



РУДАКОВСЬКИЙ
Антон Володимирович —
провідний інженер відділу
астрофізики та елементарних
частинок Інституту теоретичної
фізики ім. М.М. Боголобова
НАН України

ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТЕМНОЇ МАТЕРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АСТРОФІЗИЧНИХ ТА КОСМОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Шановний Борисе Євгеновичу!

Шановні учасники Загальних зборів!

Дозвольте мені розповісти про проміжні результати проекту «Визначення властивостей темної матерії за допомогою астрофізичних та космологічних спостережень», який зараз виконується за результатами конкурсу на здобуття грантів НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України.

Темна матерія є однією з найбільш інтригуючих загадок сучасної фізики. Дані астрономічних спостережень за більш як 90 років свідчать про те, що повна маса таких об'єктів, як галактики, зокрема наша Галактика, скупчення галактик та навіть Всесвіт у цілому, значно перевищує суму мас окремих спостережуваних прямо об'єктів. Для пояснення нестачі видимої маси і вводять поняття темної матерії. У середньому темна матерія становить близько 85% гравітуючої речовини.

Однак у Стандартній моделі, що добре описує фізику елементарних частинок, немає жодної частинки-кандидата, яка могла б підійти на роль темної матерії. Інакше кажучи, 85% маси Всесвіту не може бути утворено зі звичайної речовини, такої, з якої складаємося і ми з вами.

Саме тому в сучасній фізиці елементарних частинок та астрономії практично будь-який новий експеримент, наприклад на Великому адронному колайдері чи в астрономічних обсерваторіях, серед інших запланованих завдань обов'язково містить пошук та дослідження властивостей темної матерії. У результаті над цією проблемою у світі працюють тисячі науковців, і на її вирішення виділяються мільярди доларів.

У 2014 р. у спостережних даних космічних обсерваторій учасниками нашого проекту було знайдено нову, раніше невідому вузьку лінію випромінювання на енергії 3,5 кеВ — мож-

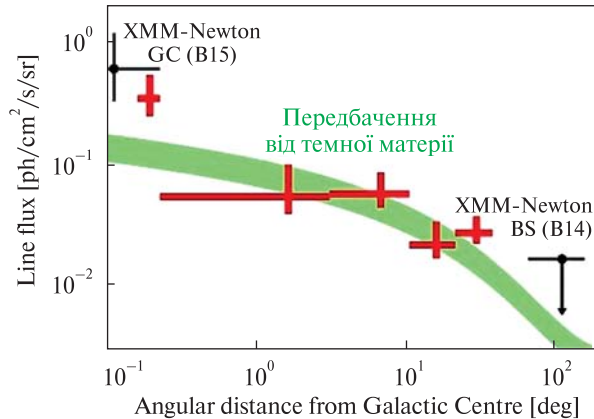


Рис. 1. Спостережні дані щодо залежності потоку від лінії з енергією 3,5 кеВ від кутової відстані до центра нашої Галактики (червоні хрести — наша остання робота, чорні — результати попередніх робіт) разом з теоретичними передбаченнями для моделі легкої темної матерії, що розпадається (зелена область)

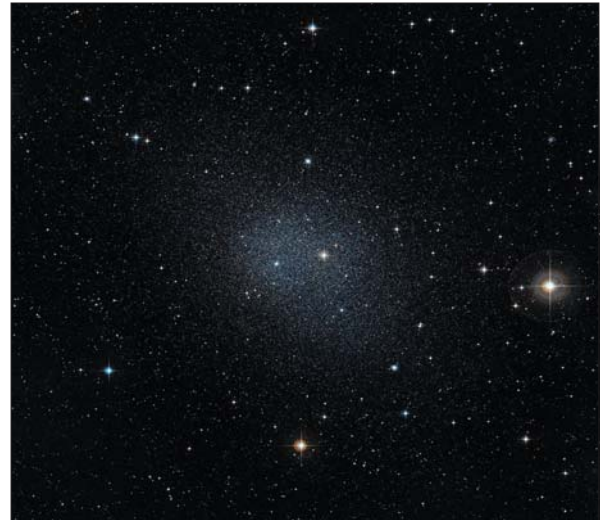
ликий слід від гіпотетичних розпадів темної матерії. За цією тематикою в період з 2014 по 2017 р. було опубліковано близько 20 статей у провідних міжнародних журналах, які процитовано понад 1200 разів.

Наприкінці 2018 р. наш проект виграв конкурс на здобуття гранту НАН України для створення лабораторії молодих вчених.

