

ЛІТНЯ ШКОЛА-СЕМІНАР
«КОСМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ:
РЕЗУЛЬТАТИ І ПЕРСПЕКТИВИ»

13—14 червня 2006 р. в Головній астрономічній обсерваторії НАН України пройшла літня школа-семинар для молодих вчених, аспірантів та студентів, яка була присвячена результатам досліджень тіл Сонячної системи космічними засобами. Метою школи було знайомство наукової молоді з найбільш значимими результатами, одержаними під час космічних досліджень Сонця, планет, супутників, астероїдів, комет і міжпланетного середовища. Провідні спеціалісти із дослідження тіл Сонячної системи з США (NASA Goddard Institute for Space Studies та університету Мериланда), Науково-дослідного інституту астрономії Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна та Головної астрономічної обсерваторії НАН України зробили оглядові доповіді. Про основні концепції космічної програми України розповів начальник управління космічних програм і наукових досліджень Національного космічного агентства України О. П. Федоров.

Науковий керівник космічної місії GLORY М. І. Міщенко (НАСА, США) розповів про плани НАСА щодо досліджень земної атмосфери. Дані про глобальну середню температуру Землі, приведені доповідачем, свідчать про її значне збільшення протягом 1880—2005 рр. Серед факторів, які впливають на глобальне потепління Землі, є аерозольні частинки в атмосфері природного і антропогенного походження та варіації потоку сонячного випромінювання. Аерозолі впливають на клімат і можуть викликати як потепління, так і охолодження земної атмосфери. Саме це і визначило основні цілі місії GLORY: 1) визначення глобального розподілу, мікрофізичних, оптичних властивостей, природного та антропогенного аерозолів і хмар, їхнього хімічного складу з точністю і покриттям, достатнім для надійного кількісного визначення прямого і непрямого впливу аерозолів на клімат; 2) безперервні вимірювання з високою точністю інтегрального сонячного випромінювання для того, щоб визначити прямий і непрямий вплив Сонця на клімат Землі.

Для реалізації проекту на космічному апараті планується поставити два прилади — поляриметр і радіометр. Вимірювання трьох параметрів Стокса I , Q і U буде проводитися в спектральному діапазоні 412...2250 нм з точністю 0.0015 на рівні поляризації $P = 0.2$ і з точністю 0.002 при $P = 0.5$. Результати вимірювань будуть порівнюватися з теоретичними моделями розсіяння світла на аерозолі, які зараз розробляються. Космічний апарат планується запустити в грудні 2008 р. Детально з космічною місією GLORY можна ознайомитися на веб-сайті <http://glory.giss.nasa.gov>. Доповідь викликала значний інтерес, оскільки в ГАО НАН України також розробляється поляриметр для дослідження аерозольної складової атмосфери. Прилад буде встановлено на молотіжному супутнику.

Член-кореспондент НАН України Р. І. Костик та кандидат фізико-математичних наук С. М. Осипов (ГАО НАН

України, Київ) присвятили свої доповіді результатам геліосейсмологічних досліджень Сонця за допомогою КА КОРОНАС-ДИФОС-Ф, який є спільним проектом України та Росії. У 1960 р. на Сонці відкриті звукові коливання з періодом 5 хвилин та амплітудою швидкості 1 м/с. (амплітуда інтенсивності складає 10^{-5} яскравості центра диску Сонця). Згодом, у 1976 р., відкрито гравітаційні коливання з періодом 160 хвилин і амплітудою швидкості 0.5 м/с (амплітуда інтенсивності складає 10^{-6} яскравості центра диску Сонця). Пошуки гравітаційних мод коливань на Сонці за межами земної атмосфери стали метою багатьох проектів (SMM, «Фобос», КОРОНАС-І, SOHO). Оскільки гравітаційних коливань не знайдено, було зроблено висновок, що амплітуда коливань швидкості не перевищує 0.008 м/с.

Основним завданням проекту КОРОНАС-Ф стала реєстрація глобальних коливань яскравості Сонця як зорі з метою отримати нові дані про характер розповсюдження звукових хвиль в надрах Сонця та підтвердити або спростувати існування гравітаційних мод у коливаннях яскравості Сонця. На КА встановлено телескоп ДИФОС, роздільна здатність якого складає $2 \cdot 10^{-6}$ повної інтенсивності випромінювання Сонця. Вимірювання інтегральної інтенсивності Сонця з дискретністю 33 с ведуться одночасно в шести спектральних каналах: 350, 500, 650, 850, 1100, 1500 нм. Подібні дослідження паралельно проводив КА SOHO-VIRGO/SPM, запущений 11 квітня 1996 р. Вимірювання здійснювалися в спектральних смугах 402, 500 і 862 нм. Таким чином, дані, одержані двома апаратами, взаємно контролюють і доповнюють один одного.

