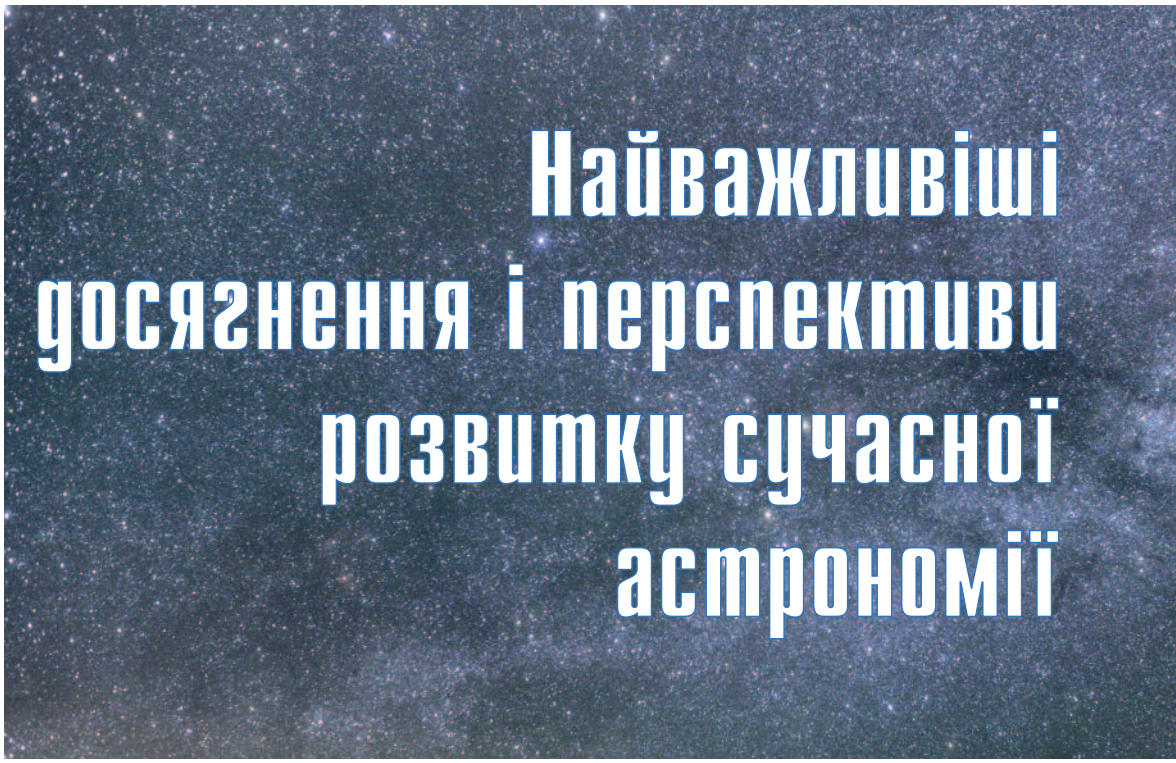


Найважливіші досягнення і перспективи розвитку сучасної астрономії

Вступ

Час летить невпинно. Скоро перші десять років XXI ст. стануть історією, залишившись у нашій пам'яті й матеріалізувавшись у здобутках цивілізації. До цих здобутків свій внесок зробила й астрономія.

«Кругла дата», що наближається, а також унікальна особливість поточного року — відзначаємо ж бо Міжнародний рік астрономії, спонукали автора підготувати статтю, у якій ідеться про досягнення сучасної астрономії.

На кого розрахована стаття? У першу чергу на вчителів, які викладають астрономію в школах. А також на учнів, яких навчають (які навчаються!) астрономії. Сподіваюсь, що запропонований текст буде цікавим для аматорів астрономії. Як і для всіх інших, не байдужих до таємниць Всесвіту, людей.

Зважаючи на авдиторію, яку бачив перед собою автор, у процесі роботи над статтею, доцільно зауважити один момент: у статті відсутні пояснення астрономічної термінології. Вважаємо, що потенційні читачі знайомі з нею, а якщо трапиться незнайомий термін, знайдуть його пояснення в інших джерелах.

Поданий нижче матеріал структуровано відповідно до традиційного змісту шкільного курсу астрономії; від основ практичної астрономії до питання будови Всесвіту як цілого. Таку подачу матеріалу можна назвати «пооб'єктною» (розглядаємо об'єкти Всесвіту: планети, зорі, галактики, тощо).

Звісно, це може викликати подив, зокрема у фізиків, які у шкільних курсах фізики розглядають провідні наукові теорії. Нас, тобто астрономів, тішить те, що це питання, зрештою, не є принциповим для наших колег-фізиків і разом з тим підтверджуємо: така в астрономічній освіті склалась традиція. Вона, безумовно, ґрунтується на історичному досвіді розвитку астрономічної науки. Астрономія нині, як і в минулому, вивчає небесні тіла чи їх системи із застосуванням усього арсеналу фізичних теорій. Мабуть у такому підході (і не лише в ньому!) полягає відмінність, наприклад, між фізикою й астрофізикою.

Не лише фізика, але й математика, зокрема й завдяки обчислювальній техніці, а також якоюсь мірою хімія, ще зовсім трохи, біологія — ось ті «помічники» астрономії, що дозволили їй отримати результати, про які йтиметься далі.

Віддамо належне космонавтиці, а також технологіям, які озброїли астрономів новими інструментами пізнання Всесвіту.

Позитивне ставлення суспільства (цивілізації) загалом до роботи астрономів дозволили отримати ці результати.

I. На видимому зоряному небі без змін, або про основи астрономії

Вічно молода астрометрія

Ми все менше й менше говоримо в курсі астрономії про астрометрію, оскільки побутує справедлива думка, що природу тіл Всесвіту розкриває астрофізика. Ба більше, астрометричні питання (небесні координати, час, каталоги), а також питання небесної механіки стали вважати своєрідною «кухнею», тобто внутрішньою справою, астрономів. З цим важко погодитись, адже питання часу і практичне використання небесної механіки в космонавтиці — ось те, і то далеко не все, що вже давно вийшло за рамки астрономії.

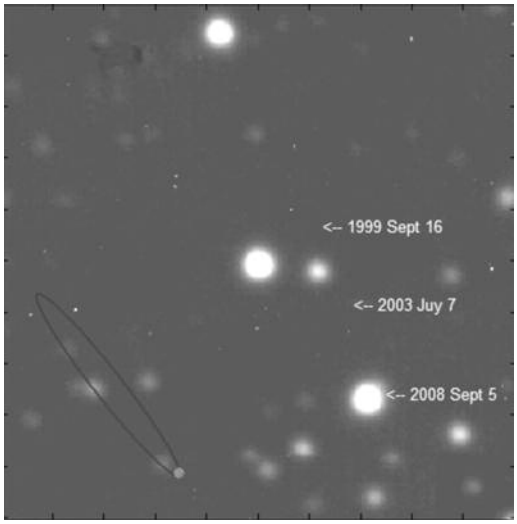
Хоча сферична астрономія, погодимось, цікава, можливо, лише астрономам. Проте зовсім нехтувати тим, що в курсі середньої школи називаємо основами практичної астрономії, як на нашу думку, не варто. Як аргумент два приклади.

Спершу про супутникову систему навігації, наприклад, відому багатьом GPS (Global Positioning System). Її неможливо побудувати без використання небесних координат квазарів. Ідеться про те, що Міжнародна небесна система відліку (International Celestial Reference Frame, ICRF) — це певний перелік квазарів, координати яких на небесній сфері взято за своєрідні «репери». Як відомо, квазари — найвіддаленіші небесні об'єкти. Їх видимі переміщення на небесній сфері зареєструвати дуже й дуже важко.

Отже, питання побудови систем небесних координат є актуальним як нині, так і в майбутньому.

Інший, зовсім свіжий, астрометричний результат. Співробітники Лабораторії реактивного руху Національного управління США з аеронавтики й дослідження космічного простору (Jet Propulsion Laboratory, JPL, National Aeronautics and Space Administration, NASA) відкрили екзопланету поблизу змінної зорі VB 10, що міститься в сузір'ї Орла. Відстань до неї становить 20 світлових років, а її маса у 6 разів перевищує масу Юпітера.

Це відкриття зроблено на підставі 12-річних вимірювань періодичних зміщень (амплітуда 0,006″) зорі VB 10 на небесній сфері (мал. 1), обумовлених гравітаційною дією невидимого супутника, тобто планети.



Мал. 1. Видимий рух зорі VB 10 на небесній сфері. Фото з сайта www.jpl.nasa.gov

Нагадаємо, що в такий спосіб позасонячні планети розпочали шукати ще у другій половині XIX ст., проте лише зараз астрометрична техніка дозволила отримати позитивний результат. Історичний, звісно, результат.

Бачимо, що астрометрія не втратила свого значення й у наш час, ба більше, вона має перспективи. Зокрема Європейське космічне агентство (ЄКА) розробило місію GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, Глобальний астрометричний інтерферометр для астрофізики), в рамках якої до 2012 р. на орбіту мають відправити астрометричний зонд. Місію започатковано в 1995 р. як розвиток першого європейського космічного астрометричного проекту «Гіппаркос» (Hipparcos).

Завдання GAIA — визначити положення, відстані та власний рух для понад одного млрд. зір нашої галактики. Для зір до 15^m точність визначення положень на небесній сфері має скласти 0,01″, а радіальні швидкості зір до 17^m буде визначено з точністю в декілька кілометрів на секунду.

Зонд GAIA має дослідити один відсоток усіх зір Галактики — в 10000 разів більше, ніж Hipparcos, а точність вимірювань зросте на 2—3 порядки. Гранична зоряна величина досягне 20^m, що дозволить поліпшити каталог галактичних об'єктів на п'ять порядків. Бортові засоби реєстрації випромінювання небесних світил дозволять оперативно виявляти змінність зір, джерела випромінювання спалахової природи, явища лінзування тощо.

Каталог GAIA дозволить досліджувати утворення й еволюцію Галактики, динаміку Місцевої групи галактик, світність і динаміку рідкісних астрофізичних об'єктів, провести аналіз «ширококутної» метрики космічного простору. Близько 200000 зір у радіусі 200 парсеків буде ретельно досліджено на наявність у них планет класу Юпітера.

Одна проблема, що стосується небесної механіки. Уважно стежачи за польотами космічних міжпланетних зондів, астрономи виявили аномальне прискорення їх руху. Уперше цей факт зафіксували наприкінці XX ст., коли виявили, що апарати «Піонер-10» і «Піонер-11», які на той час вже перебували на околиці Сонячної системи, мають не передбачене розрахунками прискорення, направлене в бік Сонця. Для пояснення цього явища запропоновано безліч причин: від витоку палива з паливних баків до необхідності змінити теорію гравітації, але жодна з них поки що не отримала широкого визнання.

Ба більше, виявлено аномальну зміну швидкості космічних апаратів, що рухаються повз планети Сонячної системи. Астроном

Джон Андерсон (один з першовідкривачів аномалії «Піонерів») і його колеги з Лабораторії реактивного руху NASA у березні 2008 р. опублікували результат ретельного дослідження п'яти космічних місій: відмінності реального прискорення від розрахункового під час виконання гравітаційного маневру біля планети були зафіксовані в чотирьох із них (окрім «Мессенджера») .

Учені аналізували рух космічних апаратів «Галілео» (місія до Юпітера), NEAR (до астероїда Ерос), «Розетта» (до комети Чурюмова-Герасименко), «Кассині» (до Сатурна), «Мессенджер» (до Меркурія). Всі ці апарати в різний час виконували біля Землі маневр, використовуючи її гравітаційне поле, або для того, щоб отримати енергію і прискоритися, або щоб віддати її і пригальмувати. Так, наприклад, швидкість зонда NEAR під час віддалення від Землі була на 13 міліметрів у секунду більша, ніж очікувалося (точність вимірювань становила 0,1 міліметра на секунду).

Дехто з учених припускає, що аномальне прискорення космічних апаратів може бути наслідком дії темної матерії. Проте проблема залишається.

Закони небесної механіки працюють і в далекому космосі, однак у зв'язку з проблемою темної матерії (див. стор. 58) з'явилась ідея про те, що під час руху з дуже малими прискореннями в формули закону всесвітнього тяжіння І. Ньютона потрібно вводити поправки (теорія модифікованої ньютонівської динаміки, МОНД). Прихильники цієї гіпотези вважають, що нехтування зазначеними поправками приводить до виникнення ілюзії існування додаткової маси.

II. Методи та засоби астрономічних досліджень

Чотири століття тому з'явився основний інструмент астрономів — телескоп. Відтоді він прогресував від 10-сантиметрового лінзового об'єктива-рефрактора до 10-метрових головних дзеркал сучасних рефлекторів. Якщо в телескоп Галілея можна було розгледіти зорі 8-ї зоряної величини, то в сучасний найпотужніший телескоп — 30^m. А це в 10^9 разів слабкіші зорі!

На сьогодні в галузі астрономічного телескопобудування й оснащення астрономії новими інструментами є декілька особливих результатів. Детальніше про них.

Розпочнемо з цікавого проекта «Великі обсерваторії», який упродовж останніх 20-и років реалізували США. Великі обсерваторії — це серія з чотирьох обсерваторій (науково-дослідних супутників) космічного базування NASA. Кожна з обсерваторій розрахована на роботу в певній ділянці електромагнітного спектра. До цієї четвірки належать: Космічний телескоп імені Габбла (запущений в 1990 р.); телескоп імені Комптона — гамма-обсерваторія, що працювала впродовж 1991—2001 рр.; «Чандра» — обсерваторія, яка досліджує небо в рентгенівських променях (працює з 1999 р.); телескоп «Спітцер» — донедавна найбільший інфрачервоний телескоп, виведений на орбіту в серпні 2003 року.

Космічний телескоп імені Габбла (HST) з названої четвірки, звісно, найвідоміший. Його назвали на честь відомого американського астронома Едвіна Габбла. Це телескоп-рефлектор для спостережень небесних світил у видимому діапазоні та в ближній ультрафіолетовій ділянці спектра. Діаметр головного дзеркала 2,4 м. На розробку й виготовлення телескопа в цілому пішло майже 20 років. На HST спочатку встановили камеру слабких об'єктів, ширококутну планетну камеру, спектрограф слабких об'єктів і спектрограф високої роздільної здатності.

Під час позапланового польоту космічного човника «Індевор» у грудні 1993 р. для усунення сферичної аберації головного дзеркала астронавти встановили на телескопі блок корекційної оптики COSTAR. Тоді ж замінили ширококутну планетну камеру на нову — WF/PC-2, а також змінили сонячні батареї й 4 гіроскопи.

У 1997 р. здійснено модернізацію Космічного телескопа імені Габбла, після чого він став чутливим і до ближньої частини інфрачервоного діапазону. 2002 р. HST додатково обладнали вдосконаленою оглядовою камерою, що має підвищену чутливість як до видимого світла, так і до ультрафіолету.

Про особливу цінність цього інструмента для науки свідчять не лише 20 млрд. доларів,

які використано на його експлуатацію, а й те, що за час роботи телескопа до нього літали чотири експедицій астронавтів для виконання профілактичних і ремонтних робіт. Зокрема, у другій декаді травня 2009 р. на орбіті Землі (на висоті близько 600 км.), виконано капітальний ремонт Космічного телескопа імені Габбла. Це зробила команда американських астронавтів, що на багаторазовому космічному човнику відвідала знаменитий телескоп. Зазначимо, ремонт планували виконати ще п'ять років тому, але неполадки з космічними човниками не дозволяли цього зробити.

На телескопі встановлено шість нових гіроскопів, датчики точного наведення, нові джерела живлення (акумулятори) та декілька наукових приладів, зокрема нові спектрограф і фотокамера, яка дасть змогу отримувати фотознімки з вищою роздільною здатністю та якістю, а також у ширшому спектральному діапазоні, ніж це дозволяла стара камера.

За період роботи HST відправив на Землю понад сімсот тисяч зображень різних космічних об'єктів. Ця інформація виявилась украй важливою для астрономії, астрофізики й космології: з її допомогою встановлено присутність надмасивних чорних дір у галактичних ядрах і доведено, що Всесвіт розширюється з прискоренням.

За прогнозами фахівців, після проведеного ремонту Космічний телескоп імені Габбла зможе працювати ще принаймні п'ять — десять років.

Гамма—обсерваторія імені Комптона (Compton Gamma–Ray Observatory, GRO або CGRO) — друга в серії «Великих обсерваторій» NASA. Її вивів на орбіту космічний човник «Атлантіс» у квітні 1991 р., а вже у травні обсерваторія, названа ім'ям знаменитого фізика, нобелівського лауреата Артура Комптона, розпочала свій перший 18–місячний огляд неба.

На «Комптоні» було встановлено комплекс наукової апаратури, серед якої чотири основні наукові прилади, здатні реєструвати гамма–кванти з енергією, що розрізняється на шість порядків (від 50 кеВ до 30 ГЕВ). Найважливішим приладом був телескоп енергійних гамма-променів EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment Telescope). З його допомогою складено карти джерел гамма–випромінювання, що лежать у діапазоні 20 МЕВ — 30 ГЕВ.

Відкриття, зроблені за допомогою «Комптона», вражають. Обсерваторія виявила понад 400 гамма–джерел (у 10 разів більше, ніж було відомо до неї), зареєструвала більше 2500 гамма–спалахів (до неї — 300, з яких лише для 100 було відомо положення на небі). Серед іншого виявлено, що гамма–спалахи рівномірно розподілені на небі й тому не пов'язані з нашою галактикою; відкрито блазари — квазари, що випромінюють у гамма–діапазоні; відкрито випромінювання антиречовини з центру Галактики і складено карти її місцезнаходження в Галактиці (OSSE) тощо.

Упродовж 20 років колективи учених, інженерів і техніків створювали велику рентгенівську обсерваторію, що отримала назву «Чандра» на честь відомого астрофізика XX ст. Субрахманьяна Чандрасекара. У цього імені, до слова, є ще одне приховане астрономічне значення: у перекладі з санскриту слово «чандра» означає «місяць» (а також «сяючий»).

Проведені навесні 1997 р. тести показали, що «Чандра» має прекрасну чутливість і високі кутову та спектральну роздільні здатності, а отже, з її допомогою можна спостерігати в 10 разів слабкіші рентгенівські джерела, ніж це робив її найближчий попередник космічний дослідницький апарат ROSAT.

У 1999 р. космічний човник багаторазового використання, екіпаж якого, до слова, уперше очолила жінка, доставив обсерваторію на орбіту. «Чандра» стала найбільшим супутником, які «Шаттли» коли-небудь виводили в космос.

Основними елементами обсерваторії «Чандра» є рентгенівський телескоп, а також камера високої роздільної здатності (HRS), спектрометр (ACIS), низько- і високоенергетичні спектрометри високої роздільної здатності.

З літа 2003 р. в космосі працює 850-кілограмовий телескоп «Спітцер» (названий на честь американського фізика й астронома Лаймана Спітцера), що виконував дослід-

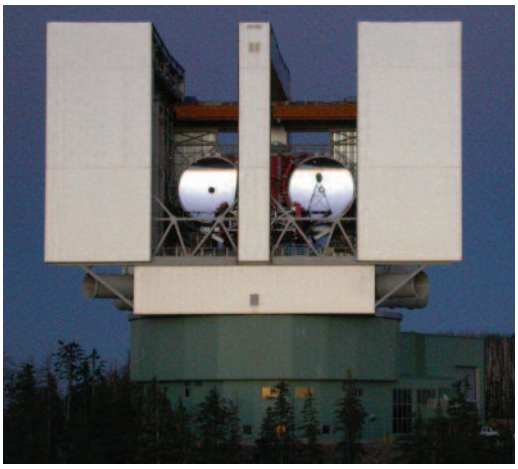
ження в інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра. Говормо у минулому часі, бо в першій половині 2009 р. на телескопі вичерпались запаси рідкого гелію, який охолоджував приймачі до температури 5,5 К, а тому телескоп перейшов на реєстрацію видимого світла.

«Спітцер» став першою інфрачервоною обсерваторією, виведеною не на геоцентричну (навколо Землі), а на геліоцентричну (навколо Сонця) орбіту. Її вибрали тому, що у віддаленому космосі холодніше, ніж на орбіті Землі. Теплове випромінювання нашої планети може нагрівати супутник до температури вище 250 К, тоді як на певній відстані від Землі супутники охолоджуються до 30—40 К (саме це давало можливість економити гелій і сприяло подовженню терміну функціонування телескопа).

Перелік досягнень «Спітцера» дуже вагомий. Серед них назвемо лише одне — історичне — він уперше безпосередньо розгледів (звісно, в інфрачервоних променях) дві екзопланети, що раніше було не під силу жодному телескопу. Можна сказати навіть так: після HST «Спітцер» став другим космічним телескопом, знімки якого викликали захоплення у широкого загалу.

Навесні 2008 р. у США розпочав роботу один з найпотужніших сучасних наземних телескопів — Великий бінокулярний телескоп (LBT). Два телескопи (мал. 2) з апертурою 8,4 м., сполучені між собою й рознесені на 14,4 м, працюють як один, причому значно більший. Зокрема, світлосила цього бінокуляра відповідає телескопу з діаметром об'єктива 11,8 м, а сумарний світловий промінь, що надходить від двох дзеркал, дозволяє отримати настільки чітке зображення, неначе воно сформоване телескопом з діаметром 22,8 м.

Від початку літа 2008 р. для вивчення космічного простору за допомогою гамма-випромінювання в космосі працює телескоп Енріко Фермі (Fermi Gamma-ray Space Telescope). Основними інструментами цієї обсерваторії є телескоп для дослідження великих ділянок космосу (Large Area Telescope — LAT) і прилад для спостереження гамма-спалахів (Burst Monitor — GBM). Першим завданням, з яким упорався телескоп Енріко Фермі, стала карта неба в «гамма-променях». За 95 годин спостережень космічний телекскоп зробив те, що астрономи виконували впродовж місяців (а то й років) роботи.



Мал. 2. Великий бінокулярний телескоп (LBT) на вершині гори Грехем штату Арізона

Загальна вартість проекту склала 690 мільйонів доларів. Очікується, що телескоп Енріко Фермі пропрацює на орбіті 565 км завишки протягом десяти років. З його допомогою учені збиратимуть нові дані про чорні діри й пульсари. Окрім того, телескоп Енріко Фермі має допомогти астрономам краще зрозуміти природу темної матерії й гамма-спалахів.

Цікаво відзначити, що спочатку телескоп називали GLAST — Gamma-ray Large Area Space Telescope (телескоп для вивчення великих ділянок космосу за допомогою гамма-випромінювання). Але, як відомо, у NASA існує традиція вибору імен для космічних телескопів. В агентство надійшло близько 12 тисяч варіантів нового імені для GLAST. Співробітники NASA розсортували заявки за категоріями, наприклад, «герої міфів», «відомі люди», «знамениті учені». Врешті-решт було відібрано 10 основних претендентів, з яких головне управління NASA вибрало переможця. Телескоп було вирішено перейменувати на честь Фермі, оскільки він був першим ученим, що пояснив, як космічні частинки можуть бути розігнані до високих швидкостей. Дослідники використовують теорію Фермі для

пояснення тих явищ, які вивчатиме телескоп його імені.

Наприкінці весни 2009 р. відбувся запуск двох космічних астрономічних обсерваторій Європейського космічного агентства (ЄКА) — телескопа для інфрачервоної ділянки спектра «Гершель» (діаметр головного дзеркала 3,5 м) та апарата «Планк», метою якого є дослідження реліктового випромінювання (інакше — космічного мікрохвильового випромінювання).

Улітку 2009 р. на о. Пальма (Канарські острови) став до ладу найбільший у світі телескоп для видимого й інфрачервоного діапазонів електромагнітного спектра (мал. 3). Об'єктив телескопа має діаметр 10,4 м і складається з 36 частин. Його площа становить 82 кв. метра. Телескоп належить Інституту астрофізики Канарських островів.

Новий телескоп, який отримав назву «Великий телескоп Канарських островів», перевершує за своїми технічними характеристиками телескопи американської обсерваторії імені Кека (Гавайські острови) і європейський «Дуже великий телескоп» у Чилі.

Мал. 3. Великий телескоп Канарських островів. Фото з сайта http://en.wikipedia.org

Про деякі проекти в галузі телескопобудування.

У чилійській пустелі Атакама до 2011 р. має завершитись будівництво найбільшого у світі радіотелескопа ALMA (Atacama Large Millimeter Array — Великий Міліметровий Радіотелескоп в Атакамі). Цікаво, що іспанською ALMA означає «душа».

Хоча телескоп споруджує Європейська південна обсерваторія (ESO, European Southern Observatory), однак через надзвичайно сприятливі для спостережень умови його розмістять у пустелі Атакама в чилійських Андах. Тут майже завжди чисте небо й украй низька вологість. Нова обсерваторія розташується на висоті 5 тис. м над рівнем моря.

Телескоп складатиметься з 64-х дванадцятиметрових антен-тарілок. Його роздільна здатність перевершуватиме аналогічний показник Космічного телескопа імені Габбла як мінімум у 10 разів.

На початку 2009 р. в Китаї розпочато будівництво 500-метрового радіотелескопа (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope (FAST)), який на частоті 3 ГГц дасть астрономам змогу виявляти галактики й квазари на величезних відстанях від Землі.

Дзеркало нового телескопа збиратиме удвічі більше радіовипромінювання, ніж це нині може робити 300-метрове дзеркало радіотелескопа обсерваторії Аресібо в Пуерто-Ріко. Окрім цього, дзеркало китайського телескопа матиме цікаву властивість: можна буде змінювати його форму від сфери до параболоїда, що дозволить спостерігати широку ділянку (від точки зеніту до 40° по висоті) небесної сфери.

Як і телескоп в Аресібо, новий радіотелескоп розмістять у природній угловині, яка за формою схожа на поверхню дзеркала, що збирає випромінювання. Це спрощує процес будівництва й облаштування нового астрономічного інструмента. Місце для будівництва радіотелескопа вибрали у відносно безлюдному районі Китаю, що буде сприяти режиму радіотиші.

Будівництво нового радіотелескопа планують завершити у 2014 р. й відкрити до нього доступ для астрономів з усього світу.

Сьомого лютого 2009 р., коли в Києві, у славній Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, відбулось урочисте відкриття меморіальної дошки «Київський меридіан», у світі астрономії трапилась ще одна знаменна подія: офіційно оголошено про співпрацю кількох організацій (серед них Гарвардський, Техаський, Аризонський університети) задля створення гігантського наземного магелланівського телескопа

(The Giant Magellan Telescope, GMT) з діаметром дзеркала 24.5-метри (мал. 4).

