

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВОЛИНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

Кафедра теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського

На правах рукопису

**ПАНАЩУК БОГДАН МИКОЛАЙОВИЧ
ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГАЛАКТИК ЗА ОБЕРТАННЯМ**

Спеціальність: 104 «Фізика та астрономія»

Освітня програма: Фізика та астрономія

Робота на здобуття освітнього ступеня магістра

Науковий керівник:

ШИГОРІН ПАВЛО ПАВЛОВИЧ

Кандидат фізико-математичних наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ЗАХИСТУ

Протокол No _____

засідання кафедри теоретичної та комп'ютерної
фізики ім. А. В. Свідзинського

від _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

_____ Сахнюк В. Є.

ЛУЦЬК — 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1: ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ КОСМОЛОГІЇ. МОДЕЛЬ LAMBDA-CDM ТА ЇЇ КРИТИКА. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЧОРНІ ДІРИ .	5
1.1. Вступ до космології та основні теорії. Модель Lambda-CDM.....	5
1.2. Критика моделі Lambda-CDM. Модель круглого Всесвіту та її співвідношення з даними супутника Planck.....	9
1.3. Загальні відомості про чорні діри. Рішення для чорних дір. Термодинаміка чорних дір	10
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРО МОЖЛИВУ АСИМЕТРІЮ У РОЗПОДІЛІ ГАЛАКТИК ЗА ОБЕРТАННЯМ	17
2.1. Історія розвитку космічних телескопів. Космічний телескоп «Джеймс Вебб»	17
2.2. Методи визначення напрямку обертання галактик	19
2.3. Питання можливої асиметрії у розподілі обертання галактик.....	24
2.4. Критика гіпотези можливої асиметрії у розподілі обертання галактик	28
2.5. Проблеми методів, систематики та спотворень.....	31
РОЗДІЛ 3: ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГАЛАКТИК ЗА ОБЕРТАННЯМ....	35
3.1. Теоретичний огляд новітніх досліджень	35
3.2. Аналіз зображень галактик, отриманих JSWT.....	39
3.3. Аналіз гіпотез, які пояснюють причини асиметрії	46
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51

ВСТУП

Космологія є однією з найважливіших і найскладніших наукових галузей, яка намагається зрозуміти походження, структуру та еволюцію Всесвіту. Протягом останніх десятиліть значно змінилося наше розуміння космічних об'єктів та процесів, однак існує ще багато невирішених питань, зокрема в контексті сучасних космологічних моделей.

Стандартна модель Λ -CDM, яка описує еволюцію Всесвіту, залишається дуже потужним інструментом, але вона інколи стикається з критикою через заяви про численні аномалії, що виникають при аналізі спостережуваних даних. Однією з таких заяв є заява про асиметрію у розподілі галактик за обертанням, що була виявлена при дослідженні знімків галактик, отриманих за допомогою космічного телескопа «Джеймс Вебб» (JWST). Ці дослідження показують, що більшість галактик обертаються в одному напрямку, що ставить під сумнів традиційні уявлення про структуру Всесвіту.

Такі заяви дуже важливі для аналізу, так як вони можуть привести до повного перегляду стандартної космологічної моделі, тому їх потрібно досконало дослідити на правдивість чи хибність. В цілому, аналіз таких гіпотез може розширити знання про космологію. Наприклад, якщо ця гіпотеза про асиметрію є правдивою, тоді вона відкриє шлях до новіших гіпотез, наприклад, до гіпотези про те, що асиметрія викликана впливом деякого масивного гравітаційного об'єкта, а в свою чергу ця гіпотеза — до гіпотези про Всесвіт як ділянку простір-часу всередині чорної дірки і, остаточно, до гіпотези про існування мультивсесвіту. Якщо ж гіпотеза виявиться хибною, це тільки підтвердить правильність стандартної моделі.

Мета і завдання дослідження

Метою даної магістерської роботи є аналіз нових досліджень щодо розподілу галактик за обертанням, а конкретно — аналіз виявленої асиметрії та її вплив на космологічні теорії.

Першим завданням є огляд сучасних космологічних моделей та їх критика. До цього належить аналіз сучасної космології та її основних моделей, таких як Lambda-CDM, з особливим акцентом на аномалії, що виникають при аналізі спостережуваних даних, а також аналіз основних теорії та рішень щодо чорних дір.

Другим завданням є оцінка результатів дослідження розподілу галактик за обертанням на основі знімків телескопу Вебб, зокрема, заявлену під час цих досліджень асиметрію у розподілі, де більшість галактик обертаються в одному напрямку, та усний аналіз усіх можливих аргументів та контраргументів. Також це завдання включатиме аналіз усіх методів дослідження галактик та обробки зображень, отриманих з телескопу.

Третім завданням є спробою перевірити на правдивість аргументи як противників існування асиметрії у розподілі, так і її апологетів, використовуючи математичні методи та безпосереднє дослідження знімків з телескопу «Джеймс Вебб».

Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є розподіл галактик за обертанням на основі знімків з телескопу «Джеймс Вебб».

Предметом дослідження теоретичний аналіз гіпотези про асиметрію у розподілі галактик за обертанням, а також підтвердження або критика основної моделі Lambda-CDM.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було розв'язати такі завдання:

- проаналізувати космологічну Lambda-CDM;
- проаналізувати методи визначення напрямку обертання галактик;
- дослідити зображення галактик, отриманих JSWT;
- проаналізувати асиметрію у розподілі галактик за обертанням.

РОЗДІЛ 1: ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ КОСМОЛОГІЇ. МОДЕЛЬ LAMBDA-CDM ТА ЇЇ КРИТИКА. ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЧОРНІ ДІРИ

1.1. Вступ до космології та основні теорії. Модель Lambda-CDM

Космологія — це наука, яка вивчає Всесвіт, його походження, еволюцію, структуру та кінцеву долю. Впродовж століть люди намагалися знайти відповіді на основні питання щодо Всесвіту, і сьогодні космологія є однією з найважливіших галузей науки. Розвиток астрономії, фізики та теоретичних досліджень дозволив створити перші науково обґрунтовані моделі космосу, і з початку XX століття було сформульовано кілька основних теорій, що дозволяють пояснити його будову та розвиток. Однією з найбільш визнаних та широко застосовуваних теорій є модель розширюваного Всесвіту, яка ґрунтується на рівняннях загальної теорії відносності Альберта Айнштейна. В рамках цієї теорії Всесвіт постійно розширюється з моменту Великого вибуху, що стало основою для сучасного розуміння космології. Проте, незважаючи на численні успіхи цієї теорії, існують питання та аномалії, які не можна пояснити в межах стандартної космологічної моделі.

Основною космологічною та найбільш розповсюдженою моделлю. Модель Lambda-CDM (Λ CDM) є сучасною стандартною космологічною моделлю, яка найповніше описує великомасштабну структуру та еволюцію Всесвіту. Вона ґрунтується на загальній теорії відносності (ЗТВ) та передбачає, що простір-час однорідний і ізотропний у великих масштабах. Основними складовими цієї моделі є три компоненти: темна енергія, темна матерія та звичайної речовини, яку ще називають баріонною матерією, «в честь» баріонів — категорії частинок, з якої складається матерія: нуклонів (протонів, нейтронів), атомів, молекул.

Λ (лямбда) — темна енергія, яка є відповідальною за прискорене розширення Всесвіту. Згідно моделі, Всесвіт складається на 68% з темної

енергії. Звісно, вона є гіпотетичною, але, не дивлячись на це, вона чудово описує явища, пов'язані з постійним розширенням всесвіту.

CDM (cold dark matter, холодна темна матерія або просто темна матерія) — невидима матерія, яка взаємодіє з «нормальною» матерією через гравітаційні сили, але не бере участі у електромагнітній взаємодії, тобто не випромінює світло чи іншу електромагнітну радіацію. Згідно моделі, Всесвіт складається на 27% з темної матерії. Як і темна енергія, є гіпотетичною.

«Звичайну» речовину називають баріонною матерією. Згідно моделі, Всесвіт складається на 5% з баріонної матерії.

Початковою точкою Λ CDM є метрика, що описує однорідний і ізотропний Всесвіт:

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + a(t)^2 \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right]$$

де ds^2 — квадрат елемента простору-часу (геометрія Всесвіту). t — космічний час, r, θ, ϕ — просторові координати (в системі сферичних координат), $a(t)$ — масштабний фактор, який показує, як змінюються відстані між об'єктами з часом, k — параметр кривини простору ($k = +1$ — замкнутий Всесвіт (гіперсфера), $k = 0$ — плоский Всесвіт, $k = -1$ — відкритий (гіперболічний) Всесвіт).

Ця метрика — фундамент Lambda-CDM, бо на її основі отримують рівняння Фрідмана, що описують динаміку розширення Всесвіту.

Загальна теорія відносності описує гравітацію як геометричну властивість простору-часу, і формально це виражається рівнянням Айнштейна:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

де $G_{\mu\nu}$ — тензор Айнштейна, що описує кривину простору-часу, Λ — космологічна стала, $g_{\mu\nu}$ — метричний тензор, $T_{\mu\nu}$ — енергетно-імпульсний тензор матерії, G — гравітаційна стала, c — швидкість світла.

Ліва частина рівняння описує геометрію (структуру простору-часу), а права — його матеріальний вміст (енергію та тиск). Λ — це «енергія вакууму», яка створює антигравітаційний ефект, що прискорює розширення.

Якщо підставити так званий всесвіт Фрідмана (метрику FLRW) у рівняння Айнштейна, отримаємо рівняння Фрідмана, які описують, як змінюється масштабний фактор $a(t)$.

Перше рівняння Фрідмана:

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{kc^2}{a^2} + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

де $\dot{a}$ — похідна масштабного фактора за часом (швидкість розширення), ρ — густина енергії Всесвіту.

Це рівняння визначає швидкість розширення Всесвіту (через параметр Габбла $H = \frac{\dot{a}}{a}$) залежно від його густини, кривини та космологічної сталої.

Друге рівняння Фрідмана:

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) + \frac{\Lambda c^2}{3}$$

де $\ddot{a}$ — прискорення або уповільнення розширення, p — тиск речовини/енергії.

Це рівняння показує, чи розширення Всесвіту прискорюється чи сповільнюється. Якщо Λ домінує — розширення прискорене (як зараз). Якщо матерія (ρ) домінує — розширення сповільнюється через гравітацію.

Для зручності вводять безрозмірні параметри густини, що описують внесок кожного компоненту енергії:

$$\Omega_m = \frac{8\pi G\rho_m}{3H_0^2}$$

$$\Omega_\Lambda = \frac{\Lambda c^2}{3H_0^2}$$

$$\Omega_k = -\frac{kc^2}{a_0^2 H_0^2}$$

де H_0 — сучасне значення параметра Габбла.

Загальне співвідношення:

$$\Omega_m + \Omega_\Lambda + \Omega_k = 1$$

Якщо $\Omega_k = 0$ — Всесвіт плоский.

Якщо $\Omega_k > 0$ — відкритий.

Якщо $\Omega_k < 0$ — замкнутий.

За сучасними спостереженнями[11]: $\Omega_m \approx 0.315$, $\Omega_\Lambda \approx 0.685$, $\Omega_k \approx 0$. Тобто, наш Всесвіт плоский і в ньому темна енергія домінує.

Із рівнянь Айнштейна випливає рівняння безперервності, що описує зміну густини з часом:

$$\dot{\rho} + 3\frac{\dot{a}}{a}\left(\rho + \frac{p}{c^2}\right) = 0$$

Це — аналог закону збереження енергії у космологічному масштабі. Якщо тиск $p = 0$ (пилоподібна матерія), тоді $\rho \propto a^{-3}$. Якщо $p = \frac{1}{3}\rho c^2$ (випромінювання), тоді $\rho \propto a^{-4}$. Якщо $p = -\rho c^2$ (темна енергія), тоді $\rho = \text{const}$.

Таким чином, Lambda-CDM описує розширення Всесвіту через взаємодію трьох компонентів: матерії (ρ_m), випромінювання (ρ_r), темної енергії (ρ_Λ).

Загальний вигляд еволюції масштабу:

$$H^2(a) = H_0^2[\Omega_r a^{-4} + \Omega_m a^{-3} + \Omega_k a^{-2} + \Omega_\Lambda]$$

Ця формула дозволяє моделювати історію розширення Всесвіту від ранніх епох до сучасності.

