

УДК: 52.083  
№ державної реєстрації 0113U008323  
Інв. №

**Національна академія наук України**  
Головна астрономічна обсерваторія  
03143, м. Київ, вул. Заболотного 27; тел/факс (044) 526 21 47

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор Головної астрономічної  
обсерваторії НАН України  
академік НАН України

\_\_\_\_\_ Я. С. Яцків  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.  
М.П.

**ЗВІТ**  
про науково-дослідну роботу  
Чисельний аналіз фізичних характеристик і еволюції скупчень галактик, галактик і  
галактичних підсистем  
(остаточний)

Наукові керівники НДР:

Заст. директора  
д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ П. П. Берцик

Зав. відділу  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ І. Б. Вавилова

2018

Рукопис завершено 13 грудня 2018 р.

Результати роботи розглянуто Вченою радою ГАО НАН України, протокол  
від 21 грудня 2018 р., № 19

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівники НДР:

Заст. директора  
д.ф.-м.н

П. П. Берцик  
(вступ, реферат, висновки,  
розділ 1)

Завідувач відділу  
к.ф.-м.н.

І. Б. Вавилова (вступ,  
реферат, висновки, розділи 3.5,  
4.4, 5.2, 6.1, 6.2, 7.1, 7.2, 8.6)

Відповідальні виконавці:  
Завідувач АКІОЦ  
к.ф.-м.н.

О. А. Велесь  
(розділ2)

Виконавці:

В. Ю. Караченцева  
(розділи 3.3, 3.4, 8.6)

Пров. наук.співроб.  
д.ф.-м.н.

А. А. Елійв  
(розділи 3.1-3.3, 4.1-4.3,  
6.2, 7.1, 7.2)

Старш. наук. співроб.  
к.ф.-м.н.

Л. К. Пакуляк  
(розділи 8.1-8.5, 8.7)

Старш. наук. співроб.  
к.ф.-м.н.

Ю. В. Бабик  
(розділ 5.1, 5.2)

Наук.співроб.

Д. В. Добричева  
(розділи 6.1, 6.2)

к.ф.-м.н.

А. А. Василенко  
(розділи 3.5, 4.4, 4.5)

Наук.співроб.

О. О. Торбанюк  
(розділ 7.3)

к.ф.-м.н.

Н. Г. Пулатова  
(розділи 3.5, 4.4)

Наук.співроб.

О. М. Їжакевич  
(розділ 8.7)

к.ф.-м.н.

Т. Г. Артеменко  
(розділ 8.6)

Наук.співроб.

М. О. Соболенко  
(розділ1)

к.ф.-м.н.

Т. П. Бульба  
(розділ2)

Наук.співроб.

В. А. Лобортас  
(розділ2)

к.ф.-м.н

І. П. Веденичева  
(розділ2)

Мол. наук. співроб.

А. В. Золотухіна  
(розділ2)

Пров. інженер

Г. В. Парусімов  
(розділ 8.5)

Мол. наук. співроб.

Д. Д. Іванов  
(розділ2)

Пров. інженер

Пров. інженер

Пров. інженер

Пров. інженер

Інженер I кат.

Інженер I кат.

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 150 с., 2 ч., 8 табл., 79 рис., 1 дод., 70 джерел посилання та 167 публікацій виконавців.

СТРУКТУРА ВСЕСВІТУ НА РІЗНИХ МАСШТАБАХ, АКТИВНІ ЯДРА ГАЛАКТИК, ЧОРНІ ДІРИ ЗОРЯНИХ І ГАЛАКТИЧНИХ МАС, ПРИХОВАНА МАСА ГАЛАКТИК І СКУПЧЕНЬ ГАЛАКТИК, СПОСТЕРЕЖНА КОСМОЛОГІЯ, КЛАСТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, GPU ОБЧИСЛЕННЯ, ГРІД-ІНФРАСТРУКТУРА, РОЗПОДІЛЕНІ БАЗИ ДАНИХ, ВІРТУАЛЬНІ ОБСЕРВАТОРІЇ.

*Об'єкт дослідження:* Галактика, галактичні структури (диск, балдж, гало). Зоряні скупчення. Кульові скупчення. Галактичний центр. Надмасивні чорні діри та їх динамічна еволюція. Великомасштабна структура Всесвіту. Галактики з активними ядрами.

*Мета роботи:* Комплексне дослідження (теорія, спостереження, чисельне моделювання) еволюції галактик і систем галактик.

*Методи дослідження:* Для досягнення мети та розв'язку завдань використовувались найбільш сучасні обчислювальні системи з використанням графічних і векторних (SSE/AVX) прискорювачів, математичні методи обробки спектарльних даних, геометричні методи розпізнавання структур, методи усереднених параметрів, машинне навчання, статистичні методи.

Досліджено динаміку галактичного центра (включно чорні діри, їх еволюцію і злиття). Проведено детальне порівняння динамічних характеристик (розподіл мас і швидкостей) у галактичних дисках (у т.ч. нашої Галактики). Проаналізовано фізичні характеристики галактик близького Всесвіту, що входять у системи різної населеності, з використанням як каталогів галактик, створених авторами, так і сучасних баз спостережних даних.

Розроблено і впроваджено нові методи дослідження зони уникнення Молочного шляху та методи обробки центральних частин зображень рентгенівських джерел. Методи машинного навчання вперше застосовані для

спектральних оглядів неба та для встановлення морфологічної класифікації галактик. Детально відкартографовано область Місцевого Всесвіту (войди, філаменти) та вперше показано за даними чисельного моделювання існування ненульового магнітного поля в войдах великомасштабної структури Всесвіту.

Виконані дослідження галактик з активними ядрами (АЯГ) в різних спектральних діапазонах, використовуючи дані космічних рентгенівських і гама обсерваторій та власні оптичні спостереження з метою уточнення механізмів акреції, визначення мас надмасивних центральних чорних дір, виявлення параметрів АЯГ, які залежать від оточення. Розроблені сервісні пакети програмного забезпечення Української віртуальної обсерваторії (УкрВО) для роботи з об'єднаним оцифрованим архівом астронегативів астрономічних обсерваторій України, вирішена задача ототожнення об'єктів гама-спалахів, позиційних вимірювань малих тіл Сонячної системи, каталогів зоряних полів тощо на основі створених баз астрономічних даних. Наповнено створений в попередні роки електронний реєстр астроінформаційних ресурсів України та об'єднаний цифровий архів (ОЦА) астрономічних спостережень (в широкому спектральному діапазоні) астрономічними даними обсерваторій України загальним обсягом кілька десятків Тб. Розвиток сайту УкрВО і перетворення його в портал УкрВО дозволить створити електронну сервісну платформу eResearch як основу інформаційної інфраструктури та наповнити її науковою інформацією, базами даних, веб-сервісами для інтелектуального пошуку й аналізу даних.

## ЗМІСТ

Частина 1		8
	Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів	8
	Вступ	9
1	Динамічне числове моделювання еволюції галактик і галактичних підсистем	12
	1.1 Злиття надмасивних чорних дір при космологічному поєднанні масивних галактик	14
	1.2 До питання про механізм формування бару в галактиках з каспом в балджі	19
	1.3 DRAGON моделювання: еволюція кульових скупчень з мільйонами зірок	20
	1.4 Прискорене припливне руйнування масивними чорними дірами при злитті галактик з боку N-тільного моделювання	35
	1.5 бертання галактики та еволюція супермасивної подвійної чорної діри	42
2	Детальний аналіз продуктивності та енергоефективності обчислювальних програм, що використовують технологію GPU	45
3	Космічні войди та ізольовані галактики великомасштабної структури Всесвіту: виокремлення, населення, властивості	51
	3.1 Властивості войдів, населення та їх виокремлення	51
	3.2 Динамічний та некорельований шукач войдів	52
	3.3 Войди Місцевого Всесвіту, пошук агломератів галактик	56
	3.4 Великомасштабна структура та рухи галактик у Місцевому надскупченні	60
	3.5 Мультихвильові властивості ізольованих галактик з активними ядрами на червоних зміщеннях $z < 0.1$	62
4	Властивості галактик з активними ядрами за даними спостережень в рентгенівському та оптичному діапазонах	67
	4.1 Активні ядра галактик, особливості великомасштабного розподілу	67
	4.2 Електромагнітні лавини від блазарів та вимірювання магнітного поля в войдах	71
	4.3 Властивості та стійкість електромагнітних лавин в войдах	75

4.4	Властивості ізольованих галактик з активними ядрами в рентгенівському діапазоні	77
4.5	Властивості галактик з активними ядрами в рентгенівському діапазоні, вибраними за однорідними каталогами або за однаковим феноменологічним типом	79
5	Високоенергетичні властивості скупчень галактик: темна і баріонна матерія	83
5.1	Вплив зворотного зв'язку активних ядер на міжгалактичний і міжзоряний газ у складі скупчень галактик, групах та масивних галактиках	84
5.2	Розподіл видимої та прихованої маси в рентгенівських скупченнях галактик на $z < 1.4$ за даними космічної обсерваторії "Чандра"	88
6	Властивості галактик як індикатор еволюції великомасштабної структури Всесвіту	94
6.1	Залежність «морфологічний тип – показник кольору» галактик, отримані за усередненими характеристиками даних оглядів близького Всесвіту	94
6.2	Методи машинного навчання для морфологічної класифікації галактик із вибірки SDSS	98
7	Великомасштабна структура Всесвіту: Нові методи досліджень	101
7.1	Зона уникнення Молочного Шляху: дослідження прямими і непрямими методами	101
7.2	Зона уникнення Молочного Шляху: реконструкція методами машинного навчання	105
7.3	Середня прозорість міжгалактичного середовища за даними $I\alpha$ -лісу у спектрах квазарів	109
8	Розвиток пілотного проекту об'єднаної бази спостережних даних на порталі укрво та організації доступу до астроінформаційного фонду УкрВО	115
8.1	Зоряний каталог FONAC: фінальна версія київської частини проекту ФОН	115
8.2	Версія каталога FONAC 3.0	116
8.3	Розповсюдження каталогу FONAC на об'єкти до $16^m$ включно: північна близькополюсна зона (FONAC V3.0 CPR)	117

8.4	Зоряні каталоги на порталі УкрВО та організація доступу до них	118
8.5	Адміністративний модуль бази даних «Астрономи України» на порталі УкрВО	121
8.6	База даних «Астрономи України» на порталі УкрВО: матеріали про персоналії та з історії астрономії	123
8.7	Методи обробки зображень на ПЗЗ-кадрах та астронегативах з метою пошуку та опрацювання положень планет і малих тіл Сонячної системи	124
Частина 2		129
Висновки		129
Перелік джерел посилання		132
Список публікацій виконавців		136
Додаток А Скріншоти функціональних сторінок адміністративного інтерфейсу бази даних «Астрономи України»		146

## Частина 1

### Перелік скорочень, умовних познач, одиниць і термінів

TE, TM - Темна енергія, темна матерія

НМЧД - Надмасивні чорні діри

ГХ - Гравітаційні хвилі

ППР - Події припливних руйнувань

ФОН - фотографічний огляд неба

WFPDB - Wide-Field Plate DataBase

УкрВО - Українська віртуальна обсерваторія

CCD - charge-coupled device

FONAC - Астрометричний каталог фотографічного огляду (неба)

UCAC - USNO (United States Naval Observatory) CCD Astrograph Catalog

ОЦА - Об'єднаний цифровий архів

CPR - CircumPolar Region

БД - база даних

CPU(central processing unit) — центральний процесор

GPU(graphics processing unit ) - графічна карта

GPGPU(General-purpose computing on graphics processing units)

OpenCL(Open Computing Language) - фреймворк для створення комп'ютерних програм

CUDA( Compute Unified Device Architecture) - програмно-апаратна архітектура паралельних обчислень

DSP(digital signal processor) - Процесор цифрової обробки сигналів

FPGA(Field-Programmable Gate Array) - Програмована користувачем вентилярна матриця

Tflops або TFLOPS —  $10^{12}$  операцій з плаваючою комою на секунду

GLSL (OpenGL Shading Language)

RAM (Random Access Memory) -оперативна пам'ять



## ВСТУП

В результаті розвитку сучасних обчислювальних технологій у світі і в Україні стало можливим моделювання еволюції галактик з унікальною роздільною здатністю. Хоча комплексні процеси, що відбуваються в газозоряній динамічній системі не до кінця зрозумілі (і навіть не до кінця описані у рамках простих фізичних формул), чисельний аналіз дозволяє навіть у таких випадках провести моделювання (використовуючи різні стохастичні наближення) і порівняння зі збільшеним об'ємом спостережень.

Сучасні дані про будову Всесвіту на галактичних і космологічних масштабах є єдиним джерелом нетривіальної інформації про розподіл матерії у Всесвіті і потребують розробки нових астрономічних методів для отримання та інтерпретації інформації про темну енергію (TE), темну матерію (ТМ) і видиму матерію (ВМ) у Всесвіті. Будучи непростою задачею самою по собі, вона додатково ускладнена ще й тим, що значна частина спостережень стосується сучасної епохи і вимагає екстраполяції на більш ранні періоди часу. Тим більшою є цінність результатів стосовно астрофізичних об'єктів, які фактично містять первинну речовину, таких як G-карлики та карликові неправильні галактики, як ТМ у гало галактик і в гало груп та скупчень галактик. Актуальність досліджень обумовлена збільшеним об'ємом високоточних спостережень фізичних характеристик галактик і галактичних систем (включно Галактику). Великі огляди фізичних і хімічних параметрів галактик отриманих у проектах, наприклад, SDSS (SLOAN) і їх послідовників AS3 (After SLOAN3), дали вже тепер можливість проаналізувати еволюцію для сотні тисяч галактичних систем. Зокрема, співробітниками відділу вперше з використанням найсучасних комп'ютерних технологій проведені безпрецедентні (за кількістю частинок та часового відрізка інтегрування) роботи з високоточного динамічного моделювання еволюції галактичного центру, включно із рухом надмасивної чорної діри. Ці роботи дали змогу суттєво уточнити ранні аналітичні розрахунки «гравітаційного броунівського руху» чорної діри в розподілі поля зір і дали

можливість оцінити масу центрального невидимого тіла, що добре збігаються з прямими вимірами. Вперше показано, що характерний час злиття чорних дір у центрі галактик при типових параметрах мас і кутових моментів орбіт чорних дір становить приблизно 1 млрд років. Вперше проведено високоточне чисельне інтегрування еволюції подвійної чорної діри в центрі галактик з використанням масивно-паралельного phi-GRAPe коду. Показано, що незалежно від кількості «зоряних» частинок ( $N$  – від 25 тис. до 1 млн.) похідна за часом величини, оберненої до великої півосі подвійної чорної діри (так званий "hardening rate"), не залежить від кількості зір.

Вперше проведено розрахунки руху зоряних скупчень у гравітаційному комплексному потенціалі Галактичного диску з максимально високою роздільною здатністю («одна зоря – одна частинка»), які показали, що видимі еліптичності спостережуваних зоряних скупчень добре узгоджуються з чисельним моделюванням. В роботах вперше детально досліджено динамічну еволюцію та енергетику втрати зір скупченнями за рахунок припливних сил у галактичному диску.

Фізичні та кінематичні характеристики матерії на масштабах груп і скупчень галактик є одними з головних джерел, що живлять космологічні теорії, дають експериментальну базу для визначення космологічних параметрів і тестування моделей  $\Lambda$ CDM і  $\Lambda$ SU(2)<sub>CMB</sub>. В цьому напрямку авторами опрацьовано великий обсяг спостережного матеріалу, чим створено надійний фундамент для порівняння з теоретичними розрахунками. Результати є важливими для подальших досліджень  $\Lambda$ CDM та визначення параметрів великомасштабної неоднорідності, вони вже знайшли широке використання в міжнародних програмах для картографування Місцевого Всесвіту.

Виконавцями теми розроблено нові методи вивчення великомасштабної структури та кластеризації позагалактичних об'єктів з використанням фрактального та хвилькового аналізу, мозаїки Вороного. Зокрема, застосований в роботах І. Б. Вавилової метод мозаїки Вороного дозволив виявити залежності

між морфологічним типом, показником кольору та іншими параметрами галактик, що входять у групи різної кратності. Отримані відношення «маса-світність» галактик дозволили оцінити вміст ТМ у малочисельних групах (від 20 до  $50 M_{\text{Сон}}/L_{\text{Сон}}$  в залежності від складу групи) та зробити висновок, що у групах, де переважають галактики пізніх типів, ТМ концентрується в гало групи. Модифікація методів крос-кореляційного аналізу змінності випромінювання активних ядер галактик в оптичному і високоенергетичному спектральному діапазонах дозволила вперше отримати нові дані щодо механізмів акреції та мас надмасивних чорних дір в їхніх ядрах.