Мал. 4. Таким має бути телескоп GMT. Фото з сайта http://www.gmto.org

Зауважимо, роботу над телескопом розпочато у 2003 р., а про співпрацю формально оголосили лише на початку 2009 р. Згідно з оприлюдненими планами, будівництво GMT розпочнеться у 2012 р. й завершиться у 2018 р. Телескоп буде встановлено в обсерваторії Мауна-Кеа на Гавайях. Повна вартість проекту становитиме 700 мільйонів доларів США.

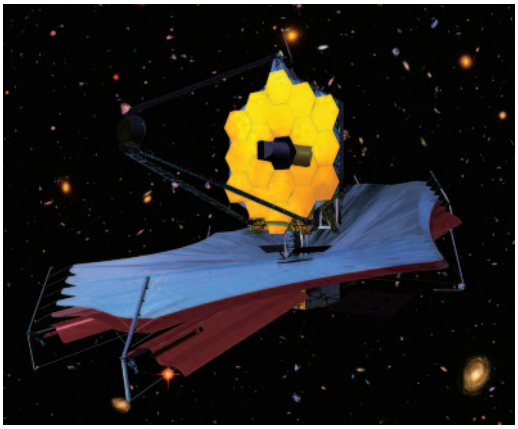
Європейські астрономи, очевидно, не бажаючи відставати від своїх заокеанських колег, також розмірковують над будівництвом великого телескопа. Спочатку ESO планувала побудувати гігантський телескоп, а точніше «Надзвичайно великий» (Over-Whelmingly Large, OWL) з діаметром дзеркала 100 м. Його площа дорівнювала б сумарній площі всіх наявних нині дзеркальних телескопів. Найцікавіше те, що сучасні технології дозволяють реалізувати такий проект, проте його приблизна вартість — близько півтора мільярда євро — виявилась європейським ученим не по кишені. Як наслідок, ухвалено рішення обмежитися дзеркалом діаметром 42 метри. Зрозуміло, що можливості такого «Екстремально великого телескопа» (Extremely Large Telescope, ELT) будуть значно скромнішими. Однак їх вистачить, щоб відкрити нову еру в історії наземних астрономічних спостережень.

Початок будівництва нового європейського телескопа планують на 2010—2011 рр. Як варіанти розміщення телескопа розглядають Південну Африку, Тибет, Марокко, Гренландію й Антарктику.

Про космічні телескопи, що мають стати до роботи в наступні п'ять років.

Найближчим часом (2009 р.) NASA планує відправити на орбіту Землі телескоп для інфрачервоної ділянки електромагнітного спектра. Новий інструмент отримав назву Wide-field Infrared Survey Explorer (WISE), що можна перекласти як «широкосмуговий інфрачервоний оглядовий дослідник». Його чутливість у 500 разів вища, ніж у попередника, якого запустили в 1983 р. Телескоп має виконати детальне картографування всієї небесної сфери в інфрачервоному діапазоні. Основними цілями його місії є пошук коричневих карликів і віддалених галактик на відстанях понад 10 млрд. світлових років від Землі.

Космічний телескоп імені Габбла, що працює на орбіті з 1990 р., рано чи пізно закінчить свою роботу. У наступному десятилітті йому на зміну прийде набагато потужніший інструмент — телескоп ім. Джеймса Вебба (JWST) з 6,5-метровим дзеркалом.



Мал. 5. Таким буде телескоп ім. Джеймса Вебба (JWST)

Хоча ми часто порівнюємо телескопи за розмірами їх головних дзеркал, проте основна відмінність між HST і JWST полягає не в розмірі головного дзеркала. Прилади Космічного телескопа імені Габбла збирають інформацію в інфрачервоних променях, у видимому світлі і в ультрафіолеті, а телескоп ім. Дж. Вебба працюватиме лише в інфрачервоному діапазоні. Саме тому правильніше вважати його наступником «Спітцера».

Однак і від «Спітцера» він буде відрізнятись не лише розміром свого дзеркала.

«Джеймс Вебб» працюватиме без штучного охолоджування і тому для нього обрали місце не біля Землі, а поблизу другої точки Лагранжа *L*2, віддаленої від нашої планети на 1,5 млн. км.

Хоча майбутній телескоп буде працювати в діапазоні електромагнітного спектра від 0,6 мкм до 28 мкм, оптимальною для нього вибрали досить вузьку ділянку спектра —, 1—5 мкм. Роздільна здатність становитиме 0,1 кутової секунди, що на порядок вище, ніж у «Спітцера». Оскільки JWST не потрібна кріогенна апаратура, мінімальний час його роботи оцінюють у п'ять років, але сподіваються, що він прослужить не менше десяти.

Тепер спитаймо себе, чому астрономи разом з експертами NASA висловилися на користь інфрачервоного, а не оптичного телескопа? Відповідь (звісно це визначають цілі, які ставлять перед собою вчені) наступна: новий телескоп задумано перш за все для пошуку найвіддаленіших і, отже, найстаріших об'єктів Всесвіту, які фізично неможливо виявити в оптичному діапазоні. Унаслідок космологічного розширення простору їх спектри сильно змістилися вліво, у бік зменшення частот (коли світло найвіддаленіших квазарів досягає Землі, довжини його хвиль через червоне зміщення зростають у десять і більше разів, так що максимум інтенсивності потрапляє в діапазон 1—3 мікрометри). Саме тому така зацікавленість до інфрачервоного діапазону електромагнітного спектра.

Звісно, навіть найбільший і найсучасніший телескоп, без відповідного приймача мало що може дати астрономічним дослідженням. Саме тому в астрономії великого значення надають питанням удосконалення, чи виготовлення нових, приладів для реєстрації випромінювань небесних тіл, а також космічних частинок.

У нашій розповіді ми наведемо лише один приклад такої роботи. Ідеться про новий інструмент SPHERE, розроблений для «Дуже великого телескопа» (VLT) Європейської південної обсерваторії (ESO). Цей астрономічний інструмент призначено для отримання прямих зображень планет біля інших зір. Його побудовано на базі растрових детекторів з рекордно низькими шумами.

Для компенсації дії атмосфери в астрономії використовують системи адаптивної оптики, що дозволяють, за рахунок введення в оптичну схему інструмента датчиків, а також керованого елемента, відновити хвильовий фронт. Для цього використовують випромінювання точкових, нескінченно віддалених джерел (це можуть бути звичайні зорі, що формують в ідеальних умовах строго плоскі хвильові фронти).

Проте якість компенсації атмосферного впливу безпосередньо залежить від швидкості реєстрації спотворень, що постійно змінюються, і, отже, від частоти роботи детектора. На жаль, чутливість і швидкість роботи детектора — характеристики, що виключають одна одну.

Британські фахівці створили детектор, власні шуми якого на порядок нижчі, ніж в астрономічних приймачах аналогічного призначення, що є нині.

Низький рівень шумів дає змогу понизити час експозиції під час проведення астрономічних спостережень — нова камера дозволяє проводити зйомку з частотою до 1500 кадрів на секунду. Це, зокрема, дозволить вивчати процеси, що протікають дуже швидко.

Інструмент SPHERE має стати до ладу в 2011 р. Зараз фахівці ESO здійснюють підготовку до створення системи адаптивної оптики для перспективного телескопа ELT. У ній також будуть використані зазначені революційні технології.

Згадаймо також про нейтринну астрономію. Найбільший у світі детектор нейтрино Borexino розміщений за 200 км від Риму в тунелі під однойменною горою. Це 300-тонний резервуар, наповнений спеціальним полімером (триметил-бензолом). Нейтрино, що проходять крізь детектор, час від часу взаємодіють з ядрами атомів полімера, викликаючи короткі світлові спалахи. Ці спалахи уловлюють численні фотодетектори, розподілені по всьому об'єму резервуара. Скельна порода, що оточує детектор, захищає його від інших частинок, здатних викликати реакцію фотодетекторів: на відміну від нейтрино, ці частинки ефективно затримуються в її товщі.

Детектор нейтрино Borexino вперше зареєстрував низькоенергетичні нейтрино, що виникають у ядрі Сонця. Відомо, що сонячні нейтрино вперше виявлено ще в 1960-х роках XX ст., коли вдалося зареєструвати активні високоенергетичні нейтрино. Низькоенергетичні нейтрино вдалося зафіксувати в 1980-х, проте тоді чутливість детекторів була недостатньою для того, щоб точно визначати їх енергію.

Детектор Borexino впевнено виявляє нейтрино, що утворюються під час термоядерної реакції за участю радіоактивного ізотопу берилія-7. На реакції цього типу припадає близько 12% усіх сонячних нейтрино. Дослідження, які проводять з допомогою детектора нейтрино Borexino, свідчать про те, що загальноприйняті уявлення про фізику Сонця в цілому відповідають дійсності.

Італійський «нейтринний телескоп» невдовзі поступиться своїм першим місцем. Зараз в Антарктиці міжнародна група учених та інженерів споруджує новий детектор нейтрино. Його назвали «Крижаний куб» (IceCube), і до часу завершення робіт, запланованих на 2011 р., детектор займе близько одного куб. км. та стане найбільшим з подібних інструментів.

Актуальним завданням сучасної астрофізики є реєстрація гравітаційних хвиль, які теоретично передбачив А. Айнштайн. Вважають, що найпотужніші хвилі виникають під час злиття, наприклад, двох чорних дір. На думку окремих астрофізиків ще перспективнішими, можливо, є суперструни у момент своєї «смерті».

Нагадаймо, що теорія суперструн є головною серед кандидатів на роль моделі, здатної об'єднати чотири типи фізичних взаємодій, спостережуваних у Всесвіті, — гравітаційну, електромагнітну, сильну і слабку. Одним із цікавих припущень у рамках цієї моделі є те, що у Всесвіті має існувати безліч космічних суперструн своєрідних дефектів топології простору. Суперструни є дуже-дуже тонкими (в діаметрі менше електрона) і дуже-дуже довгими (співмірні з розмірами галактики) об'єктами, всередині яких уміщений згорнутий простір раннього Всесвіту. Вони можуть замикатися в кільце, переходячи у стан нестабільності: кільце поступово стискається, і коли його діаметр доходить до розміру елементарної частинки, струна розпадається, породжуючи величезної сили вибух. У цей момент і мають виникати потужні гравітаційні хвилі.

Тепер важливо побудувати прилад для реєстрації цих хвиль.

На околицях Ганновера (Німеччина) у 2000 р. став до ладу найсучасніший детектор гравітаційних хвиль GEO 600. З його допомогою учені сподіваються експериментально підтвердити існування гравітаційних хвиль.

Вважають, що гравітаційні хвилі розповсюджуються зі швидкістю світла і є динамічними викривленнями просторово-часового континууму. Проте ефекти, пов'язані з дією гравітаційних хвиль на довкілля, такі слабкі, що для їх реєстрації потрібна надзвичайно чутлива апаратура, створення якої перебуває на межі можливостей сучасних технологій.

Детектор гравітаційних хвиль GEO 600 — система з величезних лазерних інтерферометрів. Вибір такої схеми очевидний: теорія вказує на те, що гравітаційні хвилі мають по черзі стискати й розтягувати простір, змінюючи інтерференційну картину в різних плечах установки.

Результати роботи детектора порівнюватимуть з даними, отриманими за допомогою космічних рентгенівських телескопів. Річ у тім, що процеси, під час яких виникають потужні гравітаційні хвилі, злиття чорних дір і вибухи Наднових супроводжуються сплеском рентгенівського випромінювання. Отже, реєстрація просторових спотворень має співпасти з появою нового джерела, що світить у цьому діапазоні. Якщо це відбудеться, існування гравітаційних хвиль можна буде вважати доведеним фактом.

Можливо перші достовірні свідчення існування гравітаційних хвиль вчені отримають за допомогою Космічного антенного лазерного інтерферометра (Laser Interferometer Space Antenna, LISA). Ця система, яку складатимуть декілька орбітальних апаратів, зможе реєструвати хвилі дуже низької частоти і буде на порядки чутливішою за всі гравітаційні детектори, що існують нині. Окрім очікуваних джерел

гравітаційних хвиль — таких, як подвійні зоряні системи й надмасивні чорні діри — LISA зможе реєструвати хвилі, що утворилися внаслідок розпаду кільцевих суперструн.

Отже, за допомогою Космічного антенного лазерного інтерферометра стає реальним експериментальне підтвердження існування суперструн, завбачених теоретично. Орбітальну антену LISA заплановано спрямувати в космос у 2015 році.

Окрім телескопів і приймачів (детекторів), важливе місце в сучасній астрономії посідає комп'ютер. Нині комп'ютер в астрономії перетворився на своєрідну «машину часу»: він допомагає заглянути в такі далекі епохи, в які навряд чи коли-небудь вдасться потрапити. Ідеться про моделювання різноманітних процесів, що відбувались, відбуваються чи відбудуться у Всесвіті. Як приклад — зародження найперших зір.

Не так давно японські вчені провели експерименти з комп'ютерного моделювання народження протозорі, починаючи від хаотичного скупчення легких елементів.

Згідно з нинішніми уявленнями, перші зорі були дуже масивними, у сотню разів масивнішими, ніж Сонце. Упродовж якоїсь сотні мільйонів років (згадаймо — час життя зорі сонячного типу становить щонайменше десять мільярдів років) вони спалювали свої ядерні запаси й закінчували існування потужними вибухами, що приводило до насичення молодого Всесвіту важкими хімічними елементами. З речовини цих зір і утворилися всі наступні зорі, туманності, планети і ми з вами.

Цікаво, що завдання моделювати народження зорі в далеку давнину виявилося набагато простішим, ніж побудувати модель народження зорі за сучасних умов. Сьогодні доводиться враховувати багато параметрів, що не існували в ранньому Всесвіті. Наприклад, сильні магнітні поля, турбулентний рух потоків речовини тощо. Всесвіт у віці кількох мільйонів років після Великого Вибуху був значно простішим. Його заповнювали майже водень і гелій (загадкову темну матерію й темну енергію до уваги не беремо).

Комп'ютерна модель зорі, побудована японськими вченими, за оцінками їхніх колег з інших країн, є надзвичайно реалістичною. Отже, роботи у цьому напрямі буде продовжено.

Ще один приклад застосування потужних комп'ютерів в астрономії демонструють європейські вчені. Нідерландський Фонд досліджень у галузі астрономії (The Netherlands Foundation for Research in Astronomy, ASTRON) вирішив об'єднати в мережу 10 тисяч невеликих радіоантен на території Нідерландів і Німеччини, кожна з яких працюватиме як приймач єдиної антени. Таке об'єднання — еквівалент гігантської електронної антени-тарілки з ефективним радіусом більше 350 км. Інформацію, отриману за допомогою цієї системи низькочастотних антенних граток (LOFAR, Low Frequency Array), опрацьовує неймовірно швидкісний суперкомп'ютер, розроблений відомою IBM.

За допомогою комп'ютерів нині створюють також системи візуалізації астрономічних даних. Ці системи допомагають відчути весь спектр масштабів, які є у Всесвіті, не лише звичайним людям, а й самим астрономам. Один з таких візуалізаторів здатний успішно працювати на звичайному домашньому комп'ютері середньої потужності. При цьому він дозволяє «подорожувати» у космічному просторі — від масштабів окремої планети до галактик та їх скупчень. Зміст інтерактивного путівника по Всесвіту був сформований на основі електронних каталогів Sloan Digital Sky Survey і Bright Star Catalogue з використанням даних, отриманих за допомогою Космічного телескопа імені Габбла, а також інших космічних телескопів.

Сучасні персональні комп'ютери мають набагато більшу продуктивність, ніж найпотужніші ЕОМ тридцятирічної давнини. Під'єднані до мережі Інтернет, вони дають змогу отримувати останню наукову інформацію, наприклад результати астрономічних спостережень, а також обмінюватися нею з колегами. На порядку денному — створення Віртуальної астрономічної обсерваторії.

III. Сонячна система

Земля і Місяць

Те, що Землю вивчають за допомогою космічних апаратів, не є новиною. Варто

лише нагадати, що багато методів для цих досліджень було розроблено саме астрономами.

Один приклад таких досліджень. 2009 р. на основі космічних спостережень з американского супутника Terra (роботу з вимірювання висоти точок рельєфа поверхні виконував японський прилад ASTER, встановлений на супутнику) укладено найдетальнішу на сьогодні топографічну мапу Землі. Вона покриває майже 99 % території планети. Роздільна здатність нової мапи (відстань між сусідніми точками вимірів висоти) становить приблизно 30—34 метра.

Супутник Terra запущено в 1999 р. На ньому встановлено п'ять основних приладів для вивчення поверхні Землі, а також моніторинга клімату й навколишнього середовища. Прилади виготовлені в різних країнах, зокрема в Японії і Канаді.

Серед широкого спектра наукових проектів у галузі космічного моніторингу Землі зупинимо увагу лише на програмі «Система спостереження Землі» (Earth Observing System, EOS). Ця програма є частиною затвердженого в 2001 р. стратегічного плану NASA з дослідження Землі за допомогою серії космічних апаратів. Програма також входить у проект «Місія до планети Земля» (Mission to Planet Earth, MTPE), який NASA реалізує з 1991 р. в рамках великої комплексної програми «Дослідження глобальних змін на Землі».

За програмою EOS передбачено протягом 15 років всебічно вивчати нашу планету як єдину інтегровану систему з використанням загальної інформаційної мережі EOSDIS для прийому, обробки, архівації, розподілу, моделювання й інтерпретації супутникових даних, а також для комплексного планування роботи й управління польотами штучних супутників Землі (ШСЗ) цієї серії. Кожен супутник виконує одне із завдань з вивчення хімічного складу атмосфери, динаміки й енергетики атмосфери, хмарного покриву, водного й енергетичного балансу, динаміки, физико-хімічних та енергетичних властивостей океану, глобального біохімічного циклу, біологічних ресурсів, гравітаційного поля, а також у галузі геодезії, геології, картографії.

Перше сімейство супутників, що працюють за програмою EOS, до 2015 р. має забезпечити: 10-річний прогноз клімату; 15—20-місячний прогноз явища Ель-ніньо; 12-місячний прогноз випадання дощів у регіональному масштабі; 60-денний прогноз виверження вулканів; 10—14-добовий прогноз погоди; 5-денний прогноз маршрутів ураганів з точністю до 30 км.; 1—5-річний експериментальний прогноз землетрусів.

До цього додамо лише те, що космічні програми зі спостереження Землі мають і інші країни світу, наприклад, Канада, Японія, Індія, об'єднана Європа (програма моніторингу й забезпечення безпеки Землі GMES, що базується на КА «Envisat»).

Цікавий і важливий експеримент за участю Землі проведено за допомогою міжпланетного зонда «Венера-Експрес» (про нього докладніше йтиметься нижче). Суть експеримента — виявити ознаки життя на Землі з космосу. Погодьтесь, цікава ідея. Адже таке дослідження дозволяє впевнитися в тому, що методи, які ми плануємо застосувати для пошуку життя на планетах поблизу інших зір, працюють.

Перший знімок Землі «Венера-Експрес» зробив у листопаді 2005 р., використовуючи бортовий спектрометр VIRTIS. А рік потому, коли апарат ліг на орбіту до Венери, з'явилась пропозиція провести це дослідження існування життя на Землі.

Загалом було зроблено майже півсотні знімків, що дало змогу зібрати спектральні дані у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах, а отже — визначити склад земної атмосфери. Цей, загалом, рутинний метод, який астрономи використовують вже не перше століття, насправді не такий простий як для даного разу. На бортових камерах «Венера-Експрес» зображення Землі має діаметр менше одного пікселя, тобто для космічного зонда наша планета є просто крапкою, деталей на якій розрізнити вже неможливо. Виходячи з цих спостережень, астрономам і належало зробити висновок про те, чи є життя на Землі (що рівноцінно відповіді на запитання: «Чи «працюють» методи, які зазвичай використовують для аналогічних досліджень інших планет?»).

Результат виявився неоднозначним. Хоча спектрометр VIRTIS чітко показав наявність у нашій атмосфері двох найважливіших для життя компонентів — води і кисню, цього виявилось замало. Наприклад, у Венери є і те, і інше. Однак там немає життя. Отже, цієї інформації недостатньо, щоб говорити про наявність чи відсутність життя на тій чи іншій планеті.

Наразі це все, що можна встановити, але робота продовжується. Учені мають намір за допомогою того ж апарату провести додаткові спостереження у ближньому ІЧ-спектрі. Відомо, що земну рослинність найкраще виявляти саме в цій ділянці спектра. Окрім того, вчені мають намір порівняти характеристики спектра Землі в ті моменти, коли вона обернена до зонда океаном — з тими, коли планета «дивиться» на зонд, головно, материковою частиною. Звісно, про Землю такі дослідження скажуть мало нового, але вони дозволять відпрацювати методи, які стануть у нагоді під час вивчення далеких світів, що мають для нас вигляд крапки. (На момент написання цієї статті, результати ще не було оприлюднено)

У вересні 2003 р. Європейське космічне агентство запустило до Місяця зонд SMART-1, який після тривалого польоту вийшов на сильно витягнуту полярну місячну орбіту. Завдяки такій орбіті космічний апарат зміг встановити, що поблизу полюсів концентрація водню (цей хімічний елемент на Місяці присутній у дуже малій кількості) підвищена і що деякі полярні зони майже постійно освітлені Сонцем. Через три роки від моменту старту (2006 р.) SMART-1 упав на поверхню Місяця й закінчив своє існування.

На початку осені 2007 р. до Місяця стартував японський космічний апарат «Кагуйя» (Kaguya). Окрім відеокамери високої роздільної здатності й майже півтора десятка приладів, на його борту містились два місячні міні-супутники. Місія апарата полягала у вивченні геологічних характеристик, а також гравітаційних особливостей Місяця. Зокрема японський апарат виявив на поверхні земного супутника радіоактивний елемент уран. А в цілому за допомогою спектрометра, що працював у гамма-діапазоні частот, вдалось побудувати детальні карти розподілу різних хімічних елементів на поверхні Місяця. Окрім виявлення урану, уточнено дані про вміст на Місяці торію, калію, титану, магнію, кремнію, кальцію, заліза і кисню. Виконавши програму досліджень, «Кагуйя» у червні 2009 р. здійснила планове падіння на поверхню Місяця.

З жовтня 2007 р. розпочато китайську історію дослідження Місяця. Ракета «Великий похід-3А» направила до супутника Землі зонд «Чанге-1» (Chang'e 1). Космічний апарат вийшов на заплановану орбіту, виконав дослідження (за інформацією, яку отримали від зонда, складено карту Місяця) й навесні 2009 р. впав на поверхню Місяця.

Індія восени 2008 р. вивела на полярну місячну орбіту автоматичну станцію «Чандраяан-1» (Chandrayaan-1), на якій встановлено з десяток приладів і невеликий зонд-імпактор, тобто апарат, який має впасти на поверхню Місяця. Одна з головних задач місії — пошук гелія-3, надзвичайно рідкісного на Землі ізотопа, який може бути паливом для термоядерної енергетики. Окрім того, «Чандраяан-1» має допомогти укласти тривимірний місячний атлас і спробує знайти на Місяці ознаки водяного льоду. (Наприкінці літа 2009 р. зв'язок з апаратом було втрачено — *Авт.*)

У червні 2009 р. США спрямували до Місяця зонди LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) і LCROSS (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite). Особливість цих запусків полягає в тому, що вони є першим масштабним кроком NASA в рамках нової місячної програми США.

За допомогою LRO учені шукатимуть джерела ресурсів на Місяці, складуть карту радіоактивності поверхні, а також перевірять низку нових технологій. За допомогою зонда буде встановлено, як впливає радіаційний фон на поверхні супутника Землі на людину.

Мета роботи LCROSS — остаточно поставити крапку в питанні про те, чи є на місячних полюсах лід. Апарат упродовж чотирьох місяців збиратиме інформацію про Місяць, після чого прослідує в район одного

з полюсів до маловивченого кратера, який постійно перебуває на темному боці Місяця. Апарат також збере інформацію про мінералогічний склад поверхні, зокрема тих ділянок, які ніколи не освітлює Сонце.

Цікаві й, безумовно, важливі дослідження заплановано виконати за допомогою американського космічного апарата GRAIL (Gravity Recovery and Interior Laboratory «Лабораторія з вивчення гравітації і надр»), старт якого намічено на 2011 р.

Відстань між двома однаковими апаратами, які перебуватимуть на місячній орбіті, постійно вимірюватимуть з високою точністю. Найменші зміни цієї відстані під час прольоту над тим або іншим районом Місяця дозволять скласти детальну карту його гравітаційного поля.

Нез'ясованих питань щодо гравітаційного поля нашого супутника ще дуже багато. І без їх вирішення годі говорити про освоєння землянами найближчого космічного сусіда.

До слова, GRAIL має виконати ще одне важливе завдання: освітнє. На кожному з апаратів заплановано встановити кілька відеокамер, управляти якими зможуть студенти та учні шкіл. У такий спосіб молоді люди будуть спостерігати за поверхнею Місяця з близької відстані.

Меркурій

Першу від Сонця планету, яку ми можемо, бодай і з певними, труднощами спостерігати візуально на зоряному небі, вивчати з поверхні Землі складно. Залишається сподіватись на космічні дослідження. Однак від початку космічної ери й до кінця XX ст. поблизу Меркурія працював лише один корабель, американський «Марінер-10» (Mariner-10). Ця експедиція, результатом якої стала донедавна переважна більшість наших знань про Меркурій, відбулась у 1974—1975 рр.

Лише в серпні 2004 р. NASA відправило до Меркурія автоматичну станцію «Мессенджер» (Messenger, MErcury Surface, Space ENvironment, GEochemistry and Ranging), яка 14 січня того ж таки року зробила перший проліт повз планету. «Мессенджер» ще двічі наближався до Меркурія (6 жовтня 2008 і 29 вересня 2009 року), а 18 березня 2011 року стане його штучним супутником.

Зонд «Мессенджер», маса якого становить 1,2 тони, має сім основних приладів для зондування поверхні й атмосфери Меркурія. Його орбіта розрахована так, щоб апарат якомога менше перебував під дією сонячного світла. Та попри це він має жаростійке керамічне покриття і дзеркальні відбивачі світла.