Модель Λ -CDM на сьогодні є найуспішнішою теорією космологічної еволюції, що узгоджується з усіма основними спостереженнями — реліктовим випромінюванням, великомасштабною структурою та кривиною простору.

Однак, попри її успіх, модель не пояснює природу темної матерії та темної енергії, а також не враховує можливого глобального обертання Всесвіту.

1.2. Критика моделі Λ -CDM. Модель круглого Всесвіту та її співвідношення з даними супутника Planck

Модель Λ -CDM є основою сучасної космології, однак вона не позбавлена численних питань і суперечностей. Більше 95% маси та енергії Всесвіту складаються з темної матерії (27%) і темної енергії (68%), але ці компоненти не піддаються безпосередньому спостереженню. Існування темної матерії було припущено через її гравітаційний вплив на видиму матерію, але її природа залишається невідомою. Також у «класичній моделі» присутні проблеми з великомасштабною структурою. Традиційна модель не завжди узгоджується з деякими спостереженнями на великій відстані. Наприклад, існують аномалії у розподілі темної матерії у скупченнях галактик. Останні спостереження космічного мікрохвильового фону (дані супутника Planck) показали деякі аномалії, які не зовсім узгоджуються з моделюванням Λ -CDM, зокрема щодо великих структур та неоднорідностей у фоновому випромінюванні.

Однією з найсвіжіших критикуваних концепцій є асиметрія обертання галактик, яка була виявлена за допомогою новітніх спостережень з космічного телескопа Вебба. Ці дослідження показали, що більшість галактик обертаються в одному напрямку, що суперечить передбаченням Λ -CDM. Дослідження космічного мікрохвильового фону за допомогою супутника Planck показали, що деякі результати краще узгоджуються з моделлю круглого Всесвіту, а не з розширювальним моделям Λ -CDM. Виявлено аномальні флуктуації, що можуть вказувати на наявність великих структур, які важко пояснити в межах стандартної моделі. Ідея круглого Всесвіту може бути пов'язана з концепцією

чорних дір, які мають сильне гравітаційне поле, здатне викривляти простір-час. Це підвищує ймовірність того, що наш Всесвіт можемо бути в межах величезної чорної діри, що породжує цікаву гіпотезу про можливість мультивсесвіту, де наш Всесвіт є частиною більшого, прихованого за межами видимого простору.

В цілому, модель Lambda-CDM є достатньо розвинутою теорією, що пояснює еволюцію Всесвіту, однак вона не позбавлена численних проблем і суперечностей, зокрема у контексті темної матерії, темної енергії та аномалій, виявлених в космічному мікрохвильовому фоні. Останні дослідження, зокрема аналіз обертання галактик, вказують на можливість переосмислення класичних космологічних моделей. Проблеми з узгодженням сучасної космології з новими даними відкривають нові напрямки для досліджень, зокрема для гіпотези про Всесвіт як частину чорної діри, що може стати основою для розвитку нової космологічної парадигми.

1.3. Загальні відомості про чорні діри. Рішення для чорних дір. Термодинаміка чорних дір

Чорна діра — це область простору-часу, з якої ніщо, навіть світло, не може вийти назовні через надзвичайно сильне гравітаційне поле. Вона описується рішеннями рівнянь Айнштейна для масивних тіл при певних симетріях. Формально чорна діра визначається через існування горизонту подій — поверхні, що розділяє область, звідки світло ще може втекти, і область, де це неможливо. Усі чорні діри в загальній теорії відносності описуються лише чотирма параметрами (т. зв. «безволосість» чорних дір): масою M , електричним зарядом Q , кутовим моментом (спіном) J , космологічною сталою (у деяких узагальненнях) Λ .

Важливими поняттями та характеристиками для опису чорних дірок є горизонт подій, радіус Шварцшильда та сингулярність.

Горизонт подій — це ділянка навколо небесного тіла, за яку будь-яка інформація не зможе вийти через вплив гравітаційного притягання цього небесного тіла.

Пов'язаним з поняттям горизонту подій є радіус Шварцшильда — це такий радіус сфери навколо центра небесного тіла, всередині якого друга космічна швидкість дорівнює швидкості світла. Іншими словами, всередині нього і знаходиться горизонт подій. Описується формулою:

$$r_s = \frac{2GM}{c^2}$$

де G — гравітаційна стала, M — маса небесного тіла, c^2 — квадрата швидкості світла.

Усе, що знаходиться всередині $r < r_s$, не може покинути чорну діру. Як видно, ця формула дуже пов'язана з ньютонівським законом всесвітнього тяжіння.

Сингулярність — це точка або підмножина точок чорної діри, де, згідно класичній загальній теорії відносності, густина матерії та кривизна простору-часу стають нескінченними.

Рівняння загальної теорії відносності має вигляд:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

У вакуумі (поза тілом, тобто $T_{\mu\nu} = 0$):

$$G_{\mu\nu} = -\Lambda g_{\mu\nu}$$

Для чорних дір ми зазвичай розглядаємо випадок $\Lambda = 0$ (локальний простір-час), і тоді отримуємо різні рішення цього рівняння залежно від параметрів M, Q, J .

За зарядом Q , чорні діри поділяються на заряджені та незаряджені, а за кутовим моментом J – обертові та необертові.

Для кожного окремого випадку є свої власні рішення (метрики) рівняння Айнштейна. Ці метрики потрібні для того, щоб описати дію гравітаційного впливу чорної діри всередині шварцшильдського радіусу, те, як вона викривляє в тій ділянці простір та час. Метрики описують це теоретично, так як через існування горизонту подій іншими методами це зробити неможливо.

Метрика Шварцшильда описує необоротні та незаряджені чорні діри. Ця метрика є найпростішим з рішень рівнянь Айнштейна для чорних дір:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r}\right)^{-1} dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

де M — маса чорної діри, r — радіальна координата, t — час спостерігача на нескінченності.

Необертові заряджені чорні діри описує метрика Рейсснера–Нордстрьома. Вона являє собою розв’язок рівнянь Айнштейна–Максвелла з урахуванням електромагнітного поля:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} + \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4 r^2}\right) c^2 dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{c^2 r} + \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4 r^2}\right)^{-1} dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2)$$

де Q — електричний заряд чорної діри.

Рівняння горизонту подій для заряджених чорних дір:

$$r_{\pm} = \frac{GM}{c^2} \pm \sqrt{\left(\frac{GM}{c^2}\right)^2 - \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4}}$$

Якщо дискримінант позитивний — горизонти (зовнішній і внутрішній).

Якщо нуль — екстремальна чорна діра (один горизонт).

Якщо від’ємний — немає горизонту («голе» сингулярне рішення, фізично неприйнятне).

Обертові чорні діри описує метрика Керра (1963). Вона описує чорну діру, що має масу M та кутовий момент J .

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GMr}{\Sigma c^2}\right) c^2 dt^2 - \frac{4GMarsin^2\theta}{\Sigma c^2} c dt d\phi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{2GMa^2rsin^2\theta}{\Sigma c^2}\right) sin^2\theta d\phi^2$$

$$\text{де } \Sigma = r^2 + a^2 \cos^2\theta, \Delta = r^2 - \frac{2GMr}{c^2} + a^2, a = \frac{J}{Mc}.$$

Горизонти подій:

$$r_{\pm} = \frac{GM}{c^2} \pm \sqrt{\left(\frac{GM}{c^2}\right)^2 - a^2}$$

Важливою зоною є так звана ергосфера. Між поверхнею $r = r_{plus}$ і статичною межею:

$$r_E = \frac{GM}{c^2} + \sqrt{\left(\frac{GM}{c^2}\right)^2 - a^2 \cos^2\theta}$$

У цій зоні простір-час настільки «закручений», що всі частинки змушені обертатися в напрямку спіну чорної діри — ефект фрейм-дрегінгу (frame dragging). Важливість цього ефекту в тому, що він дозволяє існування внутрішньої області з «інверсією часу». Саме це може бути ключовим для гіпотези, що внутрішній простір чорної діри може розширюватися, подібно до Всесвіту.

Метрика Керра-Ньюмана описує одночасно обертові і заряджені чорні діри. Найзагальніше стаціонарне рішення у ЗТВ для чорної діри з масою, зарядом і спіном:

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2GMr - \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4}}{\Sigma c^2} \right) c^2 dt^2 - \frac{4GMarsin^2\theta}{\Sigma c^2} c dt d\phi + \frac{\Sigma}{\Delta} dr^2 + \Sigma d\theta^2 + \left(r^2 + a^2 + \frac{\left(2GMr - \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4} \right) a^2 \sin^2\theta}{\Sigma c^2} \right) \sin^2\theta d\phi^2$$

$$\text{де } \Delta = r^2 - \frac{2GMr}{c^2} + a^2 + \frac{GQ^2}{4\pi\epsilon_0 c^4}.$$

На даний момент це рішення є найбільш досконалим з усіх рішень. Воно об'єднує всі попередні як окремі випадки. Тобто, при $a = 0$, $Q = 0$ метрика Керра-Ньюмана перетворюється у метрику Шварцшильда, при $a = 0$ — у метрику Рейсснера-Нордстрьома, а при $Q = 0$ — у метрику Керра.

Різні види чорних дір можна порівняти у наступній таблиці.

Тип чорної діри	Заряд Q	Спін J	Горизонти
Шварцшильда	0	0	1
Рейсснера-Нордстрьома	Не дорівнює 0	0	1 або 2
Керра	0	Не дорівнює 0	1 або 2
Керра-Ньюмана	Не дорівнює 0	Не дорівнює 0	1 або 2
Екстремальна	Не дорівнює 0	Не дорівнює 0	1

Разом з просторовими та гравітаційними характеристиками, чорні діри, як і будь-яке інше масивне тіло, мають термодинамічні властивості. Двома

важливими величинами, що описують термодинамічні властивості чорних дірок, є температура випромінювання Гокінга та ентропія чорної діри.

Чорні діри випромінюють гіпотетичне теплове випромінювання (випромінювання Гокінга), і поступово випаровуються. Температура цього випромінювання описується такою формулою:

$$T_H = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k_B}$$

де $\hbar$ — стала Дірака, c — швидкість світла, k_B — стала Больцмана, G — гравітаційна стала, M — маса чорної дірки.

Ентропія чорної діри (Бекенштейн–Гокінг) описується такою формулою:

$$S = \frac{k_B c^3 A}{4G\hbar}$$

де $A = 4\pi r_s^2$ — площа горизонту подій.

Важливість цих рівнянь у тому, що вони поєднують гравітацію, квантову фізику та термодинаміку — ключ до так званої «теорії всього».

Існує цікава аналогія між внутрішньою областю чорної діри (за горизонтом подій) та Всесвітом, що розширюється. У метриці Керра, при певних координатних перетвореннях, внутрішній простір поводить себе подібно до метрики FLRW (Фрідмана — Леметра — Робертсона — Вокера) — зростаючий масштабний фактор, подібний до космічного розширення. Якщо гіпотетично уявити, що чорні діри можуть «приховувати» своїм гравітаційним притяганням за горизонтом подій ділянку простору-часу, що розширюється, та матерію в ній, тобто, цілі «підвсесвіти», то наш Всесвіт може бути такою величезною ділянкою простору-часу всередині однієї такої обертової чорної діри. Таким чином, множинність чорних дір може відповідати множинності «локальних всесвітів» — мультивсесвітній моделі.

Отже, чорні діри — фундаментальні рішення рівнянь Айнштейна, які демонструють межі фізичних законів. Їх властивості — маса, заряд, спін —

визначають геометрію простору-часу, а обертові чорні діри (типу Керра) створюють області з характерним закручуванням простору, яке потенційно може інтерпретуватися як «локальне розширення». Іншими словами, чорні діри за своїми горизонтами подій можуть «ховати» великі частини простору, що нам не помітні практичними методами. Це допущення відкриває можливість трактувати в свою чергу Всесвіт як один великий простір у полі гравітаційної взаємодії деякої чорної діри — і тим самим поєднати космологічну модель Lambda-CDM із новими геометричними уявленнями про структуру мультивсесвіту.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРО МОЖЛИВУ АСИМЕТРІЮ У РОЗПОДІЛІ ГАЛАКТИК ЗА ОБЕРТАННЯМ

2.1. Історія розвитку космічних телескопів. Космічний телескоп «Джеймс Вебб»

Упродовж більшої частини історії астрономії питання про напрямок обертання галактик залишалося переважно теоретичним і майже недоступним для практичного аналізу. Причина цього цілком очевидна: для того, щоб визначити, у який бік обертається галактика, необхідно не просто розрізнити її морфологічні елементи, а й отримати чіткі та контрастні зображення, щоб можна було впевнено простежити орієнтацію спіральних рукавів, нахил диска, структуру центральної області та інші вторинні параметри. Така вимога довгий час значно перевищувала можливості наявних інструментів.

