

ДОСЛІДЖЕННЯ СВІТУ ГАЛАКТИК, ЧИ ЗМІНЯТЬ ВОНИ НАШЕ РОЗУМІННЯ ВСЕСВІТУ?

О.В.Ющенко

Існує два методи вивчення будь-яких явищ природи - збільшення кількості або масштабу подій або явищ, що вивчаються, і вивчення внутрішньої структури кожного досліджуваного зразка. Для того, щоб розширити горизонт, що спостерігається, потрібно піднятися на велику висоту, з якої відкривається вид на більш далекі області. При цьому досягається правильніше розуміння як природи області навколо спостерігача, так самого спостерігача.

З початком розвитку сучасної науки, масштаби явищ, що вивчаються, безперервно збільшувалися. Птолемей і Коперник вивчали Сонячну систему, Гершель – Чумацький Шлях, Хаббл – близькі галактики, сучасна наука – системи дуже далеких галактик. Застосовувані методи розвивалися від простих візуальних спостережень до телескопів все більших розмірів на рівні моря, на найвищих горах, на орбіті Землі. Телескопи, які дають зараз найбільше нової інформації, розташовуються вже в міжпланетному просторі, наприклад, у точці лібрації L2 системи Земля-Сонце. Ця точка знаходиться на відстані близько півтора мільйона кілометрів від Землі, у напрямку протилежному Сонцю.

У 2023 році, на додаток до телескопа GAIA, що вже працює там, і телескопу імені Джеймса Вебба – JWST, до згаданої точки L2 був доставлений ще один інструмент – Euclid. Ця обсерваторія Європейської Космічної Агенції для поглибленого вивчення просторового розподілу галактик за допомогою

ЯСКРАВІ ГАЛАКТИКИ ПІВНІЧНОГО НЕБА

NGC	M	Созв.	α (2000.0) δ		D	m	Тип	R
205	110	And	00 ^h 40.4 ^m	+41° 41'	15'x8"	8.0	E5	2.4
224	31	And	00 42.7	+41 16	175x62	3.5	Sab	2.4
247		Cet	00 47.1	-20 46	19x5	8.9	Sab	8
598	33	Tri	01 33.9	+30 39	64x35	5.7	Sac	3.0
1068	77	Cet	02 42.7	-00 01	7	8.8	Sa	70
2403		Cam	07 36.9	+65 36	18x10	8.4	Sc	9.5
2903		Leo	09 32.2	+21 30	13x5	8.9	Sb	24
3031	81	UMa	09 55.6	+69 04	20x9	6.9	Sab	11
3034	82	UMa	09 55.8	+69 41	8x3	8.4	Ю	11
3521		Leo	11 05.8	-00 02	7x4	8.9	Sbc	35
4258	106	CVn	12 19.0	+47 18	12x4	8.3	Sab	35
4472	49	Vir	12 29.8	+08 00	2	8.4	E2/S0	56
4486	87	Vir	12 30.8	+12 24	6	8.6	E0pec	56
4594	104	Vir	12 40.0	-11 37	8x5	8.3	Sa	17
4649	60	Vir	12 43.7	+11 33	2.5	8.8	E2	56
4736	94	CVn	12 50.9	+41 07	14x13	8.2	Sa	23
4826	64	Com	12 56.7	+21 41	10x4	8.5	Sa	25
5055	63	CVn	13 15.8	+42 02	13x8	8.6	Sbc	40
5194	51	CVn	13 29.9	+47 12	9x8	8.4	Sa	35
5457	101	UMa	14 03.2	+54 21	40	7.7	Sab	18



Рис. 1. Спіральна галактика з кільцем NGC1398. Фотографію отримано Mark Hanson

ширококутного телескопа з діаметром дзеркала 1.2 метра. Запуск, який спочатку планувалося провести на носії Союз у 2022 році, був здійснений 1 липня 2023 року ракетою Falcon 9.

Розмір дзеркала трохи поступається прямокутним дзеркалам GAIA і в п'ять разів менший за діаметр дзеркала телескопа JWST, але за рахунок більш ширококутної камери Euclid зможе за шість років дослідити близько однієї третини небесної сфери. Основним результатом будуть червоні зміщення приблизно десяти мільйонів галактик і ква-

зарів до значень $Z=2$, тобто дуже докладне дослідження великомасштабної структури Всесвіту на відстанях, які в кілька разів перевищують глибину ширококутних оглядів, які проводяться на земних телескопах.

Нагадаємо, що основним напрямком роботи GAIA є виміри точних відстаней до кількох мільярдів зір нашої Галактики та її найближчих супутників, JWST – вивчення найдальших галактик в обмежених областях неба, а також об'єктів Галактики та Сонячної системи в інфрачервоному діапазоні.