На астронегативах (скляних пластинках), отриманих в обсерваторіях України за допомогою оптичних телескопів накопичено величезний спостережний матеріал, найчастіше необроблений або частково оброблений відповідно до поставлених задач. Така зафіксована інформація про астрономічні події, які вже не відбудуться в силу безповоротності часу, має унікальне значення для таких напрямів сучасної астрономії як пошук і перевідкриття комет, уточнення орбіт та відкриття астероїдів, у т.ч. тих, котрі можуть становити загрозу Землі, дослідження змінних зір, нових і наднових зір, активних ядер галактик, пошук оптичних джерел у напрямку гамма-спалахів, дослідження Сонця тощо. Спільно і співробітниками відділу астрометрії ГАО НАНУ створено Об'єднаний цифровий архів (ОЦА) Української астрономічної обсерваторії (УкрВО), в якому реалізовано спільний доступ до баз даних і відпрацьовуються методи й засоби управління великими інформаційними потоками. В ГАО працює спеціалізований GRID, GPU обчислювальний кластер, який дозволяє виконувати високоефективне комп'ютерне моделювання еволюції галактичних систем.

## 1 Динамічне числове моделювання еволюції галактик і галактичних підсистем

Надмасивні чорні діри (НМЧД) широко поширені в галактиках зі значною масою. Вважається, що спочатку пара НМЧД формує подвійну систему в ядрі галактик, що об'єднуються, а потім зливається через вибух гравітаційних хвиль. До сих пір, теоретичні моделі та комп'ютерне моделювання, концентруючись лише на окремих фазах орбітального зближення НМЧД в ідеалізованих умовах галактик-господарів, так і не змогли точно передбачити часову шкалу злиття НМЧД, використовуючи лише принципи формування галактик. Прогнозовані часові шкали злиття НМЧД є «довгими», порядку мільярда років, що може бути проблематичним для дослідження гравітаційних хвиль (ГХ) у майбутньому. У нашій роботі ми представляємо перше великомасштабне  $\Lambda$ CDM космологічне моделювання, яке відтворює орбітальне зближення пари НМЧД в результаті злиття двох типових масивних галактик при червоному зміщенні  $z \sim 3$ , до фінального злиття, обумовленого випромінюванням ГХ. Дві НМЧД з масами  $\sim 10^8 M_{\text{SOL}}$  швидко осідають в ядрі залишку злиття. Залишок є тривісний та надзвичайно щільний внаслідок дисипативної природи злиття і власної компактності галактик на великих червоних зміщеннях. Такі властивості, природно, дозволяють дуже ефективно збільшувати відношення  $1/a$ , де  $a$  – велика піввісь орбіти, для пари НМЧД. Злиття НМЧД відбувається тільки через  $\sim 10$  мільйонів років після злиття ядер галактик, що на два порядки менше ніж хабблівський час.

За допомогою чисельного моделювання ми показуємо, що динамічна зоряна модель складена з експоненційного диску, балджу з каспом та гало Наварро-Френка-Вайта, з параметрами близькими до параметрів Чумацького Шляху, схильні до утворення барів. Беручи до уваги кінцеву товщину диска, формування бару можна пояснити звичайною нестабільністю бару, незважаючи

на наявність внутрішнього резонансу Ліндблада, який, як вважають гасить будь які глобальні моди. Досліджується ефект заміни живого гало та балджу на нерухомий зовнішній вісесиметричний потенціал (жорсткі моделі). Показано, що в той час як експоненційний час нестабільності бару значно збільшується (з 250 до 500 мільйонів років), швидкість контуру бару залишається майже такою ж. Для останнього, наше середнє значення  $55 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$  узгоджується з припущенням, що потік Геркулеса в околиці Сонця є відображенням взаємодії бар-диск в зовнішньому ліндбладовському резонансі бару. Вертикальне усереднення радіальної сили в центральній області диску, яке можна порівняти з характерною довжиною шкали дозволяє відтворювати швидкість контуру бара та темп росту для жорстких моделей, за допомогою звичайного аналізу мод лінійної теорії збурень в надтонкому диску. Сильне збільшення експоненційного часу зі зменшенням маси диска, передбаченого аналізом мод, говорить про те, що бари в галактиках, подібних до Чумацького Шляху, сформувалися нещодавно.

Реалізуючи проект моделювання DRAGON, ми представляємо пряме N-тільне моделювання чотирьох масивних кульових скупчень (КС) з  $10^6$  зірок та з 5 відсотками початкових подвійних на високому рівні точності та реалізму. Еволюція КС обчислюється за допомогою коду NBODY6 ++ GPU та враховує динамічну та зоряну еволюцію окремих зірок і подвійних зірок, не використовує нейтронні зірки і чорні діри (ЧД), а також вплив приливного поля. Ми досліджуємо еволюцію світлої (зоряна) та темної (слабкі зорі та зоряні залишки) компоненти КС і створюємо імітаційні спостереження моделювання (тобто фотометрія, діаграми колір-зоряна величина, поверхнева яскравість та профілі зоряних швидкостей). При поєднанні внутрішніх процесів зі спостережуваними ознаками, ми відзначаємо формування довгоживучої "темної" ядерної підсистеми з ЧДми, що призводить до двокомпонентної структури. Внутрішнє ядро домінує над підсистеми ЧД та колапсує протягом одного мільярду років. Воно може бути виявлене в профілі дисперсії зоряної (світлої) швидкості на проміні зору. Зовнішнє розширене ядро – зазвичай спостерігається в профілі поверхневої

(світлої) яскравості – не показує ніяких особливостей колапсу і постійно розширюється. Ми показуємо, як модель Кінга, застосована до спостережуваних скупчень, може допомогти ідентифікувати наявність підсистем ЧД після злиття ядер. Для глобальних спостережуваних величин таких як ядро та радіус половини маси, пряме моделювання добре узгоджується з моделями Монте-Карло. Зміни в функції початкової маси, спричинені різними кількостями втрат маси на початкових стадіях та кількістю ЧД, які формуються, можуть призвести до значних змін властивостей КС (наприклад, розподілу густини).

### 1.1 Злиття надмасивних чорних дір при космологічному поєднанні масивних галактик

Ми констатуємо злиття двох масивних галактик при червоному зміщенні  $z \sim 3.5$  в космологічному гідродинамічному моделюванні Argo. Моделювання включається після формування гало з розмірами групи з масою  $\approx 2 \times 10^{13} M_{\text{SOL}}$  на червоному зміщенні  $z = 0$ , а також охолодження газу, утворення зірок (УЗ), моделі зворотного зв'язку наднових, які використовуються для отримання реалістичних галактик при різних масштабах мас. Гало розвивається в регіоні з невеликим надлишком густини та його віріальна маса близька до характеристичного масштабу  $M^*$  функції мас гало на малих червоних зміщеннях, припускаючи, що він повинен бути типовим господарем для масивних галактик. В моделюваннях з низькою роздільною здатністю група включає центральну галактику з властивостями характерними для масивних галактик ранніх типів на  $z=0$ .

Центральна галактика Argo зазнає останнього великого злиття (з відношенням мас зір  $\sim 0.3$ ) при  $z \approx 3.5$ . Злиття включає в себе дві дископодібні галактики на майже параболічній (злегка гіперболічній) орбіті, із зірковими спінами зміщеними на  $\approx 67''$ . Така конфігурація характерна для великих злиттів в  $\Lambda$ CDM космології. Дві галактики мають зіркові маси  $M_{\star,1} \approx 3.6 \times 10^{10} M_{\text{SOL}}$  та  $M_{\star,2} \approx 10^{10} M_{\text{SOL}}$ , та частки газу  $f_1 \approx 7.7\%$  та  $f_2 \approx 11.5\%$ , відповідно. Дві галактики та оточення групи під час злиття показані на Рисунку 1.

Спочатку космологічне моделювання спочатку не містить будь-яких НМЧД та його роздільна здатність не дозволяє дослідити еволюцію подвійної системи ЧД. В зв'язку з цим ми збільшили роздільну здатність за допомогою статичного дроблення частинок. А саме, ми взяли з космологічного моделювання сферичний регіон з радіусом  $\sim 13.5$  кпк на  $z=3.6$ , який охоплює дві галактики та частину їх оточення. Ми перевірили, що середній динамічний час такого регіону складає  $\geq 100$  млн. років, що більше ніж динамічний час у центральному регіоні та час моделювання, який ми оцінили у декілька десятків млн. років. На цьому етапі, ядра двох галактик знаходяться на відстані  $\leq 4$  кпк. Потім розділити всі види частинок на вісім дочірніх частинок з масами в вісім разів менше і з тією ж швидкістю батьківської частинки, тим самим зберігаючи точно масу і лінійний імпульс, і кутовий момент на рівні ядра. Термодинамічні властивості частинок газу (тобто, густина та температура) інтерполуються серед дочірніх часток (Roškar et al. 2015), в той час як дочірні зіркові частинки підтримують властивості своїх батьків (наприклад, вік). Після дроблення, моделювання містить 9452581 зіркових частинок, 1088920 газові частинки та 1669922 частинок темної матерії з масами  $6.4 \times 10^3 M_{\text{SOL}}$ ,  $2 \times 10^4 M_{\text{SOL}}$  та  $10^5 M_{\text{SOL}}$  відповідно. Ми зменшили параметр гравітаційного пом'якшення  $\square=5$  пк газових та зоряних частинок для збільшення просторового розділення, в той час як пом'якшення темної матерії зменшився з фактором  $8^{1/3}=2$  для підтримки локальної густини та гладкого гравітаційного поля. Ми ретельно перевірили цю процедуру, виконавши два однакових моделювання з  $\text{eps}=15$  та  $50$  пк; ми перевірили, що (а) немає побічних ефектів на масштабах більших, ніж початкові пом'якшення були введені та (б) динаміка введених НМЧД (дивись нижче) сходиться вниз до прийнятого пом'якшення.

На Рисунку 1.2 показані різні етапи злиття двох галактик в нашій моделі після того, як ми виконали дроблення частинок. Рисунок 1.2 показує, що дві галактики плоскі та дископодібні. Залишок має витягнуту форму аж до декількох кпк незабаром після злиття.

Під час заключної стадії злиття (тобто при  $t \approx 20$  млн. років після дроблення частинок), залишок злиття бідне на газ (частка газу  $\sim 5\%$ ) за рахунок споживання газу УЗ. Зірки переважають по масі на внутрішньому радіусі до  $\sim 3$  кпк і забезпечують основний внесок у динамічне тертя, що чиниться фоном. На Рисунку 3 показано розподіл маси окремих компонентів, коли відстань між двома СМЧД досягає 300 пк, що  $\approx 21.5$  млн. років після дроблення частинок. Зоряна маса майже на два порядки більше, ніж газ на одному для всіх просторовому масштабі за винятком центральних 10 пк, де різниця має фактор 20.

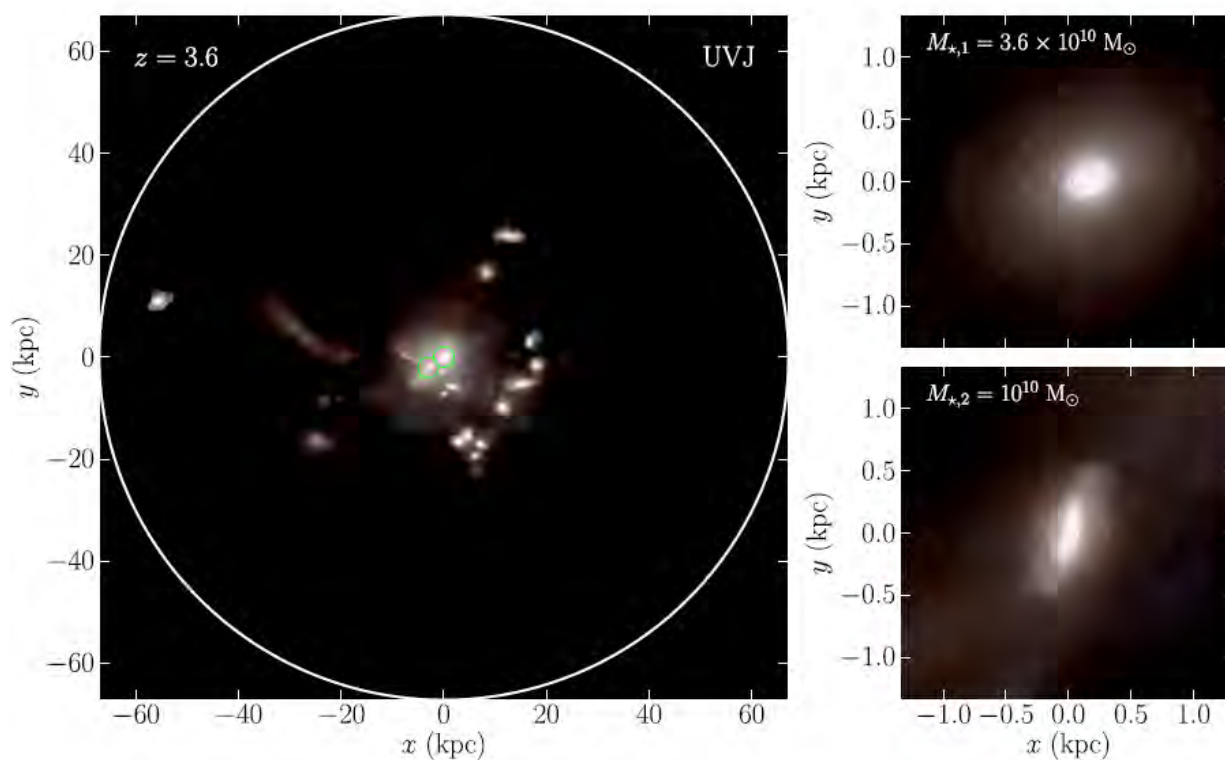


Рис. 1.1 Оточення групи при злитті галактик. Ліва панель показує змодельовану UVJ мапу галактичної групи на  $z=3.6$ . Білі круги позначають віріальний радіус гало групи, зелені кола позначають позначають галактики, що зливаються. Справа вверху та внизу показано збільшене зображення центральної галактики групи та взаємодіючого компаньйона, відповідно. Довжини в фізичних координатах.



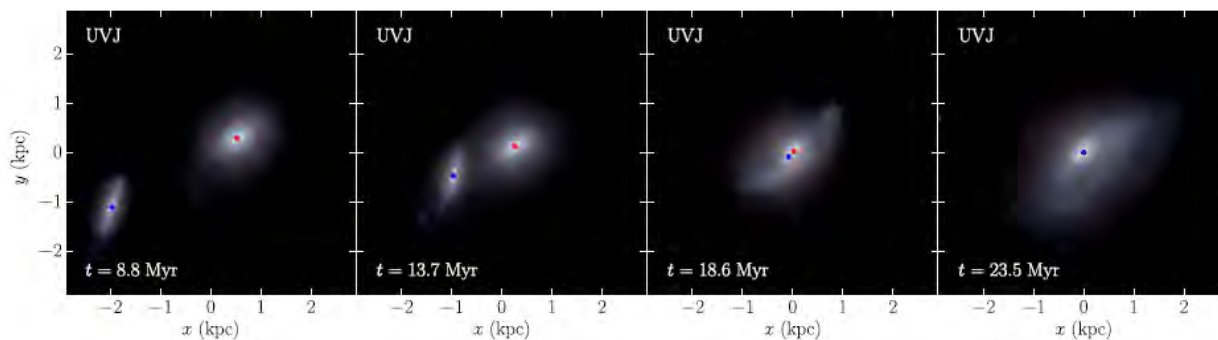


Рис. 1.2. Зліва направо: часова еволюція злиття галактик після початку пере зібраного моделювання з високою точністю. Кожна панель показує змодельоване UVJ фотометричне зображення злиття, та червона та синя точки показують положення початкової та вторинної ЧД, відповідно. Довжини в фізичних координатах.

Далі ми проевoluціонували виділений регіон за допомогою високопродуктивного  $\phi$ -GPU коду (Berczik et al. 2011). В кінці нашого попереднього моделювання злиття галактики, зоряна та газова частинки мали пом'якшення 5 пк та частинки темної матерії мали пом'якшення 150 пк. Ми починаємо наш прямий N-тільний запуск зменшенням зоряного пом'якшення до 0.1 пк, зберігаючи при цьому пом'якшення частинок темної матерії незмінним, щоб уникнути ефектів релаксації двох тіл, оскільки останні мають відносно велику масу. Динамічне тертя ефективно зменшує відстань між двома СМЧД та вони формують подвійну як тільки індивідуальні каспи зливаються на  $t=23.5$  млн. років. Відстань між компонентами різко падає до  $\sim 0.3$  пк за менш ніж 1 млн. років, завдяки високій густині ядер, поки у подвійній системі не збільшується відношення  $1/a$ , де  $a$  – велика піввісь орбіти та динамічне тертя не стає неієвим. Наступна фаза зближення визначається трьох тільними зіткненнями між подвійними та оточуючими зірками. Ця фаза є найдовша, триває  $\approx 8$  млн. років до моменту, коли відстань зменшується до  $\sim 0.01$  пк, в який випромінювання ГХ швидко зливає СМЧД за 2 млн. років. (Рисунок 1.3). Рисунок 1.3 також показує, що пост-ньютонівські члени мають вирішальне значення для зближення подвійної вже при відстані  $\geq 0.03$  пк. Орбітальна швидкість зближення у пост-ньютонівську фазу перебуває в грубій згоді з простими напіваналітичними

передбаченнями, заснованими на виразах для середньої орбіти (Peters & Mathews, 1963), які не враховують вклади від членів вищого порядку.

