

НАЙБІЛЬШІ СТРУКТУРИ У ВСЕСВІТІ



Юрій Кудря

канд. фіз.-мат. наук,
старший наук. співробітник
Астрономічної обсерваторії
Київського національного
університету імені Т. Шевченка



Валерій Жданов

доктор фіз.-мат. наук,
завідувач відділу
Астрономічної обсерваторії
Київського національного
університету імені Т. Шевченка

Просторові та часові масштаби

У цьому нарисі ми обговорюємо позагалактичні утворення на масштабах від Місцевого об'єму (порядку 10 Мпк в околі нашої Галактики) до космологічних масштабів більше декількох сотень мегапарсек (Мпк), де розподіл матерії можна вважати досить однорідним. У цих межах можна говорити про групи, скупчення і надскупчення галактик, про їхні комплекси, що утворюють коміркову великомасштабну "павутину" Всесвіту. Тут є багато цікавого: виявляється, що в океані галактик є свої ріки, острови і навіть "стіни". Цікавий і еволюційний аспект: адже Всесвіт не завжди був таким, яким ми бачимо його зараз. Світло від далеких галактик іде до нас сотні мільйонів і мільярди років, тобто насправді ми бачимо ці галактики в далекому минулому. Було б непогано мати сучасний вигляд галактик на відстані ста мегапарсек; але, з іншого боку, саме завдяки запізнюванню при поширенні світла ми маємо у своєму розпорядженні унікальну машину часу, що дозволяє заглянути у минуле Всесвіту.

МАСШТАБИ СТРУКТУР ВСЕСВІТУ

—	групи галактик: до 3 Мпк
—	скупчення галактик: 5-10 Мпк
—	надскупчення галактик: ~50-100 Мпк
—	порожнечі (войди): до 100 Мпк
—	найбільші елементи великомасштабної структури, "стіни", "листи": до 300 Мпк

При обговоренні просторових масштабів відзначимо, що використання відстаней у космології не завжди є зручним. Адекватнішою величиною, що характеризує, як далеко об'єкт розміщений від нас, є його космологічне червоне зміщення (див. Астр. енци. словник) z . Коли z є порівняним з одиницею, необхідно обумовлювати тип відстані, яка використовується для аналізу спостережень, оскільки різні методи визначення відстаней, що призводять до однакового результату у звичайній геометрії, не збігаються і можуть дуже відрізнятись у викривленому просторі-часі. Наприклад, фотометрична відстань у $(1+z)^2$ разів більша за відстань за кутовим діаметром. Чим більше z , тим "молодший" об'єкт, тим раннішу епоху він представляє, і тим далі від нас він розміщений.

Кажучи про перші миті існування Всесвіту, космологи, слідом за Яковом Борисовичем Зельдовичем, люблять цитувати знаменитого гумориста Аркадія Аверченка: *"Історія мідян темна і незрозуміла. Вчені поділяють її, проте, на три періоди..."*. Зельдович наводить цю фразу, обговорюючи спонтанне народження Всесвіту, коли, очевидно, втрачає сенс сама можливість просторово-часового описання. Що стосується історії виникнення структури спостережного Всесвіту, то тут ситуація значно краща. Хоча ця історія часом і "темна" (тут є свої "темні віки", "темна матерія" і "темна енергія"), але є достатньо зрозумілою, щоб з'ясувати основні рушійні сили еволюції на якісному, а іноді й на кількісному рівні. Хронологію виникнення структури можна вести з моменту рекомбінації, після того, як утворилися атоми баріонної речовини, головним чином