За час роботи КА КОРОНАС-ДИФОС-Ф (22 серпня 2001 р. — 6 грудня 2005 р.) отримані нові, раніше невідомі результати, а саме: потужність мод окремих коливань, які спостерігаються одночасно, залежить від висоти в атмосфері Сонця і збільшується з висотою; швидкість нарощування потужності різних мод з висотою обернено пропорційна до ступеня моди; потужність мод окремих коливань, які спостерігаються на одній і тій же висоті в атмосфері Сонця, змінюється з часом; фази коливань яскравості мають різний тренд в спектральних смугах 350...400 нм і 850...1500 нм; виявлена асиметричність профілю моди коливань. Результати про потужність коливань на різних висотах в атмосфері Сонця збігаються з результатами, одержаними КА SOHO на тих же висотах. Знайдені залежності ще не знайшли свого теоретичного обґрунтування. Оброблені дані спостережень (поки що не всі) свідчать про те, що гравітаційні моди коливань не знайдені.

Основною задачею паралельних наземних спостережень Сонця на телескопах світу (АЦУ-26 (Терскол, Росія), АЦУ-5 (Голосіїв, Київ), нідерландський телескоп DOT (о. Ла Пальма), німецький телескоп VTT (о. Тенерифе), з високою просторовою, спектральною та часовою роздільними здатно-

стями є підтвердження або спростування механізму збудження акустичних коливань (турбулентна конвекція), який був теоретично обґрунтований ще у 1961 р. Спостереження дозволили розділити конвективну та хвильову складові швидкості у фотосфері Сонця. Виявлено, що амплітуда акустичних коливань значною мірою залежить від величини контрасту гранул та міжгранул, тобто чим більший грануляційний контраст на висоті утворення неперервного спектру, тим потужніші коливання. Найсильніші коливання мають місце над міжгранульними проміжками. Знайдено залежність потужності акустичних коливань від конвективної швидкості гранул та міжгранул. Виявилося, що чим вища швидкість конвективних рухів гранул та міжгранул, тим більша потужність акустичних коливань як швидкості, так і інтенсивності. Знайдено, що турбулентна конвекція є причиною збудження акустичних коливань в атмосфері Сонця.

Про найважливіші результати космічних досліджень астероїдів розповів професор Д. Ф. Луїшко (НДІ астрономії ХНУ, Харків). Вивчення астероїдів космічними засобами почалося в 1971 р., коли на орбітальній астрономічній обсерваторії ОАО-2 було виміряно альbedo астероїдів 1 Церера, 2 Паллада і 4 Веста в УФ-області спектру. Згодом фізичні характеристики більш ніж для 1000 астероїдів були одержані з допомогою супутників IUE, MSX і ISO. Важливі результати також отримані в рамках проекту FIRSSE (Far IR Sky Survey Experiment): виміряні потоки випромінювання 20 астероїдів Головного Поясу у спектральному діапазоні 20, 27 і 85 мкм. Ці дані були використані для розробки теплофізичної моделі астероїдів. Спостереження астероїдів в ІЧ-діапазоні (12, 25, 60 і 100 мкм) були продовжені на супутнику IRAS, на основі чого були визначені геометричне альbedo і діаметр для 2228 астероїдів. За допомогою космічного телескопа Габбля (HST) одержано зображення майже 60 астероїдів з високою роздільною здатністю. Це дозволило виявити на поверхні астероїда 1 Церера кратер діаметром 250 км, а на поверхні 4 Веста світлу пляму і кратер діаметром 460 км, близький до діаметра самої Вести ($D = 525$ км).

Частина космічних досліджень астероїдів виконана в рамках космічних місій до Юпітера («Galileo»), комет Вілда 2 («Stardust») і Бореллі («Deep Space 1»). Одним з найважливіших результатів КА «Galileo» є перше зображення астероїда 243 Іда ($56 \times 24 \times 21$ км) і його супутника на ім'я Дактил (1.5 км), який обертається на відстані 85 км від Іди.