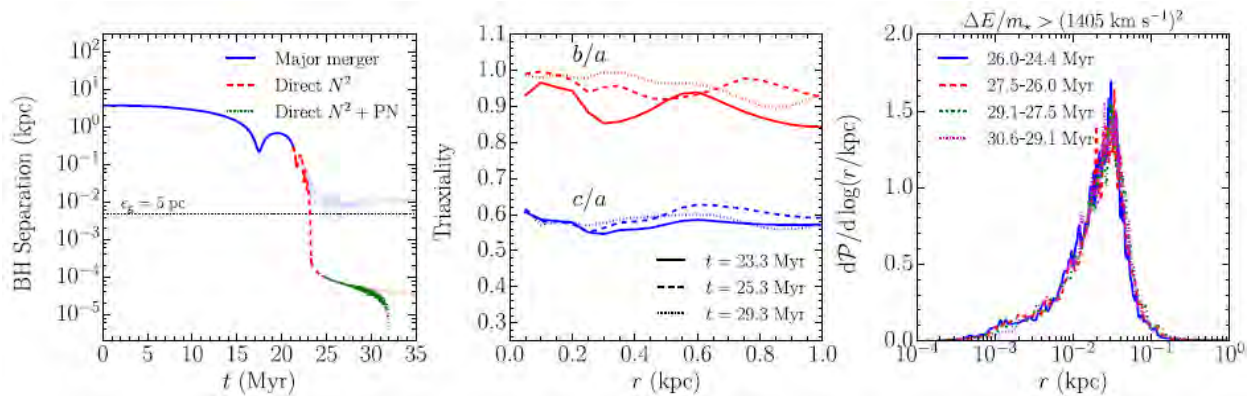


Рис. 1.3. Ліва панель: еволюція в часі відстані між СМЧД. Синя суцільна лінія, червона штрихова лінія та зелена пунктирна лінія показують еволюцію під час гідродинамічного перезібраного моделювання злиття, пряме  $N^2$ -тільне обчислення, та після застосування пост-ньютонівських корекцій, відповідно. Товста та тонка версії один и тих самих ліній відносяться до продовження відповідних моделей. Горизонтальна пунктирна лінія показує гравітаційне пом'якшення гідродинамічного моделювання. Центральна панель: радіальний профіль відношення  $b/a$  (червоне) та  $c/a$  (синє) між головними вісями тензору моменту інерції ( $c \leq b \leq a$ ) у різні моменти часу: 23.3 млн. років (суцільна), 25.3 млн. років (штрихова), та 29.3 млн. років (пунктирна). Права панель: ймовірнісна функція густини на радіальній відстані від центру залишок злиття для зоряних частинок, які взаємодіють з центральними подвійними через 26-24.4 млн. років (синє, суцільне), 27.5-26 млн. років (червоне, штрихове), 29.1-27.5 (зелене, штрих-пунктирне) та 30.6-29.1 млн. років (фіолетове, пунктирне).

Визначимо час злиття та будемо зупиняти моделювання, коли відстань між компонентами  $< 4(r_{s,1} + r_{s,2})$ , де  $r_{s,j}$  – шварцшильдівський радіус  $j$ -тої ЧД, так як подальше моделювання буде вимагати повний релятивістський опис. Злиття, яке рахується від поєднання двох каспів на  $t \sim 23.5$  млн. років, займає менше ніж 10 млн. років, що грубо на два порядки швидше ніж попередні оцінки часу зближення для не космологічних чисто зоряних хазяїнів (при перешкалуванні до близьких галактик). Попередній великомасштабний підхід та злиття двох галактик триває  $\sim 200$  млн років, таким чином, весь процес завершується за час значно менший ніж ретроспективний час на  $z \sim 3.5$ .

## 1.2 До питання про механізм формування бару в галактиках з каспом в балджі

Протягом довгого часу бари в дискових галактик пояснювались так званим режимом нестабільності бару, виявленого вперше у N-тільному моделюванні зоряних моделей з м'яким ядром. Однак застосування цього явища до моделей з каспами, для яких об'ємна густина  $\rho \sim r^{-\alpha}$  з позитивним індексом  $\alpha$  у центрі, було поставлене під сумнів через дві причини. По-перше, прості оцінки показують, що в разі зацікавленості кутова швидкість  $\Omega(R)$  та епіциклічна частота  $\kappa(R) \propto r^{-\alpha/2}$ , що вказує на наявність внутрішнього ліндبلادовського резонансу (ВЛР) для будь-якої швидкості контуру бару  $\Omega_p$ . ВЛР поглинає хвилі (Mark 1971, 1974) та послаблює формування глобальних мод шляхом розриву ланцюга зворотного зв'язку для посилення хвилі. По-друге, Hubble Deep field спостереження показують суттєве зниження частини галактик з барами на червоних зміщеннях більше  $z \sim 0.5$ . Якщо звичайно формування бару починає працювати тільки після того, як сформується зоряний диск, на таких червоних зміщеннях ми повинні спостерігати приблизно ту ж частку галактик з барами. Згідно деяких авторів, ці заперечення вимагають альтернативних механізмів формування бару для галактик з каспами.

У теорії стійкості, моди бару і спіралей описуються рішеннями лінеаризованих рівнянь без зіткнень зоряної динаміки експоненціально зростаючих у часі. На даний момент, однак, знаходження нестабільних глобальних мод є неможливим, якщо зоряний диск має кінцеву товщину або якщо частинки, більше ніж фіксований зовнішній потенціал (жорсткі моделі) використовуються для представлення сфероїдальної компоненти. Крім того, за винятком декількох особливих випадків, нестабільні моди були надійно виявлені тільки в моделях з м'яким центром, тобто при відсутності центрального каспу. Протистояння N-тільного моделювання та лінійного аналізу збурень глобальної моди є дуже цікавим, але складним завданням. Як ми вже згадували вище, безпосереднє застосування матричних методів зазнає невдачі в моделях з каспом

через наявність ВЛР і неможливості брати до уваги живих гало. Тому, можна спробувати відтворити режими в моделях N-тіл з жорсткими гало, враховуючи незалежність контурної швидкості від заміни живого гало жорстким гало. Для формування надтонкого диска дуже важливо мати криву прецесії  $\Omega_{pr}(R) \equiv \Omega(R) - \kappa(R)/2$  з максимумом. Якщо максимум не надто високий, самогравітація диска здатна підтримувати збурення по типу бара з контурною швидкістю вище максимуму (Polyachenko 2004). Це не працює у випадку моделей з каспами, де профіль зростає нескінченно, як  $r^{-\alpha/2}$  у центрі. Однак слід зазначити, що диски у N-тільному моделюванні відрізняються від дисків застосованих у аналізі лінійних збурень, перш за все тому, що випадково розподілені частинки використовуються для опису зіркових компонент, що призводять до різних стохастичних ефектів. Крім того, потенційні питання це чисельна залежність від точності рівноваги, роздільної здатності каспу, гравітаційного пом'якшення, товщина диска, і виду функції розподілу (ФР). Все це може призвести до спотворення кривої прецесії і впливає на розташування ВЛР, важливого для появи глобальних мод (Рисунок 1.4).

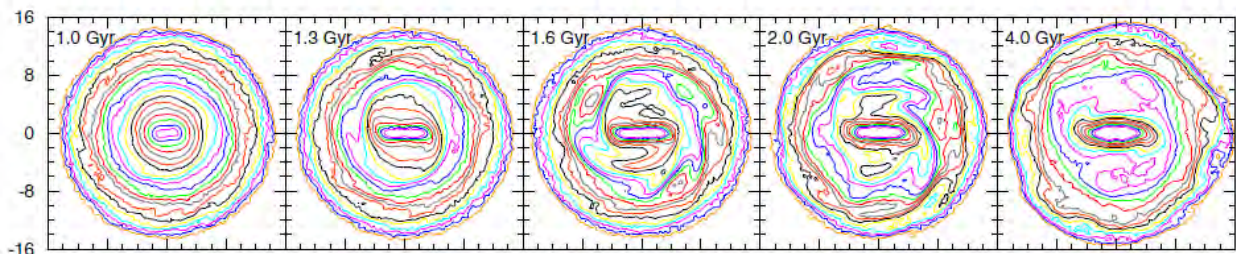


Рис. 1.4. Положення контурів бару відносно осі  $x$  на різних стадіях еволюції бару. Криві – це ізолінії густини гладко розподілені по логарифмічній шкалі (10 рівнів для кожного з факторів 10). Розмір кожного блок 32x32 кпк.

### 1.3 DRAGON моделювання: еволюція кульових скупчень з мільйонами зірок

Розуміння еволюції та динаміки кульових скупчень (КС) є одним з найбільш грандіозних завдань теоретичної астрофізики. Прямі N-тільне моделювання є складними, так як типове КС, яке спостережується у Чумацькому Шляху має радіус половини маси  $R_h$  близько 2-10 пк з коротким часом релаксації

(~ млрд. років), і їх маса може бути вище, ніж  $10^5 M_{\text{SOL}}$ . Короткий часовий проміжок взаємодій подвійних у КС також збільшує труднощі. З початку 1990-х років пряме моделювання мільйона тіл, включаючи всі необхідні характеристики (зоряна еволюція, парна взаємодія і зовнішній потенціал від галактик-хазяїнів) вважається переломною віхою для повного моделювання КС. Важливими кроками були моделювання 10k, 33k, 100k, 200, 263k та 485k зірок великою кількістю авторів. Застосування нового апаратного і програмного забезпечення означає значно покращили продуктивність програм моделювання. Невід'ємною частиною була серія NBODY кодів, розроблена Аарсетом за колегами в поєднанні з апаратними засобами спеціального призначення, спочатку GRAPE, а потім на GPU.

Моделювання КС актуальне за межами Чумацького Шляху і Місцевої групи. КС розташовані у дисках та сфероїдах всіх масивних галактик. Центральні частини ядер галактик також мають тісні зоряні системи, що оточують масивні ЧД, які нагадують КС. Десятки тисяч КС населяють міжгалактичний простір в скупченнях галактик, і по КС можливо простежити ранні умови під час формування галактик. З іншого боку, злиття галактик може створити популяцію КС, тому історія злиття масивних галактик може бути відображена у властивостях їх систем КС.

Останнє, але не менш важливе, як тільки в майбутньому з'являться більш реалістичні моделі КС (в проєкті DRAGON) з великою кількістю моделей Монте-Карло (МОССА), ми зможемо дізнатися про специфічні властивості індивідуальних (Галактична або Локальна групи) КС з наших результатів моделювання. Наші DRAGON моделі можуть бути використані для зворотного динамічного синтезу - представляючи спостереження у реальному часі з наших модельних скупчень ми можемо пов'язати спостережувані властивості з невидимими характеристиками наявних КС. Ці дані спостережень включають діаграми Герцшпрунга-Рессела, розподіл світла і рух видимих зірок (поверхневої яскравості і профілі дисперсії швидкостей). Потім результати моделювання

можуть надати інформацію про розподіл і рух темних об'єктів в їх центрах (ЧД, нейтронних зірок, білих карликів), динаміку і частку нерозділених подвійних, а також необхідні умови для початкового стану скупчення (маса, концентрація і обертання).

Пряме N-тільне моделювання КС з мільйоном частинок все ще займає дуже багато часу, навіть на суперкомп'ютерах на основі GPU. Тому конструювання реалістичних початкових моделей дуже важливо. У кращому випадку, моделювання безпосередньо виробляє спостережуване характерне КС. Фізична шкала часу прямого N-тільного коду чутлива до радіусу половини маси. Моделювання більш швидше, якщо скупчення має початковий більший радіус половини маси  $R_h$ . Таким чином, наш DRAGON проект починається з моделей з низькою густиною (перші три моделі Таблиця 1) .Ми передивились каталог КС Харриса 1996 р. і виявили, що NGC 4372 має схожу масу та густину в порівнянні з нашими моделями. Ми вибрали його в якості еталонного КС для установки деяких початкових умов, а також для порівняння з нашими результатами.

Ми провели чотири головних моделювання з реалістичними початковими властивостями заснованими на сучасних знаннях про КС. Для порівняння швидкі моделювання Монте-Карло (MOCCA) Моделювання проводилося з тими ж початковими умовами. Моделі названі «DRAGON» скупчення (D1, D2, D3 і D4 відповідно). Для того, щоб визначити основні початкові властивості моделей, ми використовуємо наступну умову для назв, «D[N]-R[A]-[B]» (де «[N]» є індексом кластерів DRAGON, «[A]» являє собою початковий радіус половини маси та «[B]» представляє типові риси моделей), замість «DRAGON1-4» в описі результатів. У Таблиці 1 наведені різні початкові параметри цих моделей.

Густина моделей без обертання (D1-R7-IMF93, D2-R7-IMF01 і D4-R3-IMF01) слідує сферичній моделі Кінга з масштабованим центральним потенціальним параметром  $W_0=6$ . Початковий радіус половини маси  $R_{h,0}$  з D1-R7-IMF93 та D2-R7-IMF01 є 7,5-7,6 пк (моделі з низькою густиною). Модель Кінга 1966 р. має одиничну масу, ізотропна динамічна модель для зоряних скупчень на

основі стаціонарних рішень рівняння Фоккера-Планка. Вона включає в себе приливні обрізання галактичного потенціалу.  $W_0$  позначає центральну концентрацію скупчень. Модель з обертанням D3-R7-ROT слідує обертальній моделі Кінга з  $W_0 = 6$  і параметром обертання  $w_0 = 0.8$  та  $R_{h,0} = 8.1$  пк. Оскільки 60% лагранжівського радіусу ротаційної моделі Кінга постійні, коли тільки змінюється тільки  $w_0$ , ми зберігаємо ці ж 60% лагранжівського для D3-R7-ROT як D2-R7-IMF01. І, нарешті, модель D4-R3-IMF01 має більш високу густину з  $R_{h,0} = 3.0$  пк.

Всі кластери ініціалізуються з  $N = 1.05 \times 10^6$  зірок відтворених з двох початкових функцій мас (ПФМ): ПФМ Кроупа 1993 р. (ПФМ93) в D1-R7-IMF93 та ПФМ Кроупа 2001 р. (ПМФ01) в D2-R7-IMF01, D3-R7-ROT і D4-R3-IMF01. ПФМ93 є трикомпонентний степеневий у формі  $\xi(m) \sim m^{-\alpha}$  та IMF01 має дві компоненти замість трьох. Для діапазону мас  $0.08 < m \leq 0.5 M_{SOL}$ , ми використовували  $\alpha_1 \approx 1.3$  для обох ПФМ. Відмінність цих ПФМ відбувається на кінці високих мас. ПФМ93 має  $\alpha_2 \approx 2.2$  в діапазоні мас від  $0.5 < m \leq 1 M_{SOL}$  та  $\alpha_3 \approx 2.2$  для мас  $> 1 M_{SOL}$ , у той час як IMF01 має  $\alpha_2 \approx 2.3$  для мас  $> 0.5 M_{SOL}$ . IMF01 більш важка у порівнянні з IMF93. Таким чином, це призводить до появи більш масивних зірок в початкових умовах наших КС. У всіх моделях, маса зірок належить діапазону 0.08 до  $100 M_{SOL}$ .

Після  $\sim 8600$  годин обчислюваного часу на кластері Hydra, модель D1-R7-IMF93 досягла 12 млрд. років, в той час як D2-D7-IMF01 тривав  $\sim 4700$  годин та D3-R7-ROT  $\sim 4500$  годин. D4-R3-IMF01 досяг 1 млрд. років з 2900 годинами. Зміна швидкості обчислень відбувається через різні перетинаючі часові масштаби. У Таблиці 2 показано сумарну масу  $M$  та число зірок  $N$  (де одна подвійна враховується тільки один раз) для DRAGON скупчень в різному віці. На 12 млрд. років все моделі R7 все ще зберігають більше  $\sim 70\%$  зірок і мають загальну масу  $2.5-2.9 \times 10^5 M_{SOL}$ . Це вказує на те, що наші моделі досягають типових мас та кількості зірок, які спостерігаються в КС. Зверніть увагу, що тут ми не стверджуємо, що наші моделі можуть представляти всі КС, так як вони не

досягають центральної густини та радіусу половини маси багатьох КС (наприклад, класичний колапс ядра КС).

Табл. 1.1 Різниця початкових моделей.  $R_{h,0}$  – початковий радіус половини маси,  $q$  – розподіл початкового відношення мас подвійних, Kick – кік швидкість моделі нейтронних зірок,  $R_{t,0}$  – початковий припливний радіус.

	D1- R7-IMF93	D2- R7-IMF01	D3- R7-ROT	D4- R3-IMF01
Profile	KW6 <sup>1</sup>	KW6	ES6 <sup>2</sup>	KW6
$R_{h,0}$ (pc)	7.5	7.6	8.1	3.0
IMF	IMF93 <sup>3</sup>	IMF01 <sup>4</sup>	IMF01	IMF01
$q$	RP <sup>5</sup>	K <sup>6</sup>	K	K
Kick	Low <sup>7</sup>	High <sup>8</sup>	High	High
$R_{t,0}$ (pc)	89	97	97	97

- <sup>1</sup> KW6: King (1966) ( $W_0 = 6$ )  
<sup>2</sup> ES6: Einsel & Spurzem (1999) ( $W_0 = 6$ ;  $\omega_0 = 0.8$ )  
<sup>3</sup> IMF93: Kroupa, Tout & Gilmore (1993)  
<sup>4</sup> IMF01: Kroupa (2001)  
<sup>5</sup> RP: Random pairing from IMF  
<sup>6</sup> K: Kouwenhoven et al. (2007) (a distribution of  $0.6q^{-0.4}$  ( $0 < q < 1$ ))  
<sup>7</sup> Low:  $\sigma_k \approx 30$  km/s.  
<sup>8</sup> High:  $\sigma_k = 265$  km/s.