Під час першого прольоту «Мессенджер» пройшов на висоті 200 км. від поверхні Меркурія. Було отримано 1200 фотознімків, які допомогли вперше розгледіти зблизька 21% площі Меркурія. Якісні фотографії дозволили з'ясувати, що обширний басейн Caloris оточують вулканічні кратери. Сам басейн очевидно утворився внаслідок метеоритного удару ще в перший мільярд років існування Сонячної системи, коли подібні процеси відбувались дуже часто. За цим послідував період вулканічної активності — лава частково заповнила кратер, що утворився, і його дно стало плоскішим і гладшим.

Ще одне дослідження пов'язане з магнітним полем Меркурія. Відкрите зондом «Марінер-10», воно взагалі стало великим сюрпризом для астрономів, адже доти вважали, що магнітне поле з усіх кам'янистих планет Сонячної системи є тільки у Землі.

Магнітне поле Землі, як вважають, створює розжарене, багате на залізо, ядро. Проте ядро Меркурія вважали давно остиглим, а отже, невідомо, звідки на планеті могло з'явитись глобальне магнітне поле. Проте нові дані зонда «Мессенджер» підтвердили: магнітне поле Меркурія створює така ж «динамо-машина», як і на Землі. Це, у свою чергу, означає, що ядро планети, можливо, активне. Подальші дослідження мають підтвердити ці результати.

Для пояснення особливостей рельєфа Меркурія — глибоких «зморшок», які можна бачити на знімках поверхні, було висловлено гіпотезу про те, що ядро Меркурія становить 60% маси планети, а це приблизно удвічі більше, ніж у нормі. Охолодження такого аномального ядра привело до сильного стиснення всієї планети і появи згаданих вище «зморшок». Можливо охолодження

ядра відповідає й за створення магнітного поля.

«Мессенджер» дослідив магнітосферу, що оточує планету, заповнену величезною кількістю заряджених частинок. Цікаво, склад її частинок виявився не пов'язаним з сонячним вітром, а це означає, що вони не привносяться Сонцем, а з'являються від самої планети. Це, у свою чергу, означає, що за складом магнітосфери можна робити висновки про хімічний склад Меркурія. Також є результати вимірювань параметрів сонячного вітру, напруженості магнітного поля Меркурія і складу його екзосфери.

У планах Європейського та Японського космічних агентств є вивід на орбіти навколо Меркурія відразу двох супутників. Запуск цих апаратів намічено на 2013 р., а планети вони мають досягти через шість років польоту. Отже реалізація цієї програми — справа другого десятиліття XXI ст.

Венера

Попри підвищений інтерес землян до Венери (можливо, лише Марс посідає вищу сходинку), планета продовжує зберігати ще багато таємниць. Цьому сприяє й той факт, що крізь потужну атмосферу вкрай важко досліджувати поверхню планети у видимому діапазоні електромагнітного випромінювання, а фізичні умови на самій поверхні обмежують час роботи космічних апаратів.

Однак варто пам'ятати, що всю інформацію про поверхню Венери і значною мірою про її атмосферу отримано за допомогою космічних зондів. Останній з них, 670-кілограмова європейська міжпланетна станція «Венера-Експрес» (Venus Express), у травні 2006 р. вийшов на стабільну полярну орбіту, у своїй мінімальній точці віддалену від планети лише на 250 км. Зонд вивчає Венеру за допомогою кількох наукових приладів (планетний Фурьє-спектрометр PFS, спектрометр VIRTIS для картографування поверхні, ультрафіолетовий та інфрачервоний атмосферні спектрометри SPICAV/SOIR, аналізатор плазми і нейтрального газу ASPERA, магнітометр MAG, камера для моніторингу Венери VMC) і вже отримав багато надзвичайно цікавої інформації, зокрема, про атмосферу планети. Виконано аналіз її хімічного складу й розподілу в ній різних сполук. Наприклад, вдалося показати, що CO в атмосфері Венери дуже мало, а от водяної пари відносно багато. Вдалося підтвердити припущення про те, що в атмосфері дуже часто виникають блискавки, які роблять суттєвий внесок у формування її складу. І хоча склад венеріанської атмосфери відомий давно, однак поведінка газів, які її утворюють, за таких жорстких умов — високої температури й тиску — залишається маловивченою.

Поверхня Венери, як відомо, розігріта до температури майже 500° С, а це приводить до того, що планета яскраво «світиться» в інфрачервоному діапазоні. У його певних вузьких ділянках випромінювання здатне проникати крізь щільну хмарність і виносити інформацію про склад нижньої атмосфери. Таку інформацію вдалося зібрати, використовуючи спектрометр станції «Венера-Експрес», а на її основі вперше скласти карту розподілу газів у різних шарах венеріанської атмосфери.

За допомогою зонда «Венера-Експрес» вивчено процес втрати атмосферою планети значної маси речовини. Виявилось, причина цього сонячний вітер, тобто потік заряджених частинок (головним чином, іонів водню і гелію), що йде від Сонця. Зіштовхуючись з молекулами венеріанської атмосфери, частинки вітру буквально вибивають їх у космічний простір. Унаслідок цього з атмосфери Венери відбувається активне видалення пари — молекул води.

За результатами роботи зонда складено найточнішу температурну карту південної півкулі Венери. Для цієї мети було використано бортові інфрачервоні датчики: в оптичному діапазоні поверхню приховують густі хмари. Як відомо, раніше для досліджень ландшафту планети використовували радіохвилі.

Зазначене дослідження дозволило отримати інформацію і про хімічний склад порід на поверхні Венери, а також начебто, підтвердити гіпотезу про те, що високогірні плато цієї планети колись були континентами, оточеними глибоким океаном.

Згадаймо, що в 1970-х і 1980-х рр. декілька радянських автоматичних зондів досягали

поверхні Венери. Вони працювали там лічені хвилини, але встигли передати на Землю знімки з місця посадки. На цих фотографіях видно венеріанську породу, що за своїм виглядом дуже нагадує базальт. Проте дослідження зонда «Венера-Експрес» показало, що порода деяких з плато має світліший колір, ніж основна площа поверхні Венери. На Землі таке явище характерне для гранітних порід, які утворюють основу кори континентів.

За сучасними уявленнями граніт формується з базальтових порід за наявності вулканічної діяльності й води. Якщо на Венері є граніт, то колись там мали бути океани й тектонічна активність.

Підкреслимо, це попередні дані. Зараз на Венері немає води, відкритим залишається питання вулканічної активності. Хоча, мабуть, вулканічна активність на ній є, але значно менша, ніж на Землі. Існують непрямі дані, що підтверджують цю думку. Наприклад, деякі ділянки поверхні планети мають темніший вигляд, ніж інші, що, знову-таки, характерно для застиглих вулканічних порід.

Очевидно, що місія «Венера-Експрес», яка мала тривати дві венеріанські доби (486 земних діб), однак була продовжена ще на дві доби (до травня 2009 р.), принесла багато цікавої інформації, з якою ще не один рік працюватимуть учені.

Що в найближчій перспективі? Російська Федерація до 2015 р. планує створити принципово новий космічний апарат «Венера-Д», призначений для детального вивчення атмосфери й поверхні Венери. Розраховують на те, що апарат зможе працювати на поверхні Венери впродовж, принаймні, 30 земних діб. Це дасть змогу вченим наблизитись до розгадки таємниць Венери.

Марс

Жодна з планет Сонячної системи не стоїть поруч з Марсом у сенсі інтересу до неї землян. Червона планета — поза конкуренцією. Перші десять років XXI ст. принесли принципово нові результати в дослідженнях Марса. Уже не викликає сумніву те, що на Марсі колись було дуже багато води в рідкому стані. З'ясовано також, що значні запаси води у вигляді льоду приховані нині під поверхнею планети. Оскільки всі ці результати отримано за допомогою космічних апаратів, то розповімо про «марсіанський десант» та його результати детальніше.

Улітку 1997 р. на марсіанську поверхню спустився американський зонд «Патфайндер» (Pathfinder). Він доставив перший у світі марсохід — невеликий (маса 10,5 кг) шестиколісний всюдихід «Соджорнер» (Sojourner). Ці апарати працювали недовго (останній сеанс зв'язку відбувся наприкінці вересня того ж року), але вельми результативно. Вони зробили майже 20 тис. фотознімків, виконали хімічний аналіз двох десятків проб ґрунту та скельних порід і зібрали велику кількість інформації про атмосферу планети.

Орбітальний зонд «Марс Глобал Сорвеєр» (Mars Global Surveyor), оснащений фотокамерою, лазерним альтиметром, магнітометром та інфрачервоним спектрометром, став до роботи у вересні 1997 р. Він виконав заплановану програму до початку 2001 р., але працював ще п'ять з лишком років, аж до моменту втрати з ним зв'язку восени 2006 р.

Зараз (літо 2009 р.) Червону планету досліджують чотири посланці NASA і один ESA. З космосу за нею спостерігають американські зонди «Марс-Одіссей» (Mars Odyssey) і Mars Reconnaissance Orbiter та їх європейський партнер Mars Express Orbiter. З початку 2004 р. на марсіанській поверхні працюють американські марсоходи «Спіріт» (Spirit) та «Оппортюніті» (Opportunity). Навесні 2008 р. вперше в полярних широтах Марса здійснив посадку зонд «Фенікс» (Phoenix), який упродовж п'яти місяців виконував програму досліджень.

Отримати підтвердження того, що колись на Марсі було майже так само багато води (океани покривали до третини всієї його поверхні), як зараз на Землі, дозволив американський космічний апарат «Марс-Одіссей» (Mars Odyssey). За допомогою гамма-спектрометра було зібрано дані про вміст калію, торію і заліза вище і нижче за потенційну берегову лінію, яка могла існувати

тоді, коли на Марсі був океан. Принагідно зазначимо, що гамма-спектрометр зонда «Марс-Одіссей» обрали для вирішення такого завдання не даремно. Він здатний виявляти випромінювання хімічних елементів, що містяться навіть на глибині 30 см під поверхневим шаром. Саме ця здатність прилада дозволила у 2002 р. вперше виявити лід у полярних широтах Марса.

Вчені перевіряли дві гіпотези: про наявність невеликого океану і про те, що океан покривав третину поверхні планети. Суть перевірки полягала у тому, що треба було знайти вищу концентрацію зазначених хімічних елементів тоді, коли ми опускаємося нижче певної межі на поверхні — лінії, де колись починався океан і в який вони (хімічні елементи) могли вимиватися впродовж тривалого часу.

Отримана інформація свідчить про те, що колись на Червоній планеті існували дві берегові лінії: декілька мільярдів років тому існував відносно невеликий океан, лише удесятеро більший за наше Середземне море — приблизно як континент Північна Америка. Він містився у північній півкулі Марса. Його попередник, що існував на планеті значно раніше, був удвічі більшим, він покривав третину всієї планети.

Зазначимо, що суперечки про те, чи існували на Марсі океани, звідки вони узялися й куди «випарувалися», тривають вже більше 20 років. За однією з версій, джерелом води було масштабне виверження, що розтопило льоди під поверхнею планети й викликало справжні потоки води. Вона скупчувалася в низинах північної півкулі, утворювала моря і озера, які тоді на теплішому, ніж зараз, Марсі могли зберігатися десятки тисяч років.

Велику роботу виконано з дослідження найвиразніших деталей марсіанського диска — полярних шапок. Аналіз даних, що стосуються південного полюса планети, показав: запаси льоду не обмежені лише яскраво-білою полярною шапкою. Вона оточена вчетверо більшою територією темного кольору, де під відносно тонким шаром пилу прихований шар вічної мерзлоти. З якої причини пил покриває лише деякі ділянки шапки — досі неясно. Товщина льоду всюди приблизно однакова і становить близько 3 км. Крижані відкладення на 85% складаються із замерзлої води, і на 15% — з частинок, що містять кремній.

Цікаво зазначити, що льоду на північному полюсі менше, ніж на південному, і він зосереджений у межах однієї лише білої шапки. Про це свідчать дані, зібрані зондом Mars Reconnaissance Orbiter. Доведено, що обширні відкладення льоду на північному полюсі Марса на 95% складаються з води. Цю ділянку, названу Planum Boreum, ретельно вивчено за допомогою італійського радара SHARAD, що встановлений на американському зонді.

Радар дав змогу зазирнути вглиб відкладень приблизно на кілометр і встановити, що то все замерзла вода, причому несподівано високої чистоти. Отже, якщо колись увесь лід на Марсі вважали «сухим льодом», тобто — замерзлим вуглекислим газом, то тепер упевнено можна сказати, що це вода.

За оцінкою учених, полярні шапки Марса містять значні запаси льоду 2–3 млн. куб. км. Це приблизно в сотню разів більше, ніж, скажімо, об'єм відомого озера Байкал.

Космічні дослідження Марса вражають, проте доречно сказати, що планету вивчають і з допомогою навколоземних обсерваторії (це, перш за все, Космічний телескоп ім. Габбла), а також потужних наземних телескопів і радіотелескопів. Тому сьогодні астрономи знають про Марс набагато більше, ніж, наприклад, три-чотири десятиліття тому. Але на запитання про життя на Марсі, що в першу чергу цікавить усіх землян, як і раніше доводиться відповідати відомою фразою: «Це науці невідомо».

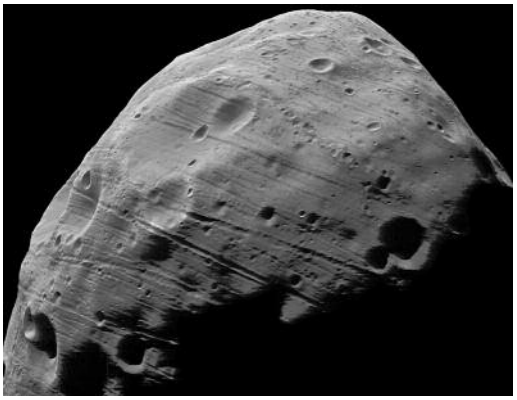
Є цікаві результати в дослідженні Фобоса — одного з двох супутників Марса. Зонд «Марс-Експрес» (Mars Express) здійснив декілька прольотів поблизу Фобоса і зробив його якісні знімки. Зібрану апаратом інформацію використали для побудови повної тривимірної моделі супутника (доречно зазначити, що цей зонд збирає інформацію для побудови 3D-моделей ландшафту Марса) і точного визначення його об'єму.

Розрахунки вказують на те, що середня густина речовини Фобоса становить 1,85 г/см^3, а це удвічі менше аналогічної характеристики

самого Марса (2,7—3,3 г/см^3), зате дуже близько до густини астероїдів спектрального класу *D* (через низьку середню густину речовини їх вважають не цілими тілами, а конгломератами, що включають обширні порожнечі).

Все це може свідчити про те, що Фобос (а може й Деймос) не мають нічого спільного з Марсом. Імовірно супутники Марса — це астероїди, захоплені колись в полон гравітацією планети. Утім, з таким твердженням не все так просто. Річ у тому, що зазвичай захоплені астероїди залишаються на випадковій орбіті навколо планети, тоді як Фобос обертається майже строго в площині марсіанського екватора. Чи випадковий цей збіг? Учені покищо не знають. Окрім цього, є вірогідність того, що Фобос виник за «місячним сценарієм» тобто з окремих уламків, вибитих з поверхні Марса метеоритним ударом. І лише на орбіті вони «злиплися», утворивши конгломерат низької щільності. Питання, фактично, не вирішене.

Можливо відповідь буде знайдено російською міжпланетною автоматичною станцією «Фобос-ґрунт», старт якої намічено на осінь 2011 р. Апарат має опуститись на поверхню марсіанського супутника, провести низку вимірювань «на місці», зібрати зразки ґрунту і відправити їх на Землю.



Мал. 6. На знімках, зроблених у липні 2008 р. камерою HRSC зонда «Марс-Експрес» (Mars Express) з відстані 35 км видно, що Фобос більше схожий на грудку фрагментів, що злиплись, ніж на ціле тіло (http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express)

Про найближчі перспективи у дослідженні Марса. Керівництво NASA визначило завдання чергової марсіанської місії: дослідження атмосфери, клімату, пошуки слідів життя на Червоній планеті.

Нова місія, розпочати яку США планують у 2013 р., отримала назву MAVEN (Mars Atmosphere and Volatile EVOLUTION «Марсіанська атмосфера та еволюційні зміни»). Заплановано, що буде виконано збір інформації, пов'язаної з еволюцією Марса як планети. Сучасні уявлення про Марс дозволяють вважати, що колись ця планета мала набагато щільнішу, ніж сьогодні, атмосферу, на її поверхні була вода в рідкому стані. Проте колись Марс пережив серйозну зміну клімату, включаючи майже повне зникнення атмосфери.

Саме MAVEN і має допомогти дізнатись, чому відбулась ця драматична зміна. Апарат стане штучним супутником Марса восени 2014 р., і впродовж одного земного року збиратиме дані за допомогою майже десяти різноманітних наукових приладів. Паралельно з виконанням наукових завдань, зонд надаватиме також комунікаційну підтримку роботам, що працюватимуть на той час на поверхні планети.

Пояс астероїдів

Космічні тіла, які називають астероїдами (принагідно зазначимо, що з 2006 р. ще одну назву цих об'єктів —малі планети — в астрономії не використовують), що далі з часом, то викликають все більшу зацікавленість як в астрономів, так і у звичайних людей. Це обумовлено двома основними причинами: астероїди, імовірно, залишки первинної речовини з якої утворилась Сонячна система (і цим вони цікаві астрономам), і вони, принаймні деякі з них, є потенційною загрозою для земного життя (що хвилює усіх, і астрономів також). Падіння на Землю навіть не дуже великого за розмірами астероїда спричинить глобальну катастрофу.

Саме тому за астероїдами спостерігають дуже прискіпливо, використовуючи найсучасніші телескопи і методи, а також залучаюь до виконання досліджень космічні місії.

Нині визначення розмірів астероїдів за допомогою прямих наземних спостережень — задача складна. Вона вимагає астрономічних

інструментів з надвисокою кутовою роздільною здатністю.

Заради справедливості зазначимо, що зараз отримати прямі (утім, мало інформативні) зображення найбільших астероїдів головного поясу можна за допомогою найпотужніших наземних оптичних телескопів чи Космічного телескопа ім. Габбла. Можна також досліджувати форми та визначати розміри астероїдів, що пролітають повз Землю, за допомогою радарів.

Нещодавно група астрономів використала для вивчення розмірів астероїдів оптичний інтерферометр на базі двох інструментів телескопа VLT Європейської південної обсерваторії (ESO). Фактично ця система об'єднує (зі збереженням фази) світлові потоки від двох 8,2-метрових телескопів комплексу VLT, рознесених на відстань 47 метра. Роздільна здатність такого інтерферометра по осі між телескопами відповідає подібній характеристиці телескопа з апертурою 47 метрів. Перші спостереження показали, що зазначений оптичний інтерферометр дає можливість отримувати зображення поверхонь астероїдів розміром 15 км у поперечнику з відстані 200 млн. км. від Землі.

Але поки з поверхні Землі ще тільки починають розрізняти розміри й форму астероїдів, космічні апарати вже побували на поверхнях двох із них. Узимку 2001 р. космічний зонд NEAR (скорочено від «Near Earth Asteroid Rendezvous» «Зустріч з навколоземним астероїдом») Shoemaker (вже під час польоту зонд отримав ім'я американського планетолога Юджіна Шумейкера — піонера геологічних досліджень Місяця і планет, ученого, який зробив величезний внесок у справу пошуків навколоземних астероїдів і який на той момент трагічно загинув в експедиції з пошуку метеоритів в австралійській пустелі) здійснив посадку на поверхню астероїда Ерос.

Цікаво зазначити, що ні програма польоту, ні конструкція самого космічного апарата цього не передбачали. Однак після успішно проведеного дуже детального фотографування й отримання глобальної карти поверхні Ероса було вирішено спробувати посадити зонд на астероїд. Під час плавного зближення апарата з астероїдом отримано унікальні знімки, що показують, який вигляд має поверхня цього небесного тіла зблизька — на фото можна розрізнити деталі розміром до 1 см! Щоправда, нічого особливого там не виявили — кратери, камені та дрібнозернистий ґрунт між ними, тобто приблизно, як і на поверхні Місяці.

Зонд NEAR-Shoemaker уперше виконав дослідження хімічного складу на поверхні астероїда — були отримані гамма-спектри, що показують, які хімічні елементи є основними у складі ґрунту на Еросі. З'ясувалось, що ґрунт астероїда за своїм складом дуже нагадує залізо-кам'яні метеорити з дуже низьким умістом заліза.

Перший космічний зонд, метою якого була доставка речовини астероїда на Землю, стартував навесні 2003 р. Японський «Hayabusa» («Сокіл») в середині 2005 р. благополучно добрався до крихітного, діаметром близько 0,5 км, астероїда Ітокава (Itokawa), орбіта якого пролягає недалеко від орбіти Землі. Через три місяці, зібравши достатню кількість інформації про астероїд, станція розпочала зближення з ним. За один день до мінімального зближення з астероїдом від зонда від'єднався невеликий робот «Мінерва» (Minerva), який мав досліджувати поверхню. Проте сигнал від робота зафіксувати не вдалося. Далі за задумом інженерів «Сокіл» мав зависнути на висоті один метр над поверхнею й вистрілити в нього кулею масою декілька грамів. Від пострілу частинки ґрунту викинулися б угору й потрапили б у розтруб спеціального пристрою, який втягнув би їх у контейнер усередині космічного апарата. Однак на цьому етапі польоту зв'язок з апаратом втратили (його було поновлено лише навесні 2006 р.), і на сьогодні не зрозуміло чи зміг він узяти ґрунт. Окрім цього, апарат зазнав пошкоджень.

Зараз «Сокіл» повертається до Землі і, за прогнозами, у 2010 р. його модуль здійснить посадку в Австралії.

NASA планує досліджувати астероїди, які рухаються в головному поясі між Марсом і Юпітером, у рамках програми «Discovery», а це передбачає польоти порівняно невеликих

і недорогих космічних зондів. Вельми цікавим обіцяє бути політ космічного апарата «Зоря» («Dawn»), під час якого вперше досліджуватимуть найбільший астероїд Веста і карликову планету Церера (див. детальніше в п. «Карликові планети).

Тут зазначимо, що ці два тіла мають істотно розрізнятися за своїм складом, оскільки середня густина речовини Вести становить 4 г/см^3, а Церери — лише 2 г/см^3. Такі значення густини дають підстави припускати, що Веста є кам'яним тілом (густина трохи більша, ніж у Місяця), а Церера складається з суміші кам'яних порід і льоду в рівних пропорціях. До Вести «Зоря» прибуде у 2010 р. і впродовж року проводитиме дослідження з орбіти навколо неї. Після цього планується трирічний переліт до Церери.

Європейське космічне агентство (ESA) планує здійснити космічну місію з метою доправити на Землю ґрунт одного з астероїдів основного поясу (йдеться про астероїд 1999 JU3). Діаметр астероїда — приблизно 1 кілометр. Зонд «Марко Поло» наблизиться до астероїда на декілька метрів і вистрілить по ньому снарядом — кінетичним модулем. Ця операція схожа на обстріл комети Темпель-1 (Tempel-1), виконаний у 2005 р. в рамках місії NASA «Глибокий удар» (Deep Impact). Але якщо тоді викинуту в космос кометну речовину дослідники вивчали дистанційно, то тепер вони планують доставити проби астероїдної речовини на Землю.

Зазначимо, що існує й інший варіант місії з посадкою зонда на астероїд і відбір проби ґрунту за допомогою бура. Експерти вважають, що в цьому випадку можна буде заглибитись в астероїдний ґрунт на 5—10 сантиметрів і добути пробу масою від 30 до 100 грамів. Після цього її буде поміщено в спеціальну капсулу й доставлено на Землю. Остаточне рішення щодо проведення місії ще не ухвалене, проте, попередньо, старт намічено на 2018 рік.

Розповідь про дослідження астероїдів буде неповною, якщо не згадати питання астероїдної небезпеки. Яка нині ситуація з цим питанням?

На сьогодні астрономам відомо від 1 до 2 млн. навколоземних космічних об'єктів (Near-Earth Objects, NEO) — твердих кам'янистих тіл, орбіти яких пролягають у межах 50 млн. км. від Землі. Всі вони потенційно небезпечні. Для понад 4,5 тисяч цих тіл встановлено орбіти і проводиться стеження за їх рухом. Під постійним пильним наглядом перебуває близько півтори сотні особливо небезпечних астероїдів.

Більшість спостережень за NEO здійснюють у декілька оптичних телескопів у США, Італії, Японії та Австралії. Існують також спеціальні наукові програми, наприклад, проект LINEAR, метою яких є визначення характеристик усіх таких об'єктів. Значну допомогу в цій роботі надають астрономи-аматори з усього світу. Як результат в базі даних LINEAR новий об'єкт з'являється буквально кожні декілька днів.

З 1998 р. під егідою NASA діє об'єднання обсерваторій Spaceguard, завдання якого — вчасно виявляти до 90% усіх об'єктів поперечником більше 800 м. До 2020 р. заплановано підняти чутливість телескопів Spaceguard на новий рівень точності, щоб працювати з небесними тілами діаметром від 150 м.

Поряд зі спостереженнями триває розробка різних сценаріїв відвернення астероїдної небеспеки. Утім, жоден з них дотепер не був визнаний повністю реалістичним і не взятий офіційно на озброєння в жодній країні світу.

Дослідження головного поясу астероїдів може привести до зміни поглядів на формування Сонячної системи. До прикладу, нещодавно встановлено, що близько 20 відсотків тіл у поясі астероїдів між Марсом і Юпітером насправді потрапили сюди з зовнішніх регіонів Сонячної системи. Причиною такого перемішування дослідники називають гравітаційну дію Урана і Нептуна.

У рамках дослідження вчені розглядали так звану Хорошу модель (Nice model). Ця теорія виникла приблизно чотири роки тому для пояснення розрахунків, що показали: динаміка протопланетного диска в околицях Урана і Нептуна не дозволила б цим планетам сформуватися в тому вигляді, в якому вони існують нині. З Хорошої моделі випливає, що Уран і Нептун утворились набагато ближче до Сонця.

Приблизно через 700 мільйонів років після появи цих планет гравітаційна взаємодія Юпітера і Сатурна викинула Уран і Нептун на їх теперішні орбіти.

Використовуючи цю модель, астрофізики описали рух дрібних небесних тіл у молодій Сонячній системі. У результаті вдалося встановити, що переміщення Урана і Нептуна на їхні нинішні орбіти мало б спричинити зміщення значної частини об'єктів з околиць Плутона, у внутрішні ділянки планетної системи.

