

УДК 523.44

## Дослідження астероїдів за допомогою космічних апаратів

В. Г. Шевченко

Астрономічна обсерваторія Харківського державного університету, Харків

*Надійшла до редакції 18.01.99*

---

Представлений огляд публікацій, які стосуються дослідження фізичних властивостей астероїдів за допомогою космічних апаратів. Розглянуті космічні місії (ОАО-2, IUE, FIRSSE, IRAS, «Hipparcos», HST, ISO, MSX, «Galileo», NEAR, DS1, «Smart-1», «Rozetta» та MUSES-C), в рамках яких проводились та будуть проводитись спостереження астероїдів, та основні результати, що були одержані. Обговорюється доцільність майбутніх досліджень астероїдів за допомогою космічних апаратів.

---

### ВСТУП

Пояс астероїдів є унікальним утворенням в Сонячній системі, і тому увага до вивчення фізичних властивостей астероїдів та процесів, що відбуваються у поясі, невідривно пов'язана з дослідженням походження та еволюції всієї Сонячної системи. Незважаючи на те, що наземні спостереження ще довгий час будуть головними при дослідженні астероїдів, перш за все завдяки їх довготривалості та незначним фінансовим затратам, останнім часом все більше даних здобуваються за допомогою космічних апаратів. Це пов'язано із значною зацікавленістю до поясу астероїдів як з боку фундаментальної науки (походження астероїдів, їх роль у формуванні та розвитку Сонячної системи, зв'язок з кометами та метеорами та інше), так і з точки зору прикладних питань (астероїдна небезпека, джерела позаземних природних ресурсів, майбутні космічні бази та інше). Останні завдання набувають все більшої ваги, оскільки потребують вирішення уже сьогодні. Завдяки цьому змінюються і головні напрямки в дослідженні астероїдів космічними апаратами (спостереження з орбіти Землі

чи послання космічного апарата до астероїдів). При посиленні космічного апарата планується всебічне вивчення одного-двох конкретних астероїдів (напр., місії «Galileo» та NEAR), при дослідженні з навколоземної орбіти — це спостереження декількох сотень, а то й тисяч астероїдів (напр., IRAS та MSX).

Даний огляд робіт концентрує увагу на тих космічних місіях, в яких проводились спостереження астероїдів, та на отриманих результатах. В основному це місії, що виконувались NASA, хоча в останній час вивченням астероїдів зацікавились і в Європейському та Японському космічних агентствах.

### СПОСТЕРЕЖЕННЯ АСТЕРОЇДІВ З НАВКОЛОЗЕМНОЇ ОРБИТИ

Перші космічні спостереження астероїдів були проведені в 1971 р. з борту космічного апарата ОАО-2 (Orbital Astronomical Observatory-2) в УФ-ділянці спектру [8]. Сам супутник був виведений на орбіту в грудні 1968 р. і мав на борту декілька телескопів

з прийнятною апаратурою в УФ-ділянці спектру. Експеримент ставився для вивчення відбивної здатності поверхні астероїдів. Були проведені спостереження тільки трьох найбільших астероїдів 1 Церера (18 травня 1972 р.), 2 Паллада (27 та 28 вересня 1971 р.) та 4 Веста (12 та 16 жовтня 1971 р.) в чотирьох спектральних смугах ( $\lambda\lambda$  259.0, 307.5, 336.0, 430.0 нм). За результатами спостережень вдалося визначити альbedo цих астероїдів на даних спектральних смугах, а також встановити, що їх відбивна здатність збільшується лінійно з довжиною хвилі.

Пізніше спостереження астероїдів із космосу були продовжені також в УФ-ділянці спектру супутником IUE (International Ultraviolet Explorer), що був виведений на навколосезну орбіту в січні 1978 р. На супутнику було розміщено 45-см телескоп з двома спектрографами, що покривали діапазон довжин хвиль  $\lambda\lambda$  170—325 нм з роздільною здатністю 0.2—0.3 нм. За 18 років роботи цього супутника (виключений в кінці 1996 р. [35]) були проведені спостереження для вивчення відбивної здатності більш ніж 100 астероїдів [1, 6, 7, 15, 41]. Спостереження проводились як найбільших астероїдів (1 Церера, 2 Паллада, 3 Юнона та 4 Веста), так і астероїдів, що зближуються з орбітою Землі (1566 Ікар, 2201 Олято, 4015 Вільсон-Харрінгтон та 4179 Тоутатіс), діаметри яких становлять 2—4 км. Для астероїда 4 Вести вдалося одержати криві блиску в двох ділянках спектру  $\lambda\lambda$  262.7—274.7 нм та 288.1—302.0 нм, які охопили весь період обертання [15]. Криві блиску мають один максимум та один мінімум за період обертання (як і у візуальній частині спектру) та амплітуду  $0.10^m$ . Ротжер та Буратті [33] провели аналіз спектрів 45 астероїдів різних композиційних типів. Вдалося встановити альbedo цих астероїдів на довжинах хвиль  $\lambda\lambda$  245, 267, 295 та 315 нм. Виявилось, що на відмінок від візуальної ділянки спектру, середнє значення альbedo в цих ділянках для астероїдів М-типу (металеві) трохи вище ніж для S-типу (силікатні), тобто відбивна здатність М-астероїдів збільшується з довжиною хвилі повільніше.