Головною метою космічної місії NEAR-Shoemaker (Near Earth Asteroid Rendezvous) було детальне дослідження поверхні астероїда 433 Ерос ($D = 23.6$ км), який належить до сімейства Амура. Але спочатку, в липні 1997 р., відбулося зближення КА NEAR з низькоальбедним астероїдом 253 Матильда до відстані 1212 км. На астероїді розміром $66 \times 48 \times 46$ км знайдено як мінімум чотири кратери розміром (до 33 км) більшим, ніж радіус самого астероїда, що свідчить про часті та інтенсивні зіткнення. Астероїд має надзвичайно великий період осового обертання — 417.7 год і низьку густину — всього 1.3 ± 0.2 г/см³. Така низька густина може бути при дуже великій пористості.

12 лютого 2002 р. вперше в історії здійснено м'яку посадку КА NEAR на поверхню малої планети 433 Ерос розміром всього $34.4 \times 13.3 \times 12.9$ км, під час якої одержано зображення поверхні високого розділення. Ерос, який здається фрагментом катастрофічного зіткнення, виявився геологічно дуже неоднорідним, з ознаками глобального напластування в результаті геологічної активності материнсь-

кого тіла. Поверхня покрита шаром реголіту глибиною до 100 м, є різні типи кратерів — окремі і ланцюги із декількох кратерів довжиною до 3—8 км, світлі кратери кілометрових розмірів, велика кількість валунів. Кратери дуже давні, засипані товстим шаром реголіту, який виявився дуже рухливим («текучим»), внаслідок чого утворюються «басейни» чи «ставки». Це і є причиною відсутності малих кратерів на поверхні.

Однією з останніх космічних місій є запуск в березні 2003 р. КА «Hayabusa» до потенційно небезпечного астероїда 25143 Ітокава, який зближується з Землею. Метою цієї місії є взяття проби ґрунту з поверхні астероїда і доставити його на Землю у червні 2010 р. КА вийшов на орбіту астероїда у вересні 2005 р. Вперше виявлено, що поверхня не має реголіту і вкрита купами валунів, впадинами і дуже мало кратерів. Астероїд неначе складено з двох частин, він має розміри $535 \times 294 \times 209$ м, густину 1.9 ± 0.13 г/см³. Таким чином, вперше підтверджено модель астероїда, складеного з купи каменів розміром до 50 м.

Про космічні місії НАСА і Європейського космічного агентства «Deep Impact», «Stardust», «Rosetta» до комет розповіла науковий співробітник відділу астрономії університету Мериленда Л. О. Колоколова (США), яка є членом групи дослідників місії «Rosetta». У вступі узагальнені результати досліджень космічних місій ВЕГА 1 і ВЕГА 2, «Джотто», «Deep Space ONE» і «Stardust» до комет 1P/Галлея, 19P/Борреллі і 81P/Вілд 2: визначено розміри і форма ядер, досліджено структуру поверхні і активні області на ній, отримано розподіл пилу і газу в кометних атмосферах, відкрито нові молекулярні емісії у спектрах і частинки з багатим вмістом С, Н, О і N (так звані CHON-частинки) в пиловій комі і т. п. Але незважаючи на значні успіхи у вивченні кометних ядер, багато проблем фізики комет залишаються нерозв'язаними, зокрема невідомі властивості речовини всередині ядра, що є надзвичайно важливим для походження і еволюції комет. Саме тому метою космічної місії «Deep Impact» було зіткнення спеціального пристрою, «імпактора», з ядром короткоперіодичної комети 9P/Темпель 1, щоб викликати вибух і дослідити речовину внутрішньої частини ядра. Цікаво, що ця ідея виникла у автора проекту Майкла А'Херна після прочитання роману Артура Кларка «Космічна Одісея».

4 липня 2005 р. 370-кг «імпактор» з камерами для фотографування ядра зіткнувся з ядром комети зі швидкістю 10.2 км/с. За попередніми результатами на поверхні ядра розміром трохи більше 3 км утворився кратер діаметром понад 100 м. Утворений кратер не було видно з орбітального блоку КА, тому що в результаті зіткнення виникла непрозора хмара викинутої речовини, яка навіть відкидала тінь. Швидкість виверження складала 130—140 м/с, що значно менше, ніж передбачалося. Несподіваним результатом було те, що викинуті частинки дуже дрібні (менше 2.5 мкм). Окрім того, виявлено великий вміст органічних речовин у викинутому матеріалі. Під час зіткнення виділилося $4.6 \cdot 10^6$ кг води, а високе відношення мас викинутого пилу і води привело до несподіваного висновку, що ядро комети Темпеля 1 «сухе». Це може корінним чином корні змінити наші уявлення про ядра комет: комети можуть виявитися скоріше «льодяним забрудненим шаром», ніж «забрудненим сніговим шаром». Цікаво, що на знімках ядра комети, отриманих камерами на «імпакторі», знайдено кратери ударного походження, чого не було ні на ядрі комети Галлея, ні на ядрі комети Борреллі. Передбачалося, що витік речовини після зіткнення буде

спостерігатися довго — від днів до місяців, а виявилось, що вже через добу ніяких оптичних ознак рукотворної катастрофи не було.

