

## 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**

Однією з основних проблем сучасної космології є проблема виникнення та еволюції великомасштабної структури Всесвіту. Порівняння спостережних даних з результатами теоретичними досліджень показує, наскільки добре сучасна фундаментальна наука описує реальний Всесвіт. Відомо, що є ряд явищ та/ або об'єктів, таких як темна енергія і темна матерія, для яких їхнє існування поки що не знаходить достатньо обґрунтованого пояснення. Є також низка інших суперечливих даних спостережень, наприклад, значення параметру Габбла, що отримано різними методами. Тому дослідження великомасштабної структури є критично важливими вирішення цих проблем. Ці дослідження виконуються як теоретично, так і за допомогою чисельних симуляцій на суперкомп'ютерах. Також важливим напрямком є обробка великих масивів спостережних даних, зібраних у різних каталогах. Прикладом такого каталогу є список галактик «Muenster Red Sky Survey», на базі якого Панько та Флін створили «Каталог скупчень та груп галактик». Даний каталог та списки галактик для кожного скупчення дозволяють аналізувати морфологію скупчень і надскупчень галактик, утворення різних структур у цих скупченнях та орієнтацію галактик у скупченнях. Проблема таких досліджень полягає у складнощі обробки великого масиву даних та статистичній достовірності отриманих результатів. Вирішенням цієї проблеми є якісна автоматизації/комп'ютеризація аналізу, що з успіхом виконано у дисертації, що розглядається. Здобувач Ємельянов Святослав Ігорович розробив пакет комп'ютерних програм «Cluster Cartography», який дозволяє швидко обробляти великі масиви даних з «Каталогу скупчень та груп галактик» та видавати статистично достовірні результати щодо особливостей внутрішньої будови досліджених скупчень галактик, їхніх морфологічних

типів та різних підструктур у скупченнях. Дані результати сприяють глибшому розумінню еволюції даних скупчень.

### **Ступінь обґрунтованості результатів, їх наукова новизна**

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

#### ***Вперше***

- за допомогою реалізованих дисертантом у комп'ютерному кодї чисельних критеріїв для статистично значимого виділення підструктур у скупченнях галактик, ним було класифіковано понад 460 скупчень галактик за ступенем концентрації галактик до центру, наявністю регулярних підструктур, ролі найяскравіших галактики;
- встановлено, що лінійні підструктури в скупченнях галактик, такі як ланцюжки, галактики, хрести, напівхрести (X та Y-подібні утворення), є типовими. Було висловлено важливе припущення, що вони виникають внаслідок варіацій густини «космічного павутиння», тобто темної матерії;
- показано, що вирівнювання галактик (тобто вирівнювання великих осей зображень галактик у наближенні найкращого еліпсу) у щільних викривлених ланцюжках не є довільним, а поділяється на два типи: вздовж ланцюжка і впоперек ланцюжка, що також може вказувати на зв'язок з «космічним павутинням»;

#### ***отримали подальший розвиток***

- схеми морфологічної класифікації скупчень галактик з урахуванням статистично обґрунтованих результатів, що зробило класифікацію точнішою та надійнішою.

### **Структура і зміст дисертаційної роботи**

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку використаних літературних джерел. Загальний обсяг дисертації 114 сторінок, основна частина її складає 106 сторінок.

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

*Перший розділ* дисертації «СКУПЧЕННЯ ГАЛАКТИК ТА ЇХНЯ МОРФОЛОГІЯ» є оглядовим. В ньому детально розглядаються принципи морфологічної класифікації скупчень галактик в оптичному та рентгенівському діапазонах та фізичне підґрунтя обох класифікацій. Також описується зв'язок внутрішньої будови скупчень з етапами їхньої еволюції.

*Другий розділ* «СПОСТЕРЕЖНИЙ МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ЙОГО АНАЛІЗУ» присвячено опису роботи пакета програм «Cluster Cartography», що розроблено здобувачем. Детально описано алгоритми аналізу двовимірного розподілу галактик у полі скупчення та послідовність дій у програмі для повного аналізу розподілу та орієнтацій галактик у скупченні.

*У Третньому розділі* «МОРФОЛОГІЯ СКУПЧЕНЬ ГАЛАКТИК КАТАЛОГУ PF» наведено результати обробки великої частки «Каталогу скупчень та груп галактик» за допомогою пакету програм «Cluster Cartography». Було проаналізовано понад 500 скупчень, кожне з яких містить понад 100 галактик, та визначено їх морфологічні типи. В результаті аналізу на статистично значущому рівні було показано, що в скупченнях галактик мають місце різні лінійні структури у вигляді хрестів, напівхрестів і ланцюжків. У дисертації було зроблено важливе припущення щодо зв'язку морфологічних типів з певним етапом еволюції скупчень, що розглядаються.

*Четвертий розділ* «РЕГУЛЯРНІ ПІДСТРУКТУРИ СКЛАДНОЇ ФОРМИ У СКУПЧЕННЯХ ГАЛАКТИК КАТАЛОГУ PF» присвячено аналізу відомих та нових типів регулярних підструктур (філаментів, щільних смуг, хрестів, викривлених ланцюжків) у скупченнях. Було показано, що ці підструктури виникають на різних етапах еволюції скупчень і відображають вплив космічного фонового павутиння розподілу темної матерії. Наприклад, скупчення галактик формується як розсіяне на перетині філаментів темної матерії, причому максимальний контраст густини темної матерії припадає на вузол, де дали формується наймасивніша центральна галактика.

**Повнота наукових положень дослідження у дисертації та публікаціях.**

У дисертації С. І. Ємельянова сформульовані завдання, необхідні положення та повністю розкрито їх зміст відповідно до тематики дослідження. Вони відображені у чотирьох наукових публікаціях у фахових виданнях,

доповідалися на 13 конференціях та частково були опубліковані у 3 інших виданнях, два з яких проіндексовано у наукометричній базі Scopus.

### **Практичне значення наукових результатів.**

Результати, що було отримано під час дисертаційного дослідження, істотно розширюють наше знання про структуру скупчень галактик та процеси, що призводять до формування скупчень різних морфологічних типів. Це є важливим моментом для розуміння утворення великомасштабної структури Всесвіту. Дані результати можуть бути використані для подальших досліджень у галузі астрофізики та космології.

**Відомості про дотримання академічної доброчесності.** У дисертації та наукових публікаціях С. І. Ємельянова відсутні порушення академічної доброчесності. Система перевірки Unicheck показала оригінальність тексту на рівні 94,6%.

### **Зауваження до дисертації.**

У дисертації розглядаються проекції розподілу галактик на двовимірну сферу. У зв'язку з цим виникає низка питань, не згаданих у дисертації. Наприклад:

1. Як визначається те, що скупчення гравітаційно пов'язане? Чи не потрапляють туди проекції гравітаційно непов'язаних галактик?
2. При такому підході опис лінійних структур та оцінка концентрації галактик у скупченнях можуть бути хибними, оскільки проекції з великою ймовірністю можуть не відповідати реальному тривимірному розподілу.

*Декілька незначних зауважень.*

1. У дисертації використовується термін «постійна Габбла-Леметра», а правильніше писати «параметр Габбла-Леметра», оскільки його значення залежить від часу.
2. На стор. 98 у поясненні до рисунку 4.4 неправильно вказано назву галактики та її розташування на рисунку.
3. На стор. 98 у поясненні рисунку 4.5 мається на увазі права панель, а вказано, як ліва.

Усі наведені недоліки аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

### 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 класифікації скупчень галактик за морфологічними типами, їхню еволюцію та утворення підструктур у скупченнях. Отримані результати дають змогу дослідити формування та еволюцію великомасштабної структури Всесвіту на певних етапах її розвитку. Вважаю, що за новизною, актуальністю, обсягом та практичним значенням дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 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 № 44 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,  
професор,  
головний науковий співробітник  
ННЦ «Астрономічна обсерваторія»  
Одеського національного  
університету імені І.І. Мечникова



О.І. Жук

