

Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України

**АСТРОФІЗИЧНІ І КОСМОЛОГІЧНІ
ПРОБЛЕМИ ПРИХОВАНОЇ МАСИ І ТЕМНОЇ ЕНЕРГІЇ
(Космомікрофізика-2)
(далі – Програма)**

Концепція Програми

1. Мета Програми

Метою Програми є вирішення актуальних завдань дослідження прихованої маси і темної енергії Всесвіту, пов'язаних із його еволюцією та спостережуваною великомасштабною структурою. Це потребує комплексного і міждисциплінарного підходу та об'єднання зусиль наукових груп експериментаторів і теоретиків, які працюють в установах різних відділень НАН України, університетах МОН України. Основні наукові проблеми, на вирішення яких спрямована Програма, можна поділити на **чотири** загальні напрями:

- Експериментальні прояви прихованої маси і темної енергії у макро- і мікрокосмосі;
- Теоретичні моделі еволюції Всесвіту;
- Баріонні і небаріонні складові прихованої маси і темної енергії на різних масштабах Всесвіту;
- Методи детектування прихованої маси і темної енергії.

Ці напрями з урахуванням науково-технічного потенціалу українських дослідників, напрацьованого у попередні роки при виконанні цільової комплексної програми «Космомікрофізика» у міжнародній співпраці з науковими установами країн СНД, Європи і США, конкретизуються у таких головних завданнях:

- Розробка квантово-польової вакуумної моделі темної енергії. Дослідження можливого зв'язку вакуумної темної матерії з вакуумною темною енергією.
- Пошук лінії розпаду стерильного нейтрино, що є кандидатом на компонент прихованої маси, за даними комічних місій XMM-Newton і INTEGRAL з використанням кластерів GRID мережі.

– Дослідження статистичної анізотропії великомасштабної структури і реліктового випромінювання як наслідку інфляційної стадії еволюції Всесвіту.

– Вивчення природи багатовимірної гравітації і ефектів багатовимірності в сильних гравітаційних полях поблизу нейтронних зірок і чорних дір.

– Дослідження еволюції збурень густини темної енергії у багатокомпонентній моделі Всесвіту (темна енергія, прихована маса, баріонна речовина, реліктове теплове випромінювання та космологічні нейтрино) з темною енергією у формі скалярного поля з різними лагранжіанами.

– Групова класифікація рівнянь узагальненої електродинаміки, яка включає додаткове поле аксонів як одного з кандидатів на роль темної матерії.

– Вивчення механізмів прискорення ультрарелятивістських елементарних частинок і пов'язаних з ними характеристик міжгалактичного середовища.

– Дослідження методом сильного гравітаційного лінзування позагалактичних джерел та визначення розподілу мас у них.

– Вивчення ефекту слабого гравітаційного лінзування на скупченнях галактик з використанням наземних телескопів.

– Вимірювання потоків сонячних нейтрино в міжнародному експерименті BOREXINO.

– Розробка низькофонових матеріалів для високочутливих датчиків реєстрації елементарних частинок нового покоління.

– Дослідження космологічних моделей, що базуються на теорії суперструн.

– Дослідження астрофізичних складових прихованої маси і темної енергії (гало галактик і скупчень галактик, чорних дір зоряних і галактичних мас, невидимих карликових галактик низької поверхневої яскравості, холодних зір (коричневих карликів) у тісних подвійних системах тощо).

2. Додаткові цілі Програми

Виконання Програми дозволить:

– об'єднати зусилля українських вчених, які працюють на світовому рівні в цих напрямках досліджень, але в різних відомчих установах України, та заохотити до її виконання молодих вчених і студентів;

– розширити коло міжнародної співпраці;

– підготувати сучасні підручники і посібники для впровадження в систему освіти в Україні, здійснити низку заходів для популяризації зазначених досліджень; провести конференції і робочі наради за участі іноземних вчених.

3. Обґрунтування необхідності реалізації Програми

Прихована маса і темна енергія відносяться до найбільш актуальних і фундаментальних проблем сучасного природознавства. Розкриття суті цих понять може змінити існуючі на цей час погляди на розвиток і склад Всесвіту. Сучасні космологічні спостереження свідчать про те, що у нашому Всесвіті домінують дві компоненти матерії (темна матерія і темна енергія), що ніколи не спостерігались в лабораторіях і відсутні в стандартній моделі фізики елементарних частинок. Тому проблема схованої маси і темної енергії охоплює міждисциплінарні завдання дослідження макро і мікрокосмосу.