Метою надзвичайно важливої космічної місії «Stardust» до комети 81P/Вілд 2 було зібрати частинки пилу біля ядра комети і доставити їх на Землю. Для порівняння планувалося зібрати також зразки міжзоряного пилу, що протікає через Сонячну систему. Запуск КА відбувся в лютому 1999 р., прибуття до комети — у січні 2004 р., а приземлення капсули в заданому районі — у січні 2006 р. Складний проект успішно виконано, і вже є перші результати: частинки виявились примітивнішими, ніж пилинки у міжпланетному середовищі; деякі великі частинки досягають розмірів 40 мм; у пилинках знайдено великий вміст кристалічних і аморфних силікатів; вуглець неоднорідно розподілений в частинках; великі 1—10 мкм частинки складаються переважно з форстериту, енстатиту і, можливо, CaI-подібного матеріалу; великий вміст органічних речовин; високий вміст D/H, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. Найвагомим результатом є те, що в частинках знайдено багато мінералів, які утворюються при високих температурах. Виникає питання, на яке ще потрібно дати відповідь: де у протосонячній туманності такі мінерали могли утворитися?

Не дивлячись на те, що космічні місії «Deep Impact» і «Stardust» виконали свої завдання, запас палива і дьездатність усіх систем дозволяє продовжити роботу цих місій. Тому прийнято рішення направити КА «Deep Impact» для зустрічі з кометою 85/P Бетін, а КА «Stardust» вивести на таку орбіту, щоб він зміг сфотографувати і дослідити новоутворений кратер на ядрі комети Темпеля 1.

Запуск КА «Rosetta» до комети 67/P Чурюмова—Герасименко було здійснено 2 березня 2004 р. Метою цього проекту є посадка модуля на ядро комети у листопаді 2014 р. Плануються дослідження комети протягом листопада 2014—грудня 2015 рр. як з посадочного модуля, так і з орбітального апарата. На цей час КА «Rosetta» спостерігав зіткнення «імпактора» з ядром комети Темпеля 1 і розпад ядра комети 73P/Швасман-Вахман.

Системи Юпітера і Сатурна очима космічних місій «Galileo» і «Cassini» — тема доповіді В. К. Розенбуш (ГАО НАН України, Київ). Ера космічних досліджень області Сонячної системи, де знаходяться великі планети, почалася в 1972 і 1973 рр. з польотів КА «Пионер-10» і «Пионер-11». У 1977 р. до зовнішніх планет були запущені ще два однакових КА «Вояджер-1» і «Вояджер-2», які по суті відкрили людству Сонячну систему. Космічні апарати і прилади успішно подолали таку небезпеку, як астероїдний і радіаційний пояси, і Земля одержувала сигнали від «Пионер-10» протягом 30 років, до відстаней 80 а. е., а у вересні 2003 р. «Вояджер-1» і «Вояджер-2» ще продовжували досліджувати міжпланетне середовище на відстанях 89 і 71 а. о. відповідно.

Вимірювання цих КА показали, що Юпітер випромінює в 1.9 рази більше, ніж одержує від Сонця, тобто на планеті існує внутрішнє джерело енергії. Визначено вміст гелію в атмосфері Юпітера, який виявився близьким до сонячного. Вперше були одержані дані про магнітосферу Юпітера, знайдені сильні потоки частинок високих енергій, які взаємодіють з поверхнями супутників, і можуть досягати навіть поверхні Землі, знайдено плазмовий пояс (тор) з електронів та іонів сірки і кисню, які утворюються внаслідок іонізації атмосфери Іо. Зафіксовані потужні блискавки у верхніх шарах хмар, а також сильні полярні сійва в області маг-

нітних полюсів Юпітера. Дослідження галілеєвих супутників Юпітера виявили активні вулкани на Іо, геологічно молоду поверхню з потрісканою корою на Європі, кратери і борозни на Ганімеді та сильно кратеровану, геологічно давню поверхню на Каллісто. Знайдено вузьке кільце Юпітера.