23 січня 1982 р. з борту космічного апарата FIRSSE (Far Infrared Sky Survey Experiment) були проведені спостереження 20 астероїдів головного поясу в ІЧ-ділянці спектру. Теплове випромінювання цих астероїдів в смугах  $\lambda\lambda$  20 та 27 мкм задовольняло модель «сірого» тіла, але на  $\lambda$  85 мкм виміряні потоки були в 2–3 рази менші, ніж дає екстраполяція за законом Планка. Ці дані були пізніше використані для побудови більш реальної термічної моделі астероїдів.

Наступним супутником, на якому проводились

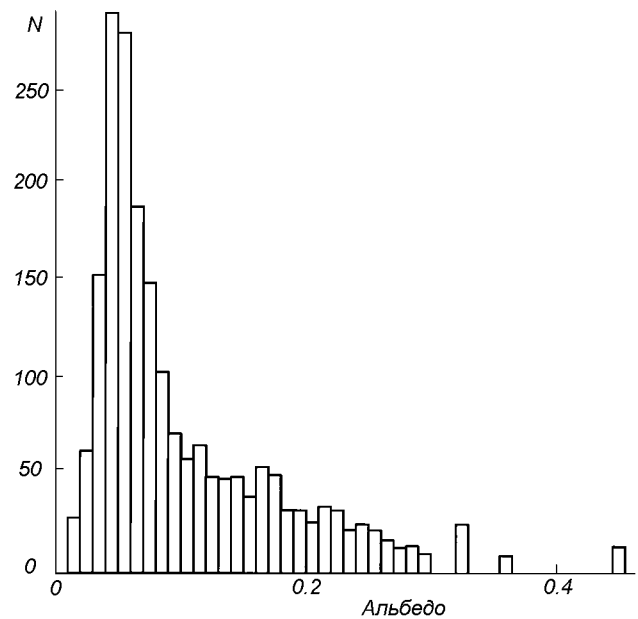


Рис. 1. Гістограма розподілу астероїдів по альbedo [37]

спостереження астероїдів, був IRAS (Infrared Astronomical Satellite). На борту цього супутника було встановлено телескоп діаметром 57 см з спектрографом, детектором випромінювання якого була матриця із 62 приймачів, що охолоджувались до температури 1.8 К рідким гелієм [12]. Супутник працював на орбіті з 25 січня по 28 листопада 1983 р. на довжинах хвиль  $\lambda\lambda$  12, 25, 60 та 100 мкм [4, 23]. За час роботи супутника одержано дані для 3318 астероїдів, що мають постійні номери та для 135 астероїдів без такого. Після обробки такого значного масиву даних отримано впевнені значення діаметрів та альbedo для 1891 астероїда [37]. На рис. 1 зображена гістограма розподілу астероїдів від альbedo по даним цього супутника. Максимум розподілу приходить на низькоальбедні астероїди. На сьогоднішній день це найбільший масив даних про альbedo та діаметри астероїдів, він на порядок відрізняється від наземних. І хоч дані ці бувають не зовсім правильні для деяких астероїдів (4 Веста, 55 Пандора та інші) внаслідок невдалого вибору термічної моделі астероїда та не коректного вживання абсолютної зоряної величини і потребують нової калібровки, вони ще довго будуть використовуватись як основні фізичні дані астероїдів. Продовжуючи аналізувати дані IRAS, Гафей [16] зробив спробу оцінити вміст металу на поверхнях S-астероїдів по відношенню потоків випромінювання 12/25 мкм. Він показав, що S- та М-астероїди мають систематично більше відношення, ніж асте-



Рис. 2. Зображення астероїда 4 Веста в опозицію 1996 р. [39]

роїди інших композиційних типів. У S-астероїдів діапазон значень цих відношень такий же, як і у M-астероїдів. Отже, з аналізу тільки цих потоків неможливо виділити чисто «металеві» астероїди, і потрібні додаткові дані в інших діапазонах довжин хвиль.

Спостереження астероїдів проводились також астрометричним супутником HIPPARCOS (виведений на орбіту 18 серпня 1989 р. [13]). Вдалося одержати астрометричні положення для 48 астероїдів з точністю не гірше 0.01" [18].