Поява космічного телескопа «Габбл» (HST) у 1990-х роках стала першим кроком до систематичного вивчення морфології далеких галактик. Проте навіть HST мав свої обмеження: видиме та ультрафіолетове випромінювання, у якому він працює, погано проходить крізь міжгалактичний пил, а на великих червоних зсувів ($z > 1$) спостережувані структури галактик стають нечіткими, деформованими або значною мірою зливаються з фоном. Проблемою було не лише «розмиття», але й те, що на таких зображеннях важко відділити спіральні рукави від шумів, тіней та внутрішніх нерівностей яскравості. Усе це на десятиліття відсовувало можливість масового аналізу напрямів обертання на задній план.

Ситуація докорінно змінилася з запуском телескопа «Джеймс Вебб» (JWST) у 2021 році. На відміну від телескопу «Габбл» (HST), JWST працює насамперед у ближньому та середньому інфрачервоному діапазонах, що дає одразу кілька фундаментальних переваг. По-перше, інфрачервоне випромінювання краще проходить через міжзоряний та міжгалактичний пил, тому структури далеких галактик видно чіткіше. Спіральні рукави, бари та зовнішні ділянки диска стають більш виразними. По-друге, комбінація

великого дзеркала (6,5 м) та інфрачервоної чутливості дає можливість отримувати зображення, на яких навіть галактики на відстані мільярдів світлових років демонструють морфологічні деталі, недоступні жодному попередньому інструменту. По-третє, через космологічний червоний зсув світло далеких галактик зміщується в інфрачервоний діапазон, саме той, де JWST працює найкраще. Тому він фактично сприймає «оригінальне світло» цих галактик, а не лише його фрагменти. В-четверте, на відміну від наземних телескопів, JWST не зазнає впливу атмосфери: турбулентності, водяної пари, світлового забруднення. Чіткість знімків залишається стабільною.

Таким чином, лише в останні роки людство отримало можливість не просто «бачити» далекі галактики, але й вивчати їх настільки уважно, щоб визначати їхній напрямок обертання.

Ще однією причиною, чому саме зараз стало можливим це дослідження, є поява проєктів глибоких оглядів — таких як JADES (JWST Advanced Deep Extragalactic Survey), CEERS (Cosmic Evolution Early Release Science Survey), NGDEEP та інші широкі та вузькі глибинні поля JWST.

Ці програми створюють величезні каталоги, що містять сотні тисяч галактик. Серед них значну частку становлять спіральні або дископодібні системи, придатні для морфологічного аналізу. Така масовість вибірки дозволяє проводити статистичні дослідження, які раніше були неможливими: наприклад, перевіряти, чи дійсно «ліворукі» та «праворукі» галактики зустрічаються з однаковою частотою, чи ж існують відхилення, значущі на рівні великомасштабної структури Всесвіту. До появи JWST дослідники часто мали вибірки у декілька сотень галактик. Сьогодні — у десятки тисяч. Це колосальна зміна масштабу, яка відкриває шлях до статистично обґрунтованих висновків.

Окрім технічних характеристик самого телескопа, важливу роль відіграли й сучасні методи аналізу даних. За останні 5–10 років відбувся перехід від ручних класифікацій (як у Galaxy Zoo) до автоматичних алгоритмів розпізнавання форм, глибоких нейронних мереж для класифікації морфології, статистичних моделей, які дозволяють оцінювати надійність визначення

напрямку обертання. Це означає, що сьогодні вчені можуть застосувати кілька різних алгоритмів до одного й того ж набору зображень, оцінити вплив людської упередженості, перевіряти достовірність шляхом обернення (віддзеркалення) зображень, автоматично відкидати галактики, у яких нахил або структура недостатньо чіткі. Такі методи зменшують ризик систематичних помилок і дають можливість отримати більш надійні статистичні результати.

Важливо, що всі огляди JWST публікуються у відкритому доступі. Це означає, що кожен дослідник або навіть студент може отримати сирі знімки, обробити їх доступними інструментами, створити власну вибірку галактик, перевірити попередні результати. Такий рівень відкритості робить сучасні космологічні дослідження максимально прозорими та відтворюваними. Сенсаційні твердження можна перевірити незалежно, а суперечливі результати — дослідити з різних боків.

Отже, дослідження напрямів обертання галактик стало можливим завдяки поєднанню чотирьох факторів. По-перше, JWST надає зображення безпрецедентної чіткості на величезних відстанях. По-друге, глибокі огляди формують вибірки, достатні для статистики світового масштабу. По-третє, сучасна обробка даних дозволяє автоматизувати і стандартизувати класифікацію. В-четверте, відкриті архіви роблять дані доступними будь-кому для незалежного аналізу. Саме комбінація цих факторів відкрила абсолютно новий рівень у вивченні обертання галактик. І тому нині ми вперше можемо говорити про цю тему не як про теоретичний або спекулятивний аспект космології, а як про реальний об'єкт спостережень.

2.2. Методи визначення напрямку обертання галактик

Визначення напрямку обертання галактики — це один із тих аспектів сучасної астрономії, де поєднуються фундаментальні знання фізики, точні вимірювання, складні алгоритми обробки зображень і людська здатність розпізнавати закономірності на візуальних даних. На перший погляд здається, що встановити, у який бік обертається галактика, досить просто: рукави закручені в один чи інший бік — і цього має бути достатньо. Але насправді

задача набагато складніша, оскільки спостереження відбуваються з єдиної фіксованої точки — нашої планети, а галактика за сотні мільйонів світлових років може бути розташована під будь-яким можливим кутом. Більше того, сама структура галактик є складною: пилові смуги, нерівномірний розподіл яскравості, локальні збурення та взаємодії з іншими об'єктами часто спотворюють вигляд диска. Тому процедуру визначення обертання прийнято розбивати на кілька методичних етапів, кожен з яких має свої труднощі, свої критерії достовірності і свої застереження. У цьому підрозділі детально розглянуто принципи морфологічного аналізу, спектроскопічні методи, історичні підходи, сучасні алгоритми нейромережевої класифікації, типові джерела помилок та критерії надійності.

Найбільш інтуїтивний і найчастіше застосовуваний підхід ґрунтується на аналізі геометрії спіральних рукавів. Будь-який рукав спіральної галактики являє собою логарифмічну або квазі-логарифмічну криву, яка описує шлях щільніших ділянок газу та пилу, що «запізнюються» відносно обертання. Важливо розуміти, що у більшості галактик спіральні рукави відстають від напрямку обертання, тобто рукав ніби «тягнеться» назад за матерією, що рухається. Таким чином, якщо ми визначили, у який бік «вигнуті» рукави, то можемо припустити, в який бік обертається диск.

Візуально це спрощено описують двома категоріями: лівоспіральні (їх ще називають галактиками категорії S) та правоспіральні (їх ще називають галактиками категорії Z). Категорії отримали свої буквені позначення за своїми формами. У першій категорії галактика виглядає так, ніби її рукави утворюють форму літери «S». Якщо уявно продовжити вигин рукавів, він утворить ліву спіраль. Такі галактики виглядають зверху, неначе обертаються проти годинникової стрілки, проти напрямку обертання Молочного шляху. У другій категорії рукави формують структуру, схожу на літеру «Z». Їхній вигин відповідає правій спіралі, і така галактика виглядає, неначе обертається за годинниковою стрілкою, за напрямком обертання Молочного Шляху. Проте справжня ситуація складніша: ми не бачимо галактики «зверху». Ми бачимо

лише їхню проєкцію. Якщо диск нахилений під деяким кутом, рукави можуть виглядати інакше, особливо якщо в них присутні збурення або якщо на зображенні більше шумів, ніж сигналу.

Щоб правильно визначити напрям обертання, потрібно встановити, яка частина диска нахилена до нас, а яка — відвернута. Це фундаментально важливо, так як якщо цього не зробити, зображення може здаватися «зворотним». Алгоритм визначення складається з трьох основних критеріїв, як геометричний аналіз форми диска, аналіз освітленості ближнього краю та аналізу пилових смуг як індикатор передньої сторінки.

Розглянемо геометричний аналіз. Диск галактики у космосі — це площина, яка, якщо дивитися на неї під певним кутом, проєктується на двовимірний еліпс. Ступінь сплюснення еліпса визначається косинусом кута нахилу i . Якщо диск виглядає круглим, значить, кут нахилу близький до нуля — ми дивимося на нього зверху. Якщо еліпс сильно витягнутий, значить, диск повернутий майже «ребром». У другому випадку визначити напрям рукавів стає майже неможливо.

Розглянемо аналіз освітленості. Світло від ближнього краю диска проходить через меншу товщу матеріалу, ніж від дальнього. Це означає, що ближній край зазвичай виглядає яскравішим, має більший контраст, пилові смуги на ближньому краї можуть накладатися на дальній диск, що створює характерний силует. Цей критерій широко застосовується для галактик типу Андромеди.

Тепер розглянемо аналіз пилових смуг. Пилові смуги найкраще видно саме з боку, який ближче до спостерігача, оскільки темний пил перекриває світло частини диска за ним. На дальньому краю цього ефекту немає: пил просто знаходиться за більшою частиною зірок і менш помітний.

Більш сучасним та найбільш надійним є методи спектроскопії, як, наприклад, доплерівське картування. Якщо можливо отримати спектр світла з різних частин диска галактики (зазвичай за допомогою інтегральних польових спектрографів), то можна виміряти, чи віддаляється галактика або її частина, чи

ні. Якщо від частини галактики світло «синіє», то вона наближається до спостерігача, так як хвилі світла накладаються на спостерігача, а частота хвиль — збільшується, тому і з'являються кольори «синьої» частини спектру. Якщо від частини галактики світло «червоніє», то вона віддаляється від спостерігача, так як хвилі світла менше «накладаються» на спостерігача, а частота хвиль — зменшується, натомість збільшується довжина хвиль, тому і з'являються кольори «червоної» частини спектру. Так отримують карту лінійних швидкостей, яка виглядає як кольорова діаграма з синьою і червоною областями. Об'єднавши цю карту з геометрією рукавів, можна точно визначити напрям обертання. Проте щодо доплерівського методу є нюанси. По-перше, для далеких галактик спектри дуже слабкі. По-друге, часто спостерігаються не зірки, а лінії іонізованого газу (H α , OIII, CO тощо). По-третє, у деяких галактик газ і зірки можуть мати різні структури руху, що ускладнює інтерпретацію. Все це робить доплерівські методи дуже точними, але не завжди доступними.

В цілому, до появи автоматизованих методів визначення напряму обертання проводилося вручну. Дослідники розглядали високоякісні знімки найближчих галактик, позначали форму рукавів, оцінювали нахил диска по геометрії, порівнювали з відомими моделями обертання. Цей метод використовувався ще в середині XX століття та застосовувався для сотень галактик. Але він має головний недолік — людські упередження. Було помічено, що люди інколи частіше класифікують галактики як S-wise, ніж Z-wise, навіть якщо зображення випадково перевернути. Це призвело до висновку про необхідність автоматизованих підходів.

У XXI столітті виникла потреба обробляти сотні тисяч галактик. Це призвело до розробки цифрових алгоритмів з використанням комп'ютерних програм. Більш сучасними алгоритмами є використання нейронних мереж. Класичні алгоритми комп'ютерного «зору» працюють за принципами виділення контурів, аналізу кривизни, визначення напрямку градієнтів яскравості, побудови логарифмічних спіралей та оцінки «рухливості» рукавів.

Сучасні дослідження активно використовують нейромережі (CNN). Переваги нейромереж в тому, що вони навчаються на великих наборах галактик із відомим напрямом обертання, здатні розпізнавати рукави навіть на дуже нечітких знімках тим, що вміють їх «домальовувати» та збільшувати їх розширення, можуть відфільтровувати об'єкти з непевною морфологією та забезпечують високу стабільність класифікації.