І хоча нові результати були сприйняті науковим співтовариством досить прохолодно (багато фахівців сходяться в думці, що теорію еволюції Сонячної системи, яка ґрунтується на даних про склад протопланетного диска, у такому разі потрібно переглядати), проте зовсім недавно іншій групі астрономів вдалося знайти непрямі підтвердження Хорошої моделі. Вони змогли встановити, що нерівномірності в розподілі астероїдів усередині поясу можна пояснити міграцією планет.

Юпітер

Восени 2003 р. в атмосфері Юпітера назавжди зник американський космічний зонд «Галілео» (Galileo). Туди його спрямували по завершенні майже 14 річної місії, яку було розпочато в жовтні 1989 р.

Окрім докладної інформації про Юпітер, зонд зібрав багато даних про супутники планети. Зокрема, прилади «Галілео» (Galileo) визначили, що під товстим шаром льоду на Європі прихований солоний океан завглибшки до сотні кілометрів, який покриває всю поверхню супутника. Вода в ньому не замерзає через приливні хвилі, спричинені тяжінням Юпітера, Іо та Ганімеда. Зазначене відкриття породило припущення про можливість життя на Європі, але, звісно, це треба ще ретельно перевірити.

Вище йшлося про те, що в астрономії великого поширення набув метод комп'ютерного моделювання. Саме в такий спосіб отримано нові дані про будову Юпітера. Планета, головно, складається з водню та гелію. В її центрі є тверде ядро, утворене важчими хімічними елементами, що перебувають під дією величезного (до 100 млн. атмосфер) тиску. Розмір ядра, порівнюючи з Юпітером, невеликий, але воно більше за нашу Землю.

Комп'ютерне моделювання показало, що в розмірах ядра Юпітера вчені помилялися, причому суттєво. Сучасні технології дозволили детально моделювати поведінку воднево-гелієвої суміші за екстремально високих тиску й температури — настільки високих, що в лабораторії провести такі досліди неможливо.

З'ясувалося, що ядро Юпітера є кам'янистим тілом на зразок Землі, тільки в 14—18 разів масивніше за нашу планету. Його маса становить приблизно 5% усієї маси Юпітера (інші 95% — воднево-гелієва атмосфера). Раніше вважали, що ядро Юпітера не може бути масивнішим за сім земних мас, а дехто вважав, що в газового гіганта ядра взагалі немає.

Комп'ютерне моделювання показало, що ядро складається з послідовних шарів металів, кам'янистих порід, а також льоду з метану, води, аміаку. За підрахунками крижана кірка ядра має масу близько 4-х земних, тобто приблизно 1% усієї маси Юпітера. У самій серцевині ядра міститься «родзинка» із заліза й нікелю (як і в ядрі нашої планети). За образним висловлюванням дослідників, для того щоб «отримати» Юпітер, досить до твердого ядра додати товстий рідинно-газовий шар.

Така будова планети, до слова, має низку цікавих наслідків. По-перше, можна сказати, що Юпітер, який виник близько 4,5 млрд років тому, формувався спершу за рахунок зіткнення невеликих кам'янистих тіл, які з часом утворили його ядро. Воно, у свою чергу, помалу захопило велетенську кількість водню та гелію, з яких утворилась атмосфера планети. По-друге, різні шари Юпітера обертаються з різною швидкістю. Планету можна уявити собі, як укладені один в одний концентричні циліндри, що обертаються навколо загальної осі: ближче до екватора вони обертаються швидше.

Десятиліттями вважали (таку думку було обґрунтовано в 1994 р.), що гігант Юпітер захищає нашу планету від небезпечних об'єктів, які залітають у Сонячну систему. Інші дослідження показували, що вплив

Юпітера міг навпаки збільшувати кількість об'єктів, траєкторія яких перетинається з земною. До останнього часу жодна з цих гіпотез не була як слід перевірена. Проте нині вже є нові дослідження, що дозволяють вибрати правильний варіант.

Група англійських астрономів виконала комп'ютерне моделювання різних варіантів існування Сонячної системи без гіганта Юпітера і з «юпітерами» у чверть, половину або 3/4 його маси. Ураховували й близько 100 тис. небезпечних об'єктів, крижаних тіл з поясу Койпера на околиці Сонячної системи. Кожна модель «жила» протягом 10 млн. віртуальних років.

Отримано несподівані результати: за наявності Юпітера Земля стикалася з крижаними об'єктами приблизно на 30% частіше, ніж у разі, коли газового гіганта не було в системі. Утім, ще гіршою була присутність у нашій планетній системі гіпотетичних гігантів у 4, 2 і 1,5 рази менших за Юпітер. Вони втягували об'єкти з поясу Койпера у внутрішні райони Сонячної системи, але мали недостатню гравітацію для того, щоб розкрутити їх і викинути назад. Наприклад, присутність планети в 1/4 маси Юпітера підвищувала шанси Землі наразитись на небезпеку в 5 разів.

Утім, на думку фахівців, ці розрахунки ще не спростовують раніші отримані результати, хоча і ставлять під великий сумнів роль планети-гіганта як захисника життя на Землі. Зауважимо, під час моделювання враховували лише об'єкти з поясу Койпера, проте можуть бути й інші джерела небезпечних «гостей» — досить пригадати кометну хмару Оорта, що охоплює Сонячну систему, або астероїдний пояс між Марсом і Юпітером.

Нещодавно з'явилися чергові результати ще детальнішої, і ще більш «невтішної» для нашого сусіда-велетня комп'ютерної симуляції на цю тему. Вивчивши траєкторії 40 тис. тіл, що влетіли в Сонячну систему, астрономи виявили, що події розвиваються зовсім інакше, ніж у сценарії «Юпітер — захисник Землі». Спочатку ці тіла мали більш-менш кругові орбіти на околиці Сонячної системи і не були небезпечними для внутрішніх планет. Але в результаті низки зустрічей з зовнішніми планетами, перш за все Юпітером, вони зійшли з «шляху істинного», орбіти їх видовжились, і ці тіла — величезні снаряди — попрямували в центральні зони Сонячної системи.

Автори дослідження свідчать: «У наших експериментах Юпітер виявився головним відповідальним за більшість астероїдів, що падають на Землю. Замість захисту нашої планети він веде по ній безладну стрілянину». Звісно, далеко не всі з його пострілів несуть із собою тільки небезпеку. Деякі тіла з далеких частин Сонячної системи можуть містити воду й інші речовини, які могли сприяти розвитку на Землі життя.

На прикладі дослідження Юпітера можна продемонструвати наукову кооперацію, яка нині дуже поширена в астрономії. Ідеться про «тиждень інтенсивного дослідження системи Юпітера», що відбувся взимку 2007 року. Мотивом зазначеного тимчасового об'єднання стало те, що космічний зонд «Нові Горизонти» на шляху до Плутона мав виконати гравітаційний маневр поблизу Юпітера. Згідно з програмою польоту зонда, саме в цей момент розпочинали роботу всі його наукові прилади і з їх допомогою досліджували систему Юпітера. Підтримати «Нові Горизонти» в цій справі вирішили багато інших наукових команд, що працюють як в наземних обсерваторіях, так і з космічними телескопами, а також за допомогою апаратів, що на той час перебували на далеких відстанях у Сонячній системі.

Серед найпотужніших інструментів, залучених до цієї програми, були наземний телескоп VLT, інфрачервоний космічний телескоп «Спітцер», Космічний телескоп ім. Габбла, космічна рентгенівська обсерваторія «Чандра» та ультрафіолетовий спектроскоп FUSE.

У цій програмі було також задіяно ультрафіолетовий спектрометр, встановлений на борту космічного зонда «Розетта» (сам зонд на той час перебував поблизу Марса, детальніше про нього див. нижче). Нарешті, до цього поважного гурту долучився міжпланетний автоматичний зонд «Кассіні» (Cassini), який працював на орбіті Сатурна і звідти виконав спостереження Юпітера.

Упродовж декількох тижнів всі ці наукові прилади виконували фотографування й

спектральні аналізи атмосфери Юпітера, а також його супутника Іо.

Як бачимо, нині в астрономів є технічні можливісті досить оперативно й різнобічно досліджувати те чи інше космічне тіло.

Тут зауважимо — важливо не лише отримати зображення небесного тіла, але й мати сучасні методи й технічні засоби його обробки. Над цими питаннями також активно працюють в астрономії. Як приклад наведимо таку інформацію: нова технологія обробки космічних знімків дозволила отримати за допомогою наземного телескопа знімок Юпітера з безпрецедентною якістю.

Ідеться про інструмент MAD, встановлений в обсерваторії «Дуже великих телескопів» (VLT). Зазначений прилад здатний вносити корективи, нівелюючи спотворення, які атмосфера нашої планети неминуче вносить до будь-яких небесних знімків, зроблених з поверхні Землі.

Фактично це система адаптивної оптики, яку все ширше застосовують на сучасних наземних телескопах. Вона дозволяє ефективно боротися з атмосферними спотвореннями й отримувати на виході зображення з роздільною здатністю, що все більше наближається до теоретично доступної межі. Проте наявна техніка дозволяє вносити корективи у спотворення лише на дуже обмеженій ділянці неба (приблизно до 15 кутових секунд), причому ефективність різко падає за віддалення від центральної осі. Для усунення цього недоліку й розроблено прилад MAD.

Його головна відмінність — використання відразу двох або навіть більше «референтних» зір або інших тіл для коригування спотворень (інші сучасні системи орієнтовані лише на один об'єкт). Це дало змогу збільшити корекційне поле приблизно у 30 разів. Зрозуміло, що така адаптивна оптика набагато зручніша для спостереження протяжних небесних об'єктів — планет, зоряних скупчень і туманностей.

Завдяки MAD в екваторіальних зонах атмосфери Юпітера дуже чітко вдалося зареєструвати зміни яскравості. Час, протягом якого тривало спостереження, став рекордом: наземні телескопи з адаптивною оптикою використовують як «орієнтир» якийсь один із супутників Юпітера, але вони дуже швидко рухаються й покидають поле зору телескопа. Навіть Космічний телескоп імені Габбла не може спостерігати цю планету довше, ніж 50 хвилин, оскільки Земля закриває Юпітер. Прилад MAD дозволив безперервно спостерігати Юпітер понад дві години, використовуючи як «референтні» відразу два супутники Європу та Іо, що дозволило досягти якісної корекції зображення по всьому диску Юпітера.

Спостереження Юпітера стали своєрідним «тест-драйвом» нового приладу й нової технології, і тепер її можна широко застосовувати в астрономії.

Європейське космічне агентство в 2007 р. визначило пріоритетні місії за програмою «Cosmic—Vision 2015—2025». Фіналістами стали дві програми: «Лаплас» (Laplace) і «Тандем» (Tandem). Згідно з першою, до Юпітера спрямовують орбітальну станцію, а до Європи — орбітальний апарат з можливою посадкою на цей супутник. Місія «Тандем» — це декілька космічних апаратів, які вивчатимуть Титан і його поверхню, а також Енцелад.

У 2008 р. адміністрація NASA зменшила до двох кількість власних майбутніх місій. Однією з них стала орбітальна станція для дослідження супутника Юпітера Європи та її океану, другою — орбітальна станція для вивчення Титана.

Оскільки американські та європейські плани дослідження планет-гігантів мають спільні риси, то представники NASA і ESA, американського та європейського космічних агентств, зрештою визначили спільні пріоритети в дослідженні Сонячної системи й дійшли висновку про необхідність проведення грандіозної подвійної місії «Європа-Юпітер» і «Титан-Сатурн».

Сатурн

Нову інформацію про Сатурн отримали за допомогою автоматичної міжпланетної станції «Кассіні» (Cassini), яку спрямували до планети в 1997 р. Місія «Кассіні» — спільний проект космічних агентства США (NASA), Європи (ESA) та Італії (ASI). Спочатку передбачали, що апарат виконуватиме спостереження на орбіті Сатурна протягом

4 років. Однак, на втіху вченим, «Кассіні» продовжує працювати й зараз (літо 2009 р.), надсилаючи на Землю інформацією про газового гіганта та його околиці.

Ми не просто так згадали околиці Сатурна, адже найцікавішу інформацію отримано про супутники та кільця планети. Ба більше, «Кассіні» привіз у систему Сатурна зонд «Гюйгенс» (Huygens). У січні 2005 р. зазначений зонд здійснив посадку на поверхню Титана — найбільшого (приблизно в 1,5 рази більший за Місяць) супутника Сатурна. Нагадаємо, що серед численних супутників планет Сонячної системи лише Титан має атмосферу. Звісно, ця особливість завжди цікавила астрономів.

«Гюйгенс», під час спуску на поверхню, виконав дослідження атмосфери Титана. Виявилось, що це суміш азоту, метану й етану. На висоті близько 60 км у ній зафіксовано майже абсолютний штиль, і поки що всі спроби пояснити цей факт або змоделювати поведінку атмосфери на комп'ютері залишаються безуспішними. Окрім того, в атмосфері супутника виявлено два ізотопи аргону, що свідчить про високу геологічну активність Титана (є попередні свідчення про існування на супутнику кріовулканів).

Поблизу від місця посадки зонда «Гюйгенс» виявлено округлі крижані брили, а спеціальний датчик вимірювання властивостей поверхні (SSP) зафіксував характерний поштовх у момент «приземлення», який указував на те, що апарат сів на щільний гравій. Все це свідчить про те, що місце посадки колись було затоплене рідиною. За допомогою газового хроматографа і масспектрометра було встановлено природу рідини, що сформувала ландшафт Титану: нею виявився метан.

Аналіз інформації, зібраної зондом «Гюйгенс», продовжували й після того, як апарат закінчив свою місію на поверхні Титана. Зокрема, група європейських фізиків повідомила про те, що вдалося «однозначно» показати існування на Титані природної електричної активності. Це, безумовно, інтригуючий факт, оскільки відомо, що для формування складних органічних молекул попередниць живих організмів потрібна проста органіка й енергія (наприклад, у формі електрики). Отже, Титан може стати ще однією надією на виявлення, нехай і найпростішого, але все-таки позаземного життя.

За допомогою радара, встановленого на «Кассіні», вдалося зробити ще одне відкриття на поверхні Титана. Там знайдено озера й навіть моря (площа найбільшого з них перевищує 100 тис. км^2). Звісно, прямих доказів того, що темні плями, виявлені радаром на поверхні супутника, є морями, не має. Проте форма меж і гладка поверхня переконливо свідчать на користь саме цієї версії. Імовірно, моря заповнені метаном і етаном у рідкому стані, адже ці гази присутні в атмосфері супутника у значній кількості й періодично утворюють щільні хмари.

З'ясовано також, що обширні моря й озера зосереджені в північній частині Титана, за 65-м градусом північної широти. Відкриття означає, що питання про джерело постійного поповнення атмосфери Титана можна вважати більш менш вирішеним. Учені мають намір детально досліджувати знайдені об'єкти під час наступних прольотів «Кассіні» поблизу супутника.

Цікаві результати отримано також про інші супутники Сатурна. На Тефії й Дідоні виявлено вулканічну активність, на Гіперіоні — сліди органіки, а Енцелад здивував потужними гейзерами. Поверхня Япета виявилась усіяною кратерами. Висота унікального екваторіального хребта досягає 10 км. (згідно з іншими даними — 20 км.). Викликають подив ділянки чорних відкладень (їх товщина лише декілька дециметрів), що мають чітко окреслені межі.

На самому Сатурні, серед його дуже неспокійної атмосфери, «Кассіні» сфотографував дивний острівець стабільності, що нагадує правильний шестикутник. А масу знаменитих кілець планети за результатами останніх досліджень, можливо, доведеться збільшити удвічі, а то й утричі.

Тут зауважимо один принциповий момент, який стосується не лише Сатурна й зонда «Кассіні». Окрім суто наукової інформації, яку збирають і передають на Землю космічні місії, ми отримуємо прекрасні знімки різноманітних тіл нашої планетної системи.

Ці фото, впевнений, створюють естетичну насолоду для багатьох землян, далеких від астрономії чи науки взагалі. У такий спосіб земляни ближче знайомляться з Сонячною системою, яка в очах людей набуває чіткої визначеності й конкретики. Фактично нині ми відкриваємо для себе довкілля нашої планети, приблизно так, як триста років тому, в часи великих географічних мандрівок, наші попередники відкрили для себе (і для нас!) Землю. Нам пощастило жити в ПЕРІОД ВЕЛИКОГО АСТРОНОМІЧНОГО ВІДКРИТТЯ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ!

І ще одне важливе зауваження: перебуваючи на орбіті Сатурна, космічний зонд «Кассіні» фактично опинився в серці унікальної природної «лабораторії», яка стала, завдяки цьому, нам доступною. Кільця планети, ціла низка супутників, складні магнітні взаємодії — все це в певному розумінні Сонячна система в мініатюрі. А в цілому це яскравий приклад того, як астрономія (у цій ситуації разом з космонавтикою) може створювати й успішно використовувати такі природні лабораторії.

Уран

Дослідження Урана нині здійснюють за допомогою потужних наземних та космічних телескопів, які час від часу отримують зображення цього небесного тіла. З останніх відкриттів — величезна темна хмара, що з'явилась в атмосфері Урана.

Витягнутий за формою вихор, виявлений 2003 р. за допомогою Космічного телескопа імені Габбла, має ширину приблизно 1700 км., а довжину — 3000 км.

Цікаво, що до цього існували «непідтверджені» спостереження якихось темних плям на Урані, включаючи замальовки, зроблені деякими астрономами на початку XX століття, низько-контрастні ультрафіолетові знімки апарату «Вояджер» у 1986 р. й інфрачервоні кадри, отримані наземними телескопами в 1993 році. Проте HST, під час спостережень Урана у період 1994—2006 рр., не знайшов темних плям. Отже, це утворення виникло в атмосфері планети недавно.

Темну пляму виявлено в північній півкулі Урана, яка зараз майже повністю освітлена Сонцем після багатьох років перебування в тіні. Згадаймо, що вісь обертання планети лежить майже у площині її орбіти, а тому сезонні зміни погоди тут дуже сильні. Оскільки рік на Урані — це 84 земних роки, то поведінка атмосфери гіганта найближчим часом дуже цікавитиме астрономів: адже на початку минулого століття у них не було таких потужних інструментів.

Нептун

На цій планеті також весна. Спостереження за допомогою Космічного телескопа ім. Габбла показали: яскравість Нептуна збільшується в південній півкулі, що свідчить про суттєві сезонні зміни.

На знімках (серія спостережень в 1996, 1998 і 2002 роках) добре видно розвиток яскравих світлих ліній, що оточують південну півкулю. Ці дані узгоджуються з іншими спостереженнями, що підтверджує факт збільшення яскравості Нептуна, починаючи з 1980 р.

Як і на Землі, на Нептуні є чотири сезони. Особливо бурхливо відбуваються зміни в атмосфері планети у весняний і осінній періоди. Зауважимо, один сезонний період триває на Нептуні близько 40 років. Якщо те, що виявили астрономи, вважати зміною сезону, то планета продовжить зростання яскравості протягом наступних 20 років.

На підтримку того, що HST виявив саме зміну сезонів, варто відзначити: в екваторіальних широтах Нептуна ніяких особливих змін не виявлено, на відміну від полярних і помірних широт.

Окрім нових знахідок, з'явилися й нові загадки. Нептун має свої власні внутрішні джерела тепла, які також впливають на погоду гіганта. Але, якщо навіть додати цю енергію до отриманої від Сонця, все одно не зрозуміло, як атмосфера Нептуна набуває такої потужної динаміки.

Міжнародна група астрономів з Європейської південної обсерваторії (ESO), використавши один з чотирьох телескопів Very Large Telescope, восени 2007 р. відкрила, що на південному полюсі Нептуна є нагріта ділянка (її температура на 10 градусів вища за температуру сусідніх ділянок), через яку метан з глибинних шарів атмосфери може витікати у стратосферу газового гіганта.

Цей факт може пояснити давню проблему існування джерела високого вмісту метану у стратосфері планети. Цікаво, що прямих аналогів цьому утворенню в атмосферах інших планет не знайдено.

2004 р., можливо, розкрито одну з таємниць Сонячної системи, що стосується Урана та Нептуна. Запропоновано відповідь на питання, чому магнітосфери цих планет так сильно відрізняються від магнітосфер інших планет.

Як відомо, магнітосфери Землі, Юпітера й Сатурна за своєю структурою — це біполярні магнітні поля, які міг би створювати гігантський магнітний брусок, розміщений в центрі планети й орієнтований приблизно уздовж її осі обертання. Проте магнітні полюси Урана й Нептуна чомусь не «прив'язані» до осі обертання планети. Ба більше, магнітні поля цих планет, імовірно, мають два північні і два південні полюси, що взагалі дуже дивно.

Земля та інші планети, як от Юпітер і Сатурн, а також найбільший супутник Юпітера Ганімед та, імовірно, Меркурій, згідно з сучасними теоріями будови цих тіл, мають внутрішнє ядро. Його оточує відносно товста конвекційна оболонка, що перебуває в безперервному русі. Власне, магнітне поле Землі утворене конвекцією, тобто рухом речовини в цій оболонці, що складається з розплавленого заліза й нікелю. Так само магнітні поля газових гігантів Юпітера й Сатурна утворені товстим шаром речовнини у стані конвекції, що оточує невелике центральне тверде кам'яне ядро.

Для Урана й Нептуна, незважаючи на те, що вони також є газовими гігантами, запропоновано принципово іншу модель: ці дві планети, очевидно, мають рідке ядро, що оточене відносно тонким зовнішнім шаром. Комп'ютерне моделювання підтвердило, що така структура може привести до сильного відхилення магнітної осі від осі обертання, і до того ж може виникати так званий «квадрупольний» ефект (відхилення від сферично симетричного розподілу зарядів) — тобто у цьому разі виходить та сама структура магнітних полів, яку спостерігали в цих планет під час польоту космічного зонда «Вояджер-2» (Voyager 2) в кінці 80-х років минулого століття. Конвекція в цих планетах відбувається в тонкій рідкій зовнішній оболонці (імовірно, містить воду, метан, аміак і сірководень), яка оточує неконвекційну внутрішню рідину.

Цікаво зазначити, що отримані результати вказують на новий спосіб дистанційного дослідження внутрішньої структури і складу планет за допомогою вимірювання їхніх магнітних полів. Це означає, що теоретичні розрахунки та результати комп'ютерного моделювання можна буде перевірити.

Карликові планети

Новий клас об'єктів з'явився в Сонячній системі як результат історичного рішення Міжнародного астрономічного союзу (МАС) 2006 р. Нагадаймо, згідно з цим рішенням, Плутон позбавлено статуса планети (нині маємо у складі Сонячної системи 8 великих планет) і віднесено до нового типу об'єктів — карликових планет.

Мотивом для прийняття такого рішення став факт відкриття у 2003 р. за орбітою Плутона в поясі Койпера (про нього детальніше — нижче) тіла поперечником 2400 км., що виявилось більшим за розміри дев'ятої планети. Перед астрономами постала дилема: або збільшувати кількість планет (усвідомлюючи, що таких тіл у поясі Койпера може бути й більше), або ж зважитись на кардинальний «переділ» Сонячної системи. З'їзд МАС обрав другий варіант.

На з'їзді також затверджено визначення карликової планети. Отже, *карликова планета, це — небесне тіло, яке обертається навколо Сонця, перебуває у стані гідростатичної рівноваги (має близьку до сферичної форму), не очищає околиці своєї орбіти і не є супутником великої планети*. Станом на літо 2009 р. до сімейства карликових планет належать Плутон, Церера, Ерида, Хаумеа й Макемаке. Зрозуміло, що з часом сімейство буде зростати.

Можливо рішення Міжнародного астрономічного союзу про віднесення найбільшого астероїда Церера до класу карликових планет підштовхнуло астрономів до проведення спостережень цього небесного тіла в найкрупніші наземні телескопи.

Зокрема, французькі астрономи восени 2006 р. виконали перше детальне дослідження

Церери за допомогою телескопів KEKa, обладнаних системою компенсації атмосферних спотворень зображення. Було зроблено кілька сотень фотографій цього об'єкта, що дозволило скласти детальну тривимірну карту його поверхні. Карта дає непогане уявлення про те, який вигляд має поверхня карликової планети з космосу, якщо розглядати її в інфрачервоному діапазоні, проте фізична природа знайдених на її поверхні об'єктів, як і раніше, залишається загадкою. Білі й темні плями, добре помітні на фотографіях, можуть виявитися слідами метеоритних ударів, украпленнями різних мінералів або ж наслідком тривалої дії космічних променів, що приводять до вивітрювання деяких порід.

Церера має трохи сплюснуту з полюсів форму, і вчені пояснюють таку аномалію наявністю в її надрах суттєвих (до 25% від загальної маси цього тіла) запасів води і льоду. Заплановано виконати спектральні дослідження цього космічного тіла, за результатами якого учені мають намір визначити точний хімічний склад поверхні Церери.

Восени 2007 р. NASA спрямувало до карликової планети космічний зонд «Світанок» (Dawn), який, оминувши 2009 р. Марс, відвідає спочатку крупний астероїд Весту, а у 2015 р. дістанеться й до Церери. У разі успіху цієї експедиції ми отрмаємо нову інформацію про Цереру й роздивимось її поверхню в деталях.

Нещодавно (2009 р.) на підставі дослідження з використанням «Дуже великого телескопа» (Very Large Telescope, VLT) Європейської південної обсерваторії (ESO) встановлено, що атмосфера Плутона має вищу температуру в порівнянні з поверхнею. До цього астрономам вдавалося отримати відомості тільки про верхні шари атмосфери Плутона. Однак за допомогою спектрометра CRIRES, встановленого на VLT, вдалося отримати інформацію про всю атмосферу, яка в 100 тисяч разів тонша, ніж земна.

Температура атмосфери Плутона становить -180°С за Цельсієм. Це на 40° вище від температури його поверхні. Мінімальна відстань, на якій Плутон перебуває від Сонця, становить 4,4 млрд. км., а максимальна — 7,4 млрд. км. Коли планета віддаляється від Сонця її атмосфера охолоджується й «падає» на поверхню. Коли ж Плутон наближається до Сонця, лід, що утворився, через механізм сублімації переходить з твердого стану відразу в газоподібний. У цей час гази «забирають» з поверхні Плутона тепло. Цей процес пояснює різницю в температурах атмосфери й поверхні.

Восени 2005 р. було оголошено про відкриття на підставі повторного аналізу фотознімків, зроблених Космічним телескопом імені Габбла, двох нових супутників Плутона. Їх назвали Гідра і Нікта. Отже, зараз у Плутона відомо три супутники.