Вражаючими космічними проектами людства стали космічні місії «Galileo» (запуск у жовтні 1989 р.) і «Cassini» (прибуття в систему Сатурна у червні 2004 р.) до систем Юпітера і Сатурна. В огляді були приведені деталі цих місій, дані про прилади та заплановані експерименти. «Galileo» прибув в систему Юпітера 7 грудня 1995 р. В цей же день зонд «Probe», запущений з КА «Galileo», увійшов в атмосферу планети з відносною швидкістю 47 км/с для безпосередніх вимірювань тиску, температури, швидкості вітру, хімічного складу і багатьох інших характеристик атмосфери. Історичними кроками в дослідженні планетних систем можна назвати перші прямі проби атмосфери зовнішньої планети, перші довгострокові дослідження зовнішньої планети, її супутників і магнітосфери з орбітального апарата, перші прямі спостереження за зіткненням комети C/1991 T2 (Шумейкера-Леві) з Юпітером.

Прямі вимірювання зонда в атмосфері Юпітера, проведені до тиску 20 бар, показали, що вміст водню і гелію по масі перевищує 87 %, тобто близький до сонячного. Але Сонце містить всього 2 % всіх інших важких елементів, а їхній вміст на Юпітері знаходиться між 3 і 13 %. Більшість вчених вважали, що хімічний склад Юпітера близький до складу газопилової хмари протосонячної туманності, з якої були сформовані планети і Сонце, з добавкою важких елементів від комет і метеоритів. Дані зонда вимагають перегляду існуючої теорії еволюції Юпітера з Сонячної туманності. Понижений вміст гелію і неону і підвищений вміст важких елементів на Юпітері відносно сонячного — це важливі спостережні факти, тому що точний вміст цих елементів і розподіл їх у планеті є ключем до розуміння формування Сонячної системи і процесів фракціонування під час планетарної еволюції.

Серед найважливіших наукових відкриттів «Galileo» є перші прямі вимірювання структури, клімату і циркуляції атмосфери Юпітера; перші спостереження аміачних хмар, які складаються з льодяних аміачних частинок, утворених в нижніх шарах атмосфери; активність блискавок зв'язана з великомасштабною конвекцією водяних хмар; вулканічна активність на Іо в сотні разів вища, ніж на Землі — у викидах вулканів переважає високотемпературна (до 2000 К, в той час як на Землі до 1500 К) силікатна лава; для Іо, Європи і Ганімеда зафіксовано власні магнітні поля, що свідчить про диференціацію речовини в цих супутниках; Калісто власного магнітного поля не має. Отримано докази існування на Європі, Ганімеді і Калісто підповерхневих солоних океанів; геологія Європи підтверджує існування океану товщиною біля 100 км під її льодяною оболонкою (< 30 км), яка, можливо, рухається по поверхні океану. Європа — це потенційне тіло, на якому можливе життя; Європа, Ганімед і Калісто мають тонкі атмосфери; система кільць Юпітера утворилася з пилу, викинутого галілеєвими супутниками при зіткненні з міжпланетними метеороїдами. Уточнено розподіл частинок за розмірами; досліджено глобальну структуру і динаміку магнітосфери Юпітера, вперше прямо виміряно розмір магнітосфери при збільшенні тиску сонячного вітру.

Після 14-річної місії 21 вересня 2003 р. КА «Galileo» був направлений в атмосферу на зворотній від Землі стороні

Юпітера для того, щоб уникнути навіть незначної ймовірності зіткнення з первісним супутником в юпітеріанській системі. Саме відкриття підповерхневого океану на Європі і можливість існування там якихось видів життя змусили направити КА в атмосферу планети, де він повністю зруйнувався.

Надзвичайно цікаві і важливі результати отримано космічною місією «Cassini-Huygens» в системі Сатурна. Дослідження «Cassini» системи кілець Сатурна, супутників Титан, Діона, Япет, Феба та інших принесли багато несподіванок і запитань.

