальні затрати енергії, оскільки космічні кораблі в цьому випадку більшу частину часу здійснюють вільний рух у полі тяжіння Сонця. Але реальний космічний апарат, запущений на цю орбіту, може схибити на багато тисяч кілометрів! Справа в тому, що на рух апарату впливає не лише Сонце, але й планети. Тому точно розрахувати, де опиниться апарат через місяць або через рік, можна лише за допомогою складного чисельного моделювання. Щоб розра-

хувати координати апарату та його швидкість, скажімо, за годину, задають початкове положення і швидкість апарату, враховують розташування планет і сили, які діють з їхнього боку. Потім цикл обчислень повторюють, і крок за кроком прораховують усю траєкторію. Потрібна надзвичайна точність, адже помилки виправити нелегко, а іноді й неможливо. Наприклад, у розрахунках траєкторії польоту до Венери відхилення початкової швидкості лише на 1 м/с призведе до промаху у 10 000 кілометрів, а це більше, ніж розміри планети.

Плануючи міжпланетні місії, враховують різні навігаційні прийоми. Швидкість витікання робочого тіла з ракетних двигунів приблизно 3 км/с. За формулою Ціолковського на кожні додаткові 3 км/с розгону втричі збільшується стартова маса космічної системи. Щоб з низької навколосемної орбіти (швидкість приблизно 8 км/с) відправити апарат до Марса гоманівською траєкторією, потрібна швидкість приблизно 3,5 км/с, до Юпітера – 6 км/с, до Плутона – 8–9 км/с. Тому корисне навантаження у польотах до далеких планет складає лише декілька відсотків від виведеної на орбіту маси, яка, в свою чергу, становить лише декілька відсотків від стартової маси ракети. Ось чому 700-кілограмові „Вояджери” запускала до Юпітера 600-тонна ракета „Титан”. А якщо мета – вихід на орбіту навколо планети, то виникає необхідність брати з собою запас палива і для гальмування, відтак стартова маса значно збільшується.



Мал. 1. Схема польотів АМС серії „Піонер”

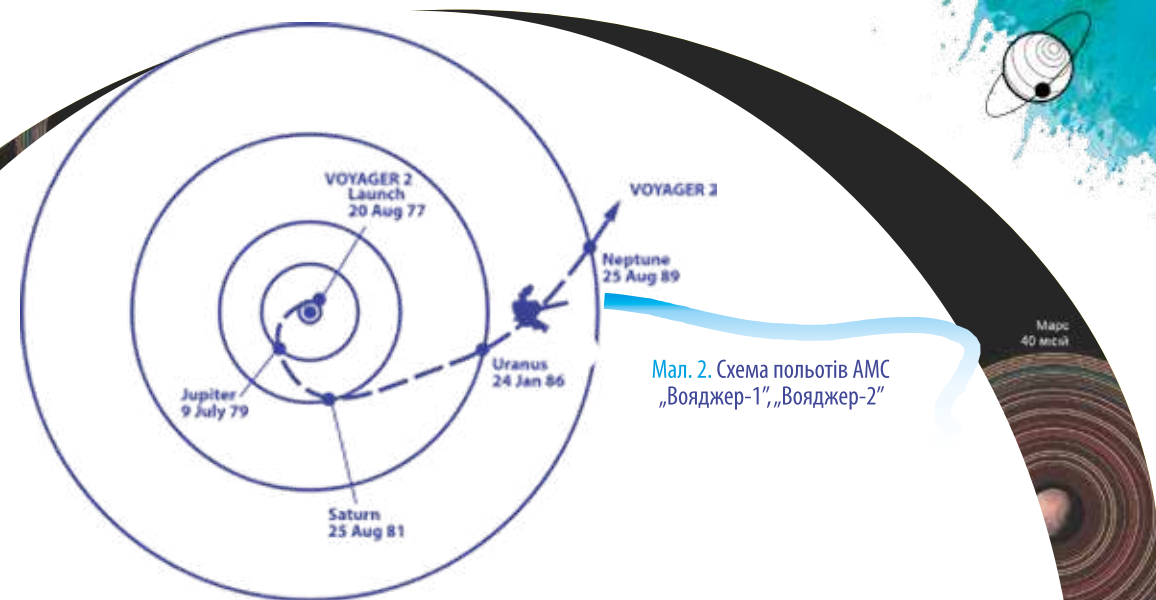
Для економії палива та досягнення високих швидкостей у польотах автоматичних міжпланетних станцій до далеких планет Сонячної системи використовують гравітаційний маневр, або ефект праці. Це – розгін, уповільнення або зміна напрямку польоту космічного апарата під дією гравітаційних полів небесних тіл.