Табл. 1.2 Кількість зірок  $N$  та загальна маса  $M$  КС у різному віці.

$T$ [Myr]	D1-R7-IMF93			D2-R7-IMF01			D3-R7-ROT			D4-R3-IMF01		
	$M$ [ $M_\odot$ ]	$N$	$R_t/R_h$	$M$ [ $M_\odot$ ]	$N$	$R_t/R_h$	$M$ [ $M_\odot$ ]	$N$	$R_t/R_h$	$M$ [ $M_\odot$ ]	$N$	$R_t/R_h$
0	474603	999997	11.80	591647	1000000	12.79	591647	1000000	11.96	591647	1000000	32.14
50	435810	997822	10.46	480562	994007	9.26	480518	994031	8.50	480831	993985	22.86
100	422848	997113	10.08	457850	992578	8.68	457753	992622	8.02	458097	992607	21.31
500	391229	996244	9.08	412177	986522	7.57	409096	978347	7.04	412880	991451	16.86
1000	376681	993536	8.54	392165	974614	7.09	387066	959812	6.79	394901	989118	14.31
2000	357899	984748	7.84	365727	948383	6.33	364791	943509	6.12			
4000	337478	964011	7.08	334481	898150	5.46	344775	926013	5.28			
6000	323426	942882	6.67	310774	848380	4.91	330144	902402	4.80			
8000	312686	922355	6.38	290368	798496	4.53	316543	872637	4.50			
10000	303830	902487	6.21	271034	747900	4.22	302396	836923	4.26			
12000	295835	883075	6.04	252874	697482	3.97	287917	796586	4.04			

В цілому, моделювання не можна безпосередньо порівняти з даними спостережень через рідне визначення параметрів та неповноти спостережного набору. Щоб уникнути цієї проблеми, ми використовуємо метод, для створення модельних спостережень з наших моделей. Це дає можливість «спостерігати» DRAGON скупчення за допомогою специфічних "телескопів". По-перше, шляхом об'єднання смуг Джонсона В (синя), V (зелена) та смуги Казінса I (червона)



"фотометрії" даних моделювання, генеруються зображення для D1-R7-IMF93 та D2-R7-IMF01 на 12 млрд. років. Спеціальні об'єкти, такі як червоні гіганти, асимптотична гілка зірок гігантів, білі карлики, ЧД та подвійні також показані окремо. Хоча забруднення (наприклад, космічні промені, зірки поля та коливання фону) не включені. Рисунок 1.6 нагадує реальні зображення спостережуваних КС.

Дані з  $B$ ,  $V$  та  $I$  смуг дає можливість побудувати діаграму колір-зоряна величина (ДКЗ). На рисунку 1.7 показана ДКЗ для D1-R7-IMF93 з видимою зоряною величиною  $V$  (передбачається, що відстань 5.8 кпк, подібно NGC 4372) та кольором  $B-V$ . Всі подвійні розглядаються як нерозділені об'єкти, та поширення подвійних можна побачити на вітці головної послідовності. Ліва панель на рисунку 1.7 показує еволюцію ДКЗ. Спочатку всі зірки сидять на гілці головної послідовності. Після 100 млн. років головна послідовність повертає та стає видимою, з'являються яскраві зірки з  $V < 10$  mag. Потім поворот головної послідовності значно  $V \approx 15$  mag на 1 млрд. років. Після 4 млрд. років вона переміщається в  $V \approx 17,5$  mag з почервонінням кольору та досягає  $V \approx 18,5$  mag після 12 млрд. років. Горизонтальна гілка (горіння гелію в ядрі; ГГЯ) вже починається заселюватись на 1 млрд. років і стає вузьким в кольорі після 4 млрд. років. Потім знову розширюється після 12 млрд. років.

Коли масивні зірки еволюціонують в компактні об'єкти (білі карлики, нейтронні зірки або ЧД), ЧД стають найбільш масивними об'єктами в скупченні, потім йдуть нейтронні зірки та білі карлики. Вони можуть кардинально змінити динамічну еволюцію зоряного скупчення. Залишок і загальне число новостворених білих карликів, нейтронних зірок та ЧД в різний вік скупчення наведені в Таблиці 3. Згідно моделі зворотного падіння для початкової швидкості викиду ЧД після вибуху наднової, значима кількість ЧД залишається пов'язаними зі скупченнями. Всі R7 моделі досягають  $1.5-1.7 T_{th,0}$  після 12 млрд. років, так як і слід було очікувати від недавніх досліджень підсистем ЧД в зоряних скупченнях, підсистема ЧД виживає до кінця моделювання (12 млрд. років). Але це не

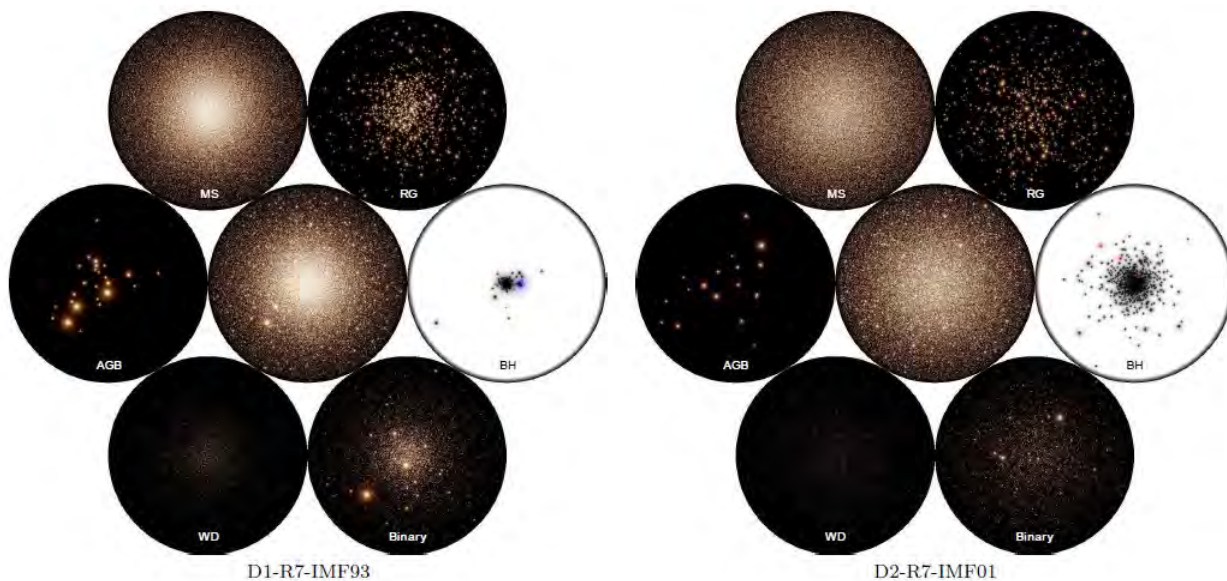


Рис. 1.5 Зображення моделей D1-R7-IMF93 та D2-R7-IMF01 на 12 млрд. років, як це спостерігається в В, V і I. Діаметр кожного зображення 57.6 пк з  $2048 \times 2048$  пікселів (1.0 кут.сек/піксель). Функція точкового поширення точка Моффат (1969) тут використовується з видимістю 0.5 кутової секунди. Немає флуктуацій фону, забруднення фоновими зірками або космічними променями. Кольори генеруються В (синій), V (зелений) і I (червоний) смугами. Яскравість показана на логарифмічній шкалі. Різні типи зірок також показані окремо. Позначення MS, RG, AGB, WD і BH представляють собою головну послідовність, червоного гіганта, асимптотичну гілку гігантів, білого карлика і чорної діри відповідно. Час експозиції білих карликів збільшується з фактором  $10^4$ . Розмір точки на панелі ЧД пропорційний масі ЧД; червоні точки представляють собою подвійні з компонентом ЧД та сині точки ЧД-ЧД подвійні (через скупченість, особливо в центральних районах, деякі подвійні перекриваються одиницями ЧД).

випадок моделі з набагато більш високою початковою густиною з  $T_{th,0} \approx 1$  млрд. років. Згідно різних ПФМ в цілому утворюється 629 ЧД в D1-R7-IMF93 та близько 2000 формується в моделях IMF01. На час 12 млрд. років D1-R7-IMF93 зберігає 245 ЧД та D2-R7-IMF01 і D3-R7- ROT  $\sim 1000$ . Тут, ми відмічаємо, що через неточну обробку спостерігаемого часу зоряної еволюції подвійних, є кілька аномальних ЧД з масою більше  $30M_{SOL}$  сформованих в межах перших декількох млн. років в D2-R7-IMF01 та D3-R7-ROT. Це подібно результату, виявленому за обговореному в моделі Хеггі 2014 року, яка мала подальші ускладнення в зв'язку

з більш коротким часом релаксації моделі в цій роботі. У наших моделях, ці ЧД займають дуже малу частину від загального числа ЧД та їх вплив не є значимим. При моделюванні МОССА за тих же початкових умов, як D2-R7-IMF01, близько 10 нейтронних зірок зберігаються в скупченні на 12 млрд. років. Ця різниця також залежить від випадкових ефектів. МОССА моделювання може випадково мати більше нейтронних зірок з низькими швидкостями викиду. Крім того, нейтронні зірки також можуть утворюватися з акреції білих карликів у подвійних з перекачуванням мас. Цей канал також може привести до різної кількості.

У наших моделях, в зв'язку з технічними неполадками в теперішній версії коду, приливний процес циркуляризації подвійних вимкнений. Це призводить до меншої ймовірності формування нейтронних зірок через цей канал (не було виявлено таких подій в наших моделях). Моделі з малими швидкостями викиду (D1-R7-IMF93) дозволяють нейтронним зіркам залишатися пов'язаними з КС в процесі їх еволюції. Це узгоджується з тим фактом, що нейтронні зірки в рентгенівських подвійних системах були задетектовані. У моделях з високими швидкостями викиду (D2, D3 і D4), які узгоджуються з спостережуваними власними рухами нейтронних зірок, всі нейтронні зірки втекли. Це знаходиться в протиріччі з прямим виявленням нейтронних зірок в КС. Однак, так як наш D2-R7-IMF01/ROT моделі мають відносно великий початковий  $R_h$  (відповідно  $\sim 30$  км/с), нейтронним зіркам більш складно залишатися зв'язаними в КС, так як більшість з них мають швидкості втечі більші, ніж швидкість втечі скупчення. Загальна кількість білих карликів, сформована за 12 млрд. років однакова для всіх моделей R7. Для тієї ж ПФМ та початкової кількості зірок, D2-R7-IMF01 має близько на 2000 менше сформованих білих карликів ніж в D3-R7-ROT. Причина в тому, що D2-R7-IMF01 має більше: втікачі, які не є білими карликами під час втечі але можуть сформувати білі карлики не враховуються. Немає початкового поштовху для білих карликів під час формування, таким чином, більшість білих карликів залишаються зв'язаними зі скупченнями.

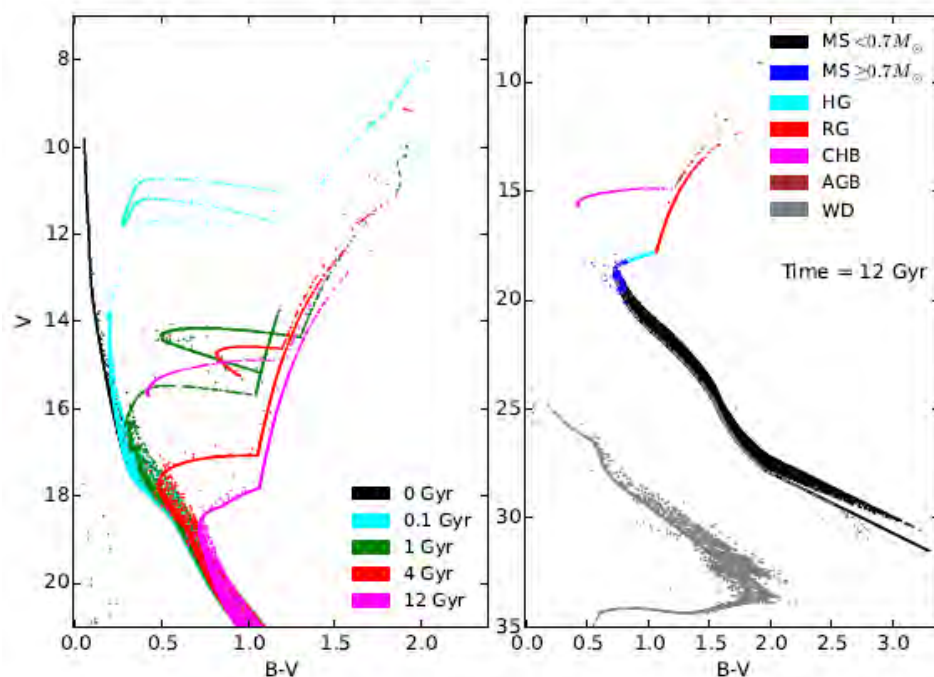


Рис. 1.6 Діаграма колір (B-V) – видима зоряна величина V для D1-R7-IMF93. Модуль відстані 13.82 (5800 пк). Зліва: еволюція діаграми для світлої частини. Чорні точки показують початковий розподіл. Після 100 млн. років головна послідовність повертає та стає видимою (синя крива). Горизонтальна гілка заселяється після 1 млрд. років (зелена крива). Поворот головної послідовності рухається вниз до  $V \approx 17,5$  mag після 4 млрд. років (червона крива) та  $V \approx 18,5$  mag після 12 млрд. років. Різні кольори показують різні типи зірок. HG: гілка субгігантів (провал Герцшпрунга); RG: червоні гіганти; CHB: горизонтальна гілка (центральне горіння гелію); AGB: асимптотична вітка гігантів; WD: білі карлики.

Табл. 1.3 Кількість білих карликів, нейтронних зірок та ЧД, яка залишилась в скупченні. «ALL» означає повну кількість сформованих включаючи тих, що втекли. Для D4-R3-IMF01 враховуються тільки члени до 1 млрд. років. Зверніть увагу, на те, що втікачі, що не були білими карликами, нейтронними зірками та ЧД, але може утворюватись пізніше, не враховуються.

	D1-R7-IMF93			D2-R7-IMF01			D3-R7-ROT			D4-R3-IMF01		
Time [Myr]	WD	NS	BH	WD	NS	BH	WD	NS	BH	WD	NS	BH
50	0	420	438	0	104	1436	0	106	1432	0	68	1458
100	53	172	435	3232	0	1435	3228	1	1428	3204	3	1458
500	15254	150	433	20783	0	1421	20642	0	1420	20821	2	1401
1000	25681	143	425	32302	0	1409	31914	0	1414	32705	2	1329
2000	43080	137	401	49311	0	1352	49237	0	1374			
4000	62740	130	348	66306	0	1258	68570	0	1282			
6000	75916	125	305	75836	0	1180	80522	0	1220			
8000	85323	125	281	81215	0	1130	88659	0	1172			
10000	92572	124	262	84354	0	1080	94250	0	1130			
12000	98563	121	245	85614	0	1037	97824	0	1096			
ALL	104175	2942	629	105652	6697	2096	107587	6696	2096	32732	6736	2092

***Глобальне дослідження зоряних скупчень у Чумацькому Шляху. Віковий розподіл та історія формування кластерів.*** Контекст: Панорамне дослідження зоряних скупчень Чумацького шляху (ЗСЧШ) дає змогу отримати рівномірний та точний вік скупчень разом з іншими відповідними параметрами для широкого набору зоряних скупчень у сонячному околі. Метою цього дослідження є побудова розподілу віку скупчень, дослідження його просторових варіацій та обговорення обмеження щодо сценаріїв формування скупчень галактичного диску протягом останніх 5 млрд років.

Ми розглянули просторові варіації вікового розподілу по галактоцентричному радіусу  $R_G$  і вздовж вісі  $Z$ . Для аналізу вікового розподілу ми використали 2242 скупчень, котрі всі знаходяться на відстані приблизно 2.5 кпк від Сонця. Для підключення спостережуваного вікового розподілу до історії формування скупчень ми побудували аналітичну модель на основі простих припущень про початкову масову функцію скупчення та відношення «маса-час життя скупчення», а також визначили параметри закону формування скупчень.

Виявилось, що попередні результати сильно недооцінили кількість еволюційних скупчень у віці  $\sim 100$  млн. років. Нещодавні дослідження, які базуються на каталогах усього неба, найкраще узгоджуються з нашими даними, але в них все ще відсутні найстаріші кластери з віком  $t \sim 1$  млрд років. Ми не спостерігаємо сильних варіацій вікового розподілу по  $R_G$ , хоча у внутрішньому диску ми знайшли збільшену частку старих кластерів ( $t > 1$  млрд років). На відміну від цього, розподіл сильно варіює вздовж  $Z$ . Розподіл на великих висотах майже не містить скупчень  $t < 1$  млрд років. З простими припущеннями щодо історії утворення скупчень, початкової функції мас скупчень та тривалості життя скупчення ми можемо відтворити спостережувані дані. Швидкість утворення скупчень та тривалість життя скупчень сильно вироджуються, що не дозволяє нам розглядати різні сценарії формування окремо один від одного. У всіх випадках швидкість утворення скупчень сильно зменшується з часом, а початкова функція мас скупчення дуже полого в кінці розподілу.