Головні сподівання астрономів на докладне дослідження Плутона пов'язані з апаратом «Нові Горизонти» (New Horizons), що стартував до планети на початку 2006 р. (ще до того, як Плутон позбавили статусу планети). Цікаво, що окрім наукової апаратури, на борту космічного зонда міститься капсула з прахом Клайда Томбо, американського астронома, який відкрив планету Плутон.

У жовтні 2007 р. зонд «Нові Горизонти» виконав спостереження Плутона за допомогою камери LORRI. Але на той час космічний апарат перебував ще задалеко від планети, щоб камера змогла розрізнити які-небудь деталі її поверхні. Цього, до слова, не трапиться аж до 2014 р., цебто лише за рік до зближення з Плутоном з'явиться можливість спостерігати окремі деталі на його поверхні. Учені очікують, що Плутон і Харон, як окремі об'єкти, зонд «Нові Горизонти» зможе розрізнити вже влітку 2010 р.

Метою місії «Нові Горизонти» є не лише Плутон, але й супутник Харон, а також інші об'єкти поясу Койпера (впродовж 2016–2020 рр.).

Пояс Койпера

Ідея про те, що Плутон є космічним тілом з сімейства транснептуновых об'єктів, з'явилась майже одразу після відкриття дев'ятої планети Сонячної системи. У кінці 40-х років XX ст. відомий астроном Дж. Койпер опублікував статтю, у якій описав плоске кільце невеликих (поперечником близько одного км.) тіл, що обертаються за орбітою

Нептуа і є основним джерелом комет. Проте цю гіпотезу в науковому світі швидко забули й повернулись до неї лише три десятки років тому.

Причиною стало те, що спроби по'яснити походження короткоперіодичних комет з хмари Оорта зазнали невдачі. Коли астрономи взяли до уваги об'єкти, про які говорив Койпер, то теоретичні розрахунки вдалось узгодити з астрономічними спостереженнями (щоправда транснептунове кільце могло бути джерелом необхідної кількості комет за умови, що його сумарна маса складає лише певну частку маси Землі).

У 1992 р. за допомогою комп'ютерного аналізу знімків, одержаних на 2-м телескопі, було відкрите небесне тіло поперечником близько 250 км. Його орбіта пролягає від Сонця на відстані 40 а.о. Це був перший об'єкт поясу Койпера.

За останні 10 років про пояс Койпера дізналися досить багато. Його внутрішня межа лежить на відстані 30 а.о. від Сонця, а зовнішня — на відстані 50 а.о. Об'єкти, що входять до його складу, обертаються в різних площинах, проте кути площин їхніх орбіт з площиною екліптики, швидше за все, не перевищують 20°. Загальна маса речовини поясу дотепер є предметом дискусій, але майже напевно вона не менша, ніж третина маси Землі (за іншими оцінками, може складати 30 земних мас).

Так звані класичні об'єкти поясу Койпера рухаються навколо Сонця майже по колових орбітах, що лежать у діапазоні 42—45 а.о. Інші об'єкти рухаються по більш витягнутих орбітах та іноді підходять до Сонця ближче, ніж Нептун. У цьому вони нагадують Плутон, через що й отримали назву «плутіно». Загальну кількість плутіно і класичних об'єктів поперечником більше 100 км нині оцінюють в 70 000. Тіл з розмірами близько одного кілометра має бути значно більше — до 100 млн.

Окрім цього, є до 30 000 транснептунових тіл, які в перигелії наближаються до Сонця приблизно на 40 а.о., але в афелії віддаляються від нього на десятки й сотні а.о. Їх називають об'єктами розсіяного диска і навіть не завжди вважають мешканцями поясу Койпера.

Хмара Оорта

Імовірно Хмара Оорта (названа на честь астроном Яна Оорта, який у 50-х роках XX ст. висловив ідею про її існування) є реліктом первинної газопилової туманності, з якої утворилася Сонячна система. Після формування зовнішніх планет їхнє гравітаційне поле відкинуло якусь частину планетезималей далеко від Сонця. Там вони утворили велетенський диск, що містився у площині екліптики. Поступово гравітаційні збурення перевели тіла цього поясу на ще віддаленіші навколосонячні орбіти й розкидали їх за всіма напрямами. Саме так диск перетворився на сферичну хмару.

Учені вважають, що хмара вміщує близько 10 трлн. тіл (у сто разів більше, ніж вважав Оорт), а її маса становить 40—45 мас Землі. Донині Хмара Оорта залишається суто теоретичним об'єктом (тіла, що входять до її складу, не можна спостерігати в сучасні телескопи), проте в її існуванні майже ніхто з астрономів не сумнівається.

Ба більше, низка теоретичних досліджень будови Сонячної системи вказує на існування внутрішньої частини Хмари Оорта, що міститься від Сонця на відстані від 3 тис. до 20 тис. а.о.

Побачити саме цю складову хмари, скориставшись принципово новим методом, таку ідею запропоновано буквально в наші дні. На допомогу має прийти реліктове випромінювання. Згадаймо, що це випромінювання найдавніше з усього того, що ми можемо спостерігати в нашому Всесвіті, воно — майже ровесник Великого Вибуху і практично рівномірно надходить з усіх ділянок неба.

Автори ідеї вважають, що середня густина речовини у внутрішній частині Хмари Оорта достатньо велика для того, щоб помітно екранувати реліктове випромінювання. Оскільки його температура вища, ніж у випромінювання хмари, то це дає надію на те, що якісь ділянки Хмари Оорта можна буде спостерігати як «темні плями» на яскравому тлі реліктового випромінювання. Завдання спостерігати покладено на європейський телескоп «Планк» (Planck), який з весни 2009 р перебуває в космосі. Отже, невдовзі ми дізнаємось щось нове про Хмару Оорта.

Комети

Природа комет — космічних об'єктів, що з давніх давен привертають увагу людини, — продовжує цікавити астрономів. Саме тому для дослідження комет нині використовують найпотужніші наземні й космічні телескопи. Такий підхід дає цікаві наукові результати й відкриття.

Зокрема спостереження об'єктів основного (між орбітами Марса і Юпітера) поясу астероїдів у 8-метровий телескоп «Джеміні» (Gemini North) восени 2005 р. дозволило відкрити новий клас комет. Вони отримали назву «Комети основного поясу» (main-belt comets). Ці комети мають орбіти схожі на орбіти астероїдів (майже колові й відносно близькі до Сонця).

Наявність комет нового класу дозволяє припустити, що між астероїдами та кометами існують набагато тісніші зв'язки, ніж вважали раніше. Також певну підтримку отримують теорії, згідно з якими крижані об'єкти основного поясу астероїдів можуть бути головним джерелом нашої земної води (зауважимо, що дослідження, виконані нещодавно, показали — ізотопний склад кометної води значно відрізняється від земної океанської води).

Упродовж останніх майже 40 років комети вивчають не лише з поверхні Землі, але і з космосу. Доречно згадати, бодай, космічні дослідження комети Галлея 1986 р.

У XXI ст. ця практика знайшла продовження, і вже восени 2001 р. американський апарат Deep Space 1 пролетів недалеко від ядра комети Бореллі. У січні 2004 р. зонд «Зоряний пил» (Stardust) наблизився до голови комети Вільда-2 (81P/Wild 2) й зібрав частинки речовини коми у спеціальний контейнер, відправивши його згодом на Землю.

Капсула з речовиною комети Вільда-2 повернулась на Землю в 2006 р. У ній виявили найрізноманітніші речовини, які були сформовані, за словами вчених, «у різних місцях, у різний час і за різних умов». Лише близько 10% матеріалу походить з внутрішніх районів Сонячної системи. У контейнері також виявили органічні речовини, до складу яких входить азот, метиламін та етиламін, які раніше не спостерігали в космосі, а лише на Землі.

Ця знахідка є певним підтвердженням «кометної» теорії зародження життя, суть якої полягає в тому, що комети — це своєрідні перевізники органічних частинок і «зародків життя» через міжзоряний простір. Утім, знайдені у зразках комети Вільда-2 молекули простіші, ніж ті, що були знайдені на поверхні деяких метеоритів і, можливо, утворилися ще в хмарі космічного пилу під час формування Сонячної системи.

Улітку 2005 р. трапилась подія, яку раніше можна було побачити лише в фантастичних фільмах. Зонд NASA «Глибокий удар» (Deep Impact) вистрелив у ядро комети Темпель-1 майже 400-кілограмовим снарядом, який вибив з поверхні фонтан речовини загальною масою 10 тис. т. Аналіз її хімічного складу показав, що ядро комети містить водяний лід, леткі фракції, карбонати, поліядерні ароматичні вуглеводні, сульфіди та інші компоненти. Такий склад речовини ядра не відповідає моделям, що існують зараз. Наприклад, утворення деяких з виявлених мінералів можливе за температур у межах 1100—1200 К. Водночас виявлено леткі гази, що стабільні лише за температури нижче 100 К. Це свідчить про те, що комета містить у собі суміші матеріалів, які утворювались в різних умовах і, можливо, в різний час і в різних місцях.

Проте одиночне бомбардування комети не було основним завданням, яке ставили перед місією «Глибокий удар» (Deep Impact). Снаряд мав пробити поверхню ядра комети, а вчені сподівались за допомогою телевізійних камер заглянути всередину кратера. На жаль, хмара пилу, яка утворилась внаслідок зіткнення, виявилась набагато щільнішою, ніж очікували. Камери зонда не змогли отримати зображення навіть самого кратера. Оскільки зонд рухався з великою швидкістю, то дочекатися поки розсіються частинки пилу він не міг...

Здавалось би «все втрачено». Але вчені мають змогу повернутися до комети Темпель-1: до неї заплановано направити зонд «Зоряний пил» (Stardust). Так, це той зонд, який зібрав речовину комети Вільда-2. Після успішно виконаної роботи зонд рухався в космічному просторі, не обтяжений жодною науковою задачею. Але тепер його знову

націлять на виконання наукових досліджень, вже в рамках місії Stardust-NExT. Зауважимо, фахівці вважають, що «Зоряний пил» є одним з найбільших досягнень програми NASA Discovery. (Це програма, за якою кожні 18 — 24 місяці стартує один відносно недорогий космічний апарат для виконання роботи на значній відстані від Землі, місія «Глибокий удар» (Deep Impact) теж була її частиною.)

«Зоряний пил» зустрінетсь з кометою Темпель-1 у 2011 р., коли хмара пилу, напевно, повністю розсіється. Тоді можна буде спостерігати те, що не вдалось побачити у 2005 р. Окрім цього, вчені хотіли б детальніше роздивитися поверхню ядра комети.

За тією інформацією, яку встиг передати зонд «Глибокий удар» (Deep Impact), там є утворення, характерні для осадкових порід. Їх там не мало б бути, адже на ядрах комет відсутня речовина в рідкому стані. Можливо це можна пояснити тим, що формування цього небесного тіла відбувалося поступово, шар за шаром. Можливо також, що зазначена структура ядра є результатом дії «гарячої ерозії», його оплавлення під час проходження комети поблизу Сонця.

Другою несподіванкою для вчених стали провалля, теж не дуже доречні на кометі. «Глибокий удар» (Deep Impact) зафіксував смугу якоїсь дрібної породи, що суцільно покриває територію приблизно в кілометр завширшки. З одного боку, присутність цього пилу пояснює, чому зонд неочікувано зіткнувся з труднощами після вибуху, а з другого, — природу цього пилу ще належить з'ясувати.

Наприкінці 2007 р. NASA повідомило про те, що космічний зонд «Глибокий удар» (Deep Impact) спрямовано до нової комети в рамках нової місії EPOXI. Згідно з новим завданням, зонд максимально наблизиться до періодичної комети Гартлі-2 й облетить її. За розрахунками фахівців апарат досягне своєї нової цілі в жовтні 2010 р. і максимально наблизиться до об'єкта на відстань майже 1000 км. Очікують, що «Глибокий удар» (Deep Impact) також вивчить хімічний склад комети, після чого можна буде зробити якийсь висновок про схожість комет, що перебувають у Сонячній системі.

З найближчих перспектив у дослідженні комет нас цікавить, безумовно, місія «Розетта» (Rosetta). Згадаймо, що навесні 2004 р. Європейське космічне агентство відправило до комети Чурюмова–Герасименко космічний зонд, який у листопаді 2014 р. має висадити на поверхню комети модуль з устаткуванням для хімічного аналізу речовини ядра, а сам перетвориться на її штучний супутник. На шляху до комети «Розетта» влітку 2008 р. провела дослідження астероїда Стейнс (Steins 2867), що дало змогу отримати додаткову інформацію (було, зокрема, уточнено орбіту астероїда) про ці космічні тіла.

Приємно відзначити, що «Розетта» має дослідити комету, одним з відкривачів якої є відомий український астроном К.І. Чурюмов.

IV. Сонце

Сонце — найпомітніший об'єкт на небі Землі, однак незважаючи на це, природа нашого світила залишається значною мірою загадковою. Наприклад, відомо, що магнітні поля Сонця надзвичайно сильно впливають на динаміку його атмосфери. Але як виникає сонячний магнетизм і як поширюється в плазмі, ще не з'ясовано. Одним з найважливіших питань фізики Сонця є встановлення механізму виникнення сонячних спалахів. Про ці явища зібрано багато інформації, проте пояснити остаточно їх виникнення астрономи ще не можуть.

На відміну від багатьох інших небесних світил, спостереження Сонця не вимагають потужних телескопів (найбільший з них до 4-х метрів). Саме тому його дослідження проводять у багатьох астрономічних обсерваторіях світу. Разом з тим, всі розуміють, що для нас, землян, Сонце є визначальним небесним тілом, а тому досліджувати його потрібно всіма можливими засобами, зокрема й космічними.

До початку космічної ери про Сонце було відомо немало. Учені добре уявляли собі його склад (в основному водень та гелій) і механізм генерації енергії (термоядерні реакції). Були накопичені архіви відомостей про сонячні плями і спалахи, магнітні поля й радіошуми, температуру зовнішніх

шарів (фотосфери, хромосфери та сонячної корони), динаміку сонячної й навколосонячної плазми, сонячний вітер і його вплив на земну магнітосферу.

Проте багато глибинних зв'язків між цими явищами було встановлено лише у процесі систематичних спостережень Сонця за допомогою апаратури, встановленої на космічних апаратах.

Один з таких апаратів закінчив свою майже 19-річну роботу влітку 2009 р. Ідеться про унікальну космічну місію «Улісс» (Ulysses), що стартувала в 1990 р. Її унікальність полягає в тому, що розігнавшись у гравітаційному полі Юпітера, апарат майже вертикально вийшов з площини екліптики і в серпні 1994 р. пройшов на відстані 330 млн. км. над південним полюсом Сонця. Потім знову перетнув площину екліптики і в липні 1995-го пролетів над північним сонячним полюсом. При цьому «Улісс» функціонував так бездоганно, що зміг ще двічі пролетіти над сонячними полюсами (у 2000 і 2001 рр. та у 2007 й 2008 рр.).

Варто підкреслити, що зонд «Улісс» (Ulysses) не був суто сонячною обсерваторією. Його прилади визначали параметри космічних магнітних полів і густину міжпланетного й міжзоряного пилу, проводили моніторинг космічних гамма-спалахів і навіть намагалися зареєструвати гравітаційні хвилі. Проте основними об'єктами дослідження було Сонце і сонячний вітер.

Згадаймо, сонячний вітер — це потік заряджених частинок, що на великій швидкості рухаються від нашої зорі. Саме він великою мірою визначає «космічну погоду» в Сонячній системі. За допомогою зонда «Улісс» (Ulysses) встановлено, що порівнюючи з серединою 1990-х р. тиск сонячного вітру впав на 20% і нині він найслабший за весь час вимірювань, які розпочалися ще 50 років тому.

Варто відзначити, що швидкість сонячного вітру зменшилась приблизно лише на 3%. Суттєве послаблення тиску сонячного вітру обумовлене, головно, зниженням його температури й щільності, які зменшились відповідно на 13 і 20%.

Чи є така ситуація незвичною, ба більше, небезпечною для землян? Сьогодні на це запитання важко відповісти. У нас мало інформації. Проте зниження тиску сонячного вітру, безумовно, має вплинути на геліосферу, зокрема на її розміри.

Датчики «Улісс» (Ulysses) зафіксували також падіння сили магнітного поля Сонця, яка зменшилась приблизно на 30%. Це послаблює захист Сонячної системи від космічних променів. За деякими даними кількість високоенергетичних електронів у складі космічних променів в околицях Землі вже зросла на 20%.

Життю на планеті це не загрожує, оскільки такі частинки не здатні проникати крізь щільну атмосферу й магнітне поле Землі. Але для космонавтів на орбіті, не кажучи вже про майбутніх колонізаторів Місяця та Марса, це може стати катастрофою. Та і для сотень супутників, що працюють «без прикриття», таке випромінювання нічого хорошого не обіцяє.

Великий, якщо не сказати, величезний обсяг інформації про Сонце отримано за допомогою європейського космічного апарата «Сохо» (SOlar and Heliospheric Observatory, SOHO). Наукове обладнання для нього розробляли також у США, Росії та Японії. Зонд стартував узимку 1995 р. і за якийсь час вийшов на розрахункову орбіту поблизу точки Лагранжа $L1$, яка перебуває на відстані 1,5 млн. км. від нашої планети на лінії, що сполучає Землю і Сонце.

Обсерваторія функціонує донині, хоча всі три її гіроскопа давно вийшли з ладу, а тому прецизійну стабілізацію космічного апарата здійснюють за яскравими зорями. Цілком можливо, що вона прослужить ще чималий термін, адже пального їй вистачить років на десять, а то й більше.

Наукові прилади SOHO дозволяють астрономам досліджувати сонячний вітер, здійснювати моніторинг сонячної атмосфери і корони, вивчати сейсміку нашого світила, тобто структуру й будову його надр. Фахівці вважають, що найважливіших результатів за допомогою SOHO вдалося досягти в геліосейсмології, тобто вивченні звукових хвиль, що народжуються в надрах Сонця й досягають його поверхні. Ці хвилі несуть велику кількість інформації про структуру й динаміку сонячних надр.

До слова, окрім спостережень за Сонцем, SOHO зарекомендував себе надзвичайно результативним помічником мисливців за кометами. За знімками, отриманими цим космічним зондом, відкрито вже понад тисячу комет.

Космічний апарат «Дослідник перехідної зони і корони» (Transition Region and Coronal Explorer, TRACE), запущений на орбіту в 1998 р. (розрахунковий термін роботи — один рік) і нині продовжує вивчати Сонце за допомогою ультрафіолетового телескопа. До задач, які поставлені перед «Дослідником», належать: вивчення деталей магнітного поля, швидкості і природи зміни його топології, вивчення геометрії й динаміки хромосфери (перехідної зони) та корони, знаходження зв'язку між дифузією магнітного поля на поверхні (фотосфера) зі змінами нагріву і структури хромосфери та корони. TRACE досліджує зв'язок між тонкими деталями поверхні й плазмовими структурами над нею, які зв'язані між собою магнітним полем.

Зауважимо, що зонд TRACE є першим космічним апаратом NASA, для якого обрано політику відкритих даних. Це означає, що вся отримана ним інформація є доступною не лише окремій групі дослідників, але й іншим ученим, студентам і широкому загалу вцілому.

Цікаві результати в дослідженні Сонця отримано за допомогою американського космічного апарата RHESSI. Цей зонд — космічний телескоп, що працює в рентгенівському й гамма-діапазонах, виведено на орбіту 2002 р. з метою вивчення сонячних спалахів. Результати стосуються розмірів Сонця, тобто його діаметра, а також форми поверхні. Встановлено, що поверхня нашого світила неоднорідна. Зафіксовано смугасту структуру, що найкраще проявляється в максимумі сонячної активності (смуги з'являються поблизу екватора й охоплюють усе світило). Під час вимірів, зроблених RHESSI в 2004 р., ці смуги збільшили видимий радіус Сонця на 10,77(±0,44) кутових мілісекунд.

Очевидно, що ці «нерівності» в діаметрі Сонця впливають на особливості його гравітаційного поля. Окрім того вони свідчать про могутні, невидимі нам, рухи, що відбуваються під поверхнею Сонця. Встановлено, що смуги на поверхні Сонця пов'язані з магнітним полем. Вони є видимим проявом існування величезних конвективних утворень розжареної плазми, супергранул, з розмірами близько 20—30 тис. км. в поперечнику. Силові лінії магнітних полів, що виходять із центрів супергранул, поширюються до їхніх меж і формують такі собі «магнітні брижі». Супергранули відомі вченим давно, але тільки тепер показано їх очевидний зв'язок із формою Сонця.

Японський космічний зонд «Світанок» (HINODE), працює на орбіті з осені 2006 р. й досліджує Сонце за допомогою трьох телескопів у видимій, ультрафіолетовій та рентгенівській ділянках електромагнітного спектра. Основна задача супутника — високоточні вимірювання малих змін напруженості сонячного магнітного поля. Окрім цього, зонд досліджує динаміку магнітних полів, варіації світності Сонця, сонячний вітер, а також процеси, внаслідок яких генерується ультрафіолетове й рентгенівське випромінювання нашого світила.

У жовтні 2006 р. запущено два космічних апарата місії STEREO (Solar TErrestrial RElations Observatory, «Обсерваторія взаємодій Сонця і Землі»), що обертаються навколо Сонця приблизно по тій же орбіті, що й Земля, але один з них рухається попереду, а другий позаду від нашої планети. Кутова відстань між апаратами щорічно збільшується на 45 градусів. Таке просторове розміщення зондів STEREO дозволяє шляхом накладання фотографій, зроблених під дещо різними кутами, отримувати тривимірні (об'ємні) зображення Сонця.

Об'ємні знімки дають змогу краще досліджувати процеси, що відбуваються в сонячній короні. Наприклад, завдяки стереозйомці, можна відстежувати потоки енергії та газу з набагато більшою точністю.

Наземні й космічні спостереження Сонця, що були здійснені останнім часом, дали змогу з'ясувати, чому температура сонячної корони значно вища за температуру інших шарів атмосфери.

Згадаймо, що температура поверхні (фотосфери) Сонця становить близько 6000 К,

тим часом сонячна корона розігрівається до багатьох мільйонів градусів. Упродовж тривалого часу знайти пояснення цій особливості не вдавалося.

Існували дві основні гіпотези, що пояснювали аномально високу температуру сонячної корони. Згідно з першою, причиною цього є потужні магнітні поля, що утворюють на поверхні Сонця складні, скручені й украй нестійкі структури. Під дією змінних магнітних полів плазма набуває великих швидкостей, а отже, — розігрівається, і корона стає набагато гарячішою, ніж фотосфера. У рамках другої гіпотези екстремальне розігрівання плазми пояснювали ударними хвилями, які утворюються в результаті потужних сейсмічних збурень, що постійно відбуваються в надрах Сонця.

Як з'ясували геліофізики під час останніх досліджень, обидві озвучені гіпотези є більшменш правильними: хвилі прориваються на поверхню й допомагають магнітним полям розігрівати плазму. Групі вчених удалося виміряти середню енергію цих хвиль: 200 Вт/м^2 — цього цілком достатньо, щоб забезпечити значну теплову добавку. При цьому з'ясувалося, що точки виходу сейсмічних хвиль лежать у тих місцях, де силові лінії магнітних полів утворюють найбільш щільні і скручені структури.

Отже, обидва явища, як і було передбачено, спричиняють розігрів плазми сонячної корони до високої температури.

Узимку 2009 р. здійснено запуск російського космічного апарата «КОРОНАС-Фотон» (Комплексные ОРбитальные Околоземные Наблюдения Активности Солнца), метою якого є дослідження Сонця. Це третій зонд із серії: попередній, «КОРОНАС-Ф», працював упродовж 2001—2005 рр. Новий апрат, на якому встановлено комплекс телескопів «ТЕСІС» (дослідження структури й динаміки сонячної корони з просторовою роздільною здатністю до 2 кутових секунд, а за часом — менше 30 секунд), головним чином відстежує короткохвильове сонячне випромінювання — рентгенівські і гамма-промені. Головною метою місії є здійснення безперервного моніторингу й аналізу активності Сонця та пошук відповідей на найактуальніші питання фізики Сонця, такі як проблема нагріву його корони, механізм сонячних спалахів, природа сонячного циклу та інші.

Згадаймо відомий факт — ми живемо в межах корони Сонця. Це означає, що дослідження Сонця має не лише суто наукове значення (наприклад, у розділі «зорі»), але важливе для вирішення практичних, «життєвих» задач.

Ми знаємо, що Сонце формує космічну погоду, під впливом якої перебувають усі наші космічні засоби.

Нині на орбіті працює велика кількість космічних апаратів. Вони забезпечують телевізійні трансляції, телефонний та інтернет-зв'язок, GPS-навігацію й метеорологічні прогнози. Більшість з них відкриті всім «космічним вітрам», що проносяться в зовнішніх шарах сонячної атмосфери. Лише деякі апарати (зокрема міжнародна космічна станція, МКС) літають не дуже високо, а тому перебувають у межах «захисного поля» земної магнітосфери. Проте настане час, коли пілотовані кораблі вирушать на освоєння Місяця, а то й Марса. Звісно, вони опиняться у стихії «космічної погоди». Отже, цю стихію необхідно вивчати.

Саме для такої мети у 2001 р. розпочато наукову програму «Життя із зорею» (Living with a Star, LWS). Основна стратегія, розроблена вченими, нагадує ту, яку використовують метеорологи на Землі. У космос спрямують флотилію супутників-«метеостанцій», які будуть здійснювати спостереження за різними параметрами сонячної атмосфери. Згідно з планом програми LWS, вже тепер на різних етапах розробки перебуває п'ять різних космічних місій.

Це, зокрема, місія «Сонячна динамічна обсерваторія» (Solar Dynamics Observatory, SDO). Космічний зонд збудовано, він майже готовий до старту і зараз проходить випробування. Цей відносно важкий космічний апарат з масою близько 3100 кг розмістять на геостаціонарній орбіті. Його завданнями будуть визначення сумарного потоку короткохвильового ультрафіолетового випромінювання Сонця, реєстрація звукових хвиль у фотосфері Сонця та вимірювання фотосферного магнітного поля з дуже високою роздільною здатністю і в проекції на всі три

просторові осі. На SDO розміщено чотири телескопи, призначені для вивчення Сонця в декількох вузьких ділянках ультрафіолетового діапазону, а також фотокамеру, що здатна робити фотографії сонячних плям і викидів речовини з якістю High-Definition.