водень і гелій, приблизно у співвідношенні три до одного. Таким чином, утворився нейтральний газ, прозорий для випромінювання. Якщо до рекомбінації речовина і випромінювання співіснували у вигляді плазми, утворюючи термодинамічно рівноважну суміш із загальною температурою, то після рекомбінації відбувається "відрив" випромінювання, яке еволюціонує незалежно від речовини і, за вказівкою Георгія Гамова, несе до нас залишки первинного тепла. Це — реліктове випромінювання (РВ) або "мікрохвильовий фон", який має рівноважний спектр чорного тіла з певною температурою. Температура РВ у всіх напрямках приблизно однакова; лише наприкінці минулого століття вдалося виміряти її варіації. Завдяки РВ ми "бачимо" плазму, такою, якою вона була на момент рекомбінації. Не зупиняючись детально на властивостях РВ, відзначимо, що величина неоднорідності чи, як кажуть, анізотропії РВ дуже мала. Порядок відносних варіацій температури РВ становить 10^{-5} . При такій малій початковій величині, якби вона відповідала неоднорідності всієї матерії на момент рекомбінації, галактики не встигли б утворитися до наших днів, і ми б не обговорювали цю величезну картину Всесвіту! Адже саме

неоднорідність розподілу матерії була причиною виникнення, через гравітаційну нестійкість, усього різноманіття навколишнього світу. Справу рятує небаріонна темна матерія (ТМ), яку ми не бачимо, але її неоднорідність на момент рекомбінації була значно більшою, ніж у баріонної матерії. Цікаво, що життя на Землі зобов'язане, таким чином, існуванню ТМ, хоча цей вид матерії вкрай слабко взаємодіє зі звичайною речовиною, й ефекти ТМ можна спостерігати лише завдяки гравітації. Однак ТМ не випромінює, її внесок у РВ прямо не видно і можна спостерігати лише непрямим чином. Нагадаємо, що сукупність космологічних даних (вимірювання анізотропії реліктового випромінювання, спостереження наднових Ia, поширеність хімічних елементів, дослідження великомасштабної структури) встановлює обмеження на густину баріонної матерії — близько 5% від повної середньої густини Всесвіту, причому світна матерія в зірках становить лише невелику частину від цієї величини. Екзотичної ТМ у 5 разів більше, ніж баріонної матерії. Ще 70% повної густини дає так звана темна енергія (космічний вакуум), яка не кластеризується, вона рівномірно й однорідно розподілена і відповідає за прискорене розширення

Всесвіту.

Швидкості та густини матерії після рекомбінації відносно невеликі. Тому процеси розвитку неоднорідності в невеликих масштабах можна розглядати в рамках нерелятивістського підходу. Інформація про глобальну метрику простору-часу необхідна лише для оцінки відстаней до об'єктів. Разом з тим відзначимо, що в сучасних теоріях ТМ аналізують також можливий внесок релятивістського компонента, наприклад, нейтрино різних типів.

Що утворилося раніше?

Як уже відзначали, основними елементами великомасштабної структури Всесвіту є галактики, групи галактик, скупчення і надскупчення галактик. Ці елементи утворюють коміркову структуру з філаментів на границях порожнеч (войдів). Цю структуру добре видно на Рис. 1, де показаний результат комп'ютерного моделювання [2] в моделі з холодною ТМ, що якісно узгоджується зі спостереженнями.

Групи та скупчення галактик утворюють витягнуті оплошені філаменти чи ланцюжки, що утворюють "космічне павутиння". Філаменти можуть бути витягнуті уздовж одного напрямку (10-100 Мпк), вони можуть мати середні розміри в другому або тонкі — у третьому напрямку. Велика частина галактик лежить поза великими скупченнями у філаментах чи "хмарах". Сусідні філаменти можуть мати загальну площину, або їхні площини можуть перетинатися. Філаменти не є окремими структурами, вони зв'язані один з одним у єдину мережу. У вузлах такої мережі містяться багаті скупчення. Надскупчення складаються з кількох скупчень і мережі філаментів.