Широкомасштабні спостереження астероїдів проводяться на космічній орбітальній станції HST (Hubble Space Telescope). Ця унікальна станція виведена на навколоземну орбіту 24 квітня 1990 р. [13]. Діаметр головного дзеркала телескопа дорівнює 2.4 м, і в його фокальній площині розміщені декілька вимірювальних приладів (ширококутна планетна камера, камера слабких об'єктів, спектрограф, швидкісний фотометр та інші). І хоч основна мета даного телескопа — це спостереження далеких астрофізичних об'єктів, він успішно використовується також для дослідження об'єктів Сонячної системи. За допомогою HST проведені спостереження 12 найбільших астероїдів [36] для виявлення наявності у них можливих компаньонів. Для тих астероїдів, для яких вдалося одержати зображення і розпізнати диск, супутників не виявлено. За одержаними зображеннями астероїда

1 Церера з високою кутовою роздільною здатністю в смугах  $\lambda\lambda$  160, 276 та 320 нм побудовано карту розподілу альbedo по поверхні [20, 26]. На поверхні Церери, біля центрального меридіану, виявлено утворення, подібне до кратера, що має близько 130 км в діаметрі. Детальні спостереження були проведені також для астероїда 4 Веста в опозиції 1994 та 1996 рр. [5, 39, 40, 47, 48]. На зображеннях 1994 р. видно, що Веста є об'єктом неправильної форми і має велику альбедну пляму на поверхні діаметром майже 200 км, що дістала назву «Ольберс». Контраст між плямою та основною поверхнею Вести досягає 20 %. Період обертання астероїда навколо своєї осі становить 5.34 год, що підтверджує результати наземних спостережень. Уточнені також розміри даного астероїда (півосі апроксимуючого еліпсоїда становлять  $280 \times 272 \times 227$  км) та оцінено середню густину, що становить  $3.8 \pm 0.6$  г/см<sup>3</sup>. Побудовано карти розподілу альbedo та кольору по поверхні Вести. Виявлено 19 градацій мінералогічних утворень на поверхні. Припускається, що західна півкуля складена із залізозбагаченого та кальційзбагаченого піроксену. За спостереженнями HST у 1996 р. (див. рис. 2), коли Веста була найближче до Землі, вдалося навіть розпізнати деталі ландшафту, а також гігантський кратер в приполярній області Вести, який має діаметр 460 км [5, 39]. Припускається, що колізійний процес, результатом якого є цей



Рис. 3. Зображення астероїдів 243 Іда, 253 Матильда та 951 Гаспра, одержані міжпланетними космічними станціями «Галілео» та NEAR [2]

кратер, може бути причиною такого швидкого обертання Вести.

Космічним телескопом також були проведені спостереження двох «астероїдів-кентаврів»: 2060 Хірон та 5145 Фолус [24, 25, 31]. Це астероїди, велика піввісь орбіти яких знаходиться за орбітою Сатурна. Одна із цілей цих спостережень — отримати відповідь на питання: ці об'єкти належать до комет чи до астероїдів? Для Фолуса не виявлено коми на зображеннях 28 квітня 1992 р. Спостереження Хірона велись 22 і 23 лютого та 8 березня 1993 р. [24]. Було одержано 44 зображення, на яких виявлені азимутальні структури в зовнішній комі на відстані  $0.2''$  від ядра. Наступні спостереження Хірона 23—24 січня та 13 квітня 1996 р. [31] в діапазоні довжин хвиль  $\lambda\lambda$  222.1—330.1 нм не виявили кометних емісій у комі. Вдалося також одержати криву блиску тривалістю 4 год в УФ-ділянці спектру, а також зробити оцінку альбедо ( $p = 0.08 \pm 0.01$ ), припускаючи значення діаметра  $D = 180$  км. Питання про те, чи є «астероїди-кентаври» кометними об'єктами, зостається відкритим

і вимагає подальшого розв'язання.

17 листопада 1995 р. Європейським космічним агентством був запущений супутник ISO (Infrared Space Observatory). На борту супутника встановлено 60-см телескоп та декілька приладів (фотополяриметр, спектрометр високої та низької роздільної здатності, ПЗЗ-камера та інші), що покривають діапазон довжин хвиль  $\lambda\lambda$  2.5—240 мкм та охолоджуються рідким гелієм. В рамках даного космічного експерименту проведені спостереження 10 астероїдів (1 Церера, 2 Паллада, 3 Юнона, 4 Веста, 10 Гігія, 54 Олександра, 65 Кібела, 106 Діона, 313 Чалдея та 532 Геркуліна), щоб використовувати їх як фотометричні та поляриметричні стандарти в далекій ІЧ-області [11, 27, 28]. Це тільки одна із багатьох програм по вивченню астероїдів, що проводились за допомогою цього супутника. Обробка спостережень ще триває.