Також використовується метод віддзеркалення зображень галактики. Суть його в тому, що для уникнення упередженості одне й те ж зображення подають алгоритму двічі. Спочатку в оригінальному вигляді, потім у дзеркальному відображенні. Правильний алгоритм повинен давати протилежні результати. Якщо він не реагує на віддзеркалення, то у ньому є вроджена систематична похибка.

Однак, в деяких випадках визначити напрямок обертання не можуть навіть найбільш сучасні методи. Наприклад, коли кут нахилу галактики дорівнює 90 градусів (або, як говорять, галактика «ребром»), то рукавів помітити неможливо, тому напрям обертання невизначений. У випадку симетричних галактик рукави настільки слабкі й симетричні, що напрям обертання неможливо визначити навіть нейромережами. Якщо галактики в стані взаємодії та зіткнення, а їх приливні сили сильно спотворюють морфологію, то це робить визначення початкового напрямку обертання неможливим. Також не слід забувати про банальну погану якість зображень, які можуть бути наслідком шуму, космічних променів, накладання зірок нашої галактики тощо.

В цілому, узагальнений алгоритм визначення напрямку обертання галактик включає у себе декілька кроків. Першим кроком є отримання зображення галактики достатньої чіткості. Другим кроком є визначення нахилу диска. Третім кроком встановлення ближнього та дальнього країв. Четвертим кроком є аналіз спіральних рукавів для класифікації категорії (S або Z). П'ятим кроком є використання методів спектроскопії, якщо це наявно або доречно. Шостим кроком є застосування автоматичних алгоритмів. Сьомим кроком є

перевірка з використанням віддзеркалення зображень галактики. Восьмим кроком є остаточне присвоєння галактиці напрямку обертання. Фінальним кроком є внесення цієї галактики до каталогу.

З точки зору динаміки, напрямок обертання галактики визначається моментом імпульсу первинної хмари, з якої вона сформувалася. Флуктуації густини у ранньому Всесвіті набували невеликого крутного моменту через приливні сили сусідніх структур. Матерія стискала, конденсувалася у диск і починала обертатися. Тому будь-яка галактика повинна мати власний напрям обертання, власну величину кутової швидкості та спіральні рукави, що відстають. Саме ці фактори дозволяють визначати напрям обертання навіть через мільярди років після формування галактики.

2.3. Питання можливої асиметрії у розподілі обертання галактик

У 2024 році, космічний телескоп Джеймс Вебб (JWST) здобув знімки галактик нашого Всесвіту дуже високої якості. Під час їх аналізу була досліджена деяка аномалія. Суть цієї аномалії у тому, що більшість спіральних галактик обертаються в одному напрямку, причому протилежному напрямку обертання Молочного Шляху. Разом з цим, наземні телескопи також помітили, що таких галактик, які обертаються в протилежному Молочному Шляху напрямку, навіть більше за кількість галактик, яка була досліджена на телескопі Джеймс Вебб. Результати цього спостереження йдуть у супереч з основною космологічною моделлю, згідно якої напрямок обертання галактик повинен бути випадковим. Все це викликало серйозні дискусії у науковому суспільстві.

Повстає питання: яка причина цього феномену? Враховуючи, що обертання галактик задається на початку її існування, та те, що, згідно цих досліджень, обертання галактик не є випадковим, щось повинно «направляти» ці галактики рухатися в протилежну напрямку Молочного Шляху сторону. Звісно, більшість аномалій можна пояснити впливом деяких початкових умов під час формування цих галактик, але також деякі аномалії можуть пояснити і гіпотетичні фактори, як, наприклад, вплив якогось надмасивного тіла.

В цілому, питання існування глобальної асиметрії у напрямках обертання галактик є одним з найбільш дискусійних у сучасній космології. Не дивлячись на те, що класична модель Всесвіту Λ -CDM передбачає статистичну ізотропію, тобто відсутність однакових напрямків у великомасштабній структурі, періодично з'являються роботи, автори яких стверджують про виявлені відхилення від цієї симетрії. Зокрема, аналіз високоточних знімків, отриманих телескопом «Джеймс Вебб» у 2024 році, був інтерпретований деякими дослідницькими групами як свідчення того, що значна частина спіральних галактик демонструє переважно один і той самий напрям обертання.

Ідея про можливу «однонаправленість» обертання галактик не є новою. Ще з середини XX століття окремі астрономи звертали увагу на, здавалося б, нерівномірний розподіл S- та Z-орієнтацій у деяких локальних вибірках. Однак наявні дані були надто обмеженими, а похибки — великими, щоб робити якісь висновки. Ситуація змінилася з появою більш сучасних технологій, таких як Sloan Digital Sky Survey (SDSS), Pan-STARRS, DECaLS, а пізніше — із запуском телескопа «Джеймс Вебб», за допомогою якого було отримано зображення далеких спіральних галактик, які за якістю були кращі за будь-які попередні. Фактично, саме завдяки JWST було отримано великі вибірки галактик з високою деталізацією спіральних рукавів і візуальною інформацією, достатньою для визначення напрямку обертання. Також були широко використовувані нейромережі.

У 2024 році низка заяв викликала широкий резонанс, оскільки вони стверджували, що спостережувана частина всесвіту демонструє значне відхилення від випадкового розподілу. Аналіз десятків тисяч галактик показав, що існує тенденція до переважно одного напрямку їх обертання, причому цей напрямок протилежний напрямку обертання Молочного Шляху. Ці твердження теоретично виглядають радикальними, оскільки порушують фундаментальну космологічну теорію про те, що всі напрямки обертання рівноправні і одна не перевищує за кількістю іншу.

В основному, захисники гіпотези асиметрії у розподілі обертання галактик як джерело для своїх досліджень використовували знімки з телескопу «Джеймс Вебб» (JWST), зроблених у рамках програм CEERS та Ultra-Deep Cosmic Origins. При цьому, вибірка включала підібрані галактики із червоними зсувами у межі $0.5 < z < 3$, високоякісні зображення з роздільною здатністю $0.03\text{--}0.06''$ та детальні структури рукавів, в тому числі дуже далеких галактик. Для перевірки стабільності класифікації застосовувалися комбіновані знімки JWST + HST, оскільки дані Hubble мали ширший діапазон хвиль, не дивлячись на нижчу роздільність. Разом з цим, як контрольна використовувалася вибірка ближчих галактик з зсувом $z < 0.1$, щоб перевірити, чи зберігається асиметрія на менших масштабах. Загально, розмір вибірки у деяких роботах перевищував 70 тисяч об'єктів.

Апологети асиметрії для доказу своєї гіпотези спочатку вручну аналізували отримані знімки, визначаючи категорію (лівосторонні або правосторонні) галактик. Після цього, використовувалися нейромережі (CNN), навчені на локальних галактиках із відомим напрямом обертання, а точність перевіряли відзеркаленням. Також, за допомогою автоматичних геометричних алгоритмів визначалися кут нахилу галактик, проєкції еліпса їх форми, локальні градієнти яскравості та симетрія рукавів. Однак, саме ця методика зазнала найбільшої критики за потенційні помилки.

Згідно основній космологічній моделі, у великій виборці лівосторонніх та правосторонніх галактик повинно бути порівну згідно аксіомі про ізометрію простору. Але апологети асиметрії відсилали на свої результати, згідно яким кількість галактик, що обертаються проти напрямку обертання молочного шляху, — навколо 62%, а тих, що обертаються у напрямку — навколо 38%.

Як було сказано раніше, ці заяви викликали широкий резонанс. Головною причиною цього було те, що потенційних систематичних ефектів дуже багато. Наприклад, було виявлено, що вчені за якихось причин схильні частіше вибирати S-орієнтацію. У різних експериментах це упередження становить 2–8%. Також при низькій якості зображення рукави частіше інтерпретуються як

ті, що рухаються проти часової стрілки (проти напрямку Молочного Шляху), а у деяких дослідженнях зображення не були віддзеркалені, не перевірені або не описані, що робить результати потенційно ненадійними. Разом з цим, при нахилі 45–70 градусів рукави деформуються, що іноді створює ілюзію зміни типу обертання. Також виникає питання щодо самої вибірки. Звісно, телескоп «Джеймс Вебб» фокусується на галактиках із добре видимими рукавами, а це не репрезентативний вибір.

Однак, гіпотези про асиметрію викликали дуже велику критику зі сторони дослідників, що очікувано, так як ця гіпотеза йде всупереч основній теорії основної космологічної моделі Всесвіту (Λ -CDM) про ізотропію. Але були і інші контраргументи. Наприклад, були докори на рахунок того, що не всі незалежні групи відтворили подібні результати, що говорить про суб'єктивність досліджень. Не спостерігалась аналогічна асиметрія при дослідженні зображень, отриманих за допомогою інших телескопів, як SDSS або CFHTLS. Апологети асиметрії остаточно не змогли описати причину або щось, що направляє ці галактики в один напрямок, що може говорити просто про можливі похибки або неправильні кути нахилу. Так чи інакше, жоден із ключових міжнародних центрів космології не підтвердив ефект незалежними спостереженнями.

Отже, резюмуючи, заяви про асиметрію в обертаннях галактик залишаються спірними. Існують дослідження, які стверджують про виявлення суттєвої різниці між кількістю напрямків обертання галактик, але всі ці дослідження мають вагомі потенційні систематичні похибки. Разом з цим, ефект не підтверджений незалежно, а основна космологічна модель Λ -CDM не передбачає такої асиметрії. Будь-яка «перевага» у направленості порушувала б космологічний принцип. Саме тому ці заяви залишаються ще однією науковою гіпотезою, що потребує подальшої перевірки.

2.4. Критика гіпотези можливої асиметрії у розподілі обертання галактик

Попри резонансні заяви окремих дослідницьких груп щодо можливого переважання одного напрямку обертання галактик у масштабах спостережуваного Всесвіту, наукова спільнота зустріла такі твердження зі значним скепсисом. Причини цього скепсису є як методологічними, так і фундаментально-фізичними. Одним із базових постулатів сучасної космології є принцип ізотропії: на великих масштабах Всесвіт не має привілейованих напрямів. Цей принцип лежить в основі стандартної космологічної моделі Lambda-CDM, опису раннього всесвіту, розв'язків рівнянь Фрідмана, аналізу космічного мікрохвильового фону та великої кількості інших постулатів космології, які широко використовуються у дослідженнях. Якби виявилось, що галактики мають глобально узгоджений напрям обертання, то це потребувало б повного перегляду фундаментальних космологічних постулатів та відмови або переробки принципів ізотропності та однорідності простору. Іншими словами, повністю перероблювати космологію. Тому, такі гіпотези повинні мати найміцніші докази, відтворення однакових результатів більшою кількістю незалежних науково-дослідницьких груп та детального аналізу систематичних помилок. Тому очікувано, що будь-які гіпотези, що можуть «вдарити» по фундаментальних значеннях космологію, зазнають сильного скепсису та прискіпливого аналізу. І такою гіпотезою є асиметрія у розподілі галактик за обертанням.

Першою причиною критики гіпотези є спірна вибірка галактик. В першу чергу це стосується знімків, отриманих за допомогою «Джеймс Вебб». Звичайно, знімки JWST надзвичайно чіткі, але: охоплюють дуже маленькі ділянки неба, містять нерівномірний набір галактик, включають лише ті об'єкти, що потрапили в рамки певних програм (CEERS, COSMOS-Web, Ultra-Deep Fields), мають нерівномірну глибину та спектральне покриття. Це означає, що вибірка містить певний відбір об'єктів за яскравістю, розміром, будовою та напрямком обертання. Як наслідок, будь-який статистичний висновок на основі JWST не може вважатися репрезентативним без порівняння з іншими. Разом з

цим, у багатьох роботах від вибірки не враховуються «складні» випадки як галактики з нахилом більше 70 градусів, галактики зі «нечіткими» рукавами, галактики з нерегулярною структурою, галактики у процесі зіткнення тощо. Це, безумовно, створює сильне упередження на користь галактик із чіткими рукавами. Але галактики з чіткими рукавами не є типовими для всесвіту — вони специфічні. В кінці кінців, різні частини неба мають різні умови спостереження, а JWST взагалі не може спостерігати всю небесну сферу через обмеження орбіти та теплозахисного екрана. Тобто, телескоп має значні технічні обмеження.