Великомасштабні структури космічної павутини виникли на ранній стадії розвитку Всесвіту з флуктуацій густини речовини шляхом гравітаційної самодії. Якщо початкове перевищення густини в деякому об'ємі порівняно з середнім значенням було досить велике, то затьмів розширення в цьому об'ємі зупиняється, і речовина встигає до сучасної епохи перейти у динамічно стійкий стан. При меншому перевищенні загальне розширення зупиняється гравітаційними силами, система стискується, але не встигає досягти динамічної рівноваги. Можлива ситуація, коли контраст густини ще менший і область продовжує розширюватися, але повільніше порівняно з загальним космологічним розширенням.

Чим більший просторовий масштаб флуктуації, тим легше починаєть-

ХРОНОЛОГІЯ ВСЕСВІТУ

Відлік часу ведеться від початку Великого Вибуху.

Вік Всесвіту — близько 14 мільярдів років.

Кінець анігіляції частинок-античастинок, утворення нуклонів	Перші кілька секунд
Ядерні реакції, у результаті яких утворюються ядра дейтерію, гелію і "сліди" важчих елементів.	Перші кілька хвилин
Закінчення рекомбінації водню, випромінювання "відокремлюється" від речовини ($z=1090$ [1])	380 тис. років
"Темні віки" після рекомбінації, немає джерел випромінювання.	Сотні мільйонів років
Утворюються перші зорі (населення III — важкі зорі, що не дожили до нашої епохи), квазари, скупчення і надскупчення галактик. Відбувається іонізація водню світлом зір і квазарів (епоха реіонізації ~ 500 млн. років, $z=11$ [1]).	~150-1000 млн. років
Утворення зір населення II (старі зорі, що містять деяку кількість елементів, важчих за гелій)	Перші 3-4 млрд. років
Утворення протозоряних хмар і зір населення I (зокрема і наше Сонце), що містять значно більшу кількість важчих елементів	8 - 9 млрд. років

ся стиснення. Мінімальний розмір структури, при якому гравітаційні сили переважають внутрішній тиск газу, ініціюючи початок стиснення, називають довжиною Джинса. Тиск газу, що залежить від його температури та густини, істотно змінюється в процесі рекомбінації. Унаслідок цього маємо цілий набір джинсівських масштабів і мас, що відповідають різним структурам.

Після рекомбінації мають пройти "темні віки", щоб у результаті гравітаційного стиснення, фрагментації та розігріву утворилися перші джерела випромінювання — квазари і перші зорі. Ці процеси відбуваються на відносно малих масштабах, які тут ми не розглядаємо; але їхня роль винятково важлива і заслуговує окремого обговорення. Утворення структур великих масштабів, від декількох мегапарсеків і більше, також зобов'язане силам гравітації, що призводять до збільшення флюктуацій густини і баріонної речовини, і небаріонної ТМ.

"На пальцях" утворення коміркової структури можна зрозуміти в такий спосіб. Будь-яка масивна структура буде стискуватися під дією самогравітації, якщо немає протидіючого тиску. Останніми можна знехтувати на досить великих масштабах. Якщо початковий розподіл густини матерії, яка колапсує, є сферично симетричним, то ця симетрія збережеться і стиснення відбувається однаково в усіх напрямках. Однак поява сферично-симетричної структури малоімовірна! Більш реалістичною є ситуація, коли область, де є позитивний контраст густини первинного газу, має еліпсоїдальну форму, причому стиснення газу відбувається швидше за однією з осей еліпсоїда. Виникає плоска структура — "млинець Зельдовича". Зрозуміло, такий розгляд можливий лише до певного моменту. Потрібно враховувати, що "млинець" має кінцеву товщину; на певному етапі потрібно враховувати тиск газу, виникнення ударної хвилі, фрагментацію на дрібніші елементи. Проте таке описання є досить загальним і, очевидно, має пряме відношення до появи "стін" і "листів" у розподілі галактик.