В космомікрофізиці є декілька фундаментальних і актуальних проблем, які знаходяться на початковому етапі їх вирішення: визначення складу і властивостей темної речовини (прихованої маси і темної енергії) у Всесвіті, включаючи «космологічну сталу», введеному вперше Ейнштейном; вивчення спектра просторових неоднорідностей у Всесвіті, а також точне визначення стандартних космологічних параметрів, включаючи щільність баріонної речовини у Всесвіті. Найбільш значним відкриттям у космології стало підтвердження існування особливого виду темної матерії (темної енергії) з великим від'ємним тиском, що свідчить про необхідність використання позитивної космологічної сталої. Невирішеною проблемою є склад прихованої маси (астрофізичні об'єкти – кандидати в темну матерію – чорні діри зоряних і галактичних мас, гало галактик і груп галактик, коричневі карлики та інші холодні зорі; елементарні частинки – кандидати в темну матерію і темну енергію: частинки Хігса, аксіони, нейтраліно тощо).

Таким чином, розвиток космомікрофізики буде визначати основні напрями досліджень у природознавстві в першій половині ХХ століття. Для вирішення її основних завдань започаткована і розвивається низка нових фундаментальних напрямів у фізиці і астрономії, дослідження з яких виконуються науковою спільнотою всіх країн з високим науково-технічним рівнем. Про це свідчить те, що на засадах міжнародної кооперації створюються наукові комплекси (наприклад, адронний колайдер, телескоп ALMA). США і Європа планують у недалекому майбутньому запуск декількох космічних місій з дослідження темної матерії і енергії Всесвіту, зокрема, LISA, Pathfinder та ін. Всі ці зусилля повинні привести до об'єднання теорії гравітації, теорії елементарних частинок і побудови фізично самоузгодженого опису Всесвіту, в якому механізми інфляції, баріосинтезу і природи прихованої маси знайдуть пояснення в межах єдиної теорії. Вирішення цих основних проблем спричинить корінний перегляд основних засад науки про Всесвіт і його еволюцію.

4. Сучасний стан та перспективи досліджень в Україні

В Україні проблеми прихованої маси, темної енергії та суміжних з ними питань розробляються декількома науковими групами. Певною мірою їх об'єднав створений в 2005 р. Міжгалузевий координаційний план досліджень у галузі гравітації, релятивістської астрофізики та космології «Космомікрофізика» НАН України, МОН України та Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Українська наука має значний науковий потенціал, на базі якого можна проводити дослідження в зазначених напрямках. Працюючи в тісному контакті з провідними науковими групами з країн СНД, США та Європи, наші вчені займають гідне місце в міжнародному розподілі праці, а у вирішенні окремих завдань – провідні позиції у світі.

Затвердження Програми «Космомікрофізика» в 2007 р. зіграло важливу роль у розвитку наукових досліджень в Україні. Її фундаментальність дозволила об'єднати в єдиний численний колектив відомих науковців, який тепер працює за спільним планом. У виконанні Програми беруть участь п'ять інститутів з трьох відділень НАН України та національні університети Харкова, Одеси, Львова і Києва, Кримська астрофізична обсерваторія МОН України. Зусиллями колективу виконавців були отримані результати світового рівня з теоретичних і експериментальних досліджень мікробудови матерії і фізичних процесів, що відбуваються у далекому Всесвіті, про що свідчать більш ніж 150 статей у наукових виданнях з високим рейтингом, проведення спільних ядерних експериментів і астрофізичних спостережень разом із науковцями з європейських країн, США, Росії, Узбекистану, участь у міжнародних конференціях з проблем темної матерії і темної енергії.

Теоретичні проблеми походження, будови та еволюції Всесвіту, які стосуються розробки нових космологічних моделей та аналізу глобальної структури на космологічних масштабах, ролі темної матерії та темної енергії, властивостей реліктового випромінювання, спостережних наслідків теорії струн розробляють групи вчених в Інституті теоретичної фізики ім.М.М.Боголюбова НАН України. Вперше поставлено і вирішено задачу про квантове народження нових замкнутих всесвітів з вакууму в теоретичній схемі, що задовольняє всім вимогам квантової механіки. В рамках розвинутої раніше квантово-вихрової моделі релятивістських джетів в квазарах і ядрах галактик пояснено спостережувані періоди активності джетів; знайдено формулу залежності гальмування швидкості зростання джетів від густини міжзоряного газу. Запропоновано обмеження знизу на масу частинок ферміонної темної матерії, що впливає з принципу Паулі.

Одним із найбільш важливих напрямів у космології є встановлення обмежень на склад баріонної компоненти, що пов'язано з визначенням первинного вмісту елементів у Всесвіті та перевіркою стандартної моделі нуклеосинтезу, а також отримання оцінок вмісту

темної матерії в гало галактиках та маси чорних дір. Такі роботи активно проводяться в Головній астрономічній обсерваторії НАН України.

