

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертацію **ЄМЕЛЬЯНОВА Святослава Ігоровича**
«ДЕТАЛЬНА МОРФОЛОГІЯ СКУПЧЕНЬ ГАЛАКТИК»,

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 104 – фізика та астрономія (10 – природничі науки)

Роботу присвячено актуальній темі дослідження скупчень, у яких реалізуються різноманітні фізичні процеси та їх комбінації у умовах, недосяжних для земних лабораторій. Дисертаційна робота зосереджена на ретельному аналізі внутрішньої структури скупчень галактик, охоплюючи їхню морфологію, підструктури та розташування галактик в просторі. Дослідження ґрунтується на статистичному аналізі та використанні спеціально розробленого програмного забезпечення для аналізу розподілу галактик у скупченнях.

Основна мета включають в себе ідентифікацію областей підвищеної щільності у скупченнях, класифікацію скупчень за їхньою морфологією відповідно до форми та розташування цих областей. Додатково, дослідження спрямоване на аналіз орієнтацій зображень галактик у скупченнях в контексті виявлених підструктур або всього скупчення.

У сучасній астрофізиці, зокрема, концепціях еволюції Всесвіту та утворення його великомасштабної структури, використовуються теоретичні дослідження, великі цифрові бази даних спостережень та комп'ютерні симуляції. Скупчення галактик виявляються одним із ключових аспектів фундаментальних досліджень у галузі спостережної космології. Астрофізичні огляди неба, такі як POSS (Palomar Observatory Sky Survey, огляд неба Паломарської Обсерваторії, США), містять інформацію про мільйони галактик, що служить основою для створення каталогів скупчень галактик.

Спостережна база дослідження ґрунтується на "Каталозі скупчень та груп галактик", який був створений на основі «Мюнстерського червоного огляду неба» (Münster Red Sky Survey, MRSS, Німеччина). Цей каталог, який охоплює понад 5 тисяч квадратних градусів південного неба з галактичною широтою $b < -45^\circ$, визначає себе як ключовий інструмент для подальших наукових досліджень в галактичній астрономії.

Для проведення дослідження, було розроблено та впроваджено у середовищі C++ Builder програмні алгоритми, що дозволили аналізувати двовимірний розподіл галактик у межах скупчень та визначати їхні морфологічні особливості на підставі статистичних критеріїв. За допомогою пакету програм «СС» («Cluster Cartography», «Картографія кластерів») проведено докладний аналіз розподілу галактик у 460 скупченнях, які включають 100 або більше галактик у своїй області, а також в 112 скупченнях, розташованих у багатих регіонах, та в 31 ізольованому скупченні з каталогу PF (Panko, Flin).

Дисертація містить 114 сторінок, 4 розділи (I. Скупчення галактик та їхня морфологія; II. Спостережний матеріал та методика його аналізу; III. Морфологія скупчень галактик каталогу PF; IV. Регулярні підструктури складної форми у скупченнях галактик каталогу PF), список посилань, що містить 76 літературних джерел.

Результати дослідження не лише розкривають нові аспекти структури скупчень галактик, але також підтверджують раніше припущені висновки про регулярність підструктур та значущість найяскравіших галактик у скупченнях. З урахуванням важливої ролі скупчень галактик як ключових об'єктів у вивченні космології та астрофізики, отримані результати суттєво впливають на ці галузі науки.

Дисертаційне дослідження виконувалося відповідно до плану науково-дослідних робіт Одеського національного університет імені І. І. Мечникова в межах кафедральної тематики (без цільового фінансування), науково-дослідна тема № 303 «Морфологія та динаміка багатокomпонентних

космічних систем», наказ ОНУ імені І. І. Мечникова № 1730-18 від 22.09.20, номер державної реєстрації 0120U104575. Результати опубліковані у 4 статтях у фахових журналах та 3 додаткових статтях. Зокрема, 2 публікації індексовані у міжнародній бібліографічній базі SCOPUS.

Крім того, отримані дані використовуються в ОНУ імені І.І. Мечникова у навчальному процесі в курсі ВБ 4.01 «Позагалактична астрономія» (ОП 104 «Фізика та астрономія» другого (магістерського) рівня вищої освіти). Пакет СС та розроблений метод було використано при виконанні кваліфікаційних робіт бакалавра та магістра, а також при виконанні дослідження переможця заключного етапу конкурсу МАН у 2022 році. Це свідчить про зручність та ефективність використання пакету СС в роботі.

Отримані в дисертації результати та положення, які винесені до захисту, є обґрунтованими, оскільки використаний якісний спостережувальний матеріал є якісним, а методологія математично обґрунтована.

Вступ показує актуальність роботи, мету дослідження і огляд методів її досягнення, перелічено основні результати дисертації та положення, що виносяться на захист, підкреслені їх наукова новизна та практична цінність. Подані дані про розмір та структуру дисертації.