Таким чином, на відстані півтора мільйони кілометрів від Землі зараз працюють три телескопи, які збільшують масштаби Всесвіту, що вивчається, і дають більш детальну інформацію про ближчі його області. Що ж показують перші результати спостережень?

Щоб зрозуміти важливість цих даних, треба згадати, як починалася сучасна космологія. Близько ста років тому Хаббл вперше виявив, що червоне зміщення ліній у спектрах близьких галактик пропорційне відстані до цих галактик. Червоне зміщення було інтерпретовано, як ефект Доплера, що призвело до теорії Всесвіту, що розширюється.

Десять років по тому, на початку 30-х років минулого століття, Цвіккі знайшов, що дисперсія швидкостей у скупченнях галактик, вимагає наявності в цих скупченнях великої кількості невидимої матерії, маса якої повинна майже на порядок перевищувати масу речовини, що світиться, тобто зір. При цьому знайдені Цвіккі дисперсії швидкостей галактик у скупченнях галактик сягали 2000 км/сек.

Результатом спостережень кінця минулого століття було відкриття відхилень від закону Хаббла на великих відстанях. Це було інтерпретовано, як можливе прискорення розширення Всесвіту у разі прийняття гіпотези про доплерівську природу червоного зміщення. Подальше ускладнення цієї теорії призвело до необхідності запровадження темної маси та темної енергії. При цьому щільність баріонної матерії, тобто зір і планет, повинна становити лише 5 відсотків від загальної щільності Всесвіту.

Отже, до двадцятих років поточного століття ми маємо ефект Доплера для пояснення червоного зміщення, стандартну модель Всесвіту з віком близько 13 мільярдів років, та п'ять відсотків щільності Всесвіту, доступного для вивчення методами, відмінними від гравітаційних взаємодій.

Для того, щоб озирнутися довкола, стародавні люди забиралися на дерево або піднімалися на гору. Ми запустили три згадані телескопи в точку L2, далі вже нікуди, настав час озирнутися та порівняти спостереження найближчих і найбільш віддалених об'єктів.

Результати JWST за 2022-2023 роки дозволили виявити галактики, червоне зміщення світла яких сягає значень $Z=25$, для слабких об'єктів, зміщення спектру яких визначається фотометричними методами, точність яких не дуже висока. Яскравіші галактики, для котрих можна отримати як фотометричні, так і спектральні спостереження, показують червоні зміщення до $Z=15$.

Таким чином, для слабких об'єктів, у яких, проте, спостерігаються добре розвинені спіральні рукави, виміряно дуже великі значення червоних зміщень. Відповідно до стандартної космології на етапах еволюції Всесвіту, що відповідають таким червоним зміщенням, добре розвинені спіральні галактики не повинні існувати. Але вони спостерігаються і їхні кутові діаметри в десять і більше разів менше, ніж діаметри, передбачені стандартною теорією.

Для узгодження стандартної космології із спостережними даними вже давно були запропоновані ефекти, що ускладнюють цю теорію. Історично першим ефектом була інфляція – раптове збільшення розміру Всесвіту на багато порядків, яке мало статися, коли вік Всесвіту був меншим за 10^{-30} секунди. Потім потрібно ввести ефекти еволюції розмірів галактик з віком, для того, щоб пояснити розміри далеких галактик, що спостерігаються. Для пояснення останніх спостережень JWST вводяться стрибкоподібне збільшення швидкості утворення зір та галактик на різних часах, збільшення віку Всесвіту вдвічі. У деяких роботах пропонується навіть існування другого Великого Вибуху, який має взаємодіяти з першим.

Всі ці ускладнення теорії необхідні для збереження початкової гіпотези про доплерівську природу червоного зміщення ліній у спектрах віддалених об'єктів. Зазначимо, що до формул для визначення розмірів, мас та інших характеристик віддалених галактик у різних космологічних теоріях входить множник Z чи $(Z+1)$. Цей множник може перебувати в чисельнику або знаменнику формули і може бути зведений у другий, третій або четвертий



Рис. 2. Спіральна галактика з двома кільцями M94. Фотографію отримано Brian Brennan

ступінь. Тому для об'єктів, червоне зміщення яких перевищує $Z=10$, різні космологічні теорії дають передбачення, що істотно розрізняються.

