

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента на дисертацію Ємельянова Святослава Ігоровича
«Детальна морфологія скупчень галактик»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність тематики дослідження

Великомасштабна структура Всесвіту, обумовлена еволюцією початкових коливань густини первісної речовини і яка у значній мірі відображає структуру розподілу темної матерії, є актуальною темою дослідження. Скупчення галактик у цьому сенсі є маркерами таких масштабних структурних компонентів Всесвіту як філаменти, стіни та надскупчення галактик. Великомасштабна структура відображається у властивостях і структурі скупчень галактик, які є основними об'єктами представленої роботи. Масштабні статистичні роботи з вивчення морфології і структури скупчень галактик, якщо їх доповнити відстанями до цих об'єктів, можуть надати нам спостережну 3D-модель Всесвіту у великій його частині, яка спостерігається зараз за допомогою найбільших сучасних телескопів, як наземних, так і космічних. Тому актуальність і важливість теми роботи не викликає сумнівів.

Дисертаційна робота С. І. Ємельянова присвячена детальному вивченню структури та морфології скупчень галактик до $z=0.2$ на основі застосування новітніх математичних методів, що дозволяє у значній мірі автоматизувати цей процес у майбутньому, дозволивши провести великі за обсягом обчислень статистичні роботи. Важливим є пошук і аномальних скупчень, наприклад у войдах. Їх вивчення дозволить уточнити моделі еволюції первісних галактик.

У дисертаційній роботі розроблено програмний комплекс у середовищі C++ Builder: пакет програм "Cluster Cartography" (CC), який дозволяє отримувати та аналізувати карти розподілу галактик в скупченнях галактик. Комплекс дозволяє оптимізувати пошук основних характеристик скупчень, та об'єктивно оцінити достовірність отриманих значень.

Це дозволило провести масштабне дослідження і провести детальну класифікацію 460 скупчень галактик, що може слугувати основою дослідження структури Всесвіту до відстані до $z=0.2$.

Ступінь обґрунтованості результатів, їх наукова новизна

У дисертаційній роботі С. І. Ємельянова отримано такі наукові результати:

вперше застосовані чисельні алгоритми оригінальної програми для дослідження підструктур 460 скупчень галактик, для багатьох із них це було зроблено *вперше*.

вперше розроблена така детальна морфологічна класифікація для скупчень галактик, яка найбільш повно відображає індивідуальні особливості багатьох із них.

вперше на такому великому матеріалі підтверджено, що складні підструктури, такі як хрести, пів-хрести, ланцюжки, є регулярними підструктурами, і їхнє існування обумовлено загальними закономірностями у формуванні більш масштабних утворень.

отримали подальший розвиток існуючі класифікації морфологічних типів скупчень галактик, також *нові* підходи дозволили краще зрозуміти зв'язок орієнтацій галактик у підструктурах з напрямом самої підструктури та її типом.

Всі отримані автором результати є достовірними та належно обґрунтованими. Основні результати автора опубліковані в фахових виданнях і доповідались на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Структура і зміст дисертаційної роботи Результати дисертації відображені у 20_публікаціях: чотирьох статтях у фахових виданнях, трьох статтях в інших виданнях та у 13 матеріалах і тезах міжнародних та всеукраїнських конференцій.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, використаних джерел інформації. Загальний обсяг дисертації 114 сторінок, основна частина її складає 94 сторінки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної тематики, сформульовано мету роботи та задачі дослідження, подано коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та публікації.

У першому розділі «Скупчення галактик та їхня морфологія» автор дає опис сучасних уявлень про великомасштабну структуру Всесвіту, про скупчення галактик, їхні властивості та основні компоненти. Детально описані

існуючі схеми морфологічної класифікації галактик, їх скупчень та її зв'язок з еволюцією галактик та їх скупчень.

Основні результати дисертаційної роботи С. І. Ємельянова викладено у розділах 2 – 4 дисертації.

У другому розділі «*Спостережний матеріал та методика його аналізу*» детально описано . Мюнстерський червоний огляд неба як базу для пошуку скупчень галактик та створений на його основі каталог скупчень галактик Панько та Фліна, Описано алгоритм автоматичного вивчення особливостей розподілу галактик у полі скупчення – пакет Cluster Cartography та його використання (підготовка даних та візуалізація скупчення, основні команди та візуальна оцінка особливостей розташування галактик у полі скупчення. Цей пакет дає можливість визначити морфологічний тип скупчення за ступенем концентрації до центру скупчення, дозволяє провести детектування лінійної підструктури у скупченні, пошук Y-подібних структур та режим LightHouse Beam та аналіз еліптичностей галактик

Вся інформація може бути збережена як у графічному вигляді, також в вигляді гістограм і в табличному вигляді.