Більшість результатів, які отримано в дисертації, є **новими**. На захист виносяться у висновках такі:

Створення та використання пакету Cluster Cartography дозволило швидко вивчити особливості внутрішньої будови понад 500 скупчень галактик каталогу PF та дійти до наступних висновків: 1. Розподіл скупчень за ступенем концентрації до центру залежить від загальної щільності галактик в околицях скупчення. Якщо розглядати набір з 460 скупчень з кількістю галактик $N \geq 100$ як базовий, то в областях екстремальної щільності частка скупчень проміжної концентрації істотно вища за типову. Для областей підвищеної щільності це можна пояснити впливом близько розташованих великих мас. Серед ізольованих скупчень більшість є

розсіяними, що пояснюється загальною невеликою густиною та малим контрастом густини DM, що дає повільне стискання. 2. Еволюція скупчень галактик у надскупченнях йде під значущим впливом інших членів надскупчення. 3. Виникнення лінійних підструктур є типовим явищем, його потрібно враховувати при вивченні складних еволюційних сценаріїв для скупчень галактик. 4. Більш складні внутрішні особливості, а саме хрести та пів-хрести, у скупченнях галактик також є регулярними підструктурами. Вони відображають формування скупчень на перетинах філаментів. 5. Розподіл та вирівнювання яскравих галактик у підструктурах відображає розподіл ущільнень підстилаючої сітки темної матерії. 6. За вирівнюванням яскравих галактик у підструктурі можна розділити філаменти та стіни. 7. Рідкісні щільні викривлені ланцюжки, які було знайдено та проаналізовано вперше, показують дуже сильне вирівнювання галактик 2-х типів: вздовж ланцюжка (вирівнювання як у філаментах) або вздовж та 105 поперек ланцюжка (вирівнювання як у стінах). Це потребує подальшого детального вивчення.

Результати роботи можуть у подальшому бути використані у організаціях НАНУ (Головна астрономічна обсерваторія) та астрономічних обсерваторіях та кафедрах астрономії Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Львівського національного університету імені Івана Франка, Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Одеському національному університеті імені І.І. Мечникова, кафедрі «Математика, фізика та астрономія» Одеського національного морського університету, астрономічних установах інших країн.

Автором дисертації виконано великий обсяг роботи, одержано нові цікаві та важливі результати, які мають велике практичне значення для фундаментальної науки. С.І.Ємельянов є кваліфікованим фахівцем в галузі астрофізики. Основні результати дисертації опубліковані у фахових журналах Апробація результатів дослідження проведена на семінарах та міжнародних конференціях (13 тез).

Питання та зауваження до дисертації:

Автором розроблено комплекс програм Cluster Cartography, який детально описаний на с. 50-68.

В яких випадках зображення кольорові, у яких – чорно-білі?

Рис. 2.6. Зліва – чи суцільна лінія є великою віссю еліпса без розділення на філаменти (майже лінійні підгрупи)?

Було б зручніше для ілюстрації показати виділенням області для кожного філамента.

Гістограма показує розріз (скан) із якою шириною? Вертикально чи ортогонально до лінії регресії кожного з філаментів?

Максимуми у зоні біля перетину – входять у обидві гістограми?

Яким був би теоретичний розподіл галактик по параметру еліптичності у наближенні плаского диску та випадкового рівномірного розподілу орієнтацій? Якими фізичними механізмами пояснюється відмінність?

Було б цікаво визначити параметр *S-poor* та *S-rich*, хоча б на прикладі рис. 67. Яке чисельне значення?

С.46. Термін «еліптичність», який використовується у дисертаційному дослідженні, визначений. Втім, для кращого сприйняття аудиторії, було б доцільно графічно показати зв'язок параметру еліпсоїдальності із класичним параметром – ексцентриситетом. Показати, як би систематично змінилися гістограми, та чому обрано саме такий параметр.

Пояснити термін «філамент» у контексті дослідження. Хоча він є усталеним терміном у англомовній літературі, його синонімами є «нитка» (fiber, thread), «волокно» (fibril, strand, string), «відрізок» (strand). Це «вибірка об'єктів із скупчення, яка концентрується біля відрізка»? Чи якимось інакше?

Відмічені недоліки стосуються до більш докладного роз'яснення, та не впливають на високий науковий рівень здобувача.

Результати дисертаційного дослідження повністю відображені в публікаціях автора. Опубліковані статті за змістом не дублюють одна одну.

Одержані в дисертації результати можуть бути використані для створення фізичних моделей досліджуваних об'єктів.

Робота написана зрозумілою науковою мовою, оформлена відповідно до вимог.

Представлена дисертація «Детальна морфологія скупчень галактик» є закінченою науковою роботою з актуальної області фізики та астрономії, конкретніше, у позагалактичній астрономії.

Одержані результати свідчать про те, що дисертаційне дослідження відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, які пред'являються до дисертацій доктора філософії, а її автор **ЄМЕЛЬЯНОВ Святослав Ігорович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 – Фізика та астрономія (10 – Природничі науки).

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри «Математика, фізика та астрономія»

Одеського національного морського університету

Міністерства освіти та науки України,

доктор фізико-математичних наук, професор

17.01.2024



Іван АНДРОНОВ

Підпис засвідчую:

*вчений секретар
ОКМУ*



Тетяна КОРОБКО