У своїй роботі „Тим хто буде читати, щоб будувати” (1918–1919), опублікованій у 1937 році, наш земляк Олександр Шаргей (Юрій Кондратюк) довів, що подорожуючи між двома планетами, космічний апарат під впливом їхньої гравітації може прискорюватися на початку своєї траєкторії і сповільнюватися наприкінці. Фрідріх Цандер у своїй праці „Проблема польоту за допомогою реактивних апаратів: міжпланетні польоти” (1925) висловив аналогічні міркування. Але жоден з них не припустив, що гравітаційний маневр поблизу планет може прискорити апарат і значно зменшити кількість палива, необхідного для подорожі між планетами. Це відкриття зробив Майкл Мінович 1961 року.

Вперше гравітаційний маневр здійснила в 1974 році американська станція „Маринер-10”, пролетівши поблизу Венери у напрямку до Меркурія.

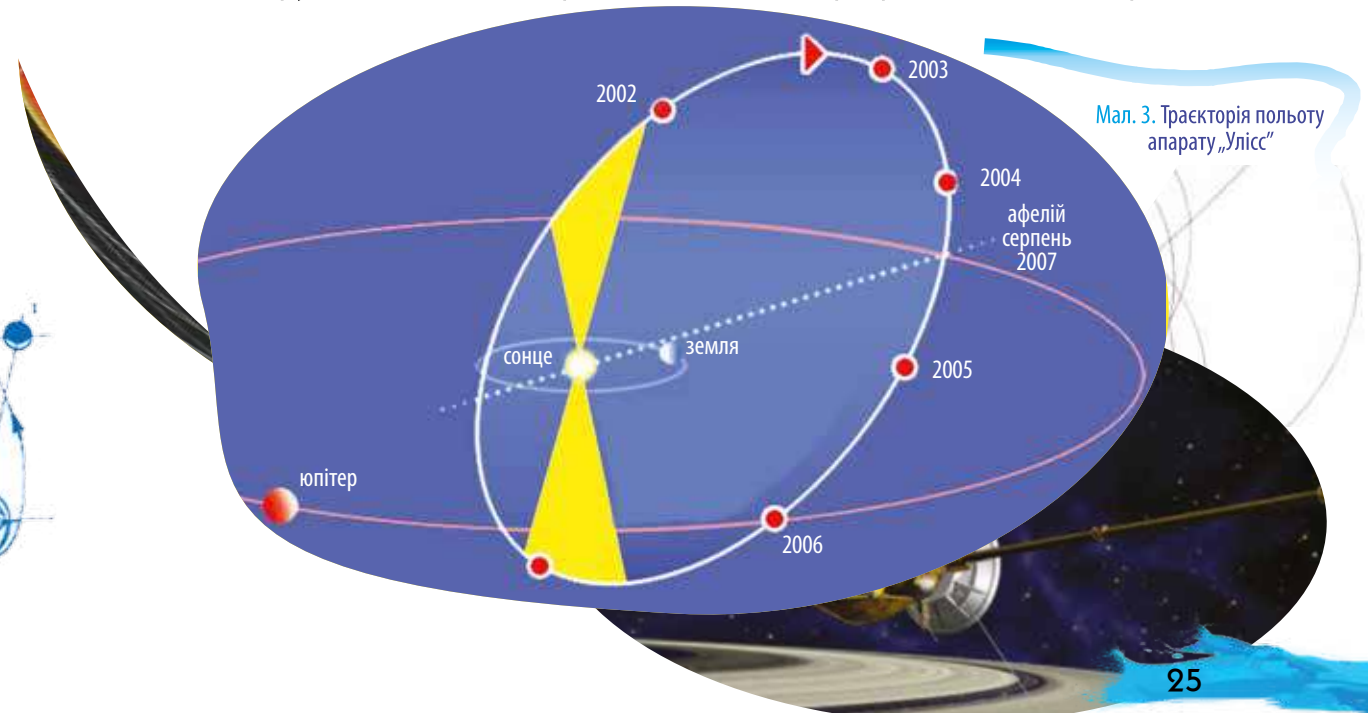


Олександр Шаргей

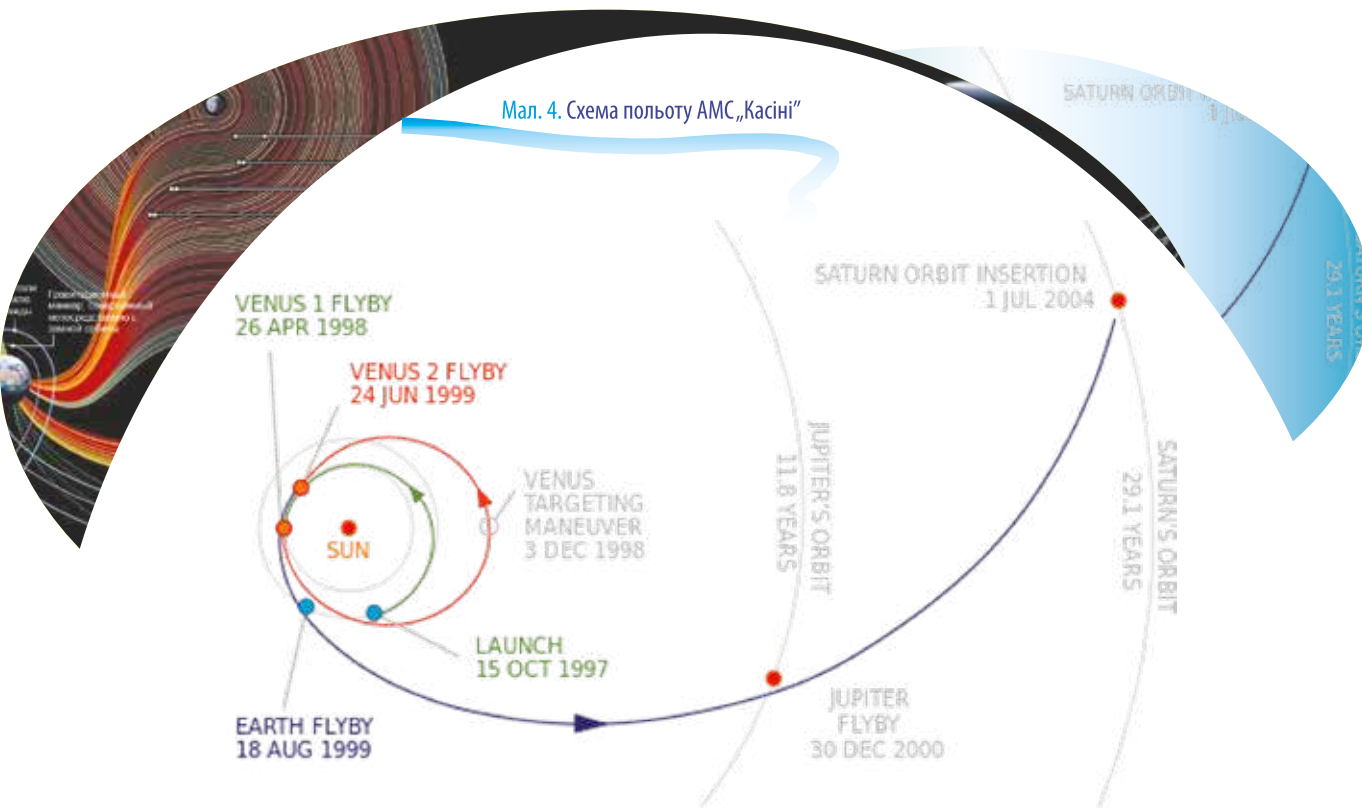


Мал. 2. Схема польотів АМС „Вояджер-1”, „Вояджер-2”