У третьому розділі «*Морфологія скупчень галактик каталогу PF*» за допомогою програми CC послідовно аналізуються різні морфологічні види відомих скупчень, всього досліджено більш, ніж 550 скупчень галактик. Досліджено морфологію скупчень, що не мають значущої концентрації до центру (тип O за схемою Панько), скупчень проміжної концентрації до центру (тип I) та морфологію концентрованих скупчень (тип C). Також розглянуто скупчення галактик у багатих областях, ізольовані скупчення галактик та особливості концентрації до центру кожного з цих наборів даних.

Для першого типу розсіяних скупчень було виявлено, що, крім очікуваних лінійних підструктур, в деяких скупченнях зустрічаються більш складні утворення. Наприклад, серед розсіяних скупчень, що не мають регулярних підструктур на кшталт лінійних, хрестів або пів-хрестів, 21 % мають особливості у вигляді надщільних викривлених ланцюжків. Саме на цьому наборі скупчень автором був відпрацьований алгоритм пошуку хрестів та пів-хрестів з використанням алгоритму *LightHouse Beam*. Всього у програмі CC досліджено 254 розсіяних скупчення.

Для другого типу (I) показано, що відносна частка скупчень з вузькими смугами в скупченнях типу I вища відносно скупчень типу O. Кількість скупчень, що мають хрестоподібні особливості у цій групі значно менша, ніж у типу O, що свідчить про руйнування менш потужного філаменту за час

еволюції скупчення від О до І типу. Уточнено морфологічний тип для низки скупчень.

Третя група (тип С) є найменшою, з урахуванням двох перекласифікованих типу І скупчень у подальшому як концентровані автором було проаналізовано 30 скупчень. Серед них 16 є типовими концентрованими скупченнями з яскравою галактикою у центрі, ще 8 мають яскраву галактику у центрі, проте різниця у зоряних величинах з іншими галактиками не настільки велика. 9 скупчень мають ознаки широкої смуги підвищеної концентрації, та 7 скупчень мають інші особливості, наприклад, одне з найбільших за кутовим розміром скупчень PF 0068-2875 має 2 центри концентрації та викривлену коротку смугу. Вузкі смуги у концентрованих скупченнях автором не було виявлено.

Для дослідження впливу найближчих сусідів було обрано 112 скупчень галактик, що утворюють надскупчення. Вони знаходяться у багатих областях, мають особливості еволюції із-за впливу найближчого сусіда. Дійсно, великі маси, що розташовані поблизу скупчення, повинні спотворювати типовий шлях його еволюції від розсіяного до концентрованого. Це припущення підтверджується результатами дослідження автора. Вплив сусідів можна побачити, наприклад у напрямках підструктур деяких скупчень.

Було розглянуте 31 ізольоване скупчення з найближчим сусідом на відстані не менш, ніж $60h^{-1}$ Мрс. Показано що серед ізольованих скупчень більша частка відноситься до розсіяних.

Важливо, що в роботі не було виявлено кореляції між морфологічним типом скупчення та його червоним зміщенням. Це показує відсутність систематичних еволюційних змін у скупченнях на проміжку часу до $z=0,2$, який характеризує каталог PF.

Автором було знайдено регулярні утворення нових типів, причому ці структури як типові знайдено вперше. До регулярних підструктур автором віднесено хрести та пів-хрести, що розглядаються як відображення відповідно перетинів та примикань філаментів підстилаючої сітки темної матерії. Статистично значущим є і інший тип підструктур, – короткі щільні викривлені ланцюжки. Вони потребують окремого додаткового вивчення.

У четвертому розділі *«Регулярні підструктури складної форми у скупченнях галактик каталогу PF»* послідовно аналізуються за допомогою пакету SS філаментарні підструктури та щільні смуги, викривлені та щільні ланцюжки у скупченнях, а також особливості орієнтацій галактик. Програма SS, як показано в цьому розділі, дозволяє відшукувати незвичайні

особливості, що можуть допомогти в удосконаленні теоретичних моделей еволюції скупчень та у перевірці комп'ютерних симуляцій зіткнень галактик.