Стандартна космологія є найбільш розробленою, але не єдиною теорією, що пояснює властивості Всесвіту, що спостерігається. В основі альтернативних теорій лежать інші гіпотези, що пояснюють червоне зміщення. Слід згадати гравітаційне червоне зміщення і теорію втомленого світла. Гравітаційне червоне зміщення є наслідком загальної теорії відносності Ейнштейна. Воно експериментально підтверджено в лабораторії, але для застосування цього ефекту в космології необхідна інформація про точний розподіл маси у Всесвіті.

Теорію втомленого світла було запропоновано Цвіккі близько ста років тому. Вона передбачає, що поширення світла у просторі супроводжується поступовим зменшенням енергії фотонів та відповідним збільшенням довжини хвилі, тобто червоним зміщенням. Цей ефект аналогічний зменшенню швидкості кулі або іншого предмета, що рухається в повітрі, воді або іншому в'язкому середовищі. У лабораторних дослідженнях цей ефект поки що не виявлено, як і розширення простору, що є наслідком стандартної космології.

Як уже згадувалося, Цвіккі виявив підвищену дисперсію швидкостей галактик у скупченнях галактик, що сягає 2000 км/сек. Результати останніх досліджень скупчень галактик показують, що дисперсія швидкостей окремих галактик у скупченнях галактик може бути приблизно в десять разів більшою. Крім цього у напрямку сузір'я Великої Ведмедиці виявлено структури у розподілі галактик, розмір яких становить мільярди світлових років, що становить близько десяти відсотків розміру Всесвіту, який спостерігається.

Дослідження в гравітаційній астрономії призвели до виявлення в 2023 році гравітаційних хвиль, які в рамках стандартної космології можуть бути пояснені зіткненнями надмасивних чорних дір у центрах далеких галактик, маси яких вимірюються мільйонами і мільярдами сонячних мас.



Рис. 3. Галактика Андромеди M31 та її супутники над однією з вершин Альп. Фотографію отримано Dzimtry Kananovich

Минулого року було зафіксовано унікальну подію при спостереженнях космічних променів – частинка надвисокої енергії, яка прийшла з напрямку, на якому до відстаней у мільярди світлових років не спостерігається жодних об'єктів. Енергія цієї частинки приблизно дорівнює енергії цеглини, що падає з висоти близько одного метра. Такі енергії недоступні для наших земних прискорювачів і можуть спостерігатися тільки в космосі, що свідчить про явища, які поки що не можна уявити навіть на рівні гіпотез.

У космічних променях виявлені поодинокі атоми, заряд яких

може перебувати в інтервалі від 114 до 130. Це може бути підтвердженням існування надважких хімічних елементів, час життя яких можна порівняти з характерними часами поширення космічних променів у Галактиці – мільйони років. Такі елементи були передбачені в різних теоріях атомних ядер і отримали назву острова стабільності в періодичній системі хімічних елементів. У земних умовах відкриті поки що тільки нестабільні ізотопи цих елементів з атомними номерами до 118. Стабільні ізотопи неможливо створити методами сучасної ядерної фізики - енергія прискорювачів, що використовуються, повинна бути збільшена на кілька порядків.



Рис. 4. Пара взаємодіючих галактик Arp 142. Фотографію отримано Basudeb Chakrabarti.

Під час дослідження туманності Оріона, проведених з допомогою телескопа JWST, було виявлено багато об'єктів, маси яких відповідають масам планет, а не зір. Значна частина відкритих планет є подвійними. Утворення значної популяції планет також поки що не можна пояснити.

Таким чином сучасна спостережна астрономія дійшла деякого нового якісного рівня. Спостереження нових телескопів дозволили виявити факти, які не можуть бути інтерпретовані у межах загальноприйнятих моделей. Ці спостереження поки нечисленні, але достатні для того, щоб почати розробку нових теорій, які можуть дуже сильно змінити наші уявлення не тільки про далекий космос, а й про нашу планету, дані про внутрішню будову та еволюцію якої також повинні бути суттєво переглянуті.

Всі описані спостереження ніяк не торкаються загальної картини зоряного неба, яка практично не змінюється при спостереженнях з невеликим телескопом або біноклем. У таблиці цього розділу наводяться короткі відомості про яскраві галактики північної півкулі. У таблиці наводяться позначення галактик за каталогами NGC (New General Catalogue) та Месьє (M), скорочене позначення сузір'я (Суз.), екваторіальні координати (a_{2000} , d_{2000}), кутовий діаметр галактики в хвилинах дуги (D), видима зоряна величина (m), відстань у мільйонах світлових років (R) та морфологічний тип. Літери S, E, I з різними індексами відповідають спіральним (S, spiral), еліптичним (E, elliptical), і неправильним (I, irregular) галактикам. Приклади деяких спіральних галактик наведені на рисунках 1-4.