Природно запитати, які структури виникли раніше, великі чи малі? Надскупчення, чи скупчення галактик? Або спочатку відокремилися одна від одної великі маси газу — протоскупчення, у яких згодом сформувалися галактики і загорялися перші зорі, чи навпаки, скупчення стали результатом взаємного тяжіння галактик? У грандіозному театрі космологічної еволюції це відповідає різним сценаріям:

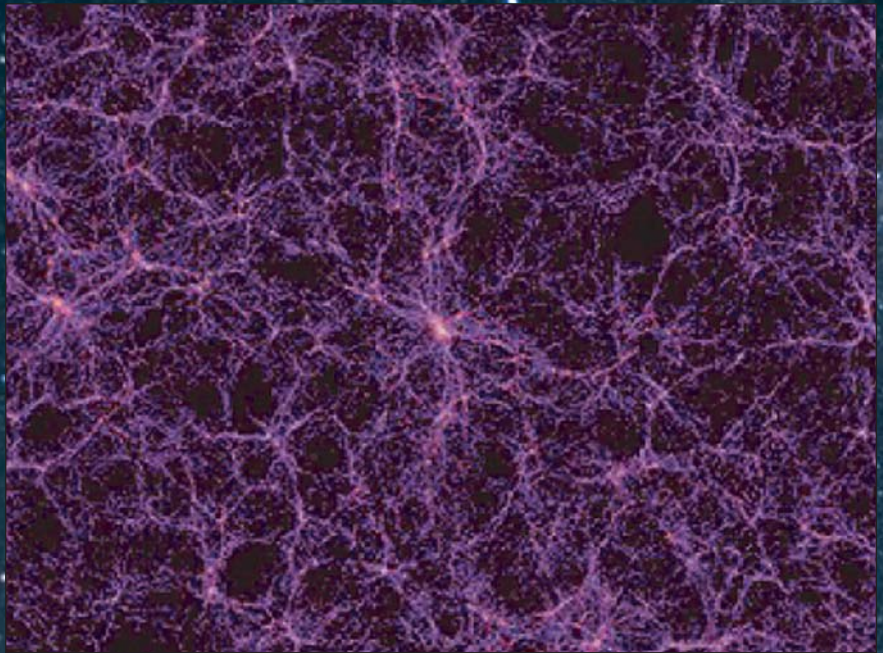


Рис. 1. Загальний вигляд коміркової структури Всесвіту [2] (Millennium simulation, <http://www.mpa-garching.mpg.de/galform/millennium/>)

"bottom up" (знизу догори) — коли спочатку утворюються малі структури, а великі з'являються в результаті наступного скупчування, чи навпаки, "top-down" (згори донизу), від великих масштабів до малих шляхом дроблення. На відміну від відомого питання, що народилося раніше: курка чи яйце, вибір космологічного сценарію дуже важливий: він істотно впливає на вибір моделі ТМ, і, таким чином, на наше розуміння мікроскопічної будови матерії. Властивості елементарних частинок, що входять до складу ТМ, і їхня взаємодія зі звичайною матерією визначають швидкість і параметри низки макроскопічних процесів. Уточнення параметрів розподілів матерії і кутового спектру РВ дасть можливість порівняти різні варіанти моделей мікроскопічної ТМ, зокрема, із залученням додаткових типів нейтрино.

Тут буде правомірним запитання: про яке точне порівняння теорії з експериментом може йтися при такому різноманітті навколишнього світу галактик, з різними формами, з різним населенням і віком? Ключ до такого порівняння дають статистичні методи, завдяки яким вдається знайти точки дотику теоретичних розрахунків зі спостережним матеріалом, таким як розподіли за масами, розмірами і світністю, параметрами кореляційних функцій тощо. Зауважимо, що навіть розподіл позагалактичних об'єктів у просторі дуже сильно відрізняється від абсолютно випадкового. Однак для визначення статистичних характеристик необхідно мати великі вибірки до-