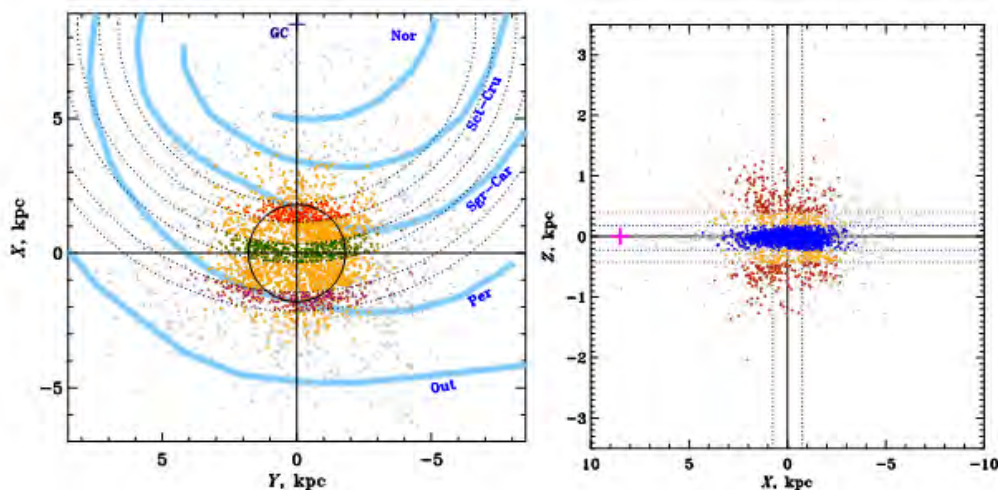


Рис. 1.7 Розташування просторових підвбірок скупчень. На лівій панелі показані "плоскі" вибірки, а на правій панелі – «вертикальні». Сірі крапки показують всі кластери ЗСЧШ, а кольорові крапки відповідають повним вибіркам. Червоні, пурпурні, зелені, блакитні та коричневі крапки відповідають внутрішнім, зовнішнім, місцевим, тонким та товстим дискам підвбірок відповідно. Їхні межі вказані пунктирними лініями. Жовті крапки показують решту загальної вибірки. Великий знак плюс позначає центр Галактики. Товсті криві показують приблизні положення спіральних рукавів.

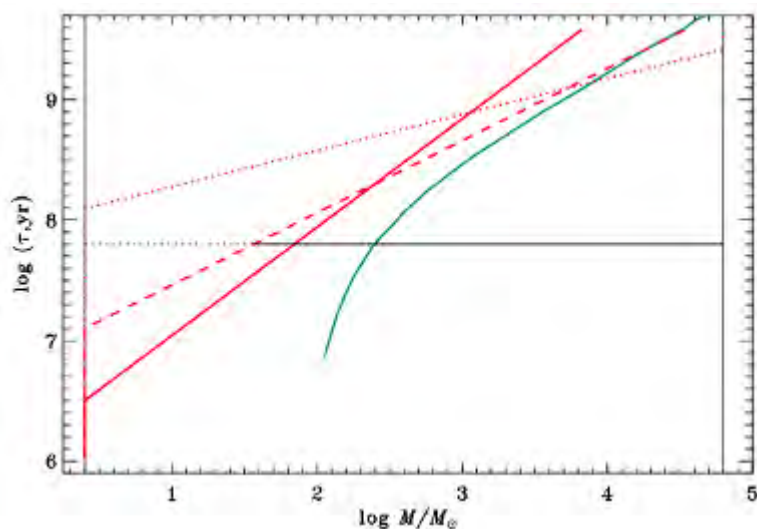


Рис.1.8 Відношення час злиття-маса, використані в моделі (червона крива), порівняно з співвідношенням Lamers & Gieles (2006) з залишком у  $100 M_{\text{SUN}}$  (синя крива). Неперервна червона крива відповідає незаповненим скупченням, пунктирна крива являє собою моделі заповнених порожнин Роша, пунктирна крива - для надлишкових моделей з  $T_0 = 500$  млн. років. Дві тонкі вертикальні лінії вказують нижню та верхню межі діапазону мас скупчень. Горизонтальна суцільна лінія при  $\log \tau = 7.8$  ілюструє діапазон інтегрування  $[M_t, M_{\text{max}}]$  для заповнених моделей.

*Еволюція зоряних скупчень, сформованих з використанням профілю ефективності утворення зірок з центральним піком на довгому часовому масштабі.* Ми вивчали довготривалу еволюцію зоряних скупчень в околі Сонця, починаючи з їх народження в газових згустках до повного їх розчинення в галактичному приливному полі. Ми об'єднали "модель формування скупчень за допомогою локальної густини" Parmentier & Pfalzner з безпосереднім N-тільним моделюванням скупчень, приймаючи миттєве витікання газу. Ми дослідили зв'язок між часом розчинення скупчення  $t_{\text{dis}}$  і "початковою" масою скупчення,  $M_{\text{init}}$ , визначеною як маса скупчення в кінці динамічної реакції на витік газу (тобто інтенсивну релаксацію), коли вік скупчення становить 20-30 млн. років. Ми вважаємо, що "початкова" маса узгоджується з іншими даними, які нехтують інтенсивною релаксацією. Моделі скупчень, сформовані з високою ефективністю зіркоутворення (SFE, тобто масова частка газу, перетворена в зірки), дотримуються жорсткої залежності від маси у відповідності з попередніми теоретичними дослідженнями. Проте моделі з низькою SFE мають великий розкид як у "початковій" масі, так і в часі розчинення, показуючи меншу залежність від маси ніж у скупченнях з високою SFE, і в основному розчиняються в межах 1 млрд. років (підліткова смертність скупчень). Обидві групи в середньому відрізняються за своїми структурними властивостями. Поєднання двох груп скупчень, з високою та низькою SFE, з домінуванням останнього, дає час розчинення скупчення в околі Сонця у відповідності з тим, що впливає з спостережень, без будь-яких додаткових деструктивних процесів, таких як зустрічі з гігантською хмариною. Очевидне масове незалежне співвідношення може виникнути для наших скупчень з низьким рівнем SFE, коли ми нехтуємо скупченнями малої маси (як очікується для позагалактичних спостережень), хоча для дослідження цього аспекту потрібні додаткові моделювання.

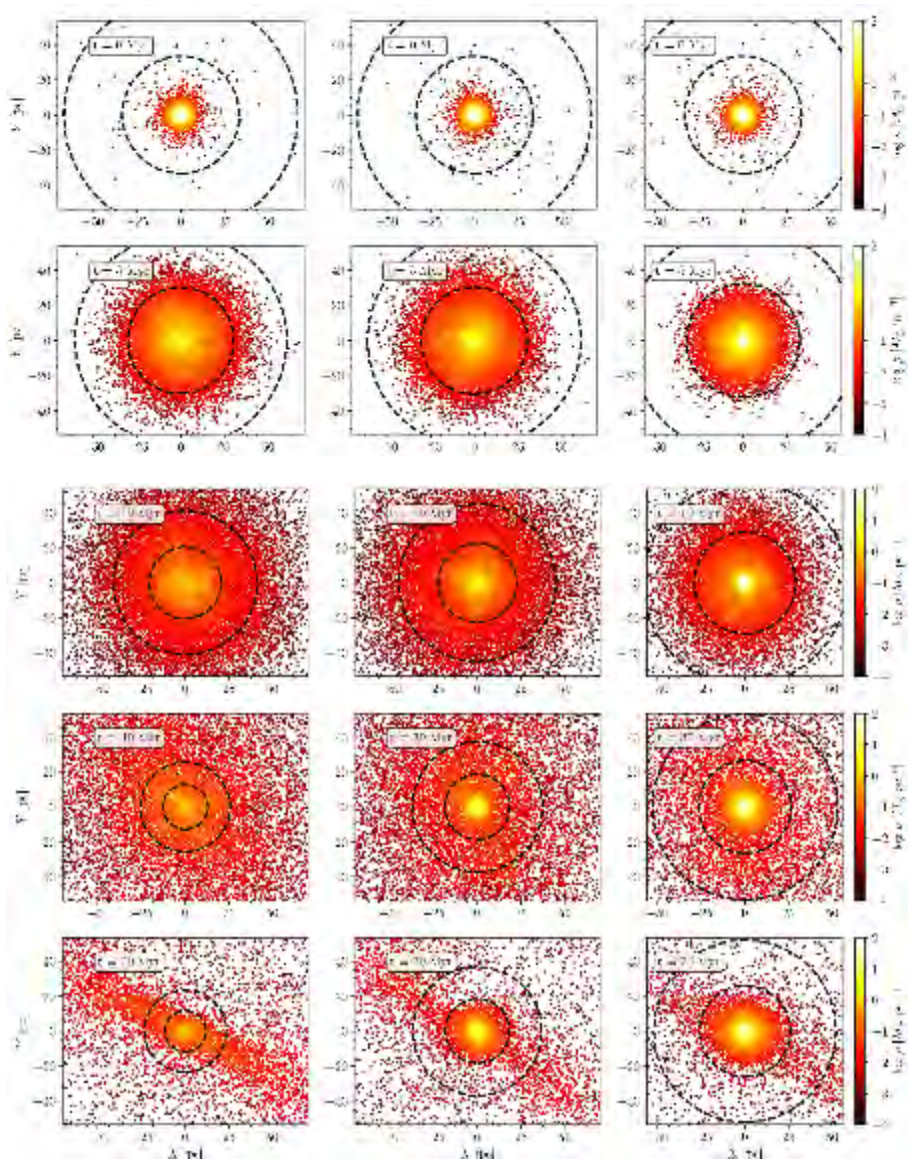


Рис. 1.9 Мапа об'ємної густини скупчень з масою народження  $M = 15000 M_{\text{sun}}$  в проекції на площину Галактики. Лівий та середній стовпці відповідають двом випадковим реалізаціям модельного кластера з  $\text{SFE}_{\text{cl}} = 0:15$ , а правий стовбець відповідає моделі  $\text{SFE}_{\text{cl}} = 0:25$ . Зверху вниз ми пропонуємо 5 різних моментальних зображень кожної моделі скупчення з часом  $t = 0; 5; 10; 30; 70$  млн. років. Кожна точка відповідає одній зірці, кодування кольором якого відображає локальну густину об'єму, яка розраховується за допомогою схеми 50-найближчих сусідів. Зверніть увагу, що шкала кольору не відображає густину більше  $100 M_{\text{sun}}/\text{pc}^3$ , щоб виділити контраст кольорів у регіонах з низькою густиною на пізніших еволюційних етапах. Центральні густини при витіканні газу насправді досягають  $1:6 \cdot 10^3 M_{\text{sun}}/\text{pc}^3$ . Пунктирні кола відповідають  $R_J$  і  $2R_J$ . Зв'язані частини при  $t = 30$  млн. років, зліва направо:  $F_{\text{bound}} = 0.06; 0.18$  і  $0.5$ . Відповідні часи розчинення  $t_{\text{dis}} = 0.3$  млрд. років,  $1.2$  млрд. років та  $2.9$  млрд. років, відповідно.



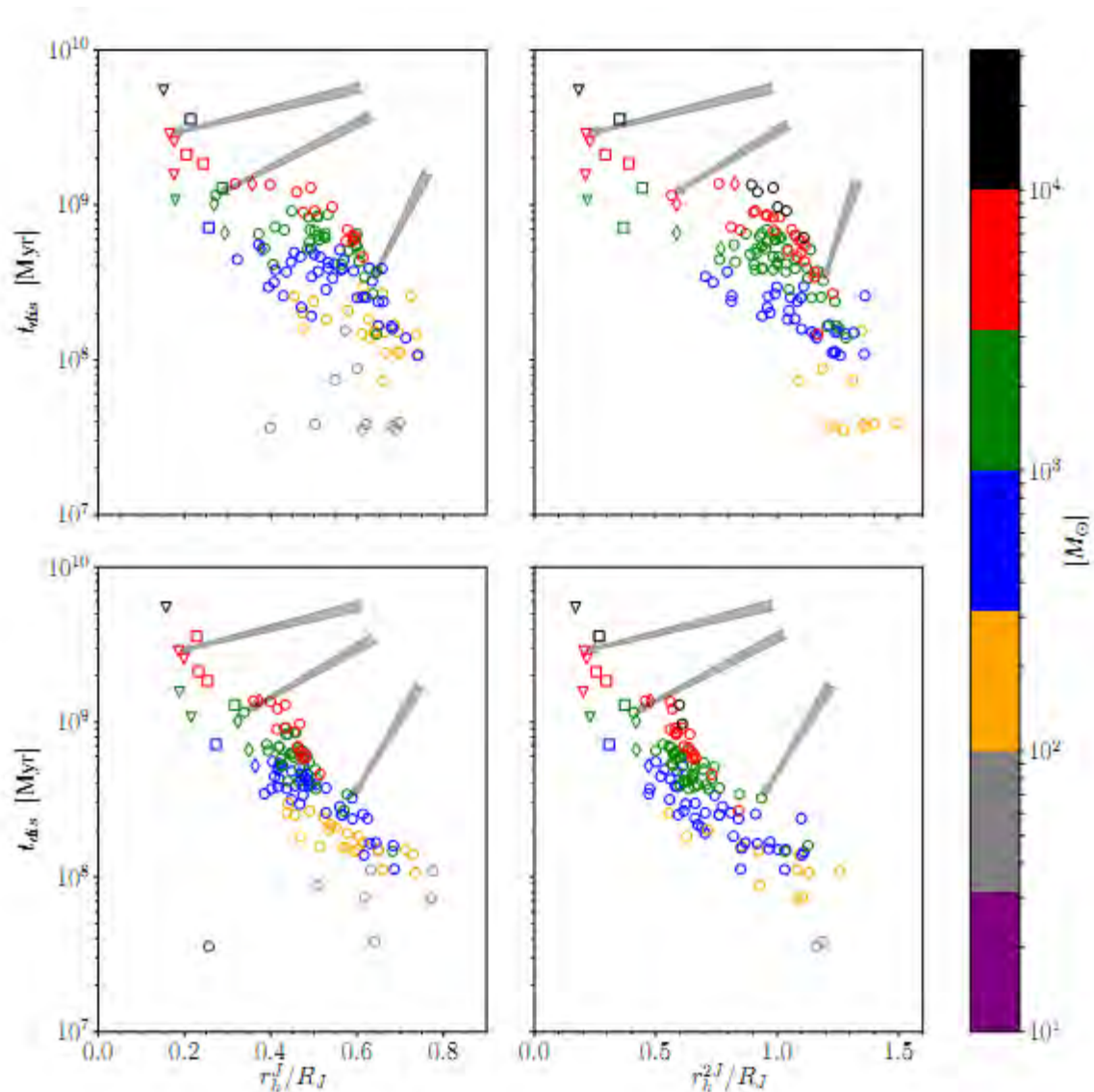


Рис. 1.10 Час розчинення скупчення як функція коефіцієнта заповнення Роша при  $t = 30$  і  $t = 70$  млн. років (верхня і нижня панелі, відповідно). У лівих панелях початкова маса скупчення оцінюється як маса Якобі,  $M_J$ , тоді як у правій панелі вона оцінюється як розширена маса,  $M_{2J}$ . Початкові маси скупчень показані кодуванням кольору, представленим на панелі кольорів у правій частині. Радіус напівмаси,  $r_h$ , вимірюється як радіус, що містить половину початкової маси скупчення і позначається як  $r_{Jh}$ , коли  $M_{init} = M_J$  та  $r_{2Jh}$ , коли  $M_{init} = M_{2J}$ . Сірі стрілки вказують ті кластери моделей  $M = 15k M_{\text{sun}}$ .