Два космічні апарати місії Radiation Belt Storm мають стартувати в 2011 р. Їх мета — вивчення взаємодії сонячного вітру й магнітосфери Землі.

Зараз на етапі розробки перебуває місія «Сонячний зонд плюс» (Solar Probe Plus, SPP). Старт космічного апарата відбудеться не раніше 2015 р. (місія розрахована на сім років). Цей термостійкий зонд розробляють з тією метою, щоб проникнути якомога глибше в атмосферу Сонця й «на місці» зібрати інформацію про склад і характеристики сонячного вітру, а також про магнітні поля, що там існують. До тепер жоден зонд не підбирався до розжареної зорі так близько — на відстань 7 млн. км. від її поверхні, тобто близько 9 сонячних радіусів.

На борту Solar Probe+ окрім спеціалізованих наукових приладів буде розміщено телескоп HI (Hemispheric Imager), здатний робити тривимірні знімки сонячної корони. Цікаво, що для цього він використовує нову технологію «корональної томографії».

Орбіту зазначеного зонда розраховано так, що прольоти крізь сонячну корону будуть чергуватись із прольотами поблизу Венери. За перші шість років роботи Solar Probe+ їх має бути сім, і кожен проліт використовуватимуть для гравітаційного маневру, змінюючи траєкторію апарату й спрямовуючи його все ближче до Сонця. І хоча вивчення Венери не є його головною метою, астрономи скористаються нагодою і проведуть за допомогою зонда деякі виміри цієї планети, яка й досі залишається великою загадкою.

Місія Solar Sentinels складається з чотирьох окремих апаратів (три американських плюс європейський Solar Orbiter), які розміститься навколо екватора Сонця і в реальному часі передаватимуть інформацію про сонячну активність. Старт місії відбудеться не раніше 2015 р.

Два космічні апарати місії Ionosphere-Thermosphere Storm вивчатимуть верхні шари земної атмосфери, де вона вступає в контакт з ультрафіолетовим випромінюванням Сонця. Ця зона, насичена зарядженими частинками, суттєво впливає на поширення радіохвиль, а як наслідок — на практично всі комунікації і GPS-навігацію. Указана ділянка «дихає» під впливом нестабільного сонячного випромінювання й впливає на рух супутників по орбіті. Реакцію цього зовнішнього шару і будуть відстежувати супутники місії.

Ми коротко розглянули стан справ із вивчення нашої Сонячної системи. Успіхи, погодьтесь, грандіозні, але не менш грандіозні питання залишаються нерозв'язаними. Зокрема, до них належить питання походження нашої планетної системи, тобто її космогонія. Тут все ще попереду.

На завершення розповіді про дослідження нашої планетної системи і Сонця, зазначимо: питання про те, де закінчується Сонячна система, в астрономії досі остаточно не визначене. Все залежить від того, що взяти за основу, під час визначення цієї межі. Якщо тяжіння Сонця, то можна сказати, що межею є хмара Оорта, звідки час від часу до нас прилітають комети. Якщо ж уважати межею геліосферу (до чого схиляється переважна більшість астрономів), то в ній можна розрізнити зону, де сонячний вітер гальмується міжзоряними випромінюваннями (це близько 140 а.о. від Сонця).

Дослідження саме цього, віддаленого, району Сонячної системи, є метою космічної місії IBEX (Interstellar Boundary Explorer, «Дослідник міжзоряної межі»), яка стартувала восени 2008 р. і триватиме близько двох років. Звісно, за такий короткий відтинок часу, зонд відлетіти далеко від Землі не зможе. Згадаймо, що політ знаменитого зонда «Вояджер-1» (Voyager-1) триває вже більше трьох десятків років і лише тепер він досяг геліопаузи.

IBEX працює на високій навколоземній орбіті, але всі його датчики спрямовані саме до віддаленої межі Сонячної системи. Ці ділянки привертають посилену увагу астрономів, адже саме там закінчує рух левова частка небезпечних для нашого життя космічних променів.

VI. Зорі

За останні 10 років отримано велику кількість нової інформації про зорі. Дивуватись цьому особливо не доводиться, адже ми знаємо, що зорі, як жодні інші небесні світила, демонструють свою різноманітність. Ця різноманітність, яку І.С. Шкловський дуже вдало виразив фразою «зорі народжуються, живуть і помирають», власне, і дозволила їх вивчити досконало.

Отже, спершу про цікаві знахідки у світі зір. Уперше (2007 р.) вдалося сфотографувати поверхню зорі сонячного типу — Альтаїра (найяскравіша зоря сузір'я Орла): комбінація з 6 телескопів дала картинку з такою роздільною здатністю, яку б дав один телескоп з 250-метровим дзеркалом.

Виявилось, що Альтаїр швидко обертається, а тому під дією відцентрових сил зоря дещо сплюснута на полюсах. Один оберт навколо осі зоря здійснює за 6,5 годин, тобто приблизно в 60 разів швидше, ніж Сонце. Окрім цього, на диску Альтаїра виявлено світлі й темні плями, що свідчить про значні температурні флуктуації, природа яких зараз не відома.

У Галактиці знайдено зорю віком близько 13,2 млрд. років. За сучасними даними Великий Вибух відбувся 13,7 млрд. років тому, а це означає, що зоря з'явилась лише через 500 млн. років після виникнення Всесвіту.

Зазначимо, що метод визначення віку зір схожий з радіовуглецевим аналізом — методом датування земних об'єктів, який застосовують в археології, геології й палеонтології. Для дослідження спектральних характеристик (зокрема вмісту радіоактивних елементів європія, осмія, іридія) зорі HE 1523-0901 група астрономів скористалась телескопами VLT (Very Large Telescope) Південної європейської обсерваторії.

Встановлено, що в подвійній зорі, яка перебуває на відстані 20 тис. світлових років від центру нашої галактики і входить до складу невеликого зоряного скупчення NGC 360, маса більшої компоненти досягає 114 сонячних. І це при тому, що багато астрономів вважали: таких масивних зір не існує в природі. Адже масивні зорі нестабільні: згідно з розрахунками, після народження зорі тиск випромінювання починає швидко перевищувати силу гравітаційного стиснення, внаслідок чого відбувається колосальний вибух. Верхня межа зростання маси зорі поки що точно не відома, проте розрахунки вказують на те, що вона не може перевищувати 100 сонячних. Принаймні, до недавнього часу нікому не вдавалося переконливо довести зворотне.

Узагалі, астрономи відкрили вже дуже багато зір, маса яких цілком може бути більшою 100 сонячних, проте дотепер жодну з них не вдавалося «зважити» точно. Обчислити масу нового рекордсмена змогли завдяки тому, що він є компонентом подвійної зорі. Знаючи період обертання системи й відстань між компонентами, можна, як відомо, досить легко обчислити їхні маси. У цьому разі — 84 і 114 сонячних. Відзначимо, що попередній зоряний рекордсмен має масу 80 сонячних.

У небі виявлено найтьмяніші з відомих зір — два майже однакових коричневих карлики, світність яких у мільйон разів слабша, ніж у Сонця. Це лише перші виявлені тьмяні карлики, які, як гадають, насправді дуже поширені у Всесвіті. Але їх складно спостерігати, адже у видимій ділянці спектра вони можуть бути і в мільярд разів слабкіші за Сонце.

Визначити світність карликів дозволив інфрачервоний орбітальний телескоп «Спітцер» (Spitzer). З його допомогою визначили їх температуру — від 565 К до 635 К, що на кілька сотень градусів вище, ніж у Юпітера, але все-таки недостатньо для «нормальної» зорі.

Строго кажучи, коричневі карлики не є зорями. Це субзоряні тіла, в яких, як і в зорях, протікає термоядерна реакція, але дуже слабка. Їх розміри співмірні з розмірами планет-гігантів, а маса коливається в межах 5—75 мас Юпітера.

Французький супутник «КОРОТ» (COnvection, ROtation and planetary Transits, Конвекція, ротація і походження планет, CoRoT), спостерігаючи далекі зорі на предмет існування поблизу них екзопланет, зумів зареєструвати явище «зоретрусів». Їх викликають акустичні хвилі, що з'являються глибоко в надрах, виходять на поверхню і впливають

на світність зорі. Інформація про зоретруси дозволяє астрономам визначити масу, вік і навіть хімічний склад зорі. Фактично «на наших очах» з'явився новий метод визначення фізичних характеристик зір.

Зауважимо, що вперше такі явища були зареєстровані на Сонці. Відтоді астрономи вважають це відкриття справжнім проривом у дослідженнях надр нашої зорі. Подібно до того, як поширення сейсмічних хвиль у тілі Землі дає інформацію про внутрішню будову планети, так і звукові хвилі, що пробігають по всій поверхні Сонця, несуть інформацію про те, що відбувається глибоко в його надрах і про те, як енергія передається від них до поверхні зорі.

Пощастило, інакше не скажеш, астрономам, які, під час спостережень за допомогою орбітального рентгенівського телескопа «Свіфт» (Swift) Наднової 2007uy в галактиці NGC 2770, раптово в полі зору телескопа (в тій же галактиці) помітили яскравий спалах і негайно зрозуміли, що то ще одна наднова зоря. Вони терміново зв'язалися з колегами з інших країн, і незабаром відразу 8 телескопів стали до спостережень цікавої події. Спершу спостереження проводились в рентгенівських променях, а потім у видимій та ультрафіолетовій ділянках спектра. Фактично вдалося простежити спалах від самого початку.

Учені вважають, що найважливішу інформацію було отримано вже в перші години після вибуху. Це пояснюється тим, що дотепер початок спалаху наднової зорі спостерігати не вдавалось. Через це найперші фази процесу є найменше дослідженими.

Загалом спостереження тривали 30 діб, що дало можливість детально зафіксувати хід перших днів «життя після смерті» масивної зорі. Зареєстровано зміни яскравості випромінювання, швидкість розльоту уламків та інші характеристики, що дозволить краще зрозуміти такий важливий аспект Наднових, як ударна хвиля.

Втім, зауважимо, жодних несподіванок учені не зустріли. Зокрема, як і передбачено, згідно з теоретичними моделями цього явища, Наднова, що інтенсивно випромінювала в широкому діапазоні спектра, особливо яскраво в рентгені, залишилася «мовчазною» в гамма-променях.

Згадаймо, що спалахи Наднових спричиняють появу нейтронних зір. Дехто з астрономів вважає, що дотепер найтаємничішими у світі зір залишаються нейтронні зорі, пульсари й магнетари. Дещо нове отримано в астрономії і про ці об'єкти Всесвіту.

Астрономам уже давно відомо, що деякі нейтронні зорі випромінюють періодичні вузьконаправлені імпульси в радіо-, оптичному, рентгенівському або навіть гамма-діапазоні. Такі нейтронні зорі називають пульсарами. Вони швидко обертаються: власне, це обертання забезпечує енергію, необхідну для випромінювання.

У 1990-х р. відкрито нейтронні зорі ще одного типу. Як і пульсари, вони випромінюють періодичні імпульси, але обертаються набагато повільніше. Це означає, що необхідну для випромінювання енергію вони отримують з іншого джерела. Оскільки таким джерелом, як з'ясували, є магнетизм, то такі зорі назвали магнетарами.

До нашого часу вважали, що пульсари й магнетари — це два окремі типи зір: нейтронна зоря може бути або пульсаром, або магнетаром. Проте у 2006 р. космічний рентгенівський телескоп Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE) виявив нейтронну зорю, що має характеристики відразу обох типів. Ця зоря — пульсар PSR J1846-0258 у сузір'ї Орла. Багато років вважали, що це звичайний пульсар з періодом 3 сигнали в секунду.

Однак ретельний аналіз результатів спостережень показав, що зазначений пульсар здійснив додатково п'ять величезних викидів енергії. Кожний з цих спалахів тривав менше секунди, але кількість енергії, яку було вивільнено, співмірна з енергією десяти тисяч Сонць!

До цих спостережень вченим не було відомо, щоб у пульсарів були такі сильні викиди енергії, зате у магнетарів вони трапляються досить часто. Встановлено, що PSR J1846 — дуже молодий пульсар, йому трохи більше 800 років. Отже це відкриття наводить на думку, що, імовірно, магнетари — це лише одна стадія життєвого циклу нейтронної зорі. Можливо, на початку свого існування (протягом декількох тисяч років) вона поводить себе як магнетар, а потім «заспокоюється» і стає пульсаром.

Нейтронні зорі, як відомо, утворені виродженою нейтронною речовиною, що має величезну густину. Проте гіпотетично може існувати клас зір — кваркові зорі, у яких густина речовини ще вища. Тепер з'явились побічні докази того, що такі об'єкти можуть існувати насправді.

Ідеться про зафіксовані недавно такі яскраві вибухи Наднових (SN2005gj, SN2006gy і SN2005ap), що вони не вкладаються в рамки теорій, які нині існують. Ці спалахи були на 2 порядки потужніші, ніж стандартні. Це спонукало учених на створення теоретичної моделі процесу утворення кваркової зорі. Суть тут така: нейтронні зорі, що утворилися, могли виявитись нестабільними і, зрештою, стиснулись у ще щільнішу, кварк-глюонну плазму, внаслідок ще одного вибуху. Цей процес, як вважають, і супроводжують найпотужніші викиди енергії.

Багато інформації отримано про чорні діри. Зокрема, провівши «інвентаризацію» відомих на сьогодні чорних дір, учені прийшли до висновку: Всесвіт буквально кишить цими поглиначами матерії.

Супутник «Свіфт» (Swift) упродовж 9-ти місяців від початку роботи цілеспрямовано розшукував масивні чорні діри. За цей короткий час космічний апарат відкрив більше 200 таких об'єктів на відстані до 400 млн. світлових років від Землі. Зауважимо, що номінальна кількість чорних дір — враховуючи ті, які ще не вдалося виявити, — має бути більшою як мінімум у декілька разів.

Надмасивна чорна діра міститься в центрі майже кожної великої галактики, у тому числі і в нашій (детальніше про це див. нижче). Маса цих об'єктів, які ще називають активними галактичними ядрами, може перевищувати масу Сонця в мільйони, а то й мільярди разів, однак їх поперечник, як відомо, не набагато більший за діаметр Сонячної системи. Велика частина цих утворень міститься в центрі газопилових хмар, що ускладнює їх спостереження.

Згадаймо: виявити чорні діри можна або за гравітаційними ефектами, або за сплесками високоенергетичного випромінювання в рентгенівському й гамма- діапазонах (газопилові хмари майже прозорі для цих випромінювань). Супутник «Свіфт» (Swift) якраз і оснащено апаратурою, призначеною для реєстрації таких рентгенівських спалахів.

Недавні дослідження показали, що багато відомих чорних дір, серед них і та, що міститься в ядрі нашої Галактики, є невидимими для супутника «Свіфт» (Swift) — вони не випромінюють в рентгенівському й гамма- діапазонах. Встановлено, що лише незначний відсоток чорних дір активно поглинає матерію, тоді як більшість з них поводить себе вдивовиж «спокійно». Пояснення цьому факту ще не знайдено.

Окрім рентгенівського випромінювання, з околиць чорних дір надходять потужні пучки елементарних частинок, швидкість яких близька до швидкості світла. Донедавна не існувало єдиної думки щодо складу зазначених пучків: одні вважали, що це випромінювання утворене протонами й електронами, інші розглядали версію з протонами й позитронами (тобто антипротонами). Останні спостережні дані дозволили впевнено виключити другу точку зору, хоча сама природа цих викидів дотепер залишається загадкою.

Астрономи також навчилися вимірювати швидкість обертання чорних дір. Це важливий результат не лише для практики, але й для теорії, оскільки для побудови математичної моделі чорної діри необхідно знати дві її фундаментальні характеристики — масу і швидкість обертання. Оцінювати масу спостережуваних чорних дір учені вміють вже досить давно, проте донині не існувало методів, що дозволяють визначити їх обертання.

Новий метод ґрунтується на реєстрації інтенсивності рентгенівського випромінювання газу, що падає на чорну діру, та визначенні деяких інших параметрів.

За допомогою цього метода вдалося виміряти швидкість обертання трьох невеликих чорних дір в нашій Галактиці. Для відповідних спостережень був використаний орбітальний рентгенівський телескоп RXTE. Найцікавіші дані були отримані в ході дослідження мікроквазара (подвійна зоря, один з компонентів якої — масивна чорна діра) GRS1915+105 на відстані в 36 тис. світлових років від нас. Згідно з розрахунками,

за одну секунду цей об'єкт здійснює близько 1000 обертів навколо своєї осі — це майже максимум, який допускає теорія.

Учені вважають, що інформація про швидкість обертання чорних дір допоможе краще зрозуміти механізми багатьох загадкових явищ, пов'язаних з цими об'єктами. Ідеться, в першу чергу, про викиди могутніх струменів (джети) речовини з околиць чорних дір, а також про раптові й непередбачувані спалахи високоенергетичного випромінювання.

Як бачимо, астрономи впевнено нарощують інформацію про чорні діри. Здійснено цікаві спостереження «мерехтіння» рентгенівських променів, що надходить з околиць подвійної зорі, одним з компонентів якої є чорна діра. Порівняння отриманих даних з результатами спостережень у видимій частині спектра, дозволило краще зрозуміти природу колосальних енергій цих об'єктів.

Пошуки екзопланет

Нова тема для астрономії — екзопланети, тобто планети, що містяться поблизу інших (не Сонця) зір, набирає обертів. Успіхи у відкритті екзопланет привернули до цієї нової галузі астрономії не тільки суспільну увагу, але й фінансування. Тому нині в розпалі розробка якісно нових наземних і космічних приладів для проведення досліджень.

Наприкінці XX ст. межа чутливості інструментів для вимірювання коливань зоряних радіальних швидкостей не перевищувала трьох-чотирьох метрів на секунду. Така апаратура дозволила перевірити наявність екзопланет юпітеріанського типу поблизу майже 2000 сонцеподібних зір у радіусі 150 світлових років від Сонця.

У 2004 р. в чилійській високогірній обсерваторії La Silla Paranal (це частина Південної європейської обсерваторії) на 360-см телескопі став до ладу спектрометр HARPS (High Accuracy Radial Velocity Planetary Search). Цей прилад дозволяє визначати швидкості з точністю до 1 м/с й поки що не має собі рівних. Утім, вже зараз є плани з будівництва спектрографа з роздільною здатністю 10 см/с. Зрозуміло, що наявність такої апратури відкриває широкі можливості з пошуку екзопланет методом визначення радіальних швидкостей.

Екзопланети можна зареєструвати і в інший спосіб. Світло зорі зазвичай не поляризоване, але віддзеркалюючись від поверхні планети воно набуває слабкої поляризації. Нині декілька наукових груп ведуть пошук екзопланет за допомогою поляриметрів, змонтованих на потужних наземних телескопах.

У 2008 р. відбулись історичні події в галузі відкриття екзопланет. Уперше вдалося побачити і сфотографувати планету поблизу зорі Фомальгаут (сузір'я Південна Риба), а в зорі HR 8799 із сузір'я Пегаса зафіксовано планетну систему з трьох об'єктів.

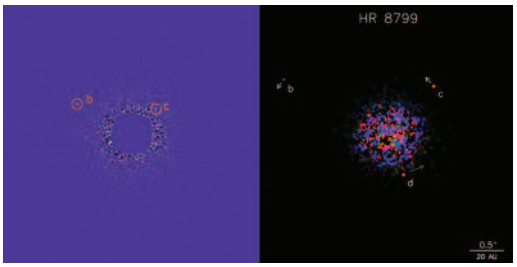
У 1980-х роках інфрачервоний орбітальний телескоп IRAS відкрив навколо зорі Фомальгаут яскраву пилову хмару. Відтоді вчені розглядали цю зорю як одного з найперспективніших кандидатів для пошуків екзопланет. 2004 р. до її досліджень приступив Космічний телескоп імені Габбла. Рік потому, уважно проаналізувавши результати спостережень, вчені висунули припущення про те, що частина пилового диска перебуває під гравітаційним впливом якогось об'єкта, імовірно, планети, що міститься між зорею і внутрішньою межею диска.

І ось новий знімок, зроблений HST, показав: планета є, її можна побачити навіть в оптичному діапазоні. Телескоп розгледів ледве помітну яскраву крапку на відстані в 2,9 млрд. км від внутрішньої межі пилового кільця — це планета. Її масу оцінено в три маси Юпітера.

Сама система зорі Фомальгаут ще зовсім молода — якихось 200 млн. років, в ній відбувається активний процес формування планет (звідси і протопланетний газопиловий диск).

За допомогою наземних телескопів «Джеміні» (Gemini North) обсерваторії Gemini та телескопа «Кек-II» (Keck II) обсерваторії Кека на Гавайях отримано знімки, які дозволили вченим спостерігати планетну систему з трьох планет навколо молодої зорі HR 8799.

Зоря HR 8799 із сузір'я Пегаса віддалена від Землі на 130 світлових років. Її можна спостерігати неозброєним оком (зоря належить до спектрального класу *A*). Маса зорі становить 1,5 маси Сонця.



Мал. 7. Розміщення планет (ліворуч) біля зорі HR 8799 та напрямки їх орбітальних рухів (праворуч). Фото з сайта www.universetoday.com

Планети навколо зорі сформувалися, згідно з попередніми оцінками, близько 60 млн. років тому. Планети, імовірно, є газовими гігантами, їх маса становить приблизно 7—10 мас Юпітера, вони перебувають на відстанях 25, 40 і 70 астрономічних одиниць від своєї зорі. Порівняльний аналіз даних, отриманих з телескопів у різний час, дозволив виявити їх орбітальний рух.

Восени 2008 р. розпочато масштабний астрономічний проект MARVELS, завдання якого впродовж шести років — пошук і вивчення екзопланет. З цією метою астрономи планують обстежити близько 11 тис. найближчих до нас зоряних систем. Експерти вважають, що реалізація проекту MARVELS дозволить знайти мінімум 150 нових планет.

Щоб дослідити заплановану кількість зір, у проекті MARVELS задіяно телескоп, здатний вести спостереження за 60-ма об'єктами одночасно (згодом цю кількість планується довести до 120). Головне дзеркало телескопа має діаметр 2,5 м і здатне покрити одночасно 7 кв. градусів небесної сфери (для порівняння, Місяць займає приблизно удвічі меншу площу).

Світло, зібране цим дзеркалом у фокальній площині, передається на 60 роздільних оптичних кабелів, які зв'яжуть його з масивом інтерферометрів. Ці інструменти здатні виявляти найменші зміни в частоті випромінювання зорі. Річ у тім, що гравітаційне поле планети, яка обертається навколо зорі, впливає на видиме випромінювання, змінюючи його частоту. Звісно, особливо цей ефект помітний для планет-гігантів з їх потужним тяжінням.

Проект MARVELS цікавий тим, що спрямований не стільки на пошук екзопланет, скільки на пошук відповідей щодо виникнення планетних систем. Зокрема, є сподівання знайти відповідь на питання, які зорі мають у своїх околицях планет-гігантів. Згідно з однією з теорій, що існують нині, це мають бути зорі, багаті на відносно важкі елементи — кремній, водень, нікель. Відповідно, і планетний диск навколо такої зорі теж буде насичений цими елементами. Поступово вони утворюватимуть у диску кам'янисті тіла, які і стануть «зародками» майбутніх планет-гігантів. Отже, якщо MARVELS виявить, що переважна кількість газових гігантів пов'язана з такими зорями, то ця теорія отримає підтвердження. Утім, не всі газові гіганти потребують такого набору елементів. Згідно з іншою теорією, такі планети можуть з'являтися без участі кам'янистих «зародків», а через наявність невеликих «перешкод», що виникають в однорідному газовому протопланетному диску. Виконавши спостереження великої кількісті зір з різним хімічним складом, MARVELS допоможе вченим зробити вибір на користь тієї чи іншої теорії.

Окрім того, MARVELS має пролити світло й на інші проблеми, пов'язані з еволюцією планет. Наприклад, як змінюються їхні орбіти з часом і наскільки часто при цьому орбіта стає дуже витягнутою, а не наближеною до кола, що випливає з теорії.

У справі пошуку екзопланет не залишається осторонь і фотометрія. Узимку 2006 р. на навколоземну полярну орбіту запущено французький супутник «КОРОТ» (CoRoT), оснащений 25-см телескопом. Він призначений для збору інформації про внутрішню структуру зір (про це йшлося вище) і пошуку екзопланет транзитним методом (або ж методом затемнення). Повідомлення про перший успіх з'явилося вже навесні 2007 р. «КОРОТ» (CoRoT) відкрив екзопланету масою 1,3 маси Юпітера (її назвали Corot-Exo-1b), яка приблизно кожні 36 годин здійснює один оберт навколо жовтого карлика, віддаленого від нас на 1500 світлових років. Зауважимо, що технічні можливості космічної обсерваторії «КОРОТ» (CoRoT) дозволяють їй вести пошук планет земного типу.

У березні 2009 р. здійснено запуск космічного телескопа «Кеплер», головним завданням

якого є пошук у Галактиці планет, придатних для життя. Діаметр головного дзеркала телескопа становить 1,4 м (55 дюймів).

Упродовж трьох з половиною років телескоп буде націлений на одну й ту ж саму ділянку неба в сузір'ях Лебедя і Ліри. Щопівгодини телескоп визначатиме яскравість ста тисяч зір у пошуках затемнень, які відбуваються тоді, коли планета проходить перед зорею (так, як і Меркурій чи Венера проходять по диску Сонця).

Очевидно, що початок роботи «Кеплера» відкриває новий етап у вивченні екзопланет.

Мал. 8. Ділянка неба (угорі), яку спостерігатиме телескоп «Кеплер» (унизу). Фото з сайта http://kepler.nasa.gov

Європейське космічне агентство працює над програмами космічних місій PLATO, SEE-COAST, PEGASE і DARWIN, мета яких — пошук екзопланет, причому різними методами. Розмах цих проектів вражає. Наприклад, «Дарвін» (DARWIN) — флотилія з п'яти космічних апаратів, виведених на навколосонячну орбіту в точку Лагранжа *L*2. Чотири зонди, оснащені телескопами з апертурами в 1—2 м, утворять надчутливий оптичний інтерферометр космічного базування, а п'ятий зонд збиратиме отриману інформацію й передаватиме її на Землю. «Дарвін» (DARWIN) зможе не лише знайти планету земного типу, але й дослідити її атмосферу. Ці проекти заплановані до реалізації не раніше 2015 р.

NASA вивчає можливість побудувати в майбутньому космічний телескоп Terrestrial Planet Finder (TPF). З його допомогою планують не лише відкривати землеподібні планети, але й вивчати їх з погляду можливості існування життя.