Другою причиною є сумнівні методи визначення напрямку обертання галактик. Причому, критики зазначали як комп'ютерні методи, так і людський фактор. Наприклад, дослідження показали, що нейромережі (CNN) можуть демонструвати упередження на рівні кількох відсотків, а алгоритми схильні віддавати перевагу тій схемі, яка краще представлена у тренувальній вибірці. Тобто, комп'ютері методи можуть аналізувати данні тільки на основі вже існуючих, а не створювати нові. Тому, вони не можуть остаточно щось стверджувати. Навіть метод віддзеркалення може бути хибним, якщо нейромережа запам'ятала фонові структури зображень. Як результат, може штучно формуватися асиметрія, яка не має фізичної природи, як помилка генерації. Людський фактор також має вплив на дослідження. Люди мають природну схильність краще розпізнавати структури певного типу. Зокрема галактики, що рухаються проти напрямку обертання Молочного Шляху (так звані галактики «S-категорії») здаються більш «природними» очам. Рукави з S-подібною формою легше виявити на нечітких знімках, а при швидкій класифікації мозок іноді автоматично «підкручує» напрямок. Цей ефект підтверджено численними експериментами з віддзеркаленням зображень галактик. Також не слід забувати про різного виду дефекти, що з'являються під космічним впливом. Дрібні світлі плями, штучні артефакти, пилові смуги в нашій Галактиці можуть інколи створювати враження вигину рукавів, якого

насправді немає. У далеких галактик рукави часто погано розпізнаються, а саме ці галактики є чисельно домінантними у JWST-вибірках.

Критики гіпотези асиметрії зазначають, що так звана «асиметрія» могла з'явитися як ілюзія у результаті різного виду ефектів. Одним з таких ефектів є так званий «ефект роздільності». При низькій якості зображення спіральні рукави здаються такими, неначе обертаються проти напрямку Молочного шляху (тобто, «S-категорії») частіше, ніж ті галактики, що обертаються за напрямком (тобто, «Z-категорії»). Цей ефект був виявлений в експериментах, де ті самі галактики розглядалися в умовах симульованого зниження роздільності. Значно погіршують ситуацію також ефекти, що виникають через обертання галактик, при якому вони трохи змінюють форму, а їх рукава — трохи, але все рівно значно викривляються. Тому, ближній край може здаватися яскравішим, а дальній — більш гладким. Самі рукава можуть здаватися «перекинутими». Всі ці фактори інколи можуть спричиняти інверсію орієнтації. Разом з цим, сам по собі пил у віддалених галактиках особливо сильно впливає на структуру рукавів у ближньому ІЧ-діапазоні, на якому і працює JWST. Він здатний приховувати частину рукава, роблячи той, що залишається, більш «S-подібним». Також, потрібно враховувати дефекти на зображеннях, які можуть виникати під час їх комп'ютерної обробки. Збільшення контрасту, зміна шуму, згладжування можуть змінити форму рукавів, особливо в далеких галактиках.

У відповідь на гіпотези про асиметрію, а точніше — на дослідження, на основі яких ця гіпотеза була висунута, у 2024 році критики цієї гіпотези провели свої, незалежні дослідження. Вони тільки підтвердили правдивість сумнівів в сторону нової гіпотези та правдивість основної космологічної моделі. Такими дослідженнями стала звірення даних, отриманих на JWST, з даними, отриманих на інших телескопах та оглядах, як SDSS (Sloan Digital Sky Survey), Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System), DES (Dark Energy Survey). В них вибірка була набагато більшою, роздільність нижча, але стабільніша, а обробка стандартизована. При цьому, жодна асиметрія не була виявлена, що підтвердило правдивість постулатів основної

космологічної теорії. Радіоспостереження у ІЧ-діапазоні, що вимірюють напрямок наближення-віддалення через доплерівський зсув, показало повністю випадковий розподіл напрямків. У проєкті Galaxy Zoo, де класифікацію виконують тисячі добровольців, результати після корекції на упередження також не демонструють асиметрії.

Критики гіпотези наголошують що для глобальної спрямованості обертання потрібно існування деякої причини, механізму або фізичного явища, які діяли би на весь об'єм раннього Всесвіту, задавали би однаковий момент імпульсу мільярдам протогалактик та не порушували би спостереження космічного мікрохвильового фону. І жодна модель на сьогодні не пропонує чогось подібного такого масштабу.

Також на силу критики впливає традиційне скептичне ставлення у науковому суспільстві до на перший погляд «революційних» заяв, так як в історії вже було багато таких випадків, коли перші аномалії, які могли переробити всю фізику, зникали при більш кращих дослідженнях, виявлялись артефактами або ілюзіями та були наслідками помилок обробок або класифікації.

Отже, більшість учених не вірять у глобальну перевагу одного напрямку обертання галактик з різних причин. Головними об'єктами критики була дуже сумнівна репрезентативність вибірки даних з телескопа «Джеймс Вебб», причому, інші телескопи не підтверджують ніякої асиметрії, а також критики зазнало те, що не було описане можливе фізичне явище, яке і приводило до такої асиметрії в бік галактик, що обертаються в сторону протилежну напрямку обертання Молочного Шляху. Разом з цим, важливим фактором є висока степінь скепсису у науковому суспільстві, які потребують міцних доказів для підтвердження гіпотези.

2.5. Проблеми методів, систематики та спотворень

Розбіжності між різними дослідженнями напрямку обертання спіральних галактик можна пояснити сукупністю факторів, пов'язаних як із методами спостережень, так і з обробкою даних, а також із фізичними та психологічними

ефектами. У цьому розділі розглядаються основні причини, чому одні дослідження демонструють значну «асиметрію» обертання, а інші — випадковий розподіл.

Проблеми ручного методу, очевидно, є в людському факторі. Кожна окрема незалежна дослідницька група може інтерпретувати одні і ті самі дослідженні данні по-своєму, нерідко приводячи до розбіжностей. Наприклад, різні дослідники можуть по-своєму інтерпретувати форму спіральних рукавів. Якщо зображення є «розмитими», то при їх аналізі може виникнути плутанина з категоріями галактик, що також може вплинути на «аномальну» статистику.

Основні проблеми комп'ютерних методів в тому, що вони запрограмовані аналізувати нові данні на основі старих даних. Тому комп'ютерні алгоритми, в тому числі і нейромережі, можуть плутати лівосторонні та правосторонні галактики. Графічна обробка зображень, як зміна рівня контрасту, яскравості або шуму, очевидно, можуть змінювати видимі рукави. Метод віддзеркалення зображень також може не врахувати артефакти.

Проблеми геометричних та аналітичних методів в тому, що використання нахилу галактичного диска, градієнтів яскравості та проєкційних моделей є чутливим до помилок оцінки кута нахилу. При похибках у вимірюванні кута диска рукави можуть бути неправильно класифіковані як S або Z.

Таким чином, навіть однакові дані можуть призвести до різних висновків залежно від обраного методу класифікації.

У JWST високоякісні знімки дозволяють чітко бачити рукави у далеких галактик, але локальні огляди (SDSS, Pan-STARRS) мають нижчу роздільність. Відмінності в роздільності можуть створювати ефект «масової переваги» S-рукавів у вибірках з високою деталізацією. Пилові смуги в дисках галактик змінюють видимість рукавів, а у далеких галактик спостерігається зсув у видимості рукавів у інфрачервоному діапазоні, де JWST працює, що може спотворювати напрям обертання. Програми JWST охоплюють обмежені поля (Deep Fields), що не є репрезентативними для всієї Всесвіту. Локальні

концентрації галактик, спостережувані у вузьких областях, можуть створювати ілюзію глобальної асиметрії.

У вибірках розміром кілька тисяч об'єктів можуть виникати випадкові відхилення у напрямках обертання. Якщо не враховувати статистичні похибки, такі відхилення можуть бути інтерпретовані як значуща асиметрія. Автоматичні алгоритми можуть неправильно рахувати кількість S/Z-галактик через дефекти пікселів, шум або артефакти. Неправильне об'єднання знімків з різною експозицією також може створити систематичне зміщення. Використання знімків із однієї області неба створює кореляції між галактиками, які не враховуються у простих статистичних тестах. Це може штучно підвищувати відхилення від рівномірного розподілу.

При куті нахилу більше 45° рукави спотворюються проєкційно. Похибка оцінки кута нахилу може призвести до помилкової зміни орієнтації. Множинні галактичні скупчення та взаємодії можуть змінювати форму рукавів. Галасливі структури часто спотворюють видимий напрям обертання, особливо у далеких об'єктах. Використання різних хвильових діапазонів (оптика, інфрачервоне, радіо) дає різну видимість рукавів. Наприклад, в інфрачервоному діапазоні лівоспіральні або правоспіральні можуть спотворюватися через підсвітку старих зірок та пилові смуги.

На можливі помилки у дослідженні впливають психологічні ефекти. Дослідники, очікуючи «цікавий ефект», можуть несвідомо класифікувати більше S-галактик. Публікаційний тиск та бажання отримати сенсаційний результат можуть посилювати підтверджувальне упередження. Такі ефекти особливо впливові у ручній класифікації та малих вибірках.

Вибірка	Роздільність	Метод	Висновок щодо асиметрії
JWST Deep Field	Висока	Ручні +	55–62% S, 38–45% Z (заявлена

		комп'ютерні	асиметрія)
SDSS DR16	Середня	Комп'ютерні + геометричні методи	~50% S/Z (випадковий розподіл)
Pan-STARRS	Низька	Ручна + автоматична	~50% S/Z
Galaxy Zoo	Різна	Колективні дослідження	~50% S/Z після корекції упереджень

Аналіз показує: заявлена асиметрія спостерігається лише у вузьких, нерепрезентативних вибірках, де вплив систематичних ефектів та упереджень значний.

Основні причини розбіжностей між дослідженнями лежать фундаментальні відмінності в різних методах класифікації (ручні, комп'ютерні, геометричні), систематичні похибки зображень (роздільність, пил, шум), спотворення через проєкцію та нахил диска, вплив вибірки та нерепрезентативності, психологічні ефекти та підтверджувальне упередження. Після урахування цих факторів з'являється пояснення, чому одні дослідження демонструють «масову перевагу S-галактик», а інші — повністю випадковий розподіл. Більшість експертів вважають, що псевдоасиметрія є результатом систематики, а не фізичної глобальної спрямованості обертання галактик. Таким чином, цей розділ завершує критичний аналіз методів і підкреслює важливість обережної інтерпретації даних у космології, особливо коли йдеться про потенційно революційні твердження.

РОЗДІЛ 3: ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ГАЛАКТИК ЗА ОБЕРТАННЯМ

3.1. Теоретичний огляд новітніх досліджень

Спробуємо перевірити правдивість результатів однієї з дослідницьких робіт, у якій було заявлено про асиметрію галактик у обертанні. Однієї з таких робіт є робота незалежної дослідницької групи під керівництво Ліора Шаміра[1]. Його група є однією з апологетів не тільки того, що галактики обертаються асиметрично, а і того, що через це уся стандартна космологічна модель Lambda-CDM повинна бути перероблена, враховуючи результати новітніх досліджень. Його дослідження засновані на сучасних знімках телескопа «Джеймс Вебб», який був високо ним оцінений на фоні застарілих наземних телескопів. Знімки були здобуті у рамках програми JADES (JWST Advanced Deep Extragalactic Survey).



Рис. 3.1. Порівняння одних і тих самих зображень галактик, зроблених за допомогою двох телескопів. Зліва — зображення, зроблені наземним телескопом DES. Справа — зображення, зроблені JWST. Як видно, зображення, отримані наземними телескопами, не дають можливості розглянути галактики детально та виявити напрямки їх обертання. За допомогою космічного телескопу JWST, неозброєним оком можна помітити, що верхня галактика обертається за часовою стрілкою (тобто, проти напрямку обертання Молочного Шляху), а нижня — проти часової (тобто, у напрямку обертання Молочного Шляху).

В цілому, як один з основних аргументів про правильність своїх досліджень, Л. Шамір використав ті обставини, що застарілі космічні та наземні телескопи не могли проаналізувати далекі галактики. Через це, теорема про те, що розподіл галактик за обертанням повинен бути симетричним згідно стандартної космологічної моделі, могла бути виставлена під сумнів.