Спираючись на ідею Кондратюка, траєкторії міжпланетних перельотів часто прокладають поблизу планет не лише заради їхнього дослідження, але й для гравітаційного маневру у напрямку наступної, віддаленішої планети. Цей „фокус” називають пертурбацією. Його неодноразово застосовували під час подорожі „Піонерів” (мал. 1) і „Вояджерів” (мал. 2) за маршрутом Земля – Юпітер – Сатурн – Уран – Нептун. Для огляду полярних областей Сонця апарат „Улісс” пролетів маршрутом Земля – Юпітер – Сонце (мал. 3), а щоб дістатися без зайвих витрат пального до Юпітера, апарат „Галілей” рухався за маршрутом Земля – Венера – Земля – Юпітер. Гравітаційні маневри здій-



Мал. 3. Траєкторія польоту апарату „Улісс”



Мал. 4. Схема польоту АМС „Касіні”

снувала і автоматична міжпланетна станція „Касіні” (мал. 4).

Часто говорять про „захоплення” астероїдів і комет гравітаційним полем планет. Безперечно, захоплення без втрат енергії неможливе: якщо якесь тіло наближається до масивної планети, модуль його швидкості зростає, а потім настільки ж зменшується, коли тіло віддаляється. Космічні апарати, які виводять на орбіту супутники, гальмуються у верхніх шарах атмосфери (aerobraking), а у „чистому” гравітаційному маневрі правило рівності модуля швидкостей до і після зближення з планетою зберігається неухильно.

Як видно з таблиці 1, найвигіднішими є маневри поблизу планет-гігантів, причому, вони помітно скорочують тривалість польоту. Всі наведені в таблиці дані стосуються пасивного маневру, але

ТАБЛИЦЯ 1. МАКСИМАЛЬНІ ПРИРОСТИ ШВИДКОСТЕЙ (У КМ/С) ПІД ЧАС ГРАВИТАЦІЙНОГО МАНЕВРУ.

ПЛАНЕТА	Меркурій	Венера	Земля	Місяць	Марс	Юпітер	Сатурн	Уран
ШВИДКІСТЬ, км/с	3,005	7,328	7,910	1,680	3,555	42,73	25,62	15,18

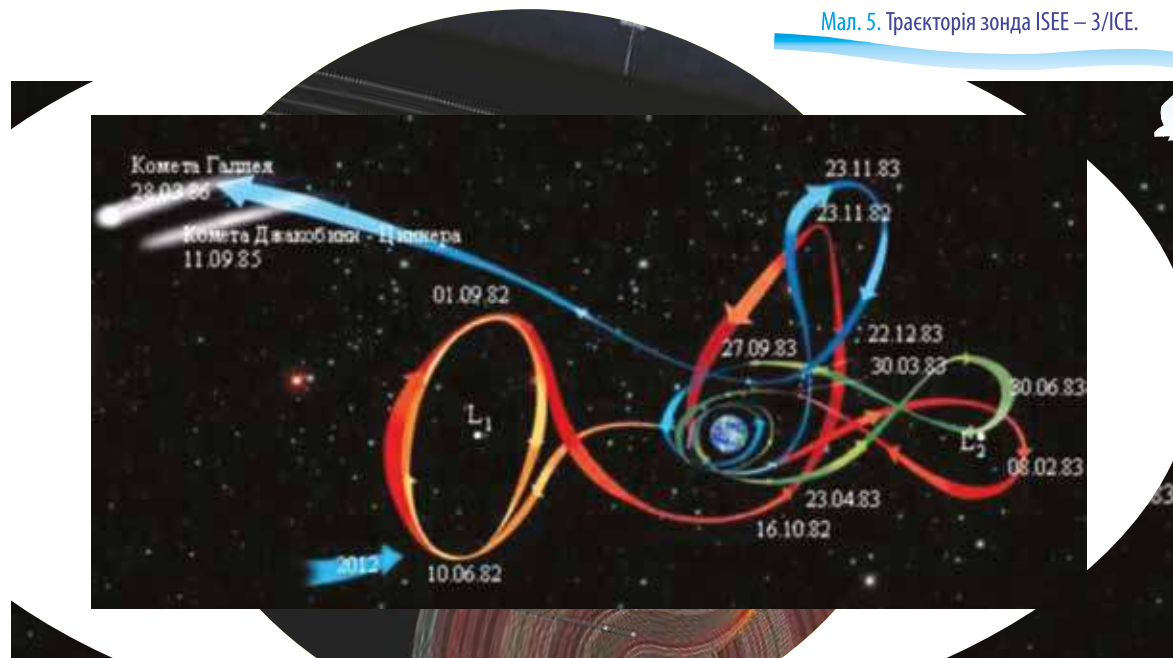
якщо в певній точці траєкторії польоту двигун створить невеликий реактивний імпульс, це дасть суттєвий додатковий вигравш.