Відкриття екзопланет поставило перед астрономами ще одне питання, яке вимагає додаткових досліджень. Ідеться про дуже масивні, як для екзопланет, але маломасивні, як для зір, об'єкти.

Астрономи сперечаються, до якого типу небесних тіл віднести об'єкт XO-3b у 13 разів масивніший за Юпітер, який обертається навколо своєї зорі лише за 4 дні. За всіма розрахунками, вплив гравітаційного поля зорі мав би спотворювати траєкторію руху планети, але цього не відбувається: XO-3b обертається по правильній еліптичній орбіті.

Відкриття цього гіганта знову розбурхало дискусії про те, де проходить межа між коричневими карликами й великими планетами. Зазначимо, що дотепер не існує єдиної думки про те, чи відносити коричневі карлики до зір: вони явно не дотягують до маси, необхідної для запуску справжньої термоядерної реакції перетворення водню в гелій (близько 75—80 мас Юпітера). Але в них уже проходить злиття ядер дейтерію (а якщо іхня маса перевищує 65 мас Юпітера, то можуть «спалюватись» і ядра літію). Саме це і є для багатьох астрономів критерієм для виділення таких об'єктів в окрему групу. Супротивники цього погляду вважають основним параметром не масу, а походження небесного тіла: чи сформувалось воно як окрема зоря, чи як частина цілісної планетної системи.

Водночас нові відкриття у світі екзопланет вказують на існування планетних систем, центрами яких, замість зір, є планети...

Звісно, дуже цікавим є питання народження планет і планетних систем. Це одна з найважливіших нерозв'язаних проблем сучасної астрофізики. Тепер, коли відома певна кількість планетних систем біля інших зір, а також ось-ось з'являться телескопи нового покоління та нові методи спостереження, що дозволять спостерігати утворення планет «у дії», можна сподіватись на її вирішення в найближчій перспективі.

Нині астрономи вельми приблизно розуміють те, що відбувається всередині протопланетного диска на початковому етапі утворення планет. Дуже мало інформації про умови, за яких акреція, а точніше — «злипання» речовини усередині диска з формуванням перших крупних тіл, починає домінувати над гравітаційними флуктуаціями, що заважають цьому процесу.

Не зрозуміло й те, чи існують усередині диска «мертві зони», де утворення планет не можливе, і який параметр їх визначає. Не ясно навіть те, у який момент «кількість переходить у якість» і починається утворення планет. Отже, цей розділ астрономії ще лише готується до гучних відкриттів.

У зв'язку з відкриттям екзопланет з новою силою постало питання пошуку життя поза межами Землі. Про це буде сказано докладніше нижче, а тут ми зупинимо увагу лише на одному аспекті цієї проблеми — зоні життя. Згадаймо, що так в астрономії називають відстань, на якій має перебувати планета від своєї зорі, щоб бути потенційно придатною для життя. (У Сонячній системі зазначена зона міститься в межах від 0,95 до 1,37 а.о. від Сонця)

З'явилися свідчення про те, що деякі планети, які перебувають далеко за межами зони життя і, як наслідок, їх вважали холодними і не придатними для життя, можуть додатково розігріватися як за рахунок гравітаційного «стиснення й розтягування», так і внаслідок дії приливних сил.

VII. Галактика й галактики

До цих пір астрономи використовували карти Галактики, укладені ще в 1950-х р. на основі даних, зібраних в радіодіапазоні. Тоді було виявлено розподіл хмар газу, й за ними виділено чотири великі рукави Галактики: рукав Кентавра, Персея, Стрільця і Лебедя. Ми, як відомо, мешкаємо в невеликому рукаві Оріона, що лежить між Персеєм і Лебедем.

2005 р. інфрачервоні телескопи дозволили заглянути глибше крізь завісу пилу, у центр Галактики. Тоді з'ясували, що центральна ділянка — ядро Галактики — набагато більша, ніж вважали. А дослідження щільності розподілу зір (на підставі понад 800 тис. знімків телескопа «Спітцер» (Spitzer)) показало, що в напрямі рукава Кентавра, справді, їх кількість збільшується, а в напрямах до рукавів Лебедя і Стрільця нічого такого не відбувається. Ці рукави не такі щільні і містять, здебільшого, міжзоряний газ. Рукав Персея охоплює зовнішні ділянки Галактики і його в цій роботі не досліджували.

Це спостереження привело до висновку, що насправді Молочний Шлях, як і деякі інші спіральні галактики з великим ядром в центрі, має два великі рукави — Кентавра і Персея.

Ще одне дослідження, виконане за допомогою обсерваторії VLBA (складається з десятка синхронізованих радіотелескопів, об'єднаних у єдину систему), дозволило визначити положення великої кількості зір у місцях їх активного утворення в Галактиці. Відкрито зорі, що рухаються набагато повільніше й по значно витягнутіших орбітах, ніж це допускають сучасні теорії. Це — ще один сигнал до того, що наші уявлення про власну Галактику потребують серйозного уточнення.

Донедавна нашу Галактику вважали «молодшою сестрою» більшої за розмірами Туманності Андромеди. Але інформація, отримана останнім часом, дала змогу переглянути ці погляди. Молочний Шлях виявився приблизно удвічі більшим та в 1,5 рази масивнішим, ніж вважали дотепер, і приблизно рівний за масою Туманності Андромеди.

Для уточнення карти Молочного Шляху вчені використовували масив радіотелескопів VLBA. Тривалі спостереження дали змогу виконати зйомку з безпрецедентною роздільною здатністю і дуже ретельно оцінити відстані між різними об'єктами в межах Галактики, а також швидкості їх руху.

У межах Молочного Шляху вчені спостерігали ділянки активного зореутворення, в яких відбувається природне посилення радіовипромінювання щільними скупченнями газу. Такі ділянки, названі «космічними мазерами», є хорошими «маячками» для роботи радіотелескопів VLBA. Повторюючи спостереження за цими «маячками» тоді, коли Земля перебуває в протилежних точках

своєї орбіти, астрономи змогли зафіксувати незначний зсув у їх положенні на фоні віддаленіших об'єктів. Це й дало їм матеріал для подальших розрахунків.

У цій роботі важливим є те, що нові спостереження, виконані за допомогою VLBA, забезпечують високоточні й прямі вимірювання відстаней та швидкостей руху об'єктів Молочного Шляху. Дослідники не використовували непрямих залежностей, що спираються на теоретичні розрахунки, наприклад, залежність світності від відстані.

Прямі вимірювання привели до істотно відмінного від попередніх досліджень результату! Інколи різниця досягала 100%. А з урахуванням того, що «космічні мазери» є «маркерами» спіральних рукавів Галактики, у результаті отримали іншу — сучасну й точнішу — модель структури Молочного Шляху.

Точність телескопів VLBA така висока, що це дає змогу отримувати повну тривимірну картину руху об'єктів на ділянках, де виконуються спостереження. Виявилось, що більшість із зір (а це були ділянки активного зореутворення) обертаються навколо центра Галактики не по колових, як вважали, а по еліптичних орбітах, і швидкість їх руху менша, ніж в інших місцях Галактики. Такий рух сприяє підтримці спіральної структури Молочного Шляху в цілому.

Недавно укладено новий атлас внутрішніх ділянок (у напрямі сузір'я Стрільця) нашої Галактики, де зорі, газ і пил утворюють щільні й активні зони, в яких відбувається утворення нових масивних зір. Ці скупчення речовини майже неможливо спостерігати в оптичні телескопи, але в субміліметровому діапазоні (між інфрачервоним та радіодіапазоном) електромагнітних хвиль їх можна реєструвати.

Інформацію було зібрано в рамках проекту ATLASGAL телескопом APEX Південної європейської обсерваторії (ESO) в Чилі. Зараз це наймасштабніша карта холодного зоряного пилу, яка є в розпорядженні вчених.

Ділянка неба, охоплена дослідженням, для неозброєного ока здається тонкою смужкою, біля двох кутових градусів завширшки. Але на ній є багато цікавого.

Як відомо, міжзоряне середовище, що заповнює галактики, складається на 99% з газу, а решта — дуже дрібні частинки пилу. Левова частка газу — це водень, спостерігати який не так-то просто, а тому газопилові хмари спостерігають, власне, за відбитим пилом світлом зір.

Типова хмара, з якої формуються великі скупчення, має в діаметрі декілька світлових років, а її маса становить від десятків до тисяч сонячних.

Можливо нову інформацію щодо будови Галактики дозволить отримати європейський супутник Gaia (див. п. І, «Вічно молода астрометрія»), який має допомогти астрономам укласти тривимірну карту наших найближчих околиць, — у межах 30 тис. світлових років від Землі.

Щодо вивчення центра Галактики, то в цьому напрямі є чудовий результат. Скомбінувавши дані, отримані телескопами, розміщеними на Гаваях, в Арізоні й Каліфорнії, учені заглянули в центр Молочного Шляху й розгледіли там структури з роздільною здатністю трохи меншою 40 кутових мікросекунд (так із Землі можна спостерігати на Місяця бейсбольний м'яч). Це досягнення не має аналогів!

Водночас за 16 років спостережень у найпотужніші телескопи група німецьких учених отримала найдетальнішу картину «серця нашої Галактики» — надмасивної чорної діри в її центрі. Для цього астрономи спостерігали за рухом 28-ми найближчих до чорної діри зір, одна з яких за цей час встигла зробити повний оберт навколо діри.

За центр Галактики, як відомо, вважають об'єкт Sgr *A* в сузір'ї Стрільця. Саме тут ховається надмасивна чорна діра, що визначає все життя Молочного Шляху, до самих його околиць. Щільна хмара міжзоряного пилу затуляє центр Галактики від прямого спостереження в видимому діапазоні. Тому для того, щоб заглянути туди, астрономи найчастіше використовують інфрачервоне випромінювання, здатне проникати крізь такий бар'єр.

Окрім того, зрозуміло, що чорну діру спостерігати безпосередньо неможливо. Про неї доводиться судити за непрямими ознаками. У цьому дослідженні використали зорі, що містяться близько від об'єкта Sgr *A*.

Один з найважливіших результатів роботи німецьких астрономів полягає в тому, що на сьогодні вона стала одним з найкращих експериментальних свідчень існування надмасивної чорної діри в центрі Галактики. Орбіти зір у цій ділянці однозначно демонструють наявність об'єкта масою 4 млн. сонячних. Астрономи наводять також уточнену відстань, яка відокремлює нас від цього масивного тіла: 27 тис. світлових років.

Втім, зазначене дослідження поставило й чергові загадки. І головна з них — звідки взялися зорі, які спостерігали німецькі астрономи? За оцінками фахівців, вони дуже молоді для того, щоб мігрувати до центра Галактики здалеку. А сформуватися прямо в центрі, поряд з всепоглинаючою надмасивною чорною дірою, вони просто не змогли б. Щоб вирішити ці питання, вчені мають намір продовжити свої дослідження з використанням телескопа нового покоління GRAVITY, який підвищить точність вимірювань на 1—2 порядки.

Вчені запропонували пояснення природи високоенергетичних гамма-променів, що приходять з центра нашої галактики, з ділянки надмасивної чорної діри, яка там міститься.

Про те, що центр Молочного Шляху активно випромінює, відомо вже декілька років. Джерелом вважають газовий диск, що оточує центральну чорну діру, — під час падіння на її поверхню газ набуває колосальних швидкостей, випускаючи високоенергетичні фотони. Проте у 2004 р. виявлено гамма-промені, що приходять з центра Галактики і мають енергію в десятки трильйонів електрон-вольт. Спочатку відкриття спантеличило астрономів, оскільки така енергія в рамках «теорії газового диска» занадто висока. Але згодом вдалося розкрити фізичний механізм, що пояснює природу цього випромінювання.

Ключову роль в утворенні випромінювання відіграє все та ж чорна діра, яка не тільки поглинає матерію, але й діє як потужній прискорювач частинок. Згідно з розрахунками дослідників, чорна діра в центрі нашої галактики може розганяти потоки протонів до енергій у 100 трильйонів електрон-вольт.

Таке колосальне прискорення частинок має відбуватися в безпосередній близькості від чорної діри під дією її украй могутніх магнітних полів.

Учені змоделювали поведінку частинок на комп'ютері: незважаючи на швидкість близьку до світлової, їх рух виявився хаотичним і криволінійним. Щоб вилетіти за межі газового диска, який простягається навколо чорної діри на відстань у 10 світлових років, прискореному протону потрібно декілька тисячоліть. Вибравшись у вільний простір, він врешті-решт стикається з повільним протоном міжзоряного водню. Енергія такого удару достатня для утворення піонів, або пі-мезонів. Ці частинки дуже швидко розпадаються, випромінюючи гамма-промені дуже високої енергії. Вибратися з околиць чорної діри вдається приблизно 69% прискорених протонів — 31% переживає зіткнення і випромінює в межах газового диска. Запропонована модель добре збігається з даними про спектр і яскравість спостережуваного випромінювання.

Вдалося пролити трохи світла й на темну матерію в нашій галактиці. Комп'ютерне моделювання гало темної матерії, що оточує Молочний Шлях, допоможе знайти перші надійні докази її існування.

Згадаймо, що темна матерія — субстанція, спостерігати яку можна лише за її гравітаційним упливом на звичайну речовину (матерію). Її існування до недавнього часу передбачали лише в теорії. І тільки останніми роками стали з'являтися спостереження, що вказують на її існування у Всесвіті. Але щодо природи темної матерії є лише гіпотези. У найпопулярнішій з них ідеться про те, що темна матерія складається з важких і малорухливих субатомних частинок — ця гіпотеза відома під назвою «холодна темна матерія». Інша гіпотеза — «тепла темна матерія» — навпаки, передбачає існування дуже швидких і легких частинок.

Гіпотеза холодної темної матерії припускає: у молодому Всесвіті відразу після Великого Вибуху важкі частинки темної матерії рухалися повільно, що спонукало частинки звичайної матерії скупчуватись,

і поступово формувати хмари і перші зорі. Якби швидкість руху частинок темної матерії була високою, то частинки звичайної матерії рівномірно розподілились у просторі. На основі цієї гіпотези американські учені провели експерименти з комп'ютерного моделювання гало темної матерії, що оточує Галактику. З'ясувалося, що темну матерію можна знайти всередині Молочного Шляху і навіть у межах Сонячної системи.

Це дослідження дозволить пролити світло на природу темної матерії. Річ у тім, що згідно з гіпотезою холодної темної матерії, до її складу входять масивні частинки — вімпи (від англ. WIMPs, weakly interacting massive particles), що слабко взаємодіють. Вони можуть взаємно анігілювати, у результаті чого виникають гамма-промені. А це випромінювання вже можна виявити сучасними приладами, наприклад, гамма-телескопом імені Фермі.

Якщо такі спостереження будуть результативними, то це стане першим достовірним випадком спостереження вімпів. Попередні ж результати малонадійні.

Незважаючи на всі труднощі, вчені вважають, що темна матерія становить до 82% усієї матерії нашого Всесвіту. Її згустки створюють «гравітаційні колодязі», які притягають звичайну матерію і тим самим сприяють формуванню галактик якраз у центрах скупчень темної матерії.

Зазначимо, комп'ютерне моделювання таких процесів — задача складна. Експеримент, про який ішлося вище, зажадав використання суперкомп'ютера «Ягуар» (Jaguar), який за місяць роботи в загальних рисах показав рух темної матерії, від перших миттєвостей після Великого Вибуху й до теперішнього часу.

Цікаві результати отримано про «околиці» Галактики. Зокрема, встановлені швидкості руху Великої й Малої Магелланових Хмар свідчать про те, що найближчі сусіди Молочного Шляху не пов'язані з ним гравітаційними силами, а просто «пролітають мимо».

Упродовж багатьох років ми вважали ці неправильні галактики супутниками Молочного Шляху, проте нові дослідження, проведені групою американських астрофізиків, показали, що Магелланові Хмари приєдналися до Галактики лише 1—3 млрд. років тому і через деякий час знову покинуть її.

Це, здавалося б, не дуже революційне відкриття дозволяє зробити низку висновків. Зокрема — шукати інше пояснення тому, чому газопиловий диск Галактики вигнутий (він піднімається приблизно на 10 тис. світлових років над площиною Галактики і на стільки ж опускається нижче). Згідно з уявленнями, що існували донині, цей вигин породжений гравітаційною взаємодією з Магеллановими Хмарами. Проте нове дослідження спростовує цю теорію.

Окрім того, Магелланові Хмари залишають за собою довгий газовий слід, що складається переважно з водню (для спостерігача з Землі цей «хвіст» тягнеться на 100 градусів небосхилу). Його появу також пов'язували з впливом Молочного Шляху — тепер це також виявляється малоймовірним.

Доведеться, очевидно, суттєво переглянути погляди на історію Магелланових Хмар. Вважали, що їх еволюція не проходила так «гладко» й поступово, як у Молочного Шляху. Вони переживали періоди активного утворення зір, які чергувалися з періодами відносного затишшя. Досі ці коливання пов'язували з попередніми наближеннями галактик-супутників до нашої галактики — але й це виявилося неправильним. Можливо, їх можна буде пояснити взаємодією Магелланових Хмар одна з одною.

Про інші галактики. Проведено цікаве дослідження еліптичних галактик. Більшість із них мають у своєму центрі надмасивні чорні діри, масою у мільйони, а то й мільярди сонячних. У свій час вважали, що такі чорні діри мали б потрохи притягати до себе все більше і більше газу, пилу та зір, і це привело б до того, що в центрах галактик утворилися б досить щільні й яскраві скупчення.

Однак подібні припущення не підтверджуються прямими спостереженнями цих об'єктів, проведеними різними наземними обсерваторіями в 1980-х роках, а від початку 1990-х — Космічним телескопом ім. Габбла. Насправді найкрупніші галактики

мають центри порівняно низької щільності й яскравості. Куди ж зникають зорі, які притягає надмасивна чорна діра, але за умови, що вона їх не поглинула?

Можливо зорі під впливом своєрідної «гравітаційної пращі» чорної діри покидають центральну зону галактики?

Щоб перевірити цю гіпотезу було виконано найдетальніший «огляд» 11-ти галактик скупчення Діви за допомогою різних наземних телескопів, а також Космічного телескопа ім. Габбла.

Ретельне визначення світності центрів дало достатньо точні оцінки маси зір, яких «не вистачає» в центрах еліптичних галактик. Результат виявився досить несподіваним: що більша маса чорної діри, то менш яскравий центр у її галактики, тобто тим менше в ньому зір та іншої матерії. І така кореляція дуже висока.

Ці результати дозволяють вважати, що надмасивні чорні діри істотно визначають процес формування галактик, принаймні, у їх центральних зонах.

Питання еволюції галактик дотепер залишається маловивченим, а отже, і малозрозумілим. Саме тому дослідження галактик у наш час проводять багато колективів астрономів з різних астрономічних обсерваторій і наукових центрів. Зазвичай для цієї мети використовують потужні наземні й космічні телескопи. У космічний простір також спрямовують спеціалізовані космічні місії, метою яких є дослідження галактик.

Однією з таких місій є «Дослідження еволюції галактик» (Galaxy Evolution Explorer, GALEX), яку розпочато в 2003 р. Відтоді космічний апарат GALEX вивчив десятки тисяч галактик в ультрафіолетовому діапазоні на відстанях до 9 млрд. світлових років від Землі. Отримана інформація підтверджує гіпотезу поступової еволюції галактик, згідно з якою першими виникли спіральні галактики, а їх еліптичні посестри — це не інший «вид», а інший етап у розвитку цих зоряних систем.

Зазначимо, що для характеристики галактик часто використовують їх колір: синє або червоне забарвлення (випромінювання) визначає багато параметрів галактики. Більшість синіх галактик — невеликі спіральні або нерегулярні утворення, тоді як червоні — крупні еліптичні структури. Приблизно половина відомих галактик — «сині», і половина — «червоні». Колір вказує також на інтенсивність формування зір. Молоді зорі яскраво світяться в ультрафіолетовому діапазоні, а тому, що червоніший спектр галактики, то повільніше в ній утворюються нові зорі, і тим вона старша.

Думка про те, що рано чи пізно «сині» галактики перетворюються на «червоні», існує вже давно. Вважали, що з часом у них вичерпується матерія, тобто газ і пил, з яких могли б утворюватися зорі. Щоб підтвердити цю гіпотезу, необхідно виявити «тинейджерів» — галактики, які перебувають у процесі переходу від «синього» стану до «червоного», від дитинства до старості. Проте такий процес у галактичних масштабах триває мільярди років, і зафіксувати перехід виявилося не так просто. Однак завдяки роботі GALEX, вдалося виявити галактики в перехідному віці й отримати дуже важливий результат у питанні їх еволюції.

Останнім часом поширилась думка про те, що масивні чорні діри та їхні галактики зростали в постійній взаємодії: галактика поступово накопичувала масу, а чорна діра поглинала все більше матерії. Це приводило до збільшення маси чорної діри, сприяло припливу до галактики все більшої кількості речовини. Що більшою стає чорна діра, то могутнішим є випромінювання з її околиць. Воно, з одного боку, стимулює народження зір у галактиці, а з іншого, не дає змоги цьому процесу протікати занадто активно, підігріваючи міжзоряний газ і пил. Отже, розвиток галактики та її чорної діри відбувається взаємоув'язано.

Такий сценарій підтверджують дані, отримані за результатами досліджень сусідніх з нами галактик. Для них є характерним факт: центральні скупчення зір, що оточують надмасивну чорну діру, за масою приблизно в 700 разів більші від неї. Це співвідношення справедливе для великої кількості відомих галактик.

Проте не ясно, що ж з'явилося першим — чорна діра чи скупчення зір, а може вони утворились одночасно й відтоді підтримують стабільне співвідношення своїх мас.

Щоб прояснити це питання, потрібно спостерігати найвіддаленіші від нас галактики, тобто ті, що перебувають на етапі формування. Звісно, спостерігати такі об'єкти не просто, але, наприклад, квазари навіть на дуже великих відстанях побачити легше, ніж зорі.

Виконавши такі спостереження астрономи прийшли до висновку, що надмасивні чорні діри в ядрах крупних галактик з'явилися раніше, ніж самі галактики навколо них. Цей висновок зроблено на підставі того, що вдалося відкрити кілька дуже старих галактик (вони з'явились на ранньому етапі існування Всесвіту), в яких виявили порушення відомої кореляції між масою галактики й масою надмасивної чорної діри в центрі. Найрозумніше пояснення цьому спершу виникли чорні діри, а згодом навколо них поступово «наросли» галактики.

Однак у цій історії ще дуже багато загадок. Незрозуміло, що в якийсь момент зупиняє зростання чорної діри. Ще загадковішим є питання про те, звідки взялися надмасивні чорні діри. Відомі квазари з'явились у Всесвіті менш, ніж через мільярд років після Великого Вибуху. А це означає, що дуже вже тривалого часу для поступового формування в них не було. За однією з версій, вони утворилися з величезних (сотні мас Сонця) зір перших поколінь, що зрештою колапсували. Але й ці зорі з'явилися не раніше, ніж через декілька сотень мільйонів років після утворення Всесвіту! Все це залишає надмасивним чорним дірам дуже мало часу для зростання...

Та повернімося до квазарів. Вважають, що квазар формує надмасивна чорна діра, яка надзвичайно активно поглинає матерію. Але звідки ця матерія береться?

Нове дослідження, виконане за допомогою Космічного телескопа ім. Габбла і телескопів обсерваторії Мауна-Кеа, може дати відповідь на питання про походження всієї колосальної маси, яку поглинає квазар. Аналіз хімічного складу речовини, що падає в надра далекого квазара, показав — це суміш водню і гелію, майже без домішок, яка збереглася практично в першородному вигляді ще з часів Великого Вибуху. Зазначену суміш легко відрізнити від газу, який викидають зорі, а також газу, що є в інших галактиках, — ті містять помітну кількість інших елементів, зокрема, вуглецю і кисню. Отже, чорна діра в центрі квазара отримує практично чисте «паливо».

Це говорить про те, що газ надходить із зовнішнього джерела, імовірно, з іншої галактики, яка перебуває в процесі злиття з квазаром.

Недавно на відстані більше 13,2 млрд. світлових років від Землі відкрито групу галактик. Це найвіддаленіші й найстаріші об'єкти відомі на сьогодні. За сучасними науковими уявленнями, ще далі можуть перебувати тільки найперші зорі й реліктове випромінювання.

Як відомо, в астрономії мірою віддаленості того чи іншого об'єкта є зміщення ліній у червону ділянку його спектра. До останнього часу не були відомі небесні тіла з коефіцієнтом червоного зміщення більше семи, що відповідає 750 млн. років після Великого Вибуху. Проте декілька галактик, про які йдеться, мають коефіцієнт зміщення 9. Це відповідає 13,2 млрд. світлових років відстані або 500 млн. років з моменту Великого Вибуху (лише 4% від віку Всесвіту). Побачити такі віддалені галактики вдалося завдяки ефекту гравітаційного лінзування, суть якого полягає у відхиленні світла під час проходження біля дуже масивних об'єктів. Великі галактики і скупчення галактик можуть фокусувати світло об'єктів, розміщених строго позаду них, — цим і скористалися астрономи.

Це — надзвичайно важливе для космології відкриття. Адже дотепер вважали, що ера активного формування галактик наступила лише через 900 млн. років після Великого Вибуху.

VIII. Всесвіт у цілому

Розповідь про астрономічні відкриття, що належать до комплексу питань про будову й еволюцію Всесвіту, доцільно розпочати зі згадки про найвищу наукову нагороду — Нобелівську премію з фізики. 2006 р. Її присуджено фізикам Джону Мазеру (John Mather) і Джорджу Смуту (George Smoot) за дослідження неоднорідностей фонового

мікрохвильового випромінювання (інша назва — реліктове випромінювання), що проливає світло на дуже ранній етап формування нашого Всесвіту, епоху, коли відбувалося формування атомів.

Як відомо, тривалий час це випромінювання залишалось для спостерігачів однорідним, проте в кінці 1980-х вдалося виявити флуктуації в його розподілі на небесній сфері.

Тоді для відповідних досліджень NASA використовувало спеціально сконструйований супутник COBE (Cosmic Background Explorer), виведений на орбіту в 1989 р. Отримані з його допомогою дані й були покладені в основу досліджень Джона Мазера і Джорджа Смута.