сліджуваних об'єктів. Тому на перший план виходять широкомасштабні огляди неба з використанням як наземних, так і космічних інструментів. Найбільшим нині є Слоунівський цифровий огляд неба (Sloan Digital Sky Survey, SDSS; див. www.sdss.org); у його 7-му виданні містяться дані про зображення 350 млн. небесних об'єктів, спектри 930 тис. галактик, 120 тис. квазарів і 460 тис. зір. Наразі огляд закінчений, однак на його основі виникли нові проекти, що розвивають його в декількох напрямках (див., напр., <http://www.sdss3.org>). Що стосується теорії, то тут зростає роль суперкомп'ютерних моделювань, де можна простежити історію величезної кількості частинок. Так, при моделюванні розподілу, показаного на Рис. 1, розраховано положення 10 млрд. частинок у кубі з ребром, більшим за половину гігапарсека. Автори — група Virgo Consortium з американських, британських, німецьких і канадських астрофізиків — назвали свою роботу *Millennium simulation* [2].

Надскупчення, скупчення, порожнечі

Характерний розмір скупчень галактик — 5–10 Мпк; їх, як і групи галактик досить добре можна визначити зі спостережень. Надскупчення — угруповання скупчень і груп галактик — не так чітко виражені. Ідея про надскупчення була прийнята не відразу. Серед її супротивників були такі відомі астрофізики як *Едвін Хаббл* (Edwin Hubble) і *Фріц Цвіккі* (Fritz Zwicky). Хаббл у 1936 знайшов, що галактики в середньому розподілені однорідно, і

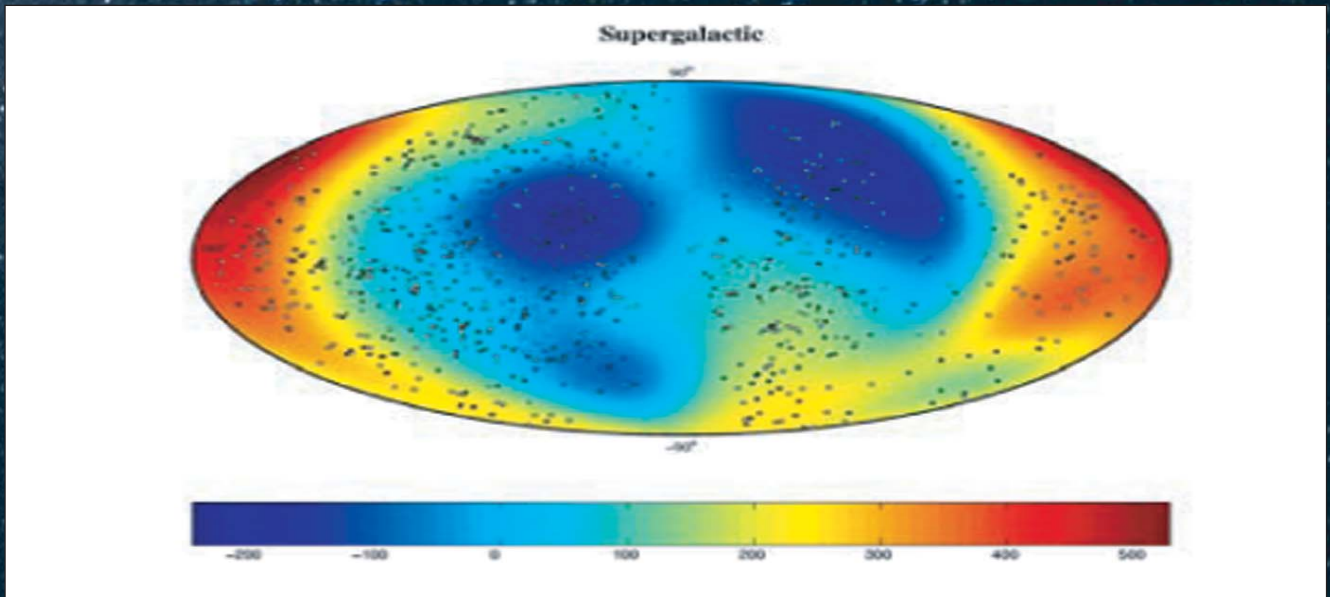


Рис. 2. Розподіл колективних швидкостей галактик у Місцевому Всесвіті. Ділянки з надлишком радіальної швидкості порівняно з хабблівським розширенням, показано червоним, з нестачею — синім (див. шкалу унизу в км/с).