24 квітня 1996 р. був запущений супутник MSX (Midcourse Space Experiment) [32]. Апаратура, що знаходиться на борту цього супутника, дозволяє проводити спостереження в широкому діапазоні

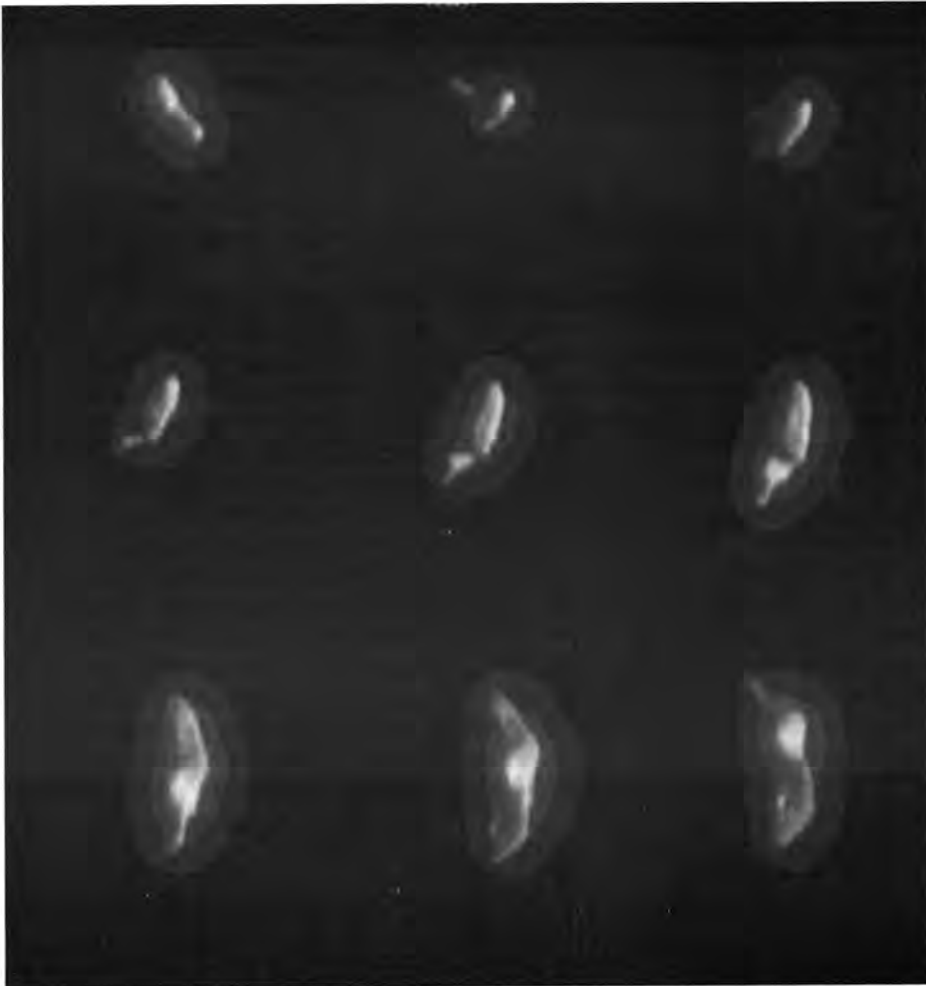


Рис. 4. Зображення астероїда 433 Ерос, одержані міжпланетним космічним апаратом NEAR (дані взяті з мережі Internet)

довжин хвиль від УФ- до далекого ІЧ-випромінювання. Проведені спостереження більше 1000 астероїдів як в діапазоні  $\lambda\lambda$  6.8—10.8 мкм, так і в УФ-ділянці спектру, що дасть змогу отримати більш коректніші значення альbedo та діаметрів цих астероїдів, ніж значення, одержані IRAS. Обробка спостережень ще продовжується.

#### КОСМІЧНІ МІСІ, ЩО НАДСИЛАЛИСЬ ДО АСТЕРОЇДІВ

Найпершою місією до астероїдів є космічний апарат «Галілео», що був запущений 18 вересня 1989 р. з борту космічного корабля «Атлантіс» для дослідження системи Юпітера [13, 46]. На борту апарата встановлена планетарна камера з ПЗЗ-де-

тектором 800×800 елементів з чутливістю в діапазоні довжин хвиль  $\lambda\lambda$  0.4—1.1 мкм. Апарат мав також спускаючий зонд, що був скинутий в атмосферу Юпітера для її дослідження. Траєкторія апарата вибиралась таким чином, що він два рази зближався з Землею (1990, 1992 рр.), і внаслідок гравітаційних маневрів після першого маневру досягав поясу астероїдів, а після другого — пересікав його. Для дослідження було вибрано два середньо-альбедні астероїди S-типу 243 Іда та 951 Гаспра. Перша зустріч відбулась 29 жовтня 1991 р. з астероїдом 951 Гаспра. Одержано 57 зображень з найкращою роздільною здатністю 54 м на піксель. За результатами обробки зображень [43] обчислено розміри астероїда (18.2×10.5×8.9 км), альbedo поверхні (0.23), координати полюса та напрямок

обертання. Астероїд виглядає як дуже неправильний за формою об'єкт (рис. 3), з кратерами та борознами на поверхні, і мабуть, є уламком більшого тіла, що внаслідок ударного процесу зруйнувалось. Аналіз зображень Гаспри показав також, що відношення глибини кратерів до їх діаметра становить 0.14. Таке значення менше, ніж для Місяця, Марса та Фобоса (0.2). Це свідчить про те, що товщина реголіту на поверхні Гаспри більша, ніж на інших тілах. Реголітовий шар ґрунту Гаспри складений з олівіну та ортопіроксену у відношенні 9 : 1.