Відомий фізик Стівен Гокінґ назвав це «найбільшим відкриттям століття». Отримана карта неоднорідностей є своєрідною фотографією раннього Всесвіту (300–400 тис. років від моменту Великого Вибуху). На ній дрібні неоднорідності випромінювання вказують на згустки (флуктуації) речовини, що з'являлась на ранньому етапі розвитку Всесвіту. Саме ці флуктуації сформувалися згодом у космічний пил, галактики й зорі, які ми можемо спостерігати зараз.

Наприкінці XX ст. за результатами дослідження наднових зір було зроблено висновок про те, що розширення Всесвіту з часом прискорюється. Згодом цей факт отримав підтвердження з інших джерел. Це вражаюче відкриття поставило перед астрономами велику кількість нових запитань.

Для пояснення факту прискореного розширення Всесвіту було введено поняття «темна енергія». Відомо, що назва «темна матерія» позначає субстанцію, яку спостерігати безпосередньо не можна жодним з інструментів, що нині є в розпорядженні астрономів. Темна енергія стала «темною» тільки тому, що про неї взагалі нічого не було відомо.

Коли йшлося про Молочний Шлях, ми згадували про карту розподілу газопилових хмар у центральних ділянках Галактики. Виявляється, що у Всесвіті загалом багато пилу. Дехто з астрономів вважає, що насправді Всесвіт сяє удвічі яскравіше, ніж це нам здається. Просто в ньому набагато більше пилу, ніж ми про це думали.

Досі вважали, що пил «з'їдає» близько 10% яскравості, принаймні, в оптичному діапазоні. Тепер же цю цифру збільшили вп'ятеро!

Дослідження, на підставі якого зроблено цей висновок, зводилось до підрахунку кількості галактик, площина яких повернена до нас майже строго «анфас», та в порівнянні отриманого числа з кількістю тих галактик, які розвернені до нас «у профіль». Якщо виключити вплив пилу, то ці цифри будуть приблизно рівні. Але що більший вплив пилу на видимість небесних об'єктів, то більше «анфасних» галактик маємо спостерігати. Пояснити це просто: ми спостерігаємо їх крізь набагато товщий шар пилу.

Саме так було встановлено, що видимих у профіль галактик на 70 % менше, ніж тих, які орієнтовані до нас в анфас. Це означає, що у Всесвіті насправді значно більше пилу, ніж вважали раніше.

Зауважимо, що міжзоряний пил — не схожий з побутовим, він складається з крихітних неорганічних утворень — гранул з кремнію і вуглецю розмірами в тисячні частки міліметра. Такою розрідженою речовиною заповнено простори безлічі галактик, хоча міжгалактичне середовище все ж таки здебільшого чисте.

Повернімось, проте, до темної матерії. Щоб її «побачити» міжнародна команда астрономів з США, Австралії й Великобританії склала об'ємну карту видимої частини космосу — найдокладнішу з усіх, що існують на сьогодні.

На карті, що охоплює сферу радіусом 600 млн. світлових років, відображено понад 25 тисяч галактик. Наймасивнішим об'єктом є надскупчення галактик Гарлоу Шеплі на відстані 400 млн. світлових років від Землі: його діаметр становить 20 млн. світлових років, що перевершує розміри нашої галактики у 200 разів.

Скласти карту «дозволив» ефект Доплера. За допомогою такого методу можна картографувати тільки звичайну речовину, що випромінює електромагнітні хвилі. Проте на нову карту вдалося нанести не лише видиму, але й темну матерію. Адже коли йдеться про такі велетенські масштаби, вона розподіляється приблизно так само,

як і видима матерія. Це дозволяє побічно судити про щільність темної матерії в тій чи іншій ділянці простору, спираючись на візуальні дані.

Теоретичні розрахунки показують, що темної енергії є близько 70% від усієї маси Всесвіту, але однозначно довести її існування поки що не вдається. Знайдено лише деякі свідчення її впливу на формування величезних зоряних скупчень. Одне з останніх досліджень цієї проблеми стало черговим підтвердженням того, що темна матерія — не фантазія теоретиків.

Міжнародна група астрономів вивчала крупномасштабну структуру Всесвіту — величезні скупчення галактик та їх еволюцію на великих проміжках часу, близько мільярда років. Ці масивні конгломерати зір, пилу й газу взаємопов'язані силами гравітації. Аналіз даних про їх рух, що отримані орбітальним телескопом «Чандра» (Chandra) в рентгенівських променях, дозволив ученим виявити цікавий факт. Зростання скупчень галактик має непостійний характер. Цей процес почав уповільнюватися приблизно 5,5 млрд років тому.

Разом з тим, саме у цей час настав критичний момент у тривалому протистоянні сил тяжіння й відштовхування, що боролися тоді у Всесвіті. На боці перших виступала могутня гравітація, а на боці інших була темна енергія. У тривалій війні сил тяжіння й відштовхування намітився перелом. Скупчення майже перестали рости. Це — «однозначний прояв впливу темної енергії», зазначають вчені. Вона просто «розштовхує» речовину, не даючи змоги скупченням притягати нову речовину.

Додамо, що зазначені спостереження чудово співвідносяться з даними досліджень Наднових, які також свідчать про те, що прискорене розширення Всесвіту існує лише впродовж останніх 5,5 млрд років.

Ще одне дослідження, виконане в останні роки, вказує на існування темної енергії. На цей раз учені вивчали найкрупніші структури Всесвіту, так звані суперкластери, тобто гігантські скупчення галактик. Для цього було використано інформацію про флуктуації фонового мікрохвильового випромінювання. Окрім того, астрономи використали результати експерименту Sloan Digital Sky Survey (SDSS), що охопив мільйони галактик на небесній сфері.

Зауважимо, що проект створення огляду зоряного неба на базі цифрових зображень і спектрометричних даних SDSS є одним з найвдаліших проектів в історії астрономії. Він істотно розширив об'єм доступної всім астрономам інформації, адже доступ до цього огляду є відкритим і безкоштовним.

Перший період проекту — створення огляду SDSS — завершено влітку 2005 р. У рамках другого етапу, що завершився влітку 2008 р., створено три спеціалізовані огляди — Sloan Legacy Survey, SEGUE (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration) і Sloan Supernova Survey. Результатом третього етапу роботи, розрахованого на період 2008—2014 рр., мають стати чотири окремі огляди.

Огляд BOSS (Baryon Oscillation Spectroscopic Survey) передбачає відновлення картини просторового розподілу галактик за структурою баріонних осциляцій, «вмороженних», згідно з сучасними уявленнями, в матерію ще на ранніх етапах розвитку Всесвіту.

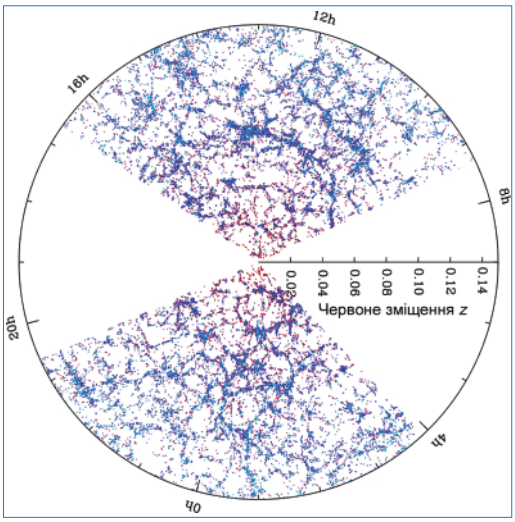
Огляд SEGUE-II (Sloan Extension for Galactic Understanding and Exploration — II) передбачає подвоєння масиву даних, отриманих під час реалізації першого етапу огляду.

Проект APOGEE (APO Galactic Evolution Experiment) передбачає вивчення нашої галактики за допомогою інфрачервоної спектроскопії ділянок, прихованих від нас у видимому діапазоні щільними газопиловими хмарами.

Огляд MARVELS (Multi-object APO Radial Velocity Exoplanet Large-area Survey) передбачає моніторинг радіальних компонент швидкості 11 тис. яскравих зір для пошуку темних компонент системи — планет, — період обертання яких лежить у діапазоні від декількох годин до двох років.

Інформацію за цим проектом збирають за допомогою 2,5-м телескопа американської обсерваторії «Апач Пойнт» (Apache Point), який обладнано якісною ПЗЗ-матрицею, а також двома спектрографами.

Отже, за сучасними уявленнями, Всесвіт складають три компоненти. Звичайна



Мал. 9. Один з результатів проекту Sloan Digital Sky Survey (SDSS). Крупномасштабний розподіл галактик у Всесвіті. Фото з сайта www.sdss.org

баріонна матерія (речовина), тобто звичні нам елементарні частинки, становлять менше 5% маси Всесвіту. Близько 23% належать темній матерії таємничій субстанції, яку (поки що) неможливо спостерігати, окрім як за її гравітаційним впливом на звичайну матерію. Інші приблизно 72% складає ще загадковіша (і поки що гіпотетична) темна енергія, яка, як вважають, відповідальна за процес розширення Всесвіту.

Ба більше, хоча звичайної речовини у Всесвіті найменше, значна її частина недоступна для спостереження. Адже лише частина її утворює зорі й газопилові скупчення, які можна побачити, а інша, значно більша частина, у вигляді розігрітого іонізованого газу (називаємо його «тепло-гарячим міжгалактичним середовищем», Warm-Hot Intergalactic Medium, WHIM) розподілена в міжзоряному просторі і практично непомітна для різного роду телескопів.

Зауважимо важливу деталь: нині в астрономії вважають, що вся звичайна (баріонна) матерія у Всесвіті на дуже крупному масштабі (сотні парсек) розподілена в структуру, що нагадує гігантську павутину. Її щільні вузли формують кластери (скупчення) галактик, найбільші об'єкти Всесвіту на теперішньому етапі його розвитку. А нитки цієї павутини утворені колосальними волокнами розрідженого газу. Близько 10-ти років тому зроблено припущення про те, що більше половини звичайної речовини Всесвіту припадає не на зорі й галактики, а саме на цей розріджений газ, що заповнює обширні міжзоряні й міжгалактичні порожнечі. Теорія вказувала на те, що на деяких ділянках космічного простру цей газ розігрітий до температур, достатніх для того, щоб випромінювати в рентгенівській частині спектра. Проте всі ці теоретичні викладки досі не вдавалося підтвердити спостереженнями.

Спроби виявити іонізований газ WHIM тривали не один рік. Успіхом увінчалася методика, заснована на пошуках кисню VI (іон, позбавлений 5-ти з 8-ми електронів), який добре поглинає ультрафіолетове випромінювання від квазарів, що лежать за ним.

Використавши цей метод, кілька років тому вдалося спостерігати раніше невидимі скупчення баріонної матерії, щоправда, в незначних кількостях. Левова частка WHIM до останнього часу була недоступною. Це було пов'язано з тим, що розжарений газ містить іони (наприклад, кисень VII), які поглинають у рентгенівському діапазоні, але вони присутні в дуже низькій концентрації, тому виявити їх дуже важко.

Хоча нещодавно міжнародна група астрономів повідомила про те, що їй удалося виявити поглинання рентгенівського випромінювання невидимими скупченнями гарячого іонізованого газу. Використавши дані спостережень двох галактичних кластерів «Абелл» (Abell 222 і Abell 223), отримані на орбітальних рентгенівських телескопах «Чандра» (Chandra) і «Ньютон» (XMM-Newton), зафіксували великі кількості WHIM у скупченні галактик у сузір'ї Скульптор — це приблизно 400 млн. світлових роках від Землі.

Виявилося, що обидва кластери «з'єднані» досить товстим «канатом» розжареного газу. Цікава деталь: навіть вражаюча чутливість рентгенівських датчиків XMM-Newton не дала б змоги зафіксувати цей об'єкт, якби нитка не була витягнута майже строго уздовж напряму спостережень, що, звісно, «концентрує» випромінювання від усієї нитки на відносно невеликій ділянці неба.

Отже, у цьому питанні є прогрес. Астрономів дуже цікавить, як саме середовище WHIM розподілене у Всесвіті. Адже існує думка про те, що воно відіграє важливу роль у формуванні галактик і життя Всесвіту в цілому.

Згідно з теоріями, що існують нині, реліктове випромінювання, проходячи через ділянки вищої щільності (наприклад, суперкластери, кожен з яких налічує сотні мільйонів світлових років у поперечнику), має нагріватись завдяки дії темної енергії. Водночас у величезних порожнечах, що також зустрічаються у Всесвіті, ця ж темна енергія, навпаки, «охолоджує» мікрохвилі. Спостереження показали: це справді так.

Як відомо, існує думка про те, що невдовзі після Великого Вибуху (приблизно 13,7 млрд років тому) Всесвіт пережив короткий, бурхливий, надзвичайно важливий період інфляції. Результатом стрімкого розширення стало те, що частина матерії, яка утворилась після Великого Вибуху, могла опинитися від нас далі, ніж 13,7 млрд світлових років. У такому разі світло від неї ще не досягло наших телескопів і датчиків, а отже, спостерігати цю матерію не можливо у принципі.

Але вже виконано перше дослідження, за результатами якого можна сказати, що цю «втрачену матерію» можна спостерігати побічно. Надзвичайно крупні структури, скупчення галактик, загальною кількістю близько 700, рухаються зі швидкістю в 1000 км/с до якоїсь загальної цілі в сузір'ї Кентавра. Швидкість руху скупчень галактик набагато вища за ту, на яку можна було б очікувати, виходячи зі звичайного припущення про їхній рух під дією темної енергії.

Масштаби цього руху такі великі, що вчені вважають: навряд чи він спричинений якимось одним, навіть дуже крупним, об'єктом. Можливо, що в цій ділянці Всесвіту існує нерегулярність розподілу маси, яка з'явилася там ще до початку інфляційних процесів. Якщо це так, то загадкова «течія» має простягатися ще далі, і варто уважніше вивчити рух інших скупчень галактик.

Отже, поряд з такими науковими термінами як «темна матерія» й «темна енергія» в лексиконі астрономів незабаром може з'явитись і «темна течія».

Буде справедливо, якщо розповідь про нові результати щодо будови Всесвіту як цілого ми закінчимо згадкою бодай про одну теоретичну роботу з космології. Це дослідження присвячене не стільки нашому Всесвіту, скільки тому, що було до нього й що його породило. Автор дослідження, професор Мартін Божовальд (Martin Bojowald), фактично пропонує нову математичну модель, яка вводить концепцію квантових станів, що існували до Великого Вибуху і змінювались у процесі самого вибуху. На сьогодні, як відомо, прийнято сценарій походження Всесвіту, згідно з яким усе, що було і є в нашому світі, з'явилося разом зі Всесвітом лише під час вибуху.

Божовальд показав, що хоча багато з властивостей раннього Всесвіту можна прорахувати, деякі з них принципово не піддаються дослідженню через «космічну забудькуватість», тобто невизначеність квантових сил, що діяли в момент Великого Вибуху.

Як випливає із загальної теорії відносності (ЗТВ) А. Айнштайна, джерелом Великого Вибуху є досить «абсурдний» стан Всесвіту — сингулярність, фактично крапка з нульовим об'ємом, нескінченно високою густиною й енергією. Очевидно, що такий стан існувати не може. Водночас відомо, що рівняння ЗТВ не можна застосовувати до раннього Всесвіту з його екстремальними енергіями. На той момент була інша фізика.

Вчені сподіваються, що об'єднання ЗТВ з квантовою механікою — мета значної кількості сучасних наукових досліджень — розширить межі застосування обох теорій. Божовальд і його колеги, використовуючи теорію петлевої квантової гравітації (ТПКГ), своєрідну математичну «машину часу», вирішили дослідити передісторію Великого Вибуху.

Згідно з ТПКГ (зявилась у 1980-х р.), «тканина» простору-часу дискретна і «виткана» з одновимірних квантових «ниток», і лише у великих масштабах Всесвіт має вигляд неперервного й рівномірного у просторі й часі. Одним із наслідків такої структури є те, що початкова сингулярність, з якої у процесі Великого Вибуху й подальшої еволюції

«розквітнув» наш Всесвіт, мала дуже малі, але не нульові, розміри, і дуже високу, але скінченну, енергію. Взявши за основу ці положення в ТПКГ, вчені змогли отримати несуперечливі результати, щодо періоду до Великого Вибуху.

Суть цих теоретичних результатів така: розрив одновимірної нитки простору-часу (цей процес прихильники теорії ПКГ називають «Великим Відскоком») спричиняє швидке розширення Всесвіту, який до цього фактично перебував у стиснутому стані.

Ще донедавна Великий Вибух був своєрідним нездоланним бар'єром, заглянути за який, гадали, принципово не можливо. Якщо наш Всесвіт народився у процесі вибуху, то саме питання про те, що було «до нього», вважали у принципі некоректним. Але нині, як бачимо, теоретики знаходять шляхи подолання цього бар'єру.

IX. Життя у Всесвіті

Як відомо, життя на нашій прекрасній планеті може бути наслідком відповідного балансу між фундаментальними константами (у нашому підручнику з астрономії — «магічна сімка»). У цьому суть знаменитого антропного принципу. Його найпопулярніше пояснення полягає у використанні ідеї про Мультиверсум: нескінченна кількість всесвітів, що існують одночасно й паралельно, в кожному з яких є своє значення фундаментальних констант та інших фізичних величин. Один з таких всесвітів, наш з вами, виявився ідеальним для появи життя.

Зовсім недавно один американський фізик (Бен Фрайфогель (Ben Freivogel)) розглянув співвідношення вмісту темної і звичайної матерії у Всесвіті з погляду антропного принципа. Оскільки природа темної матерії поки що залишається загадковою, було використано одну з загальноприйнятих гіпотез, згідно з якою темна матерія складається з особливих, допоки невідкритих елементарних частинок — аксіонів.

Розрахунки вказують на те, що одна властивість аксіонів також є дуже чутливою в сенсі антропного принципу. Якщо б вона мала трохи інше значення, то в ранньому Всесвіті з'явилося б набагато більше темної матерії. У дослідах з математичного моделювання цього процесу виходить, що в переважній кількості разів темної матерії з'являється набагато більше, ніж є насправді. Це призводить до того, що у Всесвіті не формується стійка крупномасштабна структура скупчень галактик і, як результат, змодельований Всесвіт має абсолютно інший вигляд.

Тепер уявімо собі Мультиверсум, у різних всесвітах якого значення цього параметра аксіона різні. Теоретичні розрахунки, проведені з метою встановити таке співвідношення темної матерії до звичайної, за якого у Всесвіті з'явилися скупчення галактик і окремі галактики, показали, що з усієї безлічі всесвітів переважна більшість «спостерігачів» (мали на увазі, що спостерігач може з'явитися лише у тому всесвіті, в якому успішно пройшло утворення крупномасштабної структури) з'являються саме в такому, як наш. Тобто в такому, що містить приблизно 23% темної матерії й 4% матерії звичайної.

Іншими словами, теорія знову привела до антропного принципу: якби значення параметра аксіонів, що позначається на кількості темної матерії, було іншим — ви не сиділи б тут і не читали цей текст. Як бачимо, теорія надихає на те, що життя у Всесвіті має існувати не лише на Землі.

Саме тому, пошуки такого життя тривають. Став до ладу новий радіотелескоп «Масив телескопів Аллена» (Allen Telescope Array, ATA) поблизу Сан-Франциско, спеціально призначений для пошуку сигналів позаземного розуму. Назву телескоп отримав від імені одного з засновників компанії *Microsoft*, мільярдера й філантропа Пола Аллена (Paul Allen), який сплатив приблизно половину з 50 млн. доларів, що були потрібні для реалізації проекту.

Варто зазначити, що робота за відомим проектом SETI нагадує пошуки «філософського каменя», які проводили середньовічні алхіміки. Їм так і не вдалося знайти речовину, що перетворює будь-який метал на золото, але науку вони помітно просунули вперед. Проект SETI, як відомо, нині фінансують тільки приватні фонди, але долучитись

до нього може будь-хто, у кого є домашній комп'ютер.

Інший напрям пошуку позаземного життя — екзопланети. Зважаючи на особливість нашого життя, тобто високий вміст кисню в атмосфері Землі, що є надійним свідоцтвом існування фотосинтезу, учені пропонують простий метод «діагностики» екзопланет на предемет наявності там життя. Досить з'ясувати, є там кисень чи ні.

Кисень є надто активним окислювачем (другим після фтору), тому у природних умовах він дуже швидко вступає в реакції з іншими елементами, що приводить до утворення різноманітних оксидів. Прикладами таких сполук можуть бути вуглекислий газ (діоксид вуглецю — CO_2), вода (оксид водню — H_2O), кварц (діоксид кремнію — SiO_2) і багато інших поширених речовин. Якби з нашої планети відразу зникли фотосинтезуючі рослини, дуже швидко весь атмосферний кисень був би зв'язаний у складі різних оксидів, перш за все CO_2.

Щоправда, правомірно з'ясувати, а чи є кисень надійним індикатором життя? Можливо він може накопичуватись в атмосфері й без фотосинтезу, в результаті небіологічних процесів? Якщо це припущення справедливе, то завдання з пошуку життя стає значно складнішим.

Було знайдено два шляхи, що ведуть до абіотичного накопичення кисню. Так на планетах з сильним парниковим ефектом (ще сильнішим, ніж на Венері) вода, що міститься в атмосфері, може розпадатись на кисень і водень. При цьому водень може витікати в космос, а важчий кисень — поступово накопичуватись в атмосфері. Другий варіант можливий на холодних тілах марсіанського типу: тяжіння планети не взмозі утримувати гази, що утворюються під час вулканічних виверженнь. Проте в такому разі кисень зберігатиметься на поверхні в замороженому стані.

Група американських астрофізиків розробила комп'ютерну модель, щоб з'ясувати, якою є вірогідність помилитись у виявленні життя під час пошуку екзопланет, що містять багато кисню. Моделювання показало, що сценарії абіотичного накопичення кисню реалізуються лише тоді, коли планета перебуває за межами зони життя. Це означає, що існує цілком реальний шлях пошуку населених екзопланет. Залишилося лише його розпочати.

У 2015 р. ESA планує розвернути на орбіті невелику флотилію інфрачервоних телескопів «Дарвін» (Darwin), які матимуть достатню чутливість для проведення спектрального аналізу відбитого екзопланетами випромінювання на предмет наявності у ньому спектральних ліній кисню.

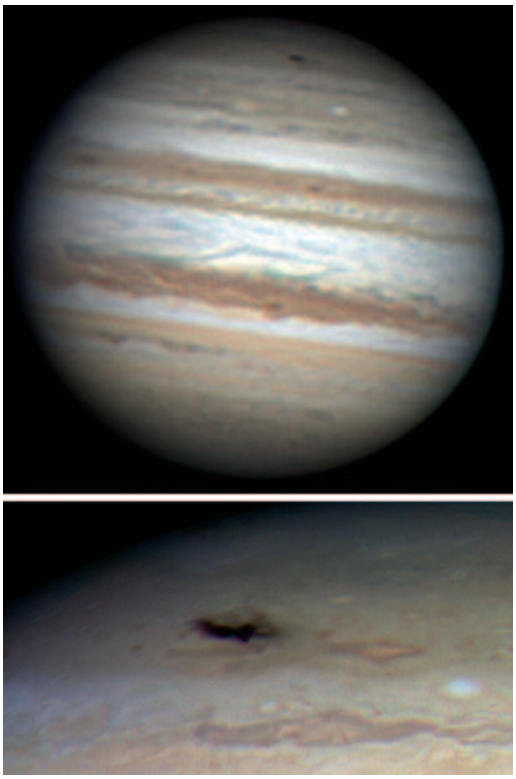
Про аматорів астрономії

Наявність комп'ютера дозволяє в наш час долучитись до наукових астрономічних програм практично всім охочим. Окремого слова потребує очевидний внесок аматорів в астрономію. Велика частина малих тіл сонячної системи — комет та астероїдів — відкрита ними. Приміром, «мисливець за кометами» канадець Д. Леві (David Levy) відкрив 23 комети. Найвідоміша серед них комета Шумейкера-Леві-9, що врізалася в Юпітер у 1994 р.

Астроном-аматор Т. Боулз (Tom Boles), використовуючи три невеликі телескопи й персональний комп'ютер, відкрив понад дві сотні наднових зір. Деякі ентузіасти вивчають планети Сонячної системи. Наприклад, Д. Тайлеру (David Tyler) вдалося виявити нову білу пляму на Сатурні раніше, ніж це зміг зробити навіть зонд «Кассіні».

Ще один приклад. Улітку 2009 р. австралійський астроном-аматор Ентоні Веслі першим спостерігав темну пляму в атмосфері Юпітера (див. мал. 10 на стор. 62). Лише після цього було проведено спостереження планети в Космічний телескоп ім. Габбла й підтверджено, що утворення в атмосфері — викид речовини, який утворився внаслідок падіння маленького астероїда або комети.

Цікавих результатів вдається досягати тоді, коли до справи долучається велика кількість астрономів-аматорів зі своїми комп'ютерами. Нещодавно (2009 р.), завдяки такій кооперації, вдалось відкрити одразу кілька сотень невеликих галактик невідомого раніше типу. Їх назвали «зеленими горошинами» (Green Peas). Це галактики,



Мал. 10. Улітку 2009 р. австралійський астроном-аматор Е. Веслі першим спостерігав темну пляму в атмосфері Юпітера (угорі), після чого до спостережень було залучено Космічний телескоп імені Габбла (унизу). Фото з сайтів http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ та http://hubblesite.org

в яких активно відбувається формування молодих зір. Зелені горошини перебувають на відстані в 1,5—5 млрд світлових років від Землі.

Зазначимо, що аматори є учасниками міжнародного проекту розподілених обчислень Galaxy Zoo, у рамках якого інтернет-добровольці з усього світу допомагають в аналізі величезного масиву знімків Всесвіту для пошуку нових галактик і створення повної класифікації цих небесних тіл. Професійні астрономи впевнені, що поодинці зробити таку знахідку практично не можливо.

Отже, світ астрономії, як і раніше, залишається відкритим для ентузіаста-аматора. Зробити відкриття може кожен, потрібно лише мати неабияке терпіння й бажання.

Висновок

Не будемо повторювати сказане вище. Зауважимо лише одне: за перші десять років XXI ст. астрономія зробила потужний системний крок у пізнанні Всесвіту. Ще цікавішим буде наступне десятиліття, адже до ладу стануть якісно нові наземні та космічні телескопи. Це означає — астрономія отримає нові знання про Всесвіт, розкриє таємниці, що існують в наш час й відкриє щось нове й незбагненне.

Результати роботи вчених початку XXI ст. будуть новим стимулом для розвитку вічно молодої науки астрономії.

Іван Крячко