що немає структур, більших за великі скупчення. У 1950-х роках продовжував заперечувати реальність надскупчень Цвіккі. Він вважав надскупчення великими скупченнями й оцінював їхні розміри приблизно в 40 Мпк, що близько до оцінки середніх розмірів надскупчень. Активним прихильником надскупчень був Джорж Ейбелл (George Abell). Він показав, що імовірність випадкового характеру спостережного просторового розподілу скупчень є мізерно малою. У результаті аналізу складеного ім каталогу скупчень Ейбелл у 1961 р. представив список 17-и північних надскупчень, середній розмір яких був 52 Мпк. Наприкінці минулого століття найбільший каталог надскупчень був складений Яном Ейнасто (Jaан Einasto) зі співробітниками [3]. Каталог містить 220 надскупчень з кількістю скупчень два та більше, а сім надскупчень мають у своєму складі не менш п'ятнадцяти Ейбелловських скупчень. Найвідомішою з них є **концентрація Шеплі** в сузір'ї Центавра, що налічує приблизно 2000 галактик. *Харлоу Шеплі* (Harlow Sharpley) та його співробітники з обсерваторії Гарвардського коледжу звернули на неї увагу при складанні огляду галактик на південному небі. Каталог [3] був складений на основі спостережень, проведених до середини 90-х років минулого століття. Пізніше були виявлені ще потужніші структури.

Велика стіна CfA2 — видима "в алфас" плоска структура з галактик, що розташовується на відстані близько 70 Мпк; відкрита в 1989 р. *Маргарет Геллер* (Margaret Geller) і *Джоном Хухрою* (John Huchra).

Велика стіна Слоуна — агрегація галактик, що простягається більше ніж на 300 Мпк; вона розмішена приблизно на такій самій відстані від нас. Відкрита в 2003 р. *Дж. Річардом Готтом* (J. Richard Gott III) і *Маріо Юричем* (Mario Juric) із Принстонського університету. Це — нині найбільша з відомих структур у Всесвіті. Велика стіна Слоуна була виявлена за даними огляду SDSS.

Серед галактик північного неба, що мають Хабблівські швидкості від 1000 до 2000 км/з, домінують галактики, що належать Місцевому надскупченню (Virgo Supercluster) з центром у скупченні Діви. Наша Місцева група, що складається з Галактики (Молочного шляху), туманності Андромеди і декількох десятків дрібніших їхніх супутників, разом з іншими близькими групами (Скульптор, IC-Maffei, M81) входять до складу подовженої структури (чи волокна філаменту), розміщеної на периферії Місцевого надскупчення. Надгалактичний екватор — перетин із небесною сферою площини концентрації галактик Місцевого надскупчення — приблизно перпендикулярний до площини Галактики.

На передньому тлі Великої стіни CfA2 є ділянка з малим вмістом галактик — **войд** у сузір'ї Волосся Вероніки. Дослідження показали вкрай бідний вміст галактик у цій ділянці. Інший відомий вайд був знайдений у Волопасі; він має розмір у 60 Мпк і довгий час його вважали найбільшим. Вайдів нині відкрито досить багато, з розмірами від мегапарсека і менше до 100 Мпк. Наш Молочний шлях є членом Місцевої групи, що входить до складу

"хмари" (філамент) галактик Волосся Вероніки — Скульптор. З одного боку, на "південь" від надгалактичної площини, що містить цей філамент, розміщений інший філамент, однак на "північ" від нього, відразу за останньою галактикою Місцевої групи, розміщений Місцевий вайд. Войди дуже важливі для вивчення розподілу світлої і темної матерії. Чи порожні войди в дійсності? Може, вони заповнені галактиками низької світності чи протогалактиками, що складаються з ТМ і не світлого газу, з яких можуть згодом формуватися нові галактики?