Зустріч «Галілео» з Ідою відбулась 28 серпня 1993 р. Найменша відстань апарата від Іди досягала 2391.2 км, а найкраща роздільна здатність одержаних зображень — 25 м на піксель. За результатами обробки зображень [3] вдалося встановити розміри (59.8×25.4×18.6 км), координати полюса, альbedo поверхні (0.21), оцінити масу ( $(4.2 \pm 0.6) \cdot 10^{19}$  г), та густину ( $2.6 \pm 0.5$  г/см<sup>3</sup>) астероїда та деякі інші фізичні властивості. Об'єкт виявився дуже неправильної форми (рис. 3) з багатьма кратерами на поверхні, що свідчить про значну колізійну еволюцію цього астероїда. На відміну від Гаспри, Іда має кратери недавнього походження. Найбільший кратер Lascaux досягає 11.8 км в діаметрі. Відкрито супутник у Іди, що одержав назву Дактиль. Він невеликий, розміром всього 1.4 км, знаходиться на відстані 85 км. Альbedo Дактиля 0.20, показники кольору відрізняються від Іди. Це перший відкритий супутник у астероїдів.

Другий космічний апарат, що надіслано до астероїдів, має назву NEAR (Near-Earth Asteroid Rendezvous) і запущений 17 лютого 1996 р. На його борту розміщені такі основні інструменти для дослідження астероїдів [9, 14]: мультиспектральна камера, ІЧ-спектрометр, рентгенівський спектрометр, лазерний висотомір, магнетометр та деякі інші. Загальна маса апарата досягає 800 кг. Основна мета запуску даного апарата — дослідження наближаючого до Землі астероїда 433 Ерос, а додаткова — низькоальбедний астероїд головного поясу 253 Матильда. Траєкторія польоту цього космічного апарата вибрана таким чином, що перша зустріч відбулась 26—27 червня 1997 р. [2] з астероїдом 253 Матильда (рис. 3). Апарат пройшов на відстані 1212 км від астероїда. Одержано більш ніж 500 зображень цього астероїда. За результатами обробки зображень [10, 44] вдалося встановити альbedo Матильди (0.036), розміри (66×48×46 км) та координати полюса. Астероїд поки що є одним з найтемніших об'єктів Сонячної системи. Поверхність по показникам кольору схожа на СМ вуглисті хондрити. Варіацій альbedo та кольору по поверхні

не знайдено. Із зображень також видно, наскільки значними є колізійні процеси в поясі та їх роль в становленні форми астероїдів. За гравітаційними збуреннями в орбіті космічного апарата, які викликані тяжінням астероїда, вдалося зробити оцінки маси ( $1.033 \cdot 10^{20}$  г) та густини (1.3 г/см<sup>3</sup>) Матильди [45].

Основна мета цього космічного експерименту — астероїд 433 Ерос. Це один з найбільших астероїдів, що наближаються до орбіти Землі. Апарат зустрінеться з Еросом в серпні 1999 р. і перейде на кругову орбіту радіусом 30—50 км навколо нього. Планується одержати основні фізичні властивості цього астероїда (маса, розміри, альbedo, густина, координати полюса, напрямок обертання, склад поверхні тощо). Перше зближення космічного апарата з Еросом відбулося 22—23 грудня 1998 р. Апарат пройшов на відстані 4100 км від Ероса, вдалося одержати понад 1000 зображень астероїда з найкращою роздільною здатністю 500 м. Дев'ять зображень, що представлені на рис. 4, отримані при різних фазах обертання і показують, що астероїд має неправильну форму і, мабуть, є уламком більшого тіла, що зруйнувалось внаслідок колізійного процесу. Це перші зображення астероїдів, що перетинають орбіту Землі і становлять загрозу реальному зіткнення з Землею.

#### КОСМІЧНІ АПАРАТИ, НА ЯКИХ ПЛАНУЄТЬСЯ ПРОВІДИТИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ АСТЕРОЇДІВ

На теперішній час є декілька космічних місій до астероїдів, які плануються до запуску в кінці нинішнього та на початку наступного тисячоліття. Це перш за все американський проект «Deep Space 1», проекти Європейського космічного агентства «Smart-1» та «Rosetta», а також японський проект MUSES-C.