Але не тільки це твердження використав Л. Шамір для захисту своєї гіпотези. За словами дослідника, були використані не тільки, ручні методи, але і комп'ютерні, зокрема нейромережі, які і допомогли виявити напрямок обертання галактик, особливо тих, зображення яких були нечіткі навіть для такого технологічного телескопу, як «Джеймс Вебб».



Рис. 3.2. Карта Всесвіту, отримана телескопом «Джеймс Вебб», на якій були позначені галактики. Синім кольором були позначені галактики, які, на думку Л. Шаміра, обертаються у напрямку, протилежному напрямку обертання Молочного шляху (тобто, проти часової стрілки). Як видно, таких галактик є більшість.

За словами дослідника, на рис. 3.2. для визначення напрямку обертання найбільш далеких галактик були використані комп'ютерні методи, так як ручні дослідження можуть бути «надто суб'єктивними». Проаналізуємо це зображення. Розглянемо найбільші галактики. Це галактики під номером 6, 8, 11, 20. Інші галактики проаналізувати ручними методами неможливо через малі

розміри чи поганий нахил. Напрямок галактики 8 — за напрямком Молочного шляху. Напрямки галактики 11, 8 та 20 — проти напрямку Молочного шляху. Але вибірка дуже мала, а ручний метод — суб'єктивний для того, щоб робити які-небудь висновки.

Хоча комп'ютерні методи є найбільш сучасними та перспективними з методів, в них є значні недоліки, як велика можливість помилок через автоматизованість, а також через те, що старі дані, на яких працюють неймережі і які були отримані старими методами, можуть йти всупереч з абсолютно новими, які, можливо, потребують нових методів аналізу. Особливо можуть бути помилки, якщо видимість та розміри галактик та їх спіралей настільки малі, що робить аналіз проблематичним. Особливо це стосується нових даних, якими і є зображення, отримані на JWST.

Для деяких проблемних зображень, за словами головного дослідника, були використані деякі ручні методи, як віддзеркалення зображень, але основними методами залишались неймережі та інші комп'ютерні алгоритми.

3.2. Аналіз зображень галактик, отриманих JSWT

Проаналізуємо зображення галактик на рис. 3.3. Галактики 1, 2, 3 обертаються проти напрямку обертання Молочного шляху. Галактики 4 та 5 — у напрямку обертання Молочного шляху. Остання галактика 6 розміщена під таким кутом нахилу, що ускладнює визначення, але враховуючи викривлення спіралей по бокам, ця галактика, скоріше за всього, обертається у напрямку Молочного шляху. Отже, три галактики проти трьох. Процентне відношення — 50 на 50.

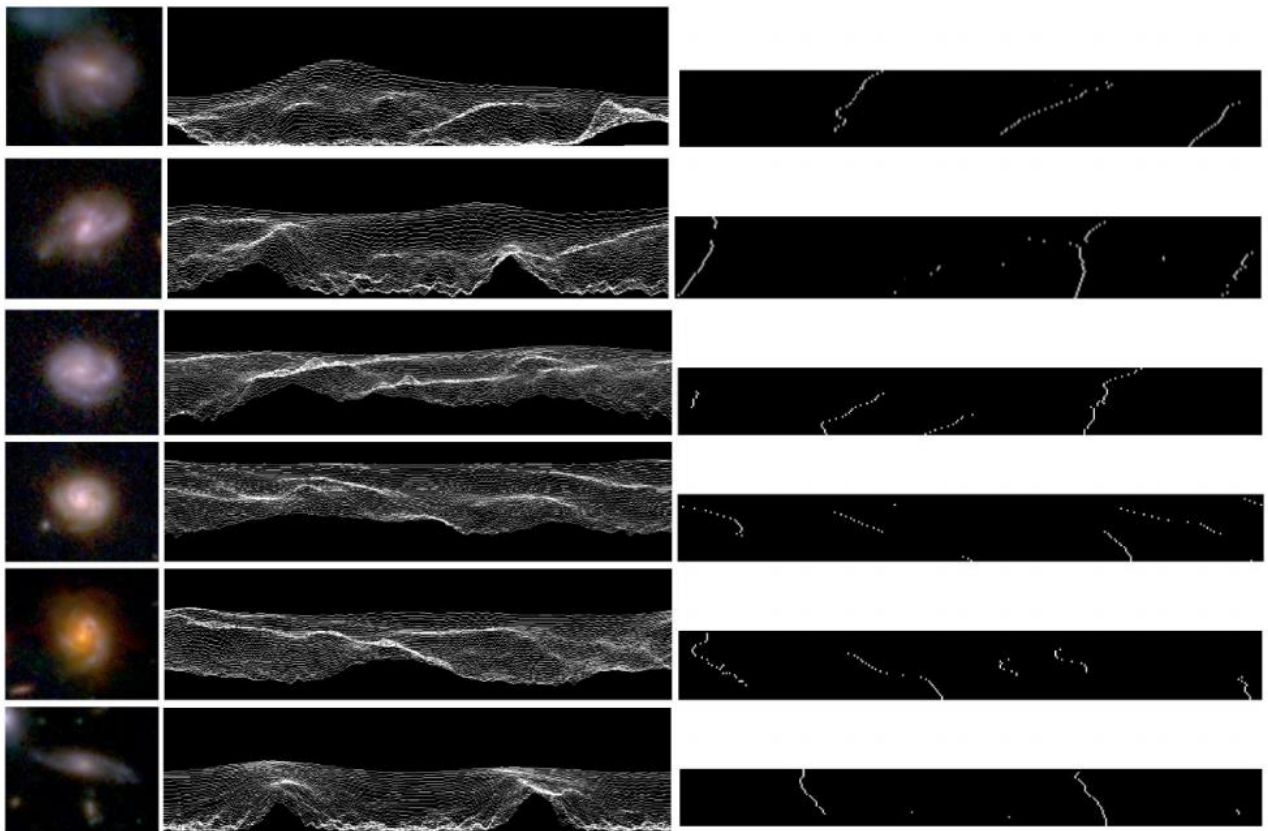


Рис. 3.3. Приклади зображень галактик, отриманих за допомогою «Джеймс Вебб» (зліва), та графіки сили випромінювання спіралей цих галактик, отриманих комп'ютерним алгоритмом. За допомогою цих графіків можна визначити напрямок обертання галактик.

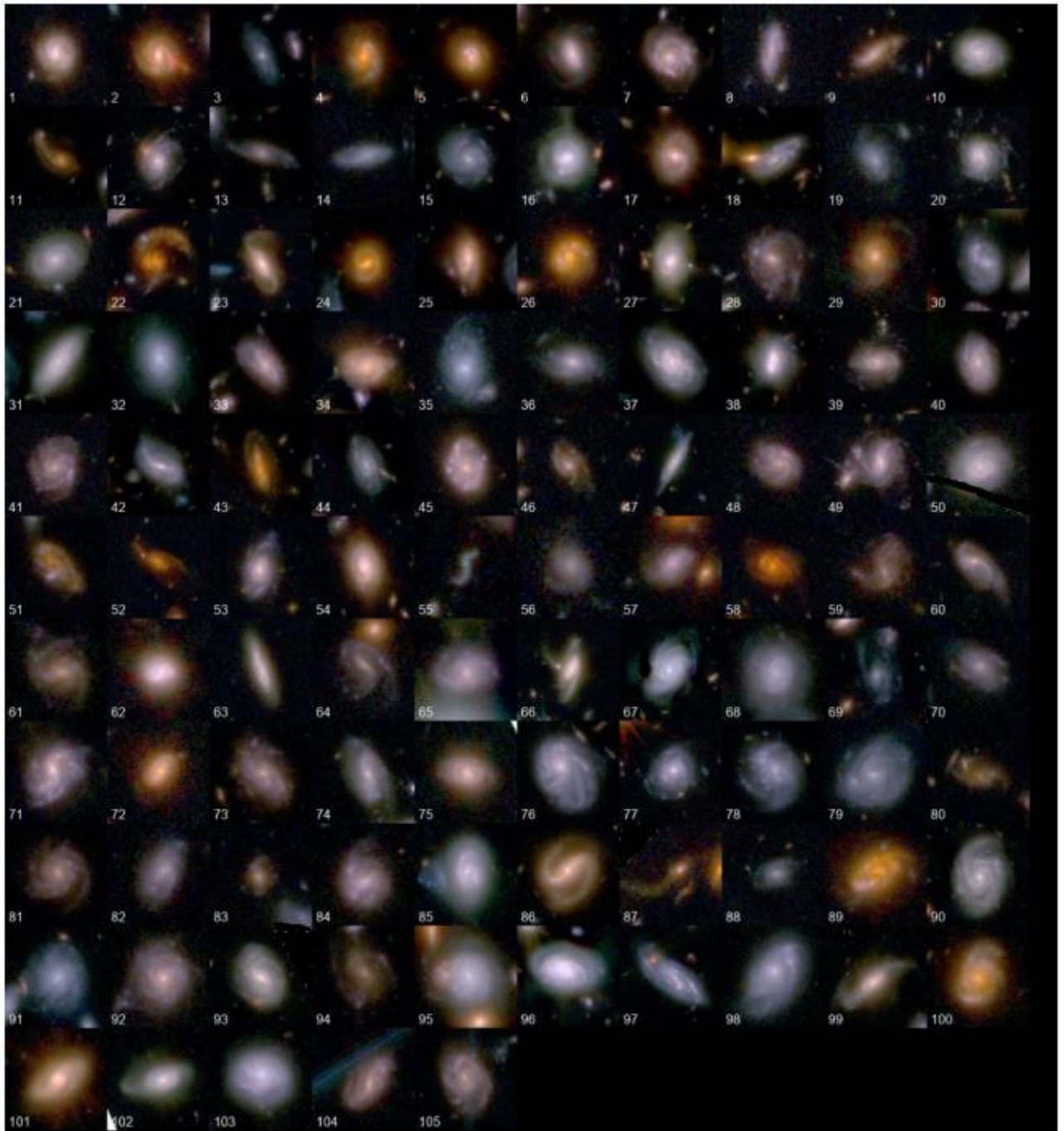


Рис. 3.4. Зображення галактик, які, за думкою дослідницької групи Л. Шаміра, рухаються у напрямок Молочного шляху

Проаналізуємо рис. 3.4. Тут зображено 105 галактик, які, за словами Л. Шаміра та згідно нейромереж, рухаються у напрямок Молочного шляху (проти часової стрілки). З усіх цих галактик, галактики 6, 8, 9, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 31, 35, 36, 38, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 68, 69, 72, 73, 75, 77, 78, 79, 85, 87, 88, 96, 101, 102, 104, 105 можуть викликати сумніви. Разом таких галактик — 46, тобто, залишається 59 галактик, які без сумнівів рухаються проти часової стрілки.