У, здавалося б, зовсім порожньому міжгалактичному просторі також є свої структури — хмари нейтрального водню, що містяться на різних червоних зміщеннях. У спостереженнях ці хмари виявляють себе через частокіл ліній поглинання в спектрах квазарів, що просвічують величезні відстані Всесвіту. Як правило, астрономів цікавлять абсорбційні лінії Лайманівської серії атома водню, зокрема, лінії лайман-альфа. Чим ближча хмара, тим менше її червоне зміщення і тим менша довжина хвилі, на якій земний спостерігач бачить лінію поглинання в спектрі далекого астрономічного об'єкта. Кожна лінія поглинання від окремої хмари може бути досить вузькою, однак хмар на промені зору багато, тому протяжна ділянка спектра, яку спостерігають, може нагадувати видимі верхівки лісу (звідси назва — "ліс лайман-альфа"). Дослідження лісу лайман-альфа відіграють особливу роль для перевірки космологічних теорій: завдяки малій густині динаміку середовища в міжгалактичному просторі набагато легше розрахува-

ти, ніж, наприклад, еволюцію ділянок, де виникають масивні утворення, описання яких вимагає врахування складних фізичних умов.

Розподіл маси у Всесвіті

Видимий розподіл галактик і їхніх скупчень зовсім не зобов'язаний повторювати розподіл усієї ТМ, що домінує серед типів матерії, які зазнають гравітаційного скупчування. Але усі види матерії породжують гравітаційне поле, що впливає і на швидкості галактик, і на поширення світла. На цій властивості засновані методи вивчення розподілу маси у Всесвіті.

Передусім відзначимо методи з визначенням пекулярних швидкостей галактик, тобто швидкостей, додаткових до швидкостей загального однорідного Габблівського розширення. Тут мова йде про рух відносно реліктового випромінювання, яке задає певну систему спокою Всесвіту. Великі концентрації мас, зокрема скупчення і надскупчення, виявляють себе як центри локальних притягань. Строго кажучи, ці центри генерують не швидкості, а прискорення галактик, проте, задача про відновлення розподілу мас за кінематикою об'єктів при певних припущеннях може бути розв'язана. Крім того, потрібно мати на увазі, що вимірюванню доступні лише радіальні складники швидкості (за ефектом Доплера), однак у процесі статистичного опрацювання їх удається відокремити від загального Габблівського розширення та знайти напрямок потоку галактик.

При вивченні колективної швидкості руху галактик в об'ємі до 100 Мпк виникло уявлення про Великий аттрактор з масою в $5 \cdot 10^{16}$ сонячних мас, що затаївся на відстані 58 Мпк у напрямку до сузір'я Центавра. Однак незабаром з'ясувалося, що для пояснення швидкості спостережуваного потоку галактик, одним Великим аттрактором не обійтися, довелося врахувати надскупчення в Персеї-Рибках у протилежному від Великого аттрактора напрямку, а також Концентрацію

Шеплі. Відомо, що Місцева група галактик рухається відносно мікрохвильового фону зі швидкістю (627 ± 22) км/с у напрямку в галактичних координатах $(l, b) = (276^\circ, 30^\circ) \pm 3^\circ$ [4]. Частину цієї швидкості можна пояснити "падінням" на найближче скупчення в Діві, частину дають класичний Великий аттрактор (Гідра-Центавр) і Концентрація Шеплі; але, для пояснення повної швидкості, мабуть, необхідно залучати й інші далекі масивні надскупчення. Зауважимо, що емоційні вирази типу "падіння на Великий аттрактор", що іноді лунають в обговореннях, чисто умовні. Колективні швидкості потоків галактик становлять невелику частину від швидкості Хабблівського розбігання галактик (див., напр., Рис.2, узятий з роботи [5]). Зауважимо також, що це середні швидкості потоку, на які накладаються чималі індивідуальні випадкові швидкості галактик.