Супутник «Deep Space 1» було запущено в жовтні 1998 р. (дані взяті з мережі Internet за адресою <http://www.nasa.gov/projects>). Це перший з серії подібних космічних апаратів нової технології для вивчення Сонячної системи. На ньому встановлено сонячно-електричний двигун, а також нова автономна оптично-навігаційна система, що дозволить апарату самостійно знаходити напрям польоту в Сонячній системі та самостійно вибирати об'єкти дослідження в рамках польотної програми. Із обладнання на апараті встановлено інтегральну камеру та панорамний спектрометр. Апарат буде спрямовано до поясу астероїдів для одержання їхніх основних фізичних властивостей.

Космічний апарат «Smart-1» буде запущено на-

прикінці 2001 р. (дані взяті з мережі Internet за адресою <http://www.esa.int/projects>). На апараті планується встановити сонячно-електричний двигун, що дозволить виконати дослідження декількох астероїдів, що наближаються до орбіти Землі. Стартова маса апарата 300—350 кг. Мінімальне наближення до астероїдів становитиме 1—25 км. Проект ще знаходиться на стадії розробки, і конкретні об'єкти, до яких надсилається космічний апарат, ще не вибрані.

Космічний апарат MUSES-C буде запущено в січні 2002 р. Інститут космосу та астрономічних наук в Японії спільно з JPL (США) планують цю космічну місію до астероїда 4660 Нерейс [19]. Це невеликий астероїд С-типу, діаметром 0.7 км [22], який відноситься до групи астероїдів, що наближаються до Землі. Апарат зустрінеться з астероїдом в квітні 2003 р. і протягом двох місяців буде знаходитись біля нього для всестороннього дослідження. Після мінімального зближення з астероїдом буде проведено обстріл поверхні та збір викинутих зразків ґрунту, далі апарат стартує в напрямку Землі. Повернення до Землі прогнозується в 2006 р., після чого зразки ґрунту астероїда, запаковані в капсулу, будуть скинуті на Землю для подальшого дослідження в лабораторних умовах.

Європейський космічний апарат «Rosetta» планується до запуску ракетою-носієм «Ariane-5» в липні 2003 р. [17]. Головна мета проекту — дослідження комети Віртанена. Допоміжними цілями при прольоті через пояс будуть астероїди 1170 Сіва, 2703 Родарі та 3840 Мімістроубел. Ці астероїди вибрані для вікна запуску в липні 2003 р. Якщо дата запуску зміниться, буде змінюватись також траєкторія польоту космічного апарата, і астероїди для дослідження будуть інші.

## ВИСНОВКИ

Таким чином, на протязі майже 30 років дослідження астероїдів проводились з 10 космічних апаратів. Для більшості випадків це спостереження з навколоземної орбіти для вивчення відбивної здатності поверхонь астероїдів в тих ділянках спектру, в яких спостереження з Землі неможливе внаслідок поглинання випромінювання земною атмосферою. Напевно, довготривалі спостереження за астероїдами (для визначення періодів обертання, координат полюсів, одержання фазових залежностей блиску та поляризації) ще довгий час будуть проводитись з Землі. Але для одержання даних про діаметри та відбивну здатність в якомога ширшій ділянці довжин електромагнітних хвиль для знач-

ної кількості астероїдів (декілька тисяч) необхідно використовувати космічний апарат. Дані, одержані за допомогою супутників IRAS, MSX, ISO та інших, підтверджують доцільність таких проектів. Незважаючи на те, що ці космічні апарати були запущені не для дослідження астероїдів, це тільки невелика частка їхньої роботи, одержані результати значною мірою розширили наші знання про пояс астероїдів, його формування та фізичні властивості самих астероїдів.

Дуже важливе значення мають запуски космічних апаратів безпосередньо до астероїдів, як для вирішення чисто прикладних задач (відпрацювання методів гравітаційних маневрів для запуску апаратів до будь-яких об'єктів Сонячної системи, перевірка нових навігаційних систем, зближення і посадка апарата на невеликі космічні тіла, пошук астероїдів для майбутніх космічних баз та інші), так і для вивчення фундаментальних наукових питань: формування та еволюції поясу астероїдів та Сонячної системи. Одержані космічні зображення кількох астероїдів підтвердили гіпотезу про вирішальну роль колізійної еволюції в формуванні поверхонь астероїдів та всього поясу в цілому. Вирішальне значення матимуть зразки ґрунту з поверхні астероїдів для відтворення тих процесів, що мали місце при формуванні Сонячної системи. На сьогоднішній день ми маємо для аналізу метеоритну речовину та ґрунт планет, що пройшли стадію диференціації. Чи є астероїди уламками планет, що пройшли стадію диференціації, чи ґрунт астероїдів — це первісна речовина, з якої формувалась Сонячна система на ранніх етапах свого розвитку? Відповідь на це питання можна одержати тільки за допомогою космічних апаратів.