Посадка модуля «Huygens» на поверхню Титана, який має товсту атмосферу — це одна з найважливіших задач цієї місії. Суцільний жовтий туман супроводжував апарат майже до самої поверхні супутника. Тільки на висоті біля 100 м з'явилась можливість було розрізнити деталі поверхні і отримати їхнє зображення. Поверхня Титана ($T = -178\text{ }^{\circ}\text{C}$) складається із водяного і вуглеводневого льоду. КА передав на Землю зображення поверхні з піщаними дюнами, утвореннями, схожими на русла рік, чорними озерами чи впадинами, ударними кратерами чи кальдерами, каменями та горами, ділянками з ерозією ґрунту. Над поверхнею спостерігалися метанові хмари. Атмосфера Титана складається з метану, етану, ацетилену та багатьох інших вуглеводневих сполук. Роль метану на Титані аналогічна ролі води на Землі. Чим пояснити наявність метану в атмосфері Титана — відповідь на це питання була однією з основних завдань місії «Cassini-Huygens». Адже метан повинен був зникнути за час еволюції супутника — акреції і диференціації протопланетної туманності, конвекції в ядрі і охолодження супутника через конвекцію в корі на поверхні супутника. Вчені припускають, що метан міг зберегтися у вигляді збагаченого метаном льоду, названого «клатратними гідратами», який формує кору над океаном рідкої води з аміаком. Дисипація метану проходить через вулканічне виверження метану, яке включає плавлення льоду і дегазацію. Це явище названо «кріовулканізмом», аналогічне до силікатного вулканізму на Землі, але у процес включені різні матеріали. Підтвердження кріовулканізму знайдено і на іншому супутнику Сатурна — Енцелад, на якому на південному полюсі знайдені льодяні гейзери — викиди дуже малих (~10 мкм) льодяних частинок. Вчені знайшли докази того, що на супутнику Енцелад може існувати океан рідкої води під льодяною корою товщиною десятки метрів (а не сотні кілометрів, як на Європі). Саме модель «холодного гейзера» — викид теплої ($T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) рідкої води з підповерхневого резервуару — може пояснити знайдені льодяні гейзери. Викидами льодяних частинок пояснюється і відкрита «Cassini» велика кількість кисню в системі Сатурна.

Отримані космічними місіями «Galileo» і «Cassini-Huygens» результати досліджень систем Юпітера і Сатурна

заставляють вчених переглянути свої погляди на формування та еволюцію Сонячної системи і виникнення життя.

На завершення О. П. Федоров (Національне космічне агентство України) розповів про космічні дослідження в Україні і про плани на майбутнє. Космічна діяльність є одним із пріоритетів держави. Основні підходи до загальнодержавної космічної програми України визначаються потребами сталого розвитку, підтримкою науково-технічного потенціалу держави, забезпеченням довгострокових інтересів у сферах безпеки та оборони. Державна політика у космічній сфері спрямована на збереження ракетно-космічного потенціалу України, його розвиток, модернізацію та ефективне використання, оскільки космічні системи є однією із складових державного суверенітету внаслідок можливості розгортання супутникових систем спостереження, навігації та телекомунікацій. Сучасна космонавтика стала суттєво науково орієнтованою, а космічна діяльність України є складовою частиною міжнародних зусиль із дослідження та використання космічного простору. Серед пріоритетів Загальнодержавної космічної програми України на 2007—2011 рр., таких як розвиток національної системи спостереження Землі з космосу в інтересах загальнодержавних потреб у соціально-економічній сфері та у сфері безпеки та оборони, отримання нових фундаментальних знань є одним із головних. Основними напрямками наукової частини програми є цільові космічні проекти: спостереження Землі та геофізичний моніторинг; іоносферні провісники стихійних та техногенних лих; сонячно-земні зв'язки та їхній вплив на технологічні та біологічні системи; космічна біологія, фізика, матеріалознавство; астрофізичні дослідження. Не менш важливим є участь у міжнародних космічних проектах, зокрема «Спектр-Р», МКС, EXPLORATION, AURORA, розвиток системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України у співробітництві з РФ та ЄС, створення національної системи геоінформаційного забезпечення як частини європейської системи GMES та світової GEOSS.

В дискусії, яка відбулася в кінці роботи, взяли участь Р. І. Костик, О. П. Федоров, Д. Ф. Лупішко, М. М. Кисельов, Л. О. Колоколова, В. К. Розенбуш, молоді науковці та студенти. Всі вони оцінили роботу школи як цікаву, інформативну та дуже корисну. Було запропоновано проводити такі школи регулярно і в більш розширеному форматі з залученням розробників технічних проектів, космічних апаратів та приладів для них та фахівців з інших галузей науки, пов'язаних з космічними дослідженнями. Молоді науковці висловили подяку ГАО НАНУ, УАА та оргкомітету школи за організацію школи-семінару та фінансову підтримку.

В. К. Розенбуш