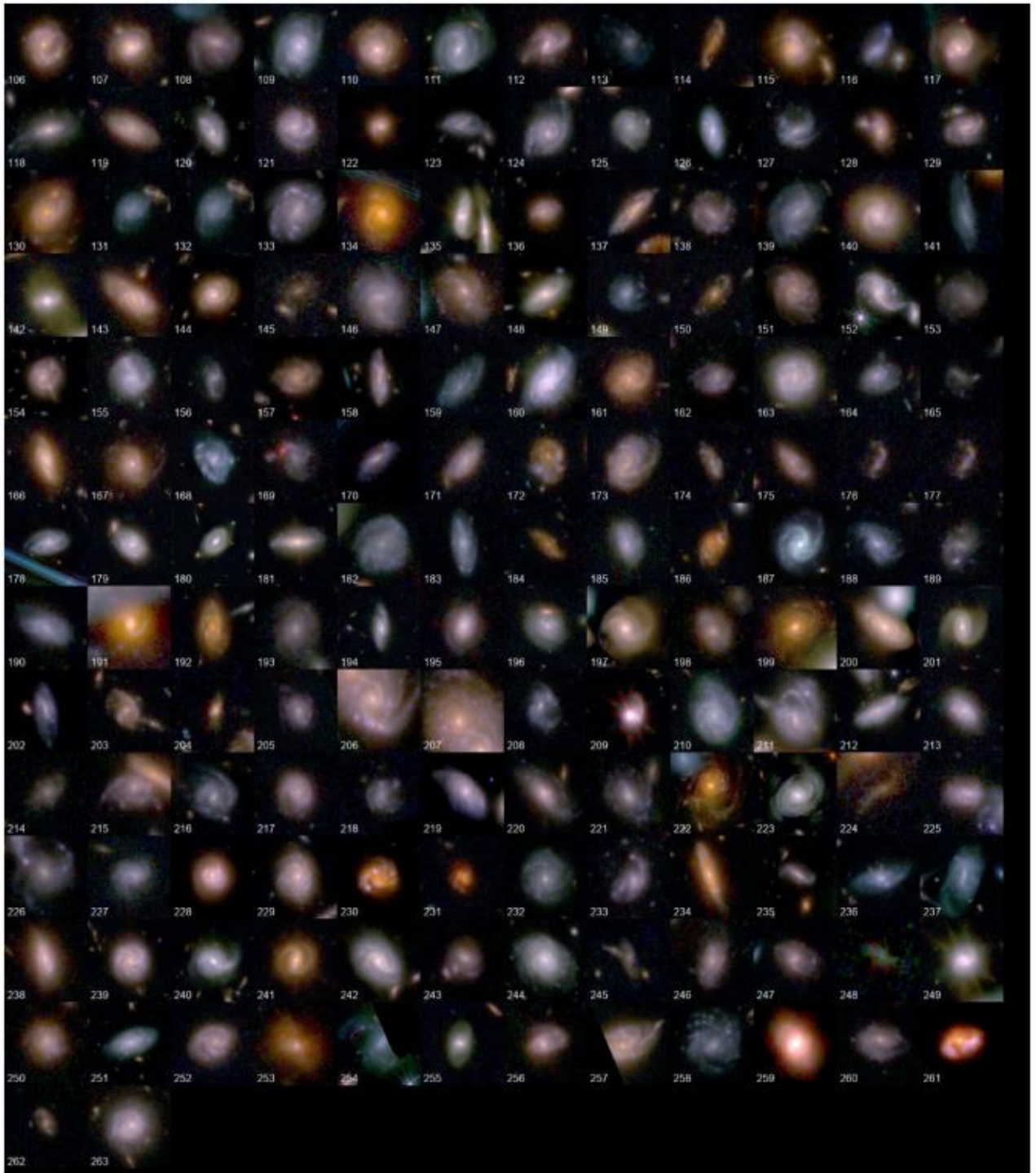


Рис. 3.5. Зображення галактик, які, за думкою дослідницької групи Л. Шаміра, рухаються проти напрямку Молочного шляху

Проаналізуємо рис. 3.4. Тут зображено 158 галактик, які, за словами Л. Шаміра та згідно нейромереж, рухаються проти напрямку Молочного шляху (за часовою стрілкою). З усіх цих галактик, галактики 119, 127, 132, 135, 136, 138, 141, 142, 145, 149, 150, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 162, 163, 164, 165, 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 188, 189, 193, 195, 198, 200, 202, 204, 207, 208, 209, 211, 212, 214, 215, 217, 218, 219, 221, 224, 225, 227, 228, 230, 231, 234, 235, 236, 237, 238, 243, 245, 248, 249, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 259, 260, 261, 262, 263 можуть викликати сумніви. Разом таких галактик — 81, тобто, залишається 77 галактик, які без сумнівів рухаються проти часової стрілки.

Порівняємо нарахowane. 59 проти 77, у процентному відношенні — 43% проти 56%, що може говорити на користь класичної симетрії. У дослідженні ж — 40% проти 60%.

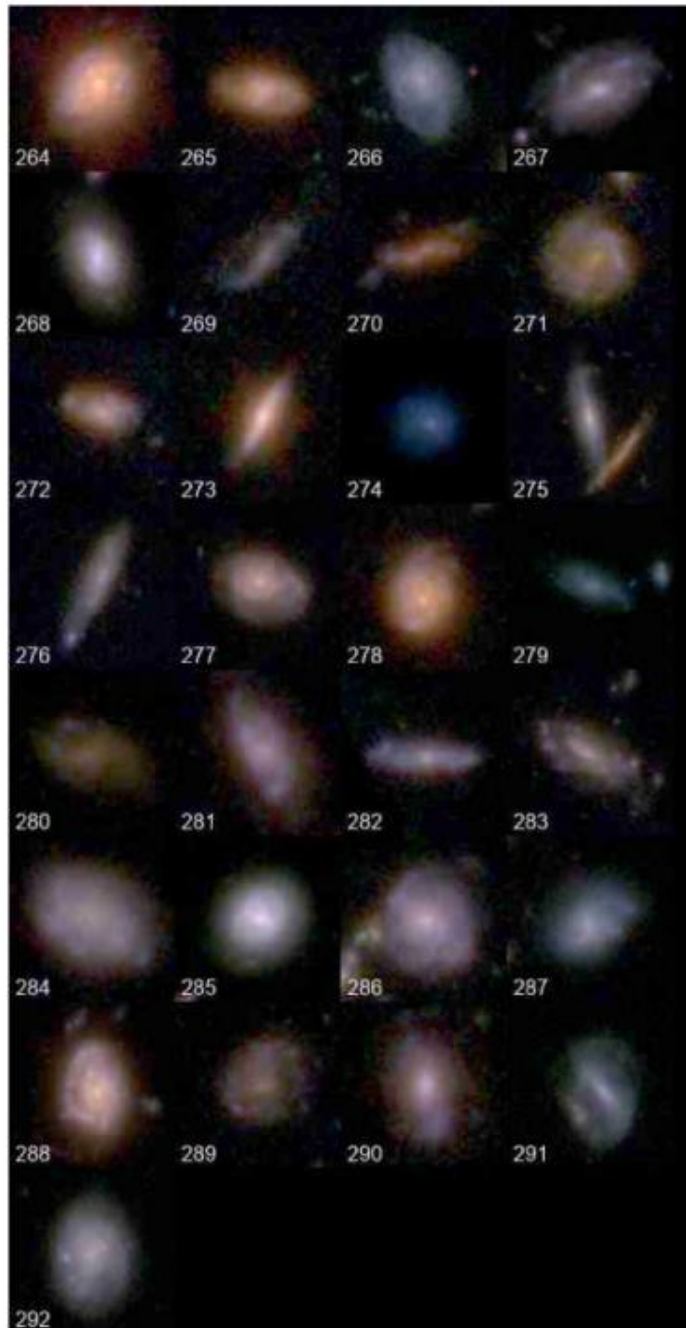
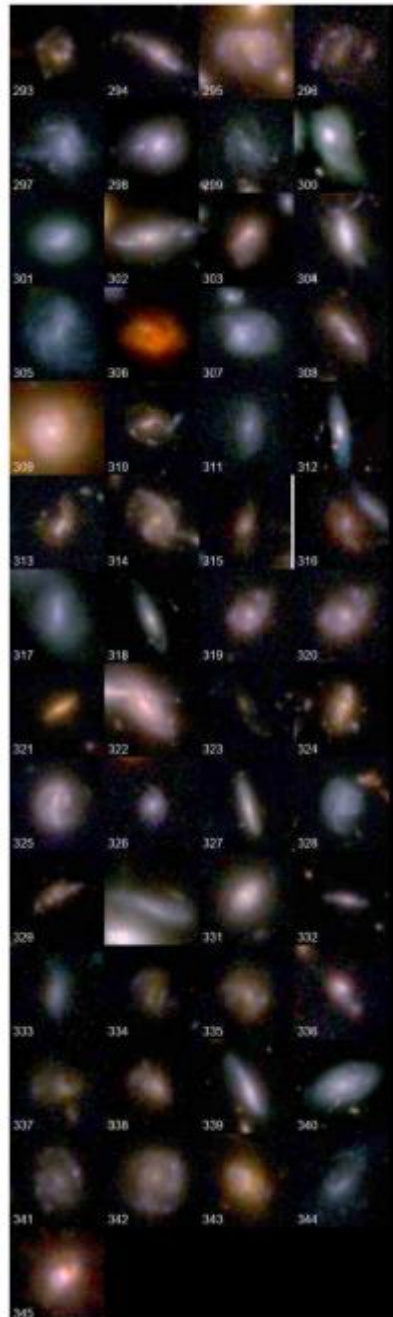


Рис. 3.6. Зображення галактик, які були проаналізовані безуспішно комп'ютерними методами через низьку якість, але ручні методи можуть свідчити про те, що вони обертаються у напрямку Молочного шляху (проти часової стрілки)

Проаналізуємо рис. 3.6. На ньому тільки одна галактика — під номером 271 — безсумнівно, обертається у напрямку Молочного шляху. Тобто, до кількості таких галактик додається ще одна, тоді отримуємо остаточну кількість — 60.

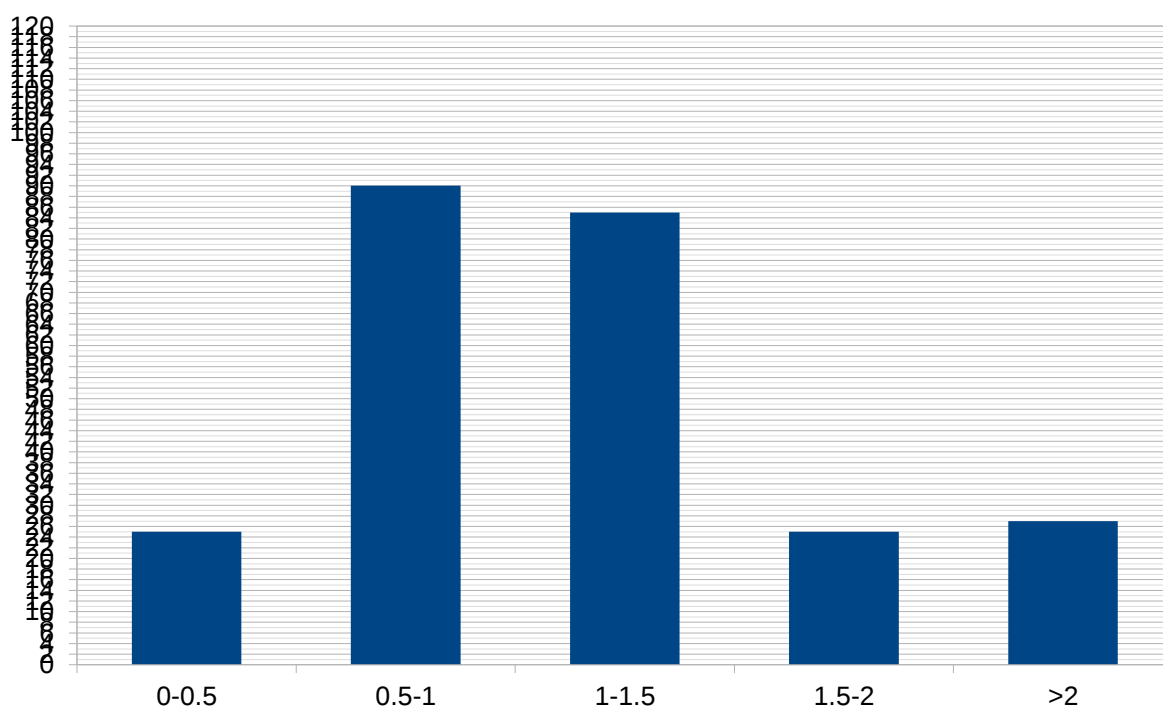


На рис. 3.7. Зображення галактик, які були проаналізовані безуспішно комп'ютерними методами через низьку якість, але ручні методи можуть свідчити про те, що вони обертаються проти напрямку Молочного шляху (за часовою стрілкою)

На рис. 3.7. наступні галактики: під номерами 296, 298, 314, — безсумнівно, обертається проти напрямку Молочного шляху. Тобто, до кількості таких галактик додається ще 3, тоді отримуємо остаточну кількість — 80.

Порівняємо нараховане знову. 60 галактик, що рухаються у напрямку Молочного шляху, проти 80 галактик, що рухаються проти. Разом — 140 галактик. У процентному відношенні — 42,85% проти 57%. У дослідженні ж — 40% проти 60%. Як видно, при врахуванні цих галактик, результати стають трохи ближчими до тих, що були отримані у дослідженні Л. Шаміра.