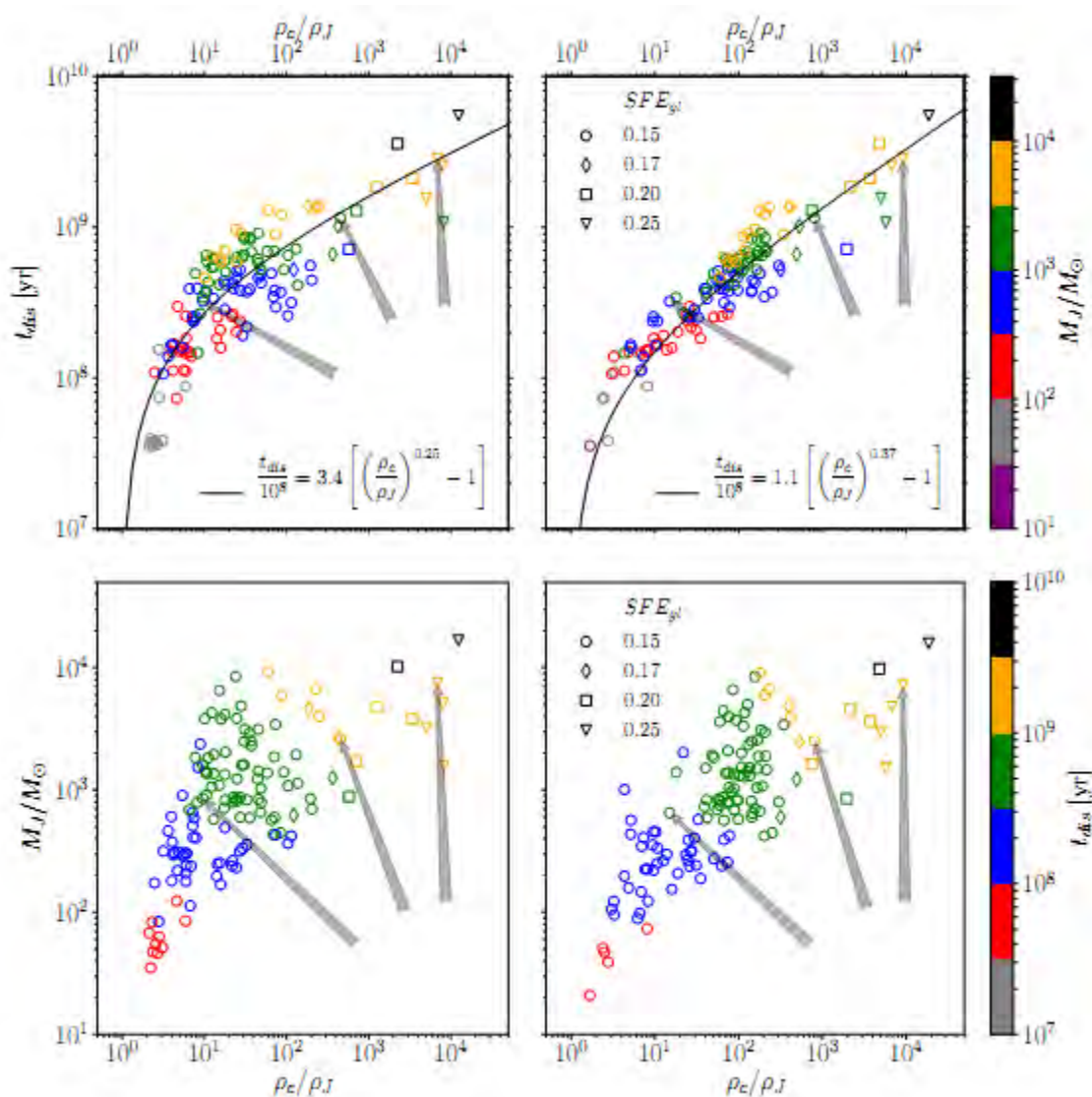


Рис. 1.11 Час зникнення скупчення  $t_{\text{dis}}$  (верхня панель) та маса скупчення Якобі  $M_J$  (нижня панель), як функції контрасту об'ємної густини між центром кластеру та околицями  $s=J$  вимірюється при  $t = 30$  млн. років і  $t = 70$  млн. років (ліворуч та праворуч відповідно). Кодування кольором відноситься до маси скупчення Якобі у вказані часи на верхніх панелях та до часу розчинення скупчення на нижніх панелях. У верхніх панелях кривий  $t_s$  для часу розчинення скупчення показано чорними кривими. Представлені три  $M = 15k M_{\text{sun}}$  моделі скупчень позначені стрілками на кожній панелі в тому ж порядку, тобто зліва направо.

## 1.4 Прискорене припливне руйнування масивними чорними дірами при злитті галактик з боку N-тільного моделювання

Динамічна еволюція двох СМЧД в злитті галактик була інтенсивно досліджена за допомогою прямого N-тільного моделювання, але жоден з них не врахував ПР зірок СМЧД. Тут ми використовуємо таку ж схему в прямому N-тільному моделюванні для обчислення ефектів подій ПР, як це було використано у статті Лі 2012 році. Частинка вважається справді зруйнованою та видаляється з системи, коли її відстань до одного з СМЧД менше, ніж фіксований приливний радіус  $r_t$ . Загальна маса і лінійний імпульс зруйнованої зірки переносяться на СМЧД. Ми не беремо до уваги ріст приливного радіусу  $r_t$ , оскільки він відносно нечутливий до зміни маси СМЧД  $M_{BH}$ . Оскільки маса зруйнованих зірок буде додана до СМЧД, а всі зірки мають однакову масу, то швидкість збільшення маси СМЧД відображається на рівні подій ПР.

Під час використання цієї процедури потрібно вирішити кілька проблем. Це досить поширене в фізиці, але для наших самогравітуючих систем з величезним динамічним діапазоном у просторових і тимчасових масштабах потребується особлива увага. По-перше, важливо, щоб для кожного числа частинок  $N$  довжина діапазону  $r_t$  повинна бути скоригована таким чином, щоб ми отримали відповідний конус втрат: пустий біля СМЧД, переходячи до повного конусу втрат поблизу критичного радіуса поблизу гравітаційного радіусу впливу СМЧД. Якщо ми проведемо моделювання з малим  $N$  та реалістичним (тобто надзвичайно малим)  $r_t$ , всі конуси втрат були б надзвичайно малими та повними через короткий час релаксації, який не є фізичним. Тому для нашого діапазону кількості часток фізично важливі лише певні значення  $r_t$ , що може зробити критичний радіус достатньо великим, щоб перейти в порожній або повний конус втрат у правильному місці. По-друге, зростання ЧД за динамічний час стає дедалі меншим для великих  $N$  за рахунок збільшення часу релаксації. Отже, можна стверджувати, що наші (порівняно) малі  $N$  моделювання містять деяке штучне

зростання маси СМЧД, що, в свою чергу, впливає на потенціал і всю динаміку в центральному регіоні. Однак, альтернатива, нехтуючи зростанням маси СМЧД штучно, створює більш серйозні труднощі; це призводить до необґрунтованого переміщення маси (наприклад, подвійна СМЧД викидає зірки за допомогою механізму гравітаційної рогатки, які інакше акретують та зруйнуються, або, якщо відбирати зірки, центральний гравітаційний потенціал штучно зменшується). Ми вважаємо, що найкращим способом використання методу масштабування є включення всіх фізичних процесів (таких як зростання маси СМЧД) для кожного вибору параметра, а потім ретельно проаналізувати масштабну поведінку з  $N$  і  $r_t$  (включаючи також, наприклад, зростання маси в масштабованому аналізі).

Як правило для дослідження залежності наших результатів від числа частинок  $N$ , чисельного приливного радіусу  $r_t$ , нахилу густини  $\gamma$  та початкової маси СМЧД, ми маємо серію запусків моделювань з параметрами моделей перерахованих у Таблиці 1.4

Таблиця 1.4 Параметри моделей моделювання

Model No. (1)	$e_{ini}$ (2)	$N/Nucleus$ (3)	$r_t$ (4)	$\gamma$ (5)	$M_{BH}/M$ (6)
A01	1.0	125 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
A02	1.0	250 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
A03	1.0	500 K	$5 \times 10^{-5}$	1.0	0.001
A04	1.0	500 K	$1 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
A05	1.0	500 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
A06	1.0	500 K	$1 \times 10^{-3}$	1.0	0.001
A07	1.0	500 K	$5 \times 10^{-4}$	0.5	0.001
A08	1.0	500 K	$5 \times 10^{-4}$	1.5	0.001
A09	1.0	500 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.0001
A10	1.0	500 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.01
A11	1.0	1 M	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
B01	-isolated galaxy	500 K	$5 \times 10^{-5}$	1.0	0.001
B02	-isolated galaxy	500 K	$1 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
B03	-isolated galaxy	500 K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001
B04	-isolated galaxy	500 K	$1 \times 10^{-3}$	1.0	0.001
C01	0.3	500K	$5 \times 10^{-4}$	1.0	0.001

На Рисунку 1.12 вказується на значне збільшення швидкості акреційного рівня ПР, оскільки дві ЧД підходять досить близько, щоб сформувати зв'язану подвійну систему. Таким чином, ми можемо емпірично розділити всю еволюцію на три різні етапи. У фазі I,  $r_{\text{вн}}$ , розподіл двох ЧД є набагато більшим, ніж у будь-якому радіусі впливу, а  $\dot{M}$  залишається на відносно постійному низькому рівні. Після того, як дві ЧД стають достатньо близькими, щоб значно порушити один одного,  $\dot{M}$  значно збільшується, а система переходить у фазу II. У фазі III утворюється компактна СМЧД і  $\dot{M}$  падає до приблизно постійного низького рівня.

Як показано на Рис. 1.12, обидві моделі A05 та C01 мають подібні еволюції темпів збільшення ПР:  $\dot{M}$  є приблизно стійким протягом фази I та III, і значно посилюється в фазі II. Цей результат можна легко зрозуміти. У фазі I, еволюція  $\dot{M}$  є більш-менш такою ж, як у випадку з одним СМЧД в ізольованій галактиці, тому що збурення з іншого ядра не є суттєвим. Це відповідає дифузному режиму для більшості великих галактичних ядер. Однак фаза II - це етап з жорсткою релаксацією. Існує два фактори, що сприяють збільшенню темпів приросту ПР. Перш за все, зірки, пов'язані з одним СМЧД, відчувають дуже сильне збурення від супутника СМЧД, що посилює живлення конусу втрат. По-друге, через тривісний зоряний розподіл та трьохчастинкову взаємодію в фазі II, більше зірок можуть бути розкидані в конус втрати ПР. Як результат, конус втрат, який живиться під час фази II, є дуже ефективним, що призводить до суттєво підвищеної швидкості нарощування ПР.

Встановлено, що коли відстань між СМЧД перевищує  $100r_h$ , конус втрат буде домінувати через релаксацію двох тіл, а коефіцієнт акреційного ПР буде ідентичним як для ізольованого окремого СМЧД, тоді як оскільки відстань між ними зменшується до  $d \sim 100r_h$ , коефіцієнт акреційного ПР, викликаний збуренням з іншої галактики, буде порівняний з внеском від релаксації двох тіл. Проте, для наших моделей A05 та C01 ми бачимо, що темпи поглинання ПР збільшуються через збурення лише приблизно  $d \leq 10r_h$  або нижче. Щоб зрозуміти

цю різницю, ми запустили свій код з такими ж параметрами (маса галактик, профіль густини та співвідношення маси двох галактик) для моделі A05, але вибравши реалістичний приливний радіус та кількість частинок. Результат, виходячи з їхньої моделі, показує, що внесок в збурення стає вищим, ніж релаксація двох тіл близько  $d \leq 400r_h$ . Але якщо ми перемасштабуємо і їх моделі коефіцієнт акреційного ПР, отриманого від релаксації двох тіл до штучного малого числа частинок і великого припливного радіусу, що використовується в нашому N-тільному моделюванні, ефект збурення стає важливим при  $d \leq 8r_h$ , що відповідає нашим результатам.

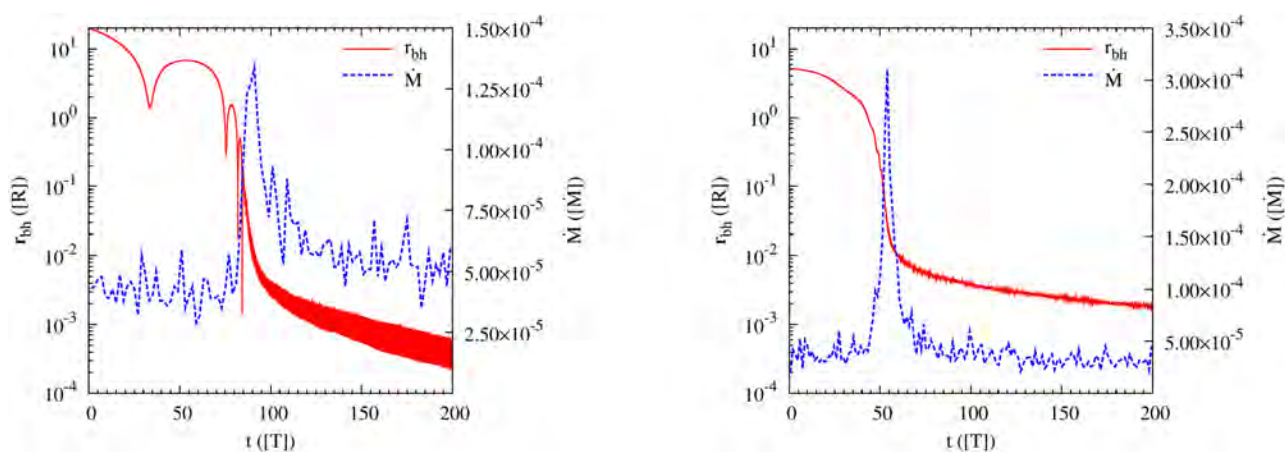


Рис. 1.12 Еволюція відстані для двох СМЧД та рівня акреційних ПР. Вісь  $x$  та ліва вісь  $y$  показують час та  $r_{BH}$ , відстані між СМЧД, відповідно. Права вісь  $y$  дає відповідний рівень акреційних ПР  $\dot{M}$ . Червона неперервна крива та блакитна пунктирна крива позначають відповідно  $r_{BH}$  та  $\dot{M}$ . Ліва панель: наша опорна модель A05 з початковою параболічною орбітою. Права панель: модель C01 з початковим орбітальним ексцентриситетом  $e=0.3$  для порівняння. Для того, щоб порівняти з A05, тут ми беремо лише еволюцію за останні 200 часових одиниць.  $\dot{M}$  в моделі C01 приблизно зберігає постійний рівень на перших 300 часових одиницях.

***Класифікація подій припливного руйнування заснована на властивостях орбіт зірок.*** За допомогою високоточного прямого N-тільного моделювання ми дослідили рівень припливних руйнувань зірок на зв'язаних та незв'язаних орбітах від чорних дір з проміжними масами та надмасивних чорних дір. Зірки зоряного скупчення, що наближаються до чорної діри, можуть мати три типи орбіти: ексцентричну, параболічну і гіперболічну. Оскільки рівень зворотного потоку маси показує різні варіанти в залежності від типу орбіти, ми можемо класифікувати події припливних руйнувань (ППР) на три основні категорії: ексцентричні, параболічні та гіперболічні. Відповідні ППР характеризуються двома критичними значеннями орбітального ексцентриситету: нижній критичний ексцентриситет є таким, що нижче нього зірки на ексцентричних орбітах викликають скінченну, інтенсивну акрецію, а верхній критичний ексцентриситет такий, що вище нього зірки на гіперболічних орбітах не викликають акреції. Крім того, ми виявили, що параболічні ППР можна розділити на три підкласи: точно параболічні, мало ексцентричні і незначно гіперболічні. Ми аналітично отримало, що рівень зворотного потоку маси від мало ексцентричних ППР може бути більш плоским та дещо вищим ніж стандартний рівень зворотного потоку маси пропорційно до  $t^{-5/3}$ , тоді як він може бути більш плоским та нижче для незначно гіперболічних ППР. Ми підтверджуємо N-тільними експериментами, що тільки декілька ексцентричних, точно параболічних та гіперболічні ППР можуть статися в сферичній зоряній системі з одиночними чорними дірами від проміжної маси до надмасивних. Значна частина зірок, що наближаються до чорної діри, спричинить мало ексцентричні або незначно гіперболічні ППР.

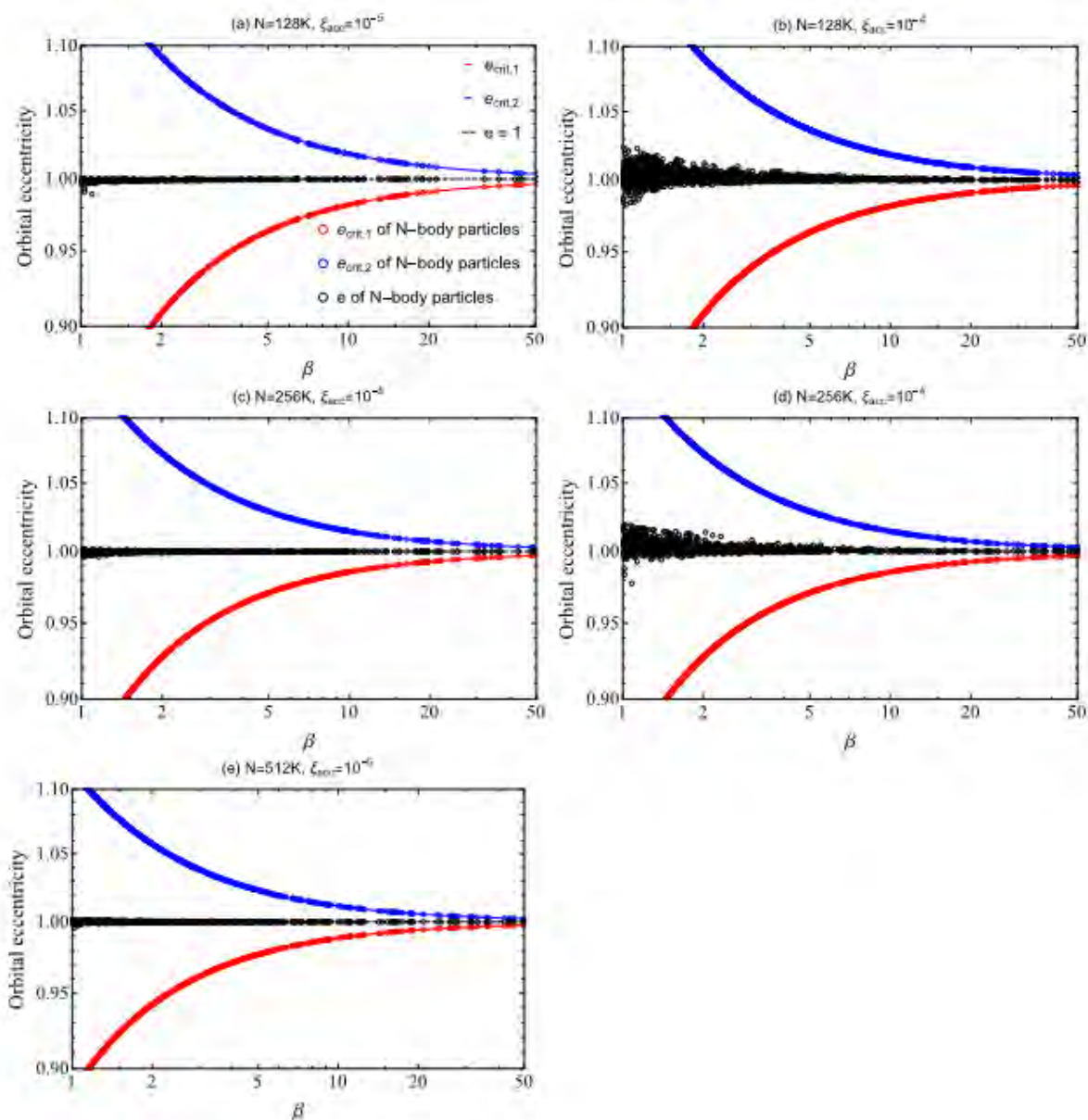


Рис.1.13 Залежність критичних та орбітальних ексцентриситетів від фактору проникнення в випадку  $m = 0.01$  (моделі 1-5). Червоні та сині малі кола представляють критичні ексцентриситети кожної акретуючої  $N$ -тільної частинки для ексцентричних та гіперболічних ППР, відповідно. Чорні малі кола показують орбітальні ексцентриситети акретуючих  $N$ -тільних частинок. Чорна штрихова лінія показує  $e = 1$ , червона та синя криві показують відповідні аналітично очікувані критичні ексцентриситети.



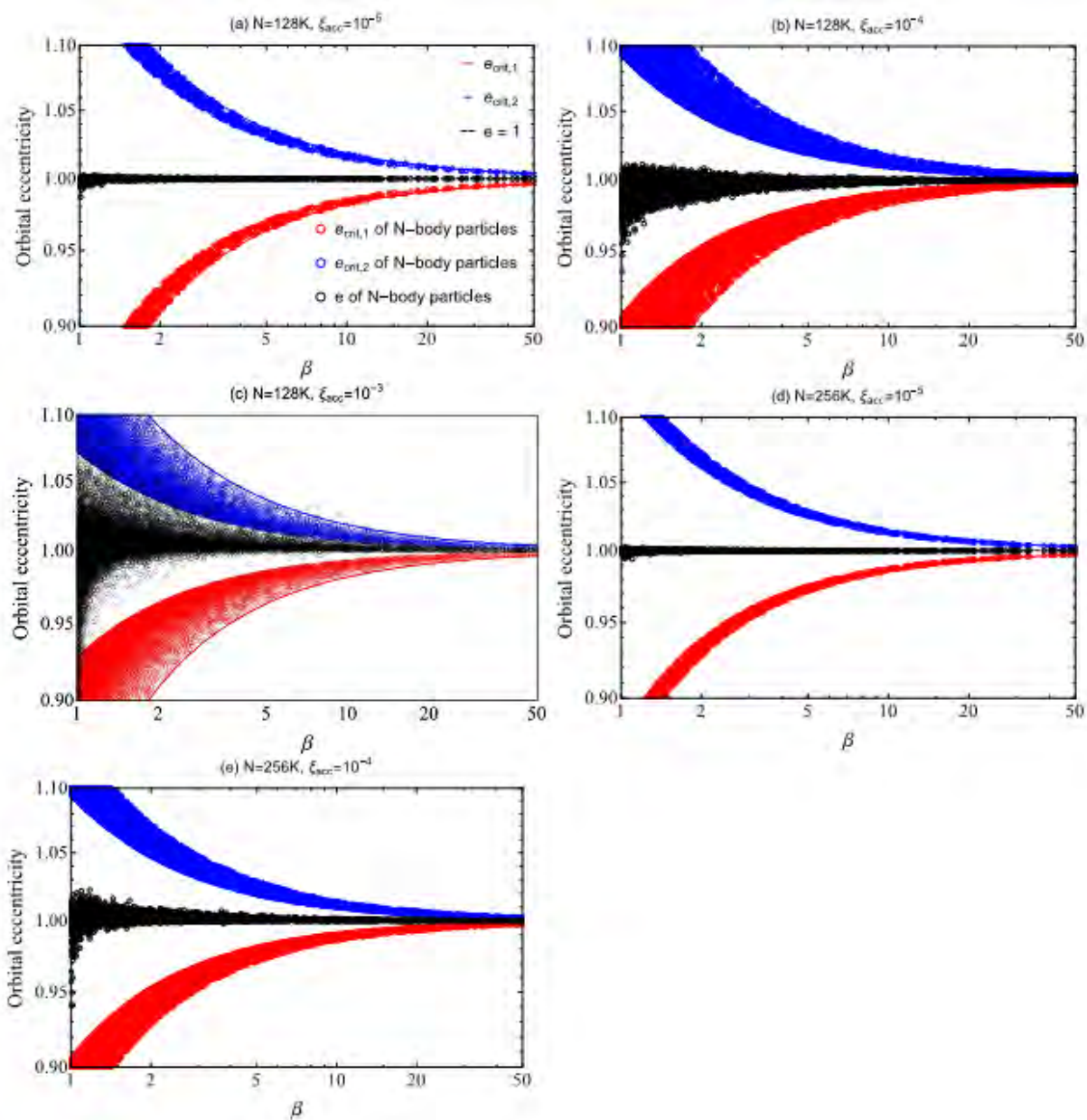


Рис. 1.14 Такий же формат даних як в Рис. 1.13, але в випадку підростаючої чорної діри з початковою масою  $m = 0.01$  (моделі 11-15).

## 1.5 Обертання галактики та еволюція супермасивної подвійної чорної діри

У цій роботі ми використовуємо повністю розпаралелений прямий N-тільний код  $\phi$ GPU, який використовує тільки CUDA та MPI для оптимізації обчислень гравітаційної сили на апаратному забезпеченні графічного процесора, досягаючи швидкості в 2 рази більше, порівняно з багатоядерними високопродуктивними CPU архітектурами. Код являє собою пакет прямого N-тільного моделювання, з схемою інтеграції Ерміта з четвертого до восьмого порядку та індивідуальними блоками часових кроків. Для цього дослідження ми визначили, що інтеграційна схема четвертого порядку служить нашим цілям. В принципі, прямий N-тільний код оцінює всі попарні сили між гравітаційними частинками, але  $\phi$ GPU може ввести «пом'якшення», щоб уникнути дивергенції сили тяжіння. Значення розм'якшення для частинок було прийнято  $10^{-4}$ , тоді як для СМЧД це значення було нульовим. Результат, який мабуть, найбільш важливий це часовий масштаб становлення жорсткості, який зазвичай представляється як часова еволюція оберненої великої піввісі ( $1/a$ ) СМЧД. Оскільки енергія подвійної СМЧД змінюється обернено пропорційно до великої піввісі, ці рисунки також можна розглядати як відстеження енерговитрат. Ми спостерігаємо найбільшу втрату енергії (швидкість жорсткішання) для моделі A45 з м'яким обертанням в ту ж сторону, тоді як найнижчий показник для B180, яка обертається в протилежну сторону. Зверніть увагу, що немає чіткого шаблону втрати енергії, який може бути пов'язаний з кутовою варіацією або прецесією (Табл. 1.5).

Таблиця 1.5. Таблиця для фінальних параметрів часів злиття

Model	$s$	$e_f$	$a_f$	$T_f$	$T_{\text{coal}, M_1}$	$T_{\text{coal}, M_2}$
A <sub>0</sub>	27.7	0.17	$3.29 \times 10^{-4}$	100	(1901, 525 Myr)	(687, 920 Myr)
A <sub>45</sub>	33.9	0.04	$3.87 \times 10^{-4}$	70	(1650, 455 Myr)	(598, 801 Myr)
A <sub>90</sub>	32.2	0.05	$3.56 \times 10^{-4}$	80	(1718, 474 Myr)	(622, 833 Myr)
A <sub>120</sub>	33.5	0.59	$3.72 \times 10^{-4}$	70	(1250, 345 Myr)	(450, 603 Myr)
A <sub>135</sub>	26.15	0.72	$4.06 \times 10^{-4}$	70	(1239, 342 Myr)	(436, 584 Myr)
A <sub>150</sub>	29.31	0.93	$4.09 \times 10^{-4}$	70	(497, 137 Myr)	(171, 229 Myr)
A <sub>180</sub>	23.6	0.99	$4.24 \times 10^{-4}$	73	(140, 38 Myr)	(78, 104 Myr)
B <sub>0</sub>	30.5	0.14	$4.19 \times 10^{-4}$	70	(1773, 489 Myr)	(641, 859 Myr)
B <sub>180</sub>	21.65	0.92	$5.03 \times 10^{-4}$	70	(685, 189 Myr)	(235, 315 Myr)

Ми спостерігали більш високі показники жортскішання для конфігурацій A45 і B0, які коротують, у порівнянні з A135 та B180, які контерротують. Подібна поведінка була зареєстрована в NB15 для коротаційної A0 проти контерротатійної моделі A180. Більш висока втрата енергії в моделях, що коротують, може бути пов'язана з рухом подвійної СМЧД щодо галактичного центру. Розташовуючись у резонансі 1:1 з галактичним періодом орбіти, у подвійної СМЧД є більше зірок, здатних розкидатися і залишатися в цьому зоряному резервуарі довше. Нарешті, подібність часових шкал жортскішання для A0 і B0, а також для A180 та B180 підтверджує наше попереднє твердження, що найближчі зірки несуть відповідальність за подвійну СМЧД (Рис. 1.15).

Ми провели великомасштабне N-тільне моделювання злиття галактик з центральними пост-ньютонівськими чорними дірами. На основі результатів, отриманих за допомогою моделювання з включенням релятивістських динамічних корекцій, ми можемо отримати час злиття для реальних астрофізичних об'єктів. Кожна галактика представлена як набір частинок (з малою та з великою масою) з загальною кількістю частинок  $N=500k$  та  $N=1000k$  з розподілом Пламмера. Чорні діри представлені як дві спеціальні надмасивні, тобто "релятивістські", частинки. Взаємодія між чорними дірами включає пост-ньютонівські (PN) корекції до 3.5PN корекції. Отримано верхню границю для часу злиття масивних чорних дір у центрі взаємодіючої галактики NGC 6240, яка складає близько 50 млн. років (Рис. 1.16).

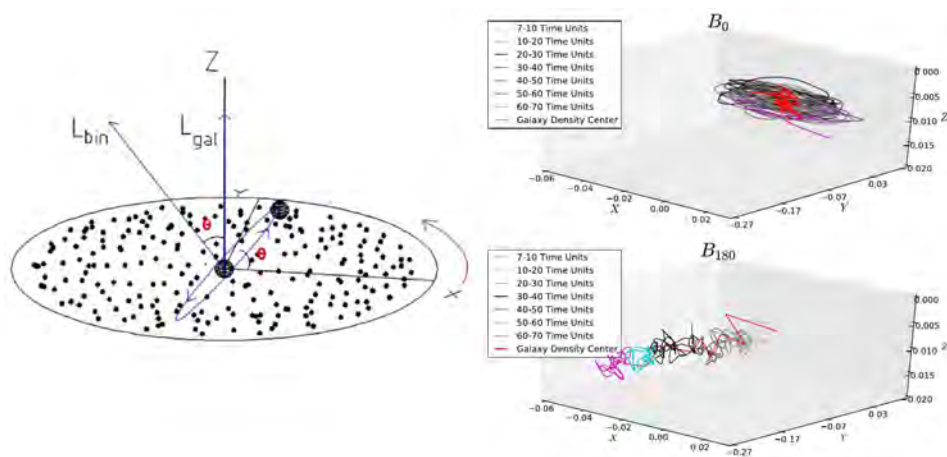


Рис. 1.15. *Ліва панель.* Ілюстрація початкового кута  $\theta$  між кутовим моментом подвійної СМЧД ( $L_{\text{bin}}$ ) та галактики ( $L_{\text{gal}}$ ). У кожному випадку,  $L_{\text{gal}}$  точок вздовж вісі  $z$  позначається червоною стрілкою. Після початку моделювання СМЧД (чорні точки) рухаються по орбіті (блакитна траєкторія) навколо один одного в межах площини галактики (невеликі чорні точки). Кут  $\theta$  між вектором кутового моменту також природньо кут між площиною орбіти подвійної СМЧД та площиною обертання галактики. *Права панель.* Рух центру мас подвійної СМЧД у частково обертальній  $B$  моделі. Зверху:  $B_0$ , знизу:  $B_{180}$ . Тут центр мас спостерігається акуратно слідуючи траєкторії центру густини.

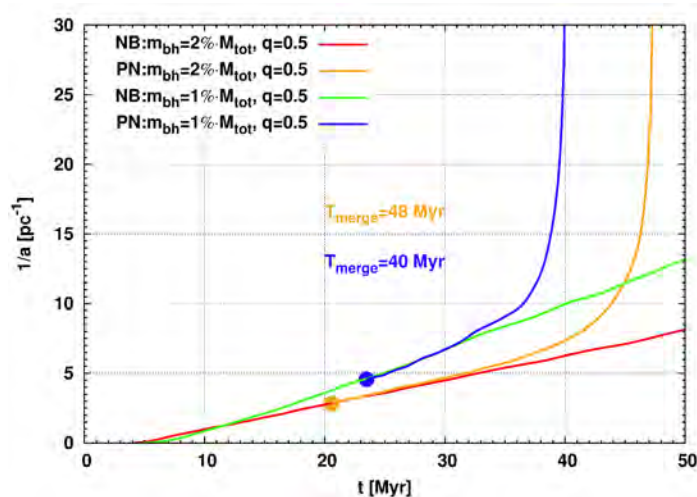


Рис. 1.16 Еволюція параметру “hardening” (обернена велика піввісь орбіти подвійної СМЧД) для моделі з загальною кількістю частинок  $N=500k$ , початковим ексцентриситетом 0.5 та відношенням мас 0.5.  $N$ -тільне моделювання подано для двох випадків, коли мас центральної подвійної СМЧД дорівнює 1% (зелена крива) та 2% (червона крива) від повної маси галактики. Пост-ньютонівський режим зображено також для двох випадків 1% (синя крива) та 2% (помаранчева крива).

## **2 Детальний аналіз продуктивності та енергоефективності обчислювальних програм, що використовують технологію GPU.**

Технології обчислення на GPU (graphics processing unit) можна розділити на кілька категорій:

1. Пряме використання шейдерів (наприклад, GLSL ). В цьому випадку вхідні і вихідні дані інтерпретуються як текстур, а для обчислень використовуються шейдери відеокарт. Цей підхід досить трудомісткий для розробки, зате він може бути найбільш швидким, якщо йде розробка під конкретні відеокарти (під конкретну модель), і завдання допускає розбиття на незалежні локальні ділянки.

2. Використання спеціалізованих програмних інтерфейсів від виробників відеокарт (CUDA від NVidia, FireStream від AMD). Ці засоби створювалися спеціально для проведення неграфічних обчислень на GPU. Вони також досить глибоко оптимізовані під конкретну архітектуру.

3. Використання крос-апаратних засобів: OpenCL. Ця технологія працює не безпосередньо з пристроями, а використовують спеціальні драйвери під кожного виробника. Наприклад, OpenCL під NVidia працює за рахунок перенаправлення викликів в CUDA. Основною перевагою OpenCL є незалежність від апаратної частини. OpenCL програма може працювати як на відеокартах різних виробників, так і на центральному процесорі, спеціалізованих обчислювачах (Intel Xeon Phi), DSP процесорах та FPGA платах та ін.

З вищеписаних засобів розробки під графічний процесор найбільш поширена на сьогодні є технологія CUDA в силу того, що вона раніше була введена в використання і за рахунок активного маркетингу з боку Nvidia.

Сучасна грід-інфраструктура НАН України складається з декількох десятків обчислювальних кластерів, з досить широкою різноманітністю апаратних архітектур, потужністю та поколіннями обчислювачів. Тож декілька етапів виконання теми в 2014-2016 роках були присвячені адаптації до грід-

інфраструктури НАН України обчислювальних програм phi-GRAPE та phi-GPU та реалізації та тестуванню програм для моделювання взаємодії частинок на технології OpenCL.

В рамках проекту провели детальний аналіз обчислювальної моделі комп. кода NBODY6++GPU. Характерна особливістю даної програми є прискорення обчислень з використанням MP бібліотеки. Програма також використовує графічні прискорювачі (фірми NVIDIA) для прискорення розрахунку регулярної компоненти гравітаційної взаємодії між частинками. Для розрахунку нерегулярної гравітаційної взаємодії використовуються OpenMP протокол.

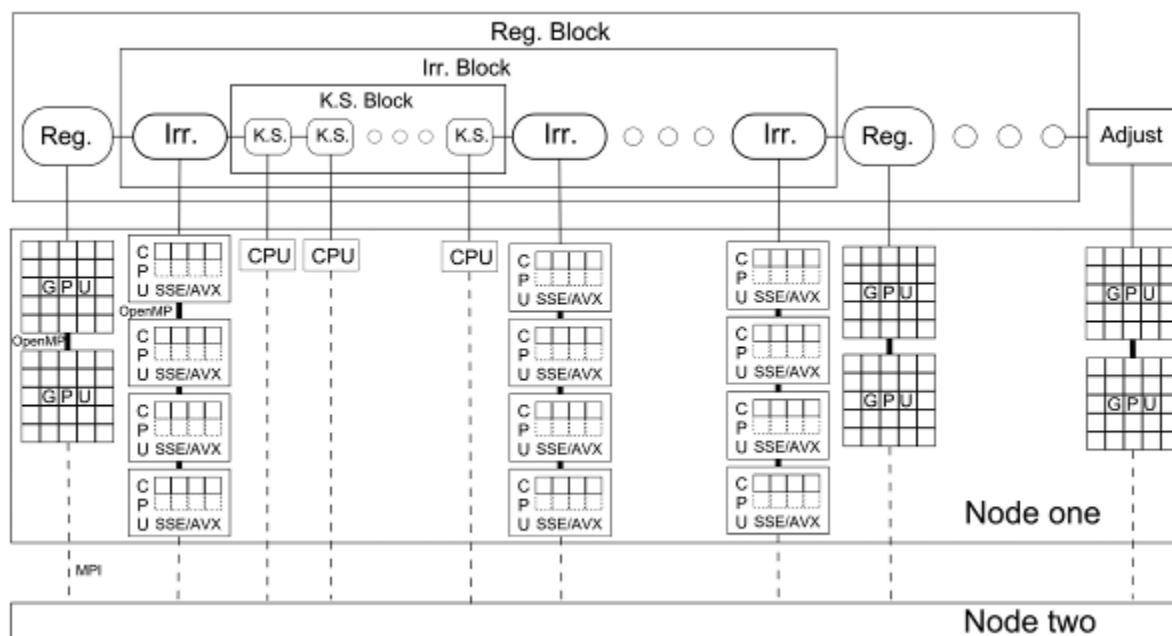


Рис.2.1 Схематичне зображення часового інтегрування в кодi NBODY6++GPU. Як видно на рисунку регулярна і нерегулярна компоненти гравітаційної взаємодії між частинками можуть обчислюватися послідовно на графічному процесорі та центральному процесорі.

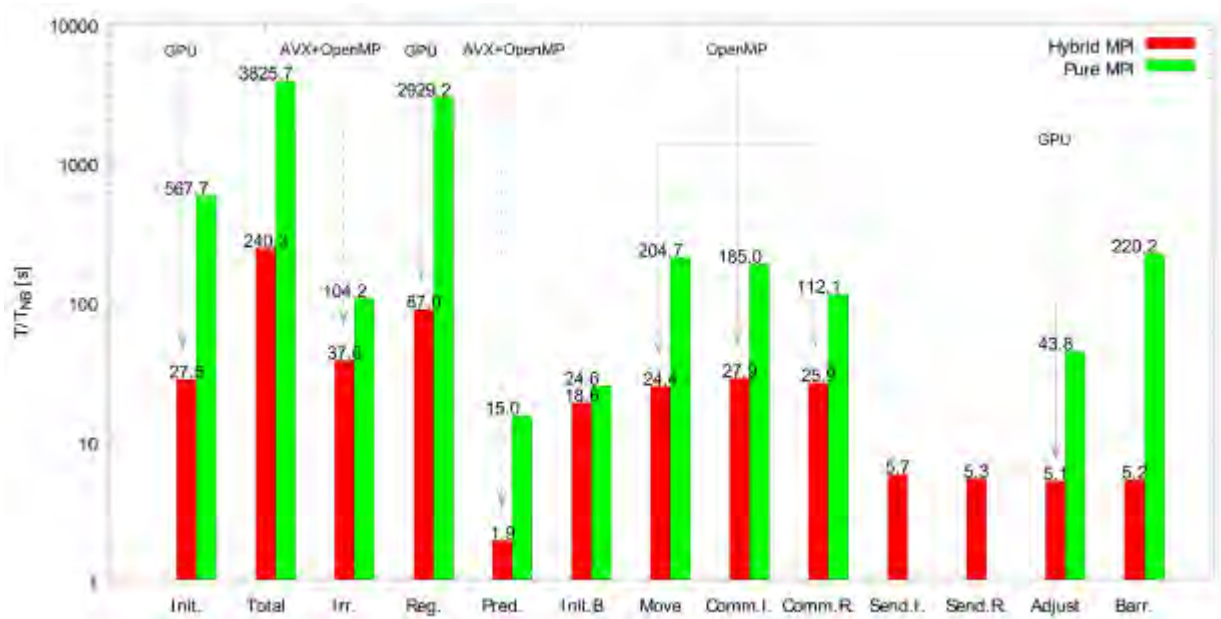


Рис.2.2 Розподіл часу обчислень в коді на різних участках комп'ютерного алгоритму. Як видно на рисунку гібридне використання MPI протоколу дозволило істотно прискорити всі компоненти комп'ютерних обчислень.

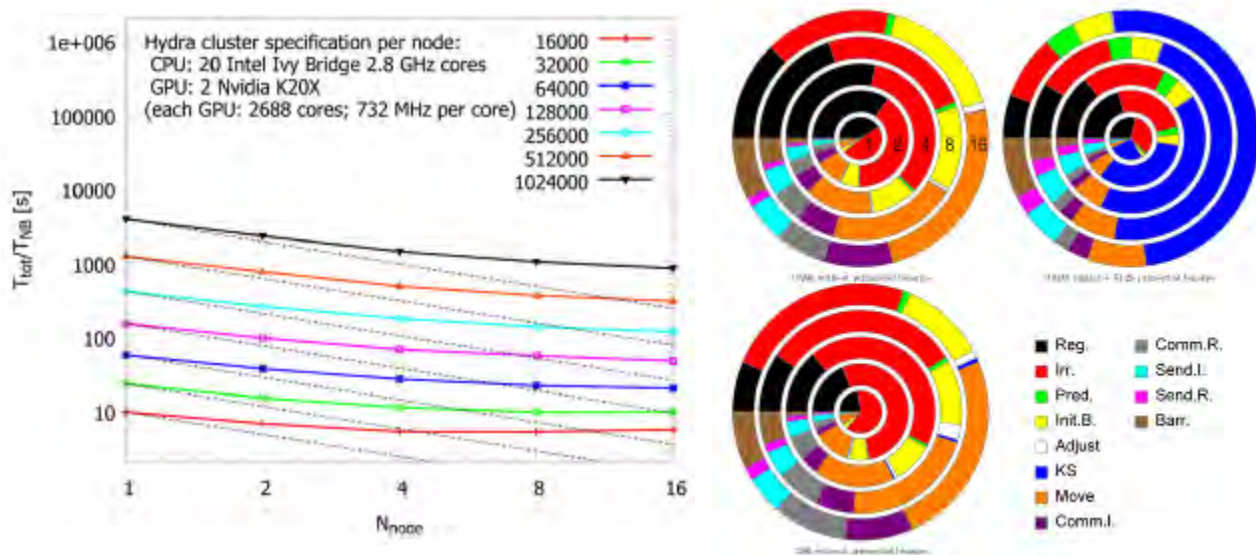


Рис.2.3 Зліва показано час виконання розрахунків для різної кількості частинок і на різних кількостях графічних процесорів. Справа показано те ж саме, але тільки в розгортці кругової діаграми з вказівкою процентного виконання різних частин комп'ютерного кода.

**Table 2** Main Components of NBODY6++

Description	Timing variable	Expected scaling		Fitting value [s]
		$N$	$N_p$	
Regular force computation	$T_{reg}$	$\mathcal{O}(N_{reg} \times N)$	$\mathcal{O}(N_p^{-1})$	$(2.2 \times 10^{-9} \times N^{2.11} + 10.43) \times N_p^{-1}$
Irregular force computation	$T_{irr}$	$\mathcal{O}(N_{irr} \times \langle N_{nb} \rangle)$	$\mathcal{O}(N_p^{-1})$	$(3.9 \times 10^{-7} \times N^{1.76} - 16.47) \times N_p^{-1}$
Prediction	$T_{pre}$	$\mathcal{O}(N^{kn_p})$	$\mathcal{O}(N_p^{-kn_{pp}})$	$(1.2 \times 10^{-6} \times N^{1.51} - 3.58) \times N_p^{-0.5}$
Data moving	$T_{mov}$	$\mathcal{O}(N^{kn_{mi}})$	$\mathcal{O}(1)$	$2.5 \times 10^{-6} \times N^{1.29} - 0.28$
MPI communication (Reg.)	$T_{mcr}$	$\mathcal{O}(N^{kn_{cr}})$	$\mathcal{O}(kp_{cr} \times \frac{N_p^{-1}}{N_p})$	$(3.3 \times 10^{-6} \times N^{1.18} + 0.12)(1.5 \times \frac{N_p^{-1}}{N_p})$
MPI communication (Irr.)	$T_{mcl}$	$\mathcal{O}(N^{kn_{ci}})$	$\mathcal{O}(kp_{ci} \times \frac{N_p^{-1}}{N_p})$	$(3.6 \times 10^{-7} \times N^{1.40} + 0.56)(1.5 \times \frac{N_p^{-1}}{N_p})$
Synchronization	$T_{syn}$	$\mathcal{O}(N^{kn_s})$	$\mathcal{O}(N_p^{kn_{ps}})$	$(4.1 \times 10^{-8} \times N^{1.34} + 0.07) \times N_p$
Sequential parts on host	$T_{host}$	$\mathcal{O}(N^{kn_h})$	$\mathcal{O}(1)$	$4.4 \times 10^{-7} \times N^{1.49} + 1.23$

Рис.2.4 На рисунку показані характерні залежності часу виконання кода від числа частинок та числа графічних прискорювачів. Як видно, залежності істотно нелінійні.

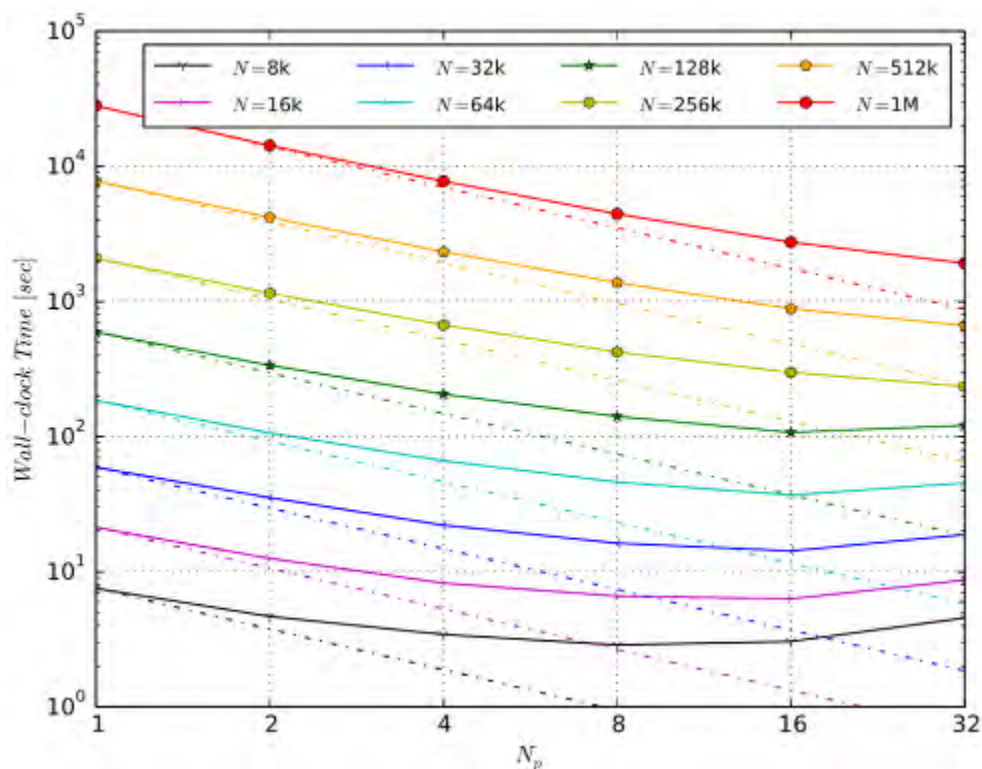


Рис.2.5 Час виконання інтегрування однієї одиниці часу в залежності від кількості частинок і кількості процесорів. На рисунку пунктиром показані лінії, які відповідають ідеальному прискоренню від числа процесорів ( $1/N_p$ ).



Протягом 2015 року в рамках задач проекту було виконано тестування ряду обчислювальних програмних кодів, які використовують технологію GPGPU. При цьому використовувалися програми як з технологією Nvidia CUDA, так і OpenCL. Перевагою використання OpenCL є можливість використовувати в якості обчислювачів широкий спектр апаратних продуктів: відеокарти, процесори, спеціалізовані плати, тощо.

Результати тестування проілюстровано на основі використання бібліотеки g5opencl: direct summation "brute force" N-body code with shared timestep in SP.

Переваги використання g5opencl бібліотеки:

- Можливість проведення тестування на різноманітних пристроях. Наразі використовувалися центральні процесори Intel та AMD, відеокарти Nvidia та AMD, прискорювач Intel MIC (xeon phi).
- Досить висока ефективність коду
- Досить висока читабельність коду у порівнянні з програмуванням на низькорівневих мовах, ідеологія близька до CUDA

Деякі отримані результати:

- 1) Максимальна обчислювальна потужність Nvidia GTX Titan склала 3.5 TFlops ( 80% від теоретичної)
- 2) Максимальна обчислювальна потужність AMD Radeon 7970 склала 3.2 TFlops ( 85% від теоретичної)
- 3) Максимальна обчислювальна потужність Nvidia GTX 670 склала 2.4 Tflops ( 95% від теоретичної)
- 4) Максимальна обчислювальна потужність Intel Xeon Phi склала 1.1 Tflops ( 55% від теоретичної)
- 5) Максимальна обчислювальна потужність Intel core i7-2600K склала 200 GFlops ( 70% від теоретичної)

Робота виконувалася у співпраці з колегами з Німеччини, Японії та Китаю.

У 2018 році проводилося тестування програм з моделювання на різних GPU прискорювачах. Були використані, як локальні ресурси ГАО (Nvidia GeForce GTX 660, GeForce GTX Titan, GeForce GTX 1080) так і доступні робочі станції наших партнерів за кордоном (GeForce GTX Titan V, Tesla V100 , GeForce 1080 Ti, GeForce 2080 Ti). На кінець 2018 року найбільш оптимальними по співвідношенню швидкодія/ціна є топові карти GeForce 10xx серії на архітектурі Pascal (GTX 1070Ti, GTX 1080, GTX 1080Ti). Це справедливо, як для власних програмних кодів для симуляції гравітаційної взаємодії (phi-GPU) так і для синтетичних тестів nbody з пакету CUDA SDK. Рейтинг сучасних GPU прискорювачив для наукових розрахунків виглядає так:

1. Nvidia GeForce GTX 1080Ti;
2. Nvidia GeForce GTX 1080;
3. Nvidia GeForce GTX 1070Ti

При необхідності обчислень з подвійною точністю (FP64) слід звертати увагу на набагато дорожчі професійні пристрої NVIDIA TITAN V та NVIDIA Tesla V100.

Оптимальна конфігурація робочої станції чи вузла кластера для наукових обчислень широкого застосування має наступний вигляд.

**Платформа Intel:** CPU — Intel core i9-7920X GPU — дві Nvidia GeForce GTX 1080Ti RAM — 32-64 GB (в залежності від задач, мінімум 2-3GB на ядро CPU)

**Платформа AMD:** CPU — AMD Ryzen Threadripper 2950X GPU — дві Nvidia GeForce GTX 1080Ti RAM — 64 GB (в залежності від задач, мінімум 2-4GB на ядро CPU)

Загальна швидкодія робочої станції складе біля 16-18 TFLOPS для одинарної точності при споживанні біля 800Вт.

### **3 КОСМІЧНІ ВОЙДИ ТА ІЗОЛЬОВАНІ ГАЛАКТИКИ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ ВСЕСВІТУ: ВИОКРЕМЛЕННЯ, НАСЕЛЕННЯ, ВЛАСТИВОСТІ**

#### **3.1 Властивості войдів, населення та їх виокремлення**

Космічними войдами називають області у Всесвіті з малою концентрацією галактик. Вони є важливими елементами у Великомасштабній структурі Всесвіту, як і скупчення галактик. Космічні войди, або порожнечі, займають гігантські простори Всесвіту спів розмірні з областями простору, о займають скупчення і окремі над скупчення галактик. Вони були виявлені близько 40 років тому назад, але їхнє систематичне вивчення стало можливим лише в останнє десятиріччя з появою сучасних спектроскопічних оглядів галактик всього неба. Через свої гігантські об'єми, характерну форму, динаміку і низьку густину видимої матерії, вони являють собою