За допомогою пакету CC було підтверджено, що яскраві галактики у центрі концентрованих скупчень орієнтовані згідно до загальної орієнтації всього скупчення. Також, яскраві галактики скупчень концентруються до областей найбільшої щільності для лінійних, Y- та хрестоподібних підструктур. Найбільш цікавими є особливі та рідкісні щільні викривлені ланцюжки. Статистично показано що вони є фізично пов'язаними утвореннями, щільність галактик у ланцюжках значно перевищує середню по скупченню, та близька до щільності центральних згущень у концентрованих скупченнях. Ці щільні ланцюжки, як й особливості орієнтацій галактик в них потребують подальшого детального вивчення. Орієнтації галактик в них також не є випадковими: вони частіше вирівнюються відповідно до напрямку підструктури, до якої належать.

Повнота наукових положень дослідження у дисертації та публікаціях

Всі задачі, які були поставлені автору роботи, виконано у повному обсязі. Результати, що подано у Розділах I – IV, опубліковано у фахових статтях, а також у додаткових публікаціях. Також результати опубліковано у тезах конференцій та обговорювалося на 7-х міжнародних наукових конференціях.

Практичне значення наукових результатів

Математичне забезпечення (пакет програм Cluster Cartography), без сумніву, дозволить провести масштабні дослідження підструктур для двовимірного (та тримірного у майбутньому) розподілу галактик у полі скупчення на базі будь-якого нового каталогу скупчень галактик.

Методика, яку було відпрацьовано при виконанні дисертаційного дослідження, може бути використана на іншому спостережному матеріалі, який дозволить знайти або підтвердити зв'язок морфологічного типу з відстанню, тобто з часом, оскільки формування скупчень продовжується відповідно до загальної еволюції великомасштабної структури Всесвіту.

Методики і результати роботи будуть використані фахівцями, які працюють в галузі позагалактичної астрономії та космології, як спостережні

тести для перевірки коректності теоретичних сценаріїв. І вони вже використовуються в ОНУ імені І.І. Мечникова у навчальному процесі.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. У дисертації та наукових публікаціях С. І. Ємельянова відсутні порушення академічної доброчесності. Unicheck –94,6% оригінальність тексту.

Зауваження до дисертації

Основне зауваження. Як відомо, в спіральних та неправильних галактиках спостерігаються області іонізованого водню НІІ, – це області активного зореутворення. Вони випромінюють достатньо суттєво в емісійній лінії водню 6563 Å. Для створення каталогу скупчень галактик були застосовані негативи на фотоемульсії Eastman-Kodak Ша-F з використанням світлофільтру RG 630, що забезпечило робочий діапазон довжин хвиль у області 6300 – 6900 Å. У цій області найбільш виразно будуть видимі якраз області НІІ. Це може спотворити як класифікацію галактик, так і відношення кількості спіральних та неправильних галактик до еліптичних. Чи можливо оцінити вплив цього ефекту на результати по окремим скупченням? У роботі немає дискусії з цього приводу.

Є зауваження до тексту самої роботи: одиниці фізичних величин даються то в англійській, то в українській транскрипції (наприклад, erg s^{-1} та erg s^{-1}). Замість «світимість» повинно бути «світність» (стор. 31) та ін. Помилки є і в формулах (наприклад, $T \sim 10^7 \cdot 10^8 \text{K}$, стор. 29). Мають місце і граматичні помилки, наприклад: спостепредних (замість спостережних, стор. 40), фтотмерічній (фотометричний, стор.52) та інші.

Однак вказані зауваження не впливають на загальну високу оцінку запропонованої методики та одержаних наукових результатів.

Висновок щодо відповідності дисертації нормам Дисертація С. І. Ємельянова на тему «Детальна морфологія скупчень галактик», подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним дослідженням, яке розглядає актуальні проблеми великомасштабної структури Всесвіту та еволюції галактик та їх скупчень. Отримані результати дають змогу поглибити наше розуміння еволюції скупчень та надскупчень галактик. Вважаю, що за новизною, актуальністю,

обсягом та практичним значенням дисертація відповідає вимогам наказу МОН України No 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України No44 від 12 січня 2022, а її автор Ємельянов Святослава Ігорович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Офіційний рецензент

доктор фізико-математичних наук,
доктор фіз.-мат. наук,
ст. науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
ННЦ «Астрономічна обсерваторія»
Одеського національного
університету імені І.І. Мечникова



В. В. Ковтюх