На масштабах порядку 10 мегапарсеків найважливішим джерелом даних про розподіл маси є карликові галактики. Це відносно невеликі системи зір; у світі галактик вони є своєрідними "пробними частинками", причому їх досить багато. Завдяки цьому їх доцільно використовувати для вивчення розподілу маси Місцевого об'єму. З цієї метою на межі тисячоліть була проведена велика міжнародна програма спільних досліджень за участю американських, німецьких, російських і українських учених. Вихідним пунктом для спостережень були каталоги об'єктів низької поверхневої яскравості, які з 1970-х років розробляли Валентина Юхимівна й Ігор Дмитрович Караченцев. У рамках програми були отримані сотні знімків неба на космічному телескопі Габбла і виконаний їхній ретельний аналіз. Знімки охопили 97% усього неба, завдяки чому була побудована детальна тривимірна карта розподілу місцевих галактик і уточнена маса нашої Галактики. Ці й інші спостереження показали, що, принаймні в "місцевому Всесвіті", розподіл темної і світ-

ної матерії корелюють між собою — де більше світної матерії, там зосереджується і ТМ.

У перспективі здобуває велике значення ще один метод, в якому використано так зване "слабке гравітаційне лінзування", що працює на більших просторових масштабах. Тут першорядну роль відіграє вплив гравітаційного поля на поширення електромагнітного випромінювання. Завдяки ефектам загальної теорії відносності гравітаційне поле певним чином розтягує зображення далеких галактик на задньому плані.

Маючи велику кількість таких галактик, можна виміряти так званий "космічний зсув" (cosmic shear), за яким оцінюють розподіл мас на передньому плані. Метод вимагає досить глибоких оглядів, щоб набрати достатню статистику "лінзованих об'єктів"; зараз розробляють відповідні спостережні програми вивчення великомасштабної структури, що будуть реалізовані в майбутньому.

— Заплановані на найближчі роки наукові програми, як космічні, так і наземні, відкривають еру прецизійної космології. Астрономія — точна наука, і не дивно, що і при опису позагалактичних структур чисельний аналіз поступово приходить на зміну якісному опису. Дослідження тонких космологічних ефектів будуть підживлювати й інші галузі астрономії, а також фізики елементарних частинок. Як виявляється, фізика мікросвіту значуще впливає на процеси, досліджувані в космології і позагалактичній астрономії.

Саме таким шляхом, наприклад, було отримано одне з найкращих на сьогодні обмежень на маси нейтрино. Та й раніше "земні" проблеми фундаментальної фізики неодноразово знаходили розв'язання "у небесних сферах". Адже жодна наземна лабораторія чи прискорювач не забезпечать умов, що мали місце в перші моменти космологічного розширення! Дослідження великомасштабної будови Всесвіту тривають...

Література

- [1] Hinshaw G., Weiland J. L., Hill R. S. et al. (WMAP Collaboration). Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe Observations: Data Processing, Sky Maps, and Basic Results // The Astrophysical Journal Supplement. — 2009. — V.180. — P.225-245; arXiv:0803.0732.
- [2] Springel V., White S. D. M., Jenkins A. et. al., Simulating the joint evolution of quasars, galaxies and their large-scale distribution // Nature. — 2005. — V.435. — P.629-636; astro-ph/0504097.
- [3] Einasto M., Tago E., Jaaniste J., Einasto J., Andernach H. The supercluster-void network I. The supercluster catalogue and large-scale distribution // Astron. Astrophys. Suppl. — 1997. — V.123. — P.119-133; astro-ph/9610088
- [4] Kogut A., Lineweaver C., Smoot G.F. et al. Dipole anisotropy in the COBE differential microwave radiometers first-year sky maps // Astrophys. J. — 1993. — V.419. — P.1-6; astro-ph/9312056
- [5] Kudrya Yu.N., Karachentseva V.E., Karachentsev I.D. et al., The bulk motion of flat edge-on galaxies based on 2MASS photometry // Astron. and Astrophys. — 2003. — V.407. — P.889-898; astro-ph/0305483.