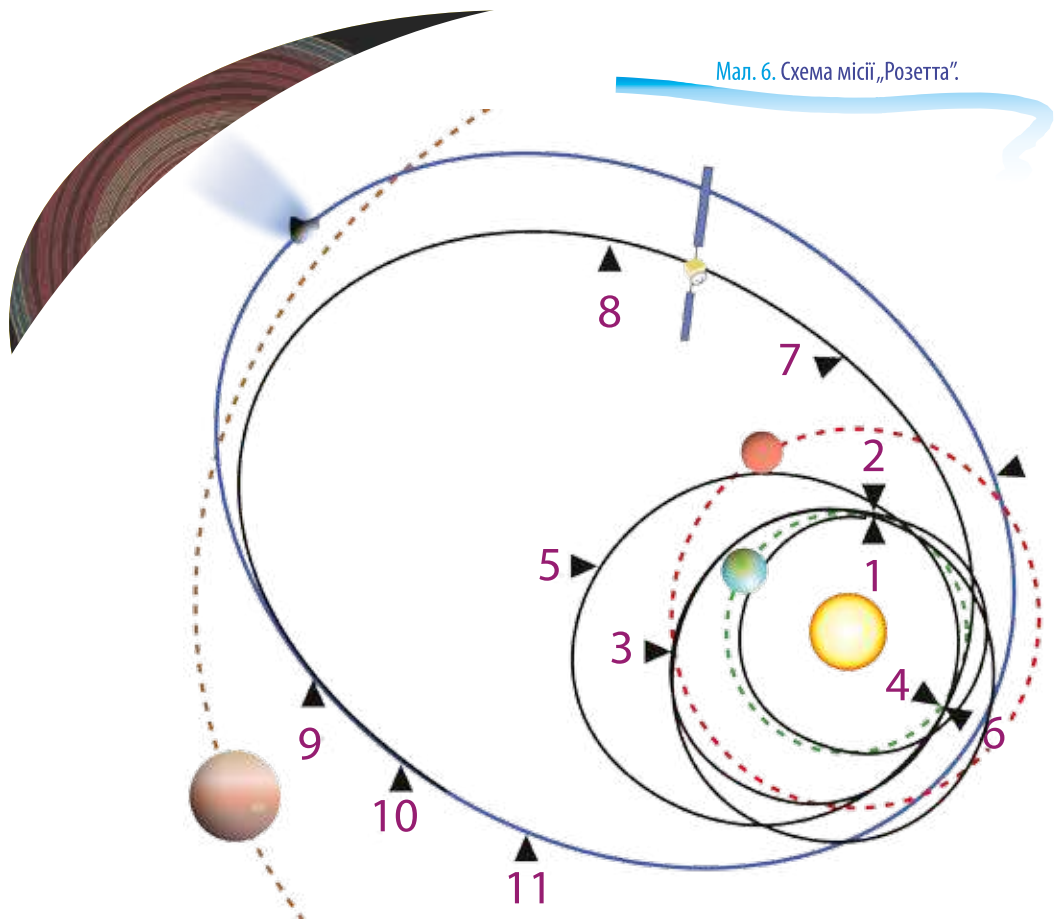
Переваги гравітаційного маневру до планет-гігантів у порівнянні з гоманівською орбітою такі значні, що корисне навантаження апарата можна збільшити вдвічі, а час його прибуття в заплановану точку при цьому скорочується. Маневри поблизу Землі, Венери і навіть Місяця теж використовують, але вони значно збільшують тривалість космічної подорожі: маса в цьому випадку, так би мовити, „розмінюється” на час польоту, і завершення місії доводиться чекати зайві 2–3 роки. Однак прагнення скоротити витрати на дорогі космічні програми змушує змиритися з довготривалими проектами. Тому маршрут польоту зазвичай обирають, охоплюючи кілька планет.