Одним з цікавих напрямів, що надає нові дані про розподіл матерії у Всесвіті, структуру віддалених джерел є дослідження гравітаційно-лінзових систем. Цей напрям представлений в Україні групами з Києва (Київський національний університет імені Тараса Шевченка) та Харкова (Харківський національний університет ім.В.Н.Каразіна і Радіоастрономічний інститут НАН України), які працюють як у теоретичному, так і в спостережному напрямках. З використанням 1.5 м телескопа АЗТ-22 на г.Майданак у тісній співпраці з АН Узбекистану вперше на основі статистичного аналізу результатів багаторічних спостережень гравітаційної лінзи Хрест Ейнштейна було отримано оцінку відносного вмісту темної матерії в загальній речовині лінзуючої галактики, на основі даних спостережень гравітаційної лінзи PG 1115+080 одержано нові оцінки часів запізнення між коливаннями блиску квазара, що спостерігаються в його зображеннях, створених лінзуючою галактикою.

В Інституті ядерних досліджень НАН України вже майже 30 років проводяться експериментальні дослідження рідкісних процесів у фізиці атомного ядра та елементарних частинок, зокрема подвійного бета-розпаду атомних ядер, та пошуки слабо взаємодіючих частинок, що можуть складати мікроскопічну основу темної матерії. В міжнародному експерименті BOREXINO (детектор загальною масою 3,5 т, розташований під землею на глибині близько 1 км) вперше в режимі реального часу виміряний потік сонячного нейтрино від розпаду берилію-7 в ядрі Сонця. Встановлені нові експериментальні обмеження на масу аксіонів (гіпотетичні частинки, одна з найбільш вірогідних складових темної матерії), які можуть випромінюватися на Сонці ядрами літію-7 та заліза-57. Встановлені нові обмеження на період напіврозпаду ізотопів цинку, рутенію, кадмію та вольфраму відносно подвійного бета-розпаду на рівні 1018–1021 років. Це вагомий внесок у дослідження подвійного бета-розпаду – найрідкіснішого ядерного процесу, спостереженого в лабораторних експериментах.

В Інституті прикладних проблем механіки та математики ім.Я.С.Підстригача НАН України та Львівському національному університеті ім. Івана Франка вивчено розвиток сферично-симетричної неоднорідності густини темної матерії від лінійної стадії до нелінійної – колапсу та встановлення динамічної рівноваги – в моделях Всесвіту з космологічною сталою та скалярним полем як темною енергією. Досліджено вплив скалярного поля на динаміку розширення та на розвиток збурень густини темної матерії в двокомпонентній (прихована маса і темна енергія) моделі Всесвіту.

В Київському національному університеті імені Тараса Шевченка зі швидкостей пекулярного руху галактик визначено комбінації основних космологічних параметрів. Отримано нові аналітичні

розв'язки, що описують нестационарні та неоднорідні течії релятивістської ідеальної рідини на основі зв'язку з теорією скалярного поля. Показано, що в космологічних моделях зі скалярним полем виникає невизначеність щодо вмісту темної матерії.

В Одеському національному університеті ім.І.І.Мечникова знайдено нові підходи до визначення гравітаційної сталої в межах багатовимірної гравітації в нерелятивістському наближенні.

Високу оцінку міжнародної наукової спільноти отримали результати спостережень об'єктів – кандидатів у чорні діри зоряної і галактичної маси, які ведуться в Кримській астрофізичній обсерваторії МОН України.

Вже сформувався нові напрями досліджень в Україні, вагомість і пріоритетність яких вимагає розширення числа учасників Програми.

Інститут ядерних досліджень та Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України – розробка кристалів з надзвичайно низьким (не більше 10 нано-беккерелів на грам матеріалу) вмістом радіоактивних ізотопів. Для вирішення цієї складної, поки що у світі не розв'язаної проблеми необхідно об'єднати зусилля учених – спеціалістів у галузі вимірювань малих активностей радіонуклідів, глибокого очищення матеріалів, вирощування кристалів та досліджень їх властивостей при наднизьких температурах. Україна має унікальний потенціал для вирішення цієї складної, на межі можливостей сучасних технологій, завдань.

ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України – діагностика темної маси за допомогою електромагнітних процесів в міжзірковому просторі, дослідження проблеми чорних дір у стандартній космологічній моделі та дослідження космологічних моделей, що базуються на теорії суперструн.

Радіоастрономічний інститут НАН України – дослідження ефектів слабкого лінзування на скупченнях галактик з використанням телескопів наземного базування.

5. Терміни та етапи реалізації Програми

Програма розрахована на три роки (2010–2012). Основні етапи виконання Програми формуються на основі наукових проектів, що пройшли експертизу Науково-технічної ради Програми. Підготовка звітних матеріалів щодо кожного завдання виконуватиметься за результатами щорічної наради з виконання Програми.