Автор висловлює глибоку подяку науковим співробітникам Астрономічної обсерваторії І. Н. Бельській, Д. Ф. Лупішку, Ю. Н. Круглому та В. Г. Чорному за корисні поради та зауваження по даній роботі.

1. A'Hearn M. F., Feldman P. D. Water vaporization on Ceres // *Icarus*.—1992.—98.—P. 54—60.
2. Applied Physics Laboratory News. — 30 June 1997.
3. Belton M. J. S., Chapman C. R., Klaasen K. P., et al. Galileo's encounter with 243 Ida: an overview of the imaging experiment // *Icarus*.—1996.—120.—P. 1—19.
4. Bender D. F., Tedesco E. F. IRAS asteroid and comet ground-based data file // *Lunar and Planet. Sci. Conf.* XVII.—1986.—17.—P. 38—39.
5. Binzel R. P., Gaffey M. J., Thomas P. C., et al. Geologic mapping of Vesta from 1994 Hubble Space Telescope images // *Icarus*.—1997.—128.—P. 95—103.
6. Brosh L. The first UV spectrum of 2060 Chiron // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1995.—286.—P. 1185—1190.
7. Butteworth P. S., Meadows A. J. Ultraviolet reflectance properties of asteroids // *Icarus*.—1985.—62.—P. 305—318.

8. Caldwell J. Ultraviolet observations of small bodies in the Solar System // *Icarus*.—1975.—25.—P. 384—396.
9. Cheng A. F., Santo A. G., Heeres K. J., et al. Near-Earth Asteroid Rendezvous: Mission overview // *J. Geophys. Res.*—1997.—105.—P. 23695—23708.
10. Clark B. E., Veeverka J., Helfenstain P., et al. NEAR photometry of C-type asteroid 253 Mathilde // *Lunar and Planet. Sci. Conf. XXIX*.—1998.—29.—Abst. 1768.
11. Conen M., Witteborn F. C., Roush T., et al. Spectral irradiance calibration in the infrared. VIII. 5—14 micron spectroscopy of the asteroids Ceres, Vesta, and Pallas // *Astron. J.*—1998.—115.—P. 1671—1679.
12. Conrad A. G., Inace W. R. The first orbiting astronomical infrared telescope system — its development and performance // *SPIE*.—1983.—445.—P. 232—245.
13. COSPAR. Information bulletin. Number 140, December 1997.
14. Farquhar R. W., Dunham D. W., McAdams J. V. NEAR mission overview and trajectory desing // *J. Astronautical Sci.*—1995.—43.—P. 353—372.
15. Festou M. C., Stern S. A., Tozzi G. P. Asteroid 4 Vesta: Simultaneous visible and ultraviolet IUE observations // *Icarus*.—1991.—94.—P. 218—231.
16. Gaffey M. J. The abundance of metal on S-asteroid surfaces: indications from IRAS 12 and 25 micron flux ratios // *Lunar and Planet. Sci. Conf. XX*.—1989.—20.—P. 321—322.
17. Hechler M. ROSETTA mission design // *Adv. Space Res.*—1997.—19, N 1.—P. 127—136.
18. Hestroffen D., Morando B. Observations of minor planets by Hipparcos // *Pl. Space Sci.*—1995.—43.—P. 817—820.
19. Kawaguchi J., Fujiwara A., Sawai S. Sample and return mission from asteroid Nereus via Solar electric propulsion // *Acta Astronautica*.—1996.—38.—P. 87—101.
20. Landis R. R., Stern A. S., Wood C. A., Storrs A. D. Observations of 1 Ceres with HST Faint Object Camera // *Lunar and Planet. Sci. Conf. XXIX*.—1998.—29.—Abst. 1937.
21. Levan P. D., Price S. D. 85-m fluxes from asteroids: 2 Pallas, 7 Iris, 15 Eunomia, and 45 Eugenia // *Icarus*.—1984.—57.—P. 35—41.
22. Lupishko D. F., Di Martino M. Physical properties of near-Earth asteroids // *Pl. Space Sci.*—1998.—46.—P. 47—74.
23. Matson D. L., Tedesco E. F. History // *Infrared Astronomical Satellite Minor Planet Survey Catalog* / Ed. E. F. Tedesco. — Hanscom Air Force Base, MA.—1992.—P. 5—12.
24. Meech K. J., Bui M. W., Samarsinha N., et al. HST observations of Chiron's inner coma. A possible bound atmosphere // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1994.—26, N 3.—P. 1152—1153.
25. Meech K. J., Weaver H. A. Unusual comets (?) as observed from the Hubble Space Telescope // *Earth, Moon, and Planets*.—1996.—72.—P. 119—132.
26. Merlin W. J., Stern S. A., Binzel R. P., et al. HST imaging of 1 Ceres // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1996.—28, N 3.—P. 1101.
27. Muller T. G., Hughes D., Telesko C., et al. Sub-millimetre observations of asteroids, the far infrared photometric calibrators for ISOPHOT // *Abstracts Int. Conf. ACM 96. Versal, France*.—1996.—P. 64.
28. Muller T. G., Lagerros J. S. V. Asteroids as far-infrared photometric standards for ISOPHOT // *Astron. and Astrophys.*—1998.—338.—P. 340—352.
29. Murchie S. L., Cheng A. F., Santo A. G. Encounter with Eros: the NEAR-Earth asteroid rendezvous mission // *Lunar and Planetary Inform. Bull.*—1995.—N 75.—P. 2—5.
30. Noll K. S., Weaver H. A., Storrs A. D., Zellner B. Imaging of asteroid 4179 Toutatis with the Hubble Space Telescope // *Icarus*.—1995.—113.—P. 353—359.
31. Parker J. Wm., Stern S. A., A'Hearn M. F., et al. HST/FOS UV observations of Chiron and Wirtanen // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1996.—28, N 3.—P. 1083—1084.
32. Price S. D., Paxton L. J., Tedesco E. F., Walker R. G. MSX observations of the Solar System // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1997.—29, N 3.—P. 1014—1015.
33. Roettger E. E., Buratti B. J. Ultraviolet spectra and geometric albedos of 45 asteroids // *Icarus*.—1994.—112.—P. 496—512.
34. Schwehm G. H. The international Rosetta mission // *Abstracts Int. Conf. ACM 96. Versal, France*.—1996.—P. 4.
35. Stickland D. Farewell to the IUE // *Astron. Now*.—1996.—10, N 10.—P. 25.
36. Storrs A. D., Zellner B., Wells E. N., et al. Imaging observations of asteroids from the Hubble Space Telescope (HST) // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1994.—26, N 3.—P. 1176.
37. Tedesco E. F., Veeder G. J. IMPS albedos and diameters catalog // *Infrared Astronomical Satellite Minor Planet Survey Catalog* / Ed. E. F. Tedesco. — Hanscom Air Force Base, MA.—1992.—P. 243—285.
38. Tedesco E. F., Walker R. G., Barker E. A., Price S. D. MSX observations of asteroids // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1997.—29, N 3.—P. 1015.
39. Thomas P. C., Binzel R. P., Gaffey M. J., et al. Impact excavation on asteroid 4 Vesta: Hubble Space Telescope results // *Science*.—1997.—277.—P. 1492—1495.
40. Thomas P. C., Binzel R. P., Gaffey M. J., et al. Vesta: spin pole, size, and shape from HST images // *Icarus*.—1997.—128.—P. 88—94.
41. Veeder G. J., Nelson R. M., Lane A. L., et al. Observations of selected asteroids with the International Ultraviolet Explorer (IUE) // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1980.—12, N 3.—P. 663.
42. Veeverka J., Bell III J. F., Chapman C., et al. NEAR's flyby of mainbelt asteroid 253 Mathilde // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1997.—29, N 3.—P. 958.
43. Veeverka J., Belton M., Klaasen K., Chapman C. Galileo's encounter with 951 Gaspra: overview // *Icarus*.—1994.—107.—P. 2—17.
44. Veeverka J., Thomas P., Harch A., et al. NEAR's flyby of 253 Mathilde: images of C asteroids // *Science*.—1997.—278, N 5346.—P. 2109—2114.
45. Yeomans D. K., Barriot J.-P., Dunham D. W., et al. Estimating the mass of asteroid 253 Mathilde from tracking data during the NEAR flyby // *Science*.—1997.—278, N 5346.—P. 2106—2109.
46. Yeomans D. K., Chodas P. W., Keesey M. S., Owen W. M. Targetting an asteroid: the Galileo spacecraft's encounter with 951 Gaspra // *Astron. J.*—1993.—105, N 4.—P. 1547—1552.
47. Zellner B., Albrecht R., Binzel R. P., et al. Hubble Space Telescope images of Vesta in 1994 // *Icarus*.—1997.—128.—P. 83—87.
48. Zellner B., Binzel R., Gaffey A., et al. HST images Vesta near perihelion // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—1996.—28, N 3.—P. 1100—1101.

#### INVESTIGATION OF ASTEROIDS WITH THE USE OF SPACE VEHICLES

V. G. Shevchenko

An overview of the past, present and planned space-based observations of asteroids is given. The main results which have been and will be obtained from the space missions OAO-2, IUE, FIRSSE, IRAS, HIPPARCOS, HST, ISO, MSX, GALILEO, NEAR, DS1, SMART-1, ROZETTA and MUSES-C are presented. The expediency of asteroid investigations with spacecraft is discussed.