Так, 1986 року гравітаційний маневр поблизу Венери забезпечив зустріч радянських апаратів „ВЕГА-1” і „ВЕГА-2” з кометою Галлея. Зонд ISEE – 3/ICE чотири роки (1978–1982) вивчав Сонце з орбіти Землі, а потім шляхом складних гравітаційних маневрів поблизу Землі і Місяця був спрямований на зустріч з кометами Джакобіні-Циннера (1985) і Галлея (1986) (мал. 5).

Найбільш складні, але тим і цікаві – пертурбації поблизу декількох небесних тіл. Наприклад, станція „Галілео” на шляху до Юпітера спочатку здійснила гравітаційний маневр у полі тяжіння Венери, а

Мал. 5. Траєкторія зонда ISEE – 3/ICE.





Мал. 6. Схема місії „Розетта”.

- 1 – березень 2004: запуск КА; 2 – березень 2005: перший проліт повз Землю;
- 3 – лютий 2007: проліт повз Марс; 4 – другий проліт повз Землю;
- 5 – вересень 2008: зближення з астероїдом Штейнс; 6 – листопад 2009: третій проліт повз Землю;
- 7 – липень 2010: зближення з астероїдом Лютеція; 8 – липень 2011: переведення КА в режим сну; 9 – січень 2014: пробудження КА; 10 – серпень 2014: вихід на орбіту комети;
- 11 – листопад 2014: посадка зонда на поверхню комети;

потім ще два – поблизу Землі. Такі польоти можливі лише за певного розташування планет.

Найзнаменитіше „велике турне” здійснив „Вояджер-1”, який послідовно пролетів поблизу Юпітера, Сатурна, Урана і Нептуна. Його близнюк „Вояджер-2” міг би пройти тим самим маршрутом,

проте вчені вирішили спрямувати його до супутника Сатурна Титана, який безповоротно відхилив траєкторію станції від напрямку на Уран. Це було нелегке, але правильне рішення, завдяки якому через 24 роки зонд „Гюйгенс” здійснив успішну посадку на Титан.

Рекордсменом за кількістю гравітаційних маневрів є місія „Розетта”, відправлена Європейською космічною агенцією 2 березня 2004 року. „Розетта” – перший апарат, який вийшов на орбіту комети Чурюмова-Герасименко¹ і зблизька спостерігав за її ядром та хвостом. Апарат складався з двох частин: власне зонду „Розетта”, що вийшов на орбіту комети, та спускового модуля „Філі”, який 12 листопада 2014 року здійснив першу у світі м’яку посадку на поверхню комети. Назва зонду походить від Розеттського каменю, за допомогою якого вчені розшифрували давньоєгипетські ієрогліфи.

Приземлення на комету розміром (4,1×3,2×1,3) км, яка рухалася зі швидкістю 18 км/с, відбулося на відстані 510 млн км від Землі. Радіосигнал долає таку відстань півгодини, тому контроль за посадкою в реальному часі неможливий. Траєкторія „Розетти” (мал. 6) досить складна. Її політ передбачав багато маневрів з використанням гравітаційного поля Землі й Марса, і навіть невеликі відхилення могли вплинути на успіх місії. Зверніть увагу на кількість гравітаційних маневрів. Яка чудова робота всіх, причетних до цієї важливої надскладної місії!

¹Комета Чурюмова–Герасименко (67P/Churyumov–Gerasimenko) – короткоперіодична комета з періодом обертання 6,6 року. Комету відкрив 23 жовтня 1969 року Клим Чурюмов у Києві внаслідок вивчення фотопластинок комети 32P/Комас Сола, знятих Світланою Герасименко в Алма-Атинській обсерваторії у вересні того ж року.

Глубенок Світлана Валентинівна,
 учитель фізики та астрономії,
 Криворізького Жовтневого ліцею,
 фіналіст I Всеукраїнського Інтернет
 конкурсу „УЧИТЕЛЬ РОКУ-2016”
 за версією науково-популярного
 природничого журналу „КОЛОСОК”