На діаграмі 3.1. розміщений розподіл галактик за червоним зміщенням згідно інформації дослідників. Вона є корисною для визначення напрямку руху галактик. На думку дослідника, чим більше червоне зміщення галактик тим асиметрія вірогідніша. Але це твердження можна заперечити тим, що телескоп не є настільки досконалим. Також при аналізі таких галактик вірогідність помилок у роботі комп'ютерних алгоритмів може збільшуватися.



Діаграма 3.1. (Вісь Y – кількість галактик, вісь X – червоне зміщення)

3.3. Аналіз гіпотез, які пояснюють причини асиметрії

Для пояснення виявленої асиметрії у розподілі напрямків обертання галактик Л. Шамір висунув гіпотезу, згідно з якою дана аномалія може бути

наслідком того, що наш Всесвіт знаходиться всередині чорної діри. В межах цієї концепції саме гравітаційний вплив надмасивної чорної діри визначає переважний напрямок обертання галактик. Дослідник також радикально заперечує стандартну космологічну модель Lambda-CDM, зокрема ідеї існування темної матерії та темної енергії.

Згідно з аргументацією Шаміра, для внутрішнього спостерігача Всесвіт постійно розширюється та здається нескінченним, тоді як для гіпотетичного зовнішнього спостерігача, що перебуває поза горизонтом подій і гравітаційного впливу такої «всесвітньої» чорної діри, галактики постійно рухаються у просторі. У такій інтерпретації чорні діри, що знаходяться у «вищому» всесвіті, можуть фактично приховувати в собі цілі всесвіти. Окрім цього, дослідник стверджує, що напрямок обертання галактик залежить від їхнього положення у Всесвіті: у регіонах, розташованих ближче до гіпотетичної чорної діри зі спіном, має спостерігатися більша кількість галактик, що обертаються у напрямку її обертання.

Втім, на нашу думку, дана гіпотеза стикається з низкою суттєвих проблем. Насамперед постає питання, чому лише частина галактик демонструє узгоджений напрямок обертання. За наявними даними, таких галактик не є абсолютна більшість — їх частка становить близько 60% від вибірки. Водночас залишається незрозумілим, чому решта галактик обертається у протилежному напрямку, зокрема у напрямку, узгодженому з обертанням Молочного Шляху. Це викликає додаткові сумніви, особливо з огляду на те, що галактики у вибірці були взяті з регіону Всесвіту, найближчого до гіпотетичного джерела гравітаційного обертального впливу (а конкретніше, GOODS-S, де зображення і були взяті), де цей вплив повинен бути максимальним.

Другою принциповою проблемою є відсутність чітких фізичних параметрів такої моделі. Якщо припустити, що весь Всесвіт перебуває під впливом обертання чорної діри, постає питання про те, як у такому випадку можна визначити спін, доцентрове прискорення та вісь обертання Всесвіту. Невизначеність цих характеристик унеможливорює формулювання кількісних

передбачень і суттєво обмежує можливість емпіричної перевірки запропонованої гіпотези.

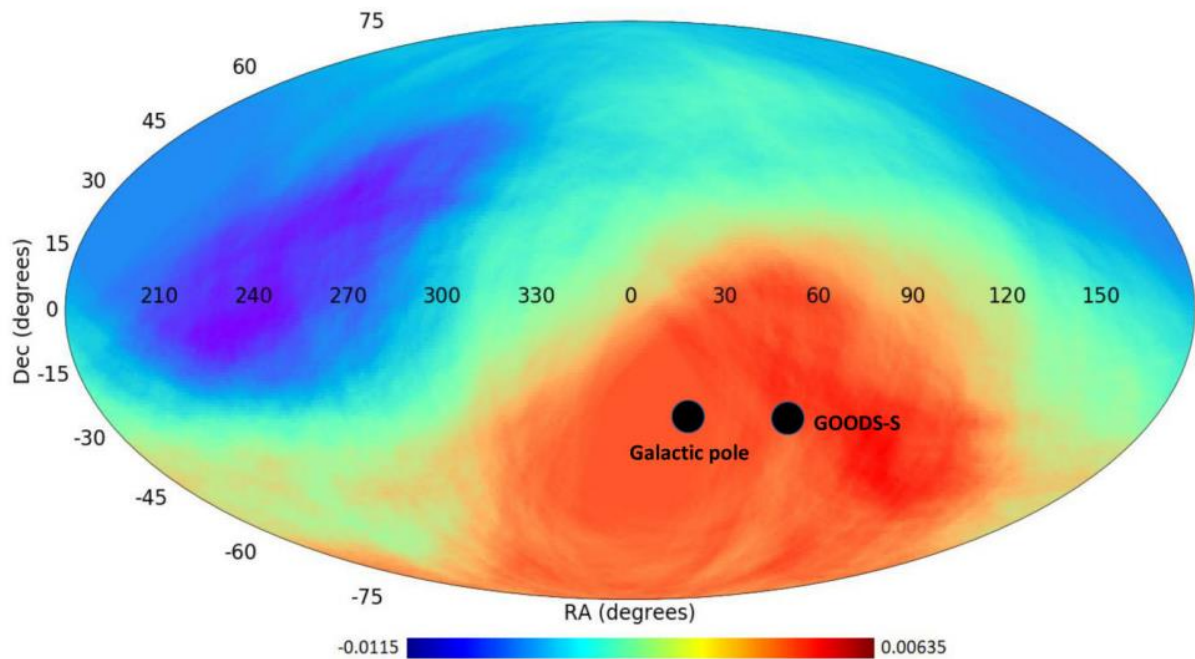


Рис. 3.7

На рис. 3.7. зображена мапа Всесвіту згідно дослідників під керівництвом Шаміра. У регіоні GOODS-S, де була взята вибірка галактик, а також навколо нього, на думку дослідників повинен бути найбільший гравітаційний вплив чорної дірки. Тобто, в зоні, поміченій червоним кольором, повинна бути найбільша кількість галактик, що обертаються проти напрямку Молочного шляху. Не дивлячись на ці заяви, у цьому регіоні напрямок обертання проти напрямку Молочного шляху все рівно не такий розповсюджений (від 60% (згідно дослідженням Шаміра) до 56-57% (згідно нашим дослідженням)).

ВИСНОВКИ

Отже, були проаналізовані зображення галактик, отриманих за допомогою телескопа «Джеймс Вебб», та результати новітніх досліджень цих зображень, зокрема, незалежної дослідницькою групи під керівництвом Л. Шаміра. Особливо були проаналізовані його заяви про виявлену під час цих досліджень асиметрію у розподілі галактик за обертанням, згідно яких кількість галактик, що обертаються проти напрямку Молочного шляху (за часової стрілкою) на 20% більше за кількість галактик, що обертаються у напрямку Молочного шляху (проти часової стрілки). Також були проаналізовані заяви про можливі причини цієї аномалії.

Було ручними методами проаналізовано 263 галактик, які були проаналізовані дослідниками під керівництвом Л. Шаміра комп'ютерними методами. ще 81 галактик — це галактики, які були проаналізовано дослідницькою групою безуспішно. Разом — 344. Але тільки про 140 (враховуючи ті галактики, які дослідники не змогли дослідити комп'ютерними методами) можна безсумнівно стверджувати про напрямок їх обертання. З цієї кількості 80 рухаються проти напрямку, а 60 — за напрямком обертання Молочного шляху. У процентному відношенні — 42,85% проти 57%. Якщо не враховувати «невдалі» галактики, з яких 3 обертаються проти напрямку, а один — у напрямку Молочного шляху, то процентне відношення — 43% проти 56%.

В цілому, можна стверджувати, що заяви про асиметрію достатньо безосновні. По-першу, як видно, вибірка дуже мала. Навіть кількість у 344 галактик є занадто невеликою для винесення заяв. По-друге, дослідники Л. Шаміра використовували в основному комп'ютерні метод, конкретно — нейромережі. Не можна стверджувати про їх досконалість, навіть враховуючи їх сучасність особливо тоді, коли вони аналізують ті галактики, які на зображеннях або малі, або недостатньо яскраві, або розташовані під дуже малим кутом нахилу. По-третє, робота дослідників так і не змогла пояснити, чому ця асиметрія була виявлена, які її причини згідно провідних

космологічних теорій, а гіпотеза про те, що асиметрія є наслідком обертання Всесвіту, не має твердих наукових підтверджень, хоча слугує непоганою гіпотезою для розмишлення. Але, враховуючи, що асиметрія йде всупереч стандартній космологічній моделі Lambda-CDM, яка залишається дуже потужною моделлю і до сьогодні, такі заяви потребують конкретних гіпотез, але дослідники залишили цю проблему як загадкову аномалію.

Все це говорить про те, що заява про асиметрію поки не має сильних підстав. Можливо, він появиться тільки у випадку, якщо будуть продовжені подальші дослідження цієї аномалії, особливо з точки зору космологічної теорії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shamir, L. (2025). The distribution of galaxy rotation in JWST Advanced Deep Extragalactic Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 538, Issue 1, March 2025, Pages 76–91, <https://doi.org/10.1093/mnras/staf292> — стаття, яка стала основним джерелом для гіпотези про можливу асиметрію у розподілі галактик за обертанням, що викликає сумніви щодо стандартної космологічної моделі; <https://academic.oup.com/mnras/article/538/1/76/8019798?login=false>
2. Dodelson, S. (2003). *Modern Cosmology*. Academic Press. — це основне джерело для розуміння сучасних космологічних моделей, таких як Lambda-CDM, а також основних понять у космології;
3. Hawking, S. W., & Ellis, G. F. R. (1973). *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press. — класична робота, яка вводить основи теорії чорних дір і космології, зокрема в контексті гравітаційних сингулярностей;
4. Peebles, P. J. E. (1993). *Principles of Physical Cosmology*. Princeton University Press. — книга дає фундаментальне розуміння космології, зокрема темної матерії та інфляції, а також розглядає важливі концепції, які лежать в основі сучасних космологічних моделей;
5. Shamir, L. (2023). *Analysis of Galaxy Rotations Using Webb Telescope Images*. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*;
6. Bardeen, J. M., & Press, W. H. (1973). The Formation of Black Holes. *Annals of Physics*. — основні поняття про чорні діри, включаючи їх утворення та властивості, що є важливими для розуміння їх ролі в космології;
7. Guth, A. H. (1981). Inflationary Universe: A Possible Solution to the Horizon and Flatness Problems. *Physical Review D*. — робота про інфляційну

космологію, яка є важливою для розуміння теорії мультивсесвіту та його зв'язку з раннім Всесвітом;

8. Liddle, A. R., & Lyth, D. H. (2000). *Cosmological Inflation and Large-Scale Structure*. Cambridge University Press. — дослідження теорії інфляції, яка є одним із ключових елементів для концепції мультивсесвіту;
9. Maldacena, J. (2003). *The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity*. *International Journal of Theoretical Physics*. — важливий для розуміння концепції мультивсесвіту в контексті теорії струн і квантової гравітації;
10. LIGO Scientific Collaboration (2016). *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*. *Physical Review Letters*. — стаття про перше спостереження гравітаційних хвиль, яке допомогло підтвердити існування чорних дір і їх вплив на простір-час;
11. Planck Collaboration (2016). *Planck 2015 Results: XIII. Cosmological Parameters*. *Astronomy & Astrophysics*. — важливі дані, які стосуються космологічних параметрів і вимірювань фону мікрохвильового випромінювання, що використовуються для перевірки моделей Lambda-CDM;
12. Krauss, L. M. (2012). *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather than Nothing*. Free Press. — книга, що описує можливості виникнення Всесвіту та зв'язок цього процесу з гравітацією та іншими фізичними силами, важлива для розуміння концепції мультивсесвіту;
13. Susskind, L. (2005). *The Anthropic Principle and the Landscape of String Theory*. In *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*. Little, Brown and Company. — дослідження мультивсесвітної теорії через призму теорії струн та антропного принципу;

14. Lovelock, D., & Rund, H. (1975). *Tensors, Differential Forms, and Variational Principles*. Dover Publications. — важливе джерело для математичних основ космології та теорії чорних дір;
15. Choudhury, T. (2010). *The Concept of Black Holes and Their Role in the Universe*. Physics Reports. — розглядається значення чорних дір у космології та їх можливий вплив на структуру Всесвіту.