6. Механізм реалізації Програми

Організація та координація робіт за Програмою здійснюватиметься Науково-технічною радою Програми, яка оголошує конкурс науково-технічних проєктів і у встановлений Президією НАН України термін здійснює відбір проєктів та їх комплексну експертизу. З цією метою Науково-технічна рада створює робочі експертні групи з провідних вчених, які працюють у зазначених напрямках фізики, астрономії і ядерних досліджень. Для вироблення загальних підходів, уточнення постановок завдань і обміну отриманими результатами в рамках Програми проводитимуться щорічні наради учасників Програми. Хід виконання Програми буде обговорюватись також на постійно діючих семінарах та робочих зустрічах з представлених в програмі напрямів.

Результати робіт будуть представлені на вітчизняних і міжнародних конференціях, опубліковано у провідних наукових виданнях, заплановано підготовку підручників та посібників. Для інформаційного забезпечення результатів Програми буде підготовлено низку науково-популярних статей, підручники і посібники, проведено конференції та наради.

7. Очікувані результати програми

Передбачається, що в ході виконання Програми будуть отримані такі результати фундаментального характеру:

- Розробка нової квантово-польової вакуумної моделі темної енергії.
- Визначення можливого зв'язку вакуумної темної матерії з вакуумною темною енергією.
- Дослідження статистичної анізотропії великомасштабної структури і реліктового випромінювання як наслідку інфляційної стадії еволюції Всесвіту.
- Застосування методу Лупан- α для отримання обмежень на масу частинок темної матерії і активних нейтрино.
- Вивчення еволюції збурень густини темної енергії в багатокомпонентній моделі Всесвіту (темна енергія, темна матерія, баріонна речовина, реліктове теплове випромінювання та космологічні нейтрино) з темною енергією у формі скалярного поля із різними лагранжіанами.
- Визначення феноменологічних параметрів моделей темної енергії (густини, рівняння стану, ефективної швидкості поширення збурень) на основі порівняння розрахованих та спостережуваних характеристик великомасштабної структури Всесвіту та анізотропії реліктового випромінювання.

– Проведення групової класифікації рівнянь узагальненої електродинаміки, яка включає додаткове поле аксіонів – одного із кандидатів на роль темної матерії, та побудовано сімейства точних розв'язків таких рівнянь.

– Дослідження механізмів прискорення ультрарелятивістських частинок та виявлення (або, принаймні, встановлення обмеження на характеристики) їх джерел, а також визначення характеристик міжгалактичного середовища, пов'язаних з їх поширенням.

– Результати точного вимірювання потоку сонячних нейтрино в експерименті BOREXINO, що дозволить отримати фундаментальну інформацію про властивості нейтрино та слабкої взаємодії за рамками сучасної моделі елементарних частинок.

– Проведення ряду експериментів, спрямованих на пошук подвійного бета-розпаду ядер рутенію-96, кадмію-106, неодиму-150 на рівні чутливості відносно періоду напіврозпаду 1020-1023 років, при якому подвійний бета-розпад може бути вперше спостережений.

– Детальне теоретичне дослідження проблеми імітаторів чорних дір, що включає як статичні, так і динамічні конфігурації.

– Розвиток суперсиметричного розширення моделі гравітації Хорави-Ліфшиця, дослідження властивостей перенормування в таких моделях і їх космологічних наслідків.

– Дослідження ефекту слабого гравітаційного лінзування скупченнями галактик шляхом спостереження у спектральних смугах BVR_I на 1.5-м телескопі АЗТ-22 Майданацької високогірної обсерваторії.

– Теоретичні моделі гравітаційної лінзи для скупчень галактик, у тому числі з урахуванням впливу космологічних параметрів Всесвіту.

– Дослідження вмісту темної матерії в астрофізичних об'єктах.

– Розробка детекторів нового покоління для пошуку слабковзаємодіючих масивних частинок темної матерії.

8. Список організацій, які плануються до участі в реалізації Програми

1. Головна астрономічна обсерваторія НАН України.
2. Інститут проблем прикладної механіки і математики ім.Я.С.Підстригача НАН України.
3. Інститут теоретичної фізики ім.М.М.Боголюбова НАН України.
4. Інститут ядерних досліджень НАН України.
5. ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України.
6. Радіоастрономічний інститут НАН України.
7. Інститут скінтіляційних матеріалів НАН України.

8. Київський національний університет ім.Тараса Шевченка (НДЛ «Астрономічна обсерваторія»).
9. Кримська астрофізична обсерваторія МОН України.
10. Львівський національний університет ім.Івана Франка.
11. Одеський національний університет ім.І.І.Мечникова (НДІ «Астрономічна обсерваторія»).
12. Харківський національний університет ім.В.Н.Каразіна (НДІ астрономії).

Головний учений секретар
Національної академії наук України
академік НАН України

А.Г.Загородній