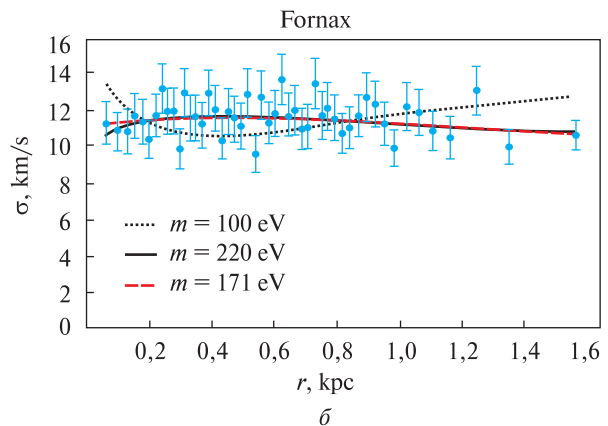
У результаті виконання проекту було отримано такі наукові результати:

- проаналізувавши спостереження нашої Галактики, ми вперше надійно задетектували лінію випромінювання з енергією 3,5 кеВ у ряді областей, більш далеких від центру Галактики, ніж у попередніх роботах. Отриманий просторовий розподіл лінії не узгоджується з передбаченнями для близьких астрофізичних ліній, зокрема інтенсивність спадає повільніше з віддаленням від центру Галактики. Натомість отриманий розподіл узгоджується з попередніми детектуваннями за даними космічних обсерваторій Chandra і NuSTAR в областях «чистого неба». Це свідчить на користь лінії, яку не можна пояснити відомими переходами у спектрах хімічних елементів, однак яка добре узгоджується з передбаченнями для легкої темної матерії, що дуже повільно розпадається (рис. 1);

ISSN 1027-3239. Вісн. НАН України, 2019, № 5



a



b

Рис. 2. Карликова сферична галактика у сузір'ї Піч (a) (джерело — ESO/Digitized Sky Survey) і спостережні дані щодо дисперсії швидкостей зір уздовж променя зору та її теоретичні передбачення для темної матерії з частинок-ферміонів різних мас

- процес формування гравітаційно зв'язаних структур у Всесвіті залежить, зокрема, від природи темної матерії. Відомо, що наявність релятивістських початкових швидкостей у частинок легкої темної матерії (її ще називають «теплою» темною матерією) має пригнічувати формування структур на малих масштабах. Ми показали, що ця модель легкої темної матерії краще описує спостереження раннього Всесвіту (зокрема, періоди так званих «темних віків» та реіонізації — часу формування пер-

ших галактик), ніж загальноживана модель «холодної» темної матерії;

- одним з найперспективніших об'єктів для дослідження 3,5 кеВ лінії є скупчення галактик Персея. Було уточнено характерні швидкості галактик у скупченні Персея, що дозволяє точніше передбачити характеристики спостережень, достатні для детектування лінії випромінювання з енергією 3,5 кеВ у цьому скупченні галактик космічною обсерваторією XRISM, запуск якої очікується у 2020 р.;

- використовуючи авторську модель розподілу темної матерії для частинок ферміонів та спостережні дані щодо кінематики карликових сферичних галактик — супутників нашої Галактики, — ми отримали нове обмеження знизу $m \gtrsim 200$ еВ на масу частинок-ферміонів — кандидатів на роль темної матерії (рис. 2).

За період з жовтня 2018 р. і дотепер за цією тематикою було підготовлено 6 наукових робіт, з яких дві уже опубліковано (*Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2019. **483**(3): 4080; *Astrophys. J. Lett.* 2019. **875**(2): 24), одну статтю прийнято до друку в журналі *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*, а три — перебувають ще на розгляді у провідних наукових журналах *Physical Review Letters* і *Monthly Notices of The Royal Astronomical Society*. Крім того, у грудні 2018 р. троє учасників проекту відвідали воркшоп «Dark matter and stars», який проходив у м. Лісабон (Португалія).

І ще один досить важливий факт. Завдяки організації дослідницької лабораторії молодих вчених НАН України вдалося істотно збіль-

шити заробітну плату учасників проекту — практично до рівня середньої заробітної плати у м. Київ.

На 2019 р. у нашій лабораторії заплановано виконання таких завдань:

- продовження досліджень розподілу лінії випромінювання в нашій Галактиці на основі наявних даних спостережень та розроблення передбачень для запланованих місій;

- розроблення детальної моделі формування структур (галактик, груп галактик) у ранньому Всесвіті та порівняння її передбачень з новими даними спостережень;

- фінальна інтерпретація отриманих результатів у термінах ключових параметрів темної матерії, таких як маса частинки та інтенсивність взаємодії з іншими частинками.

Планується також взяти участь у закордонних міжнародних конференціях і направити співробітників у довгострокові, на кілька тижнів, закордонні відрядження для виконання спільних завдань за тематикою проекту. Крім того, в поточному році очікується захист учасниками проекту двох кандидатських дисертацій.

На завершення, як безпосередній учасник проекту, хочу зазначити, що отримання суттєвої додаткової фінансової підтримки завдяки конкурсу на здобуття грантів НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України дає можливість значно змінити на краще не лише умови роботи, а й саму атмосферу, в якій працюють колективи молодіжних лабораторій і груп.

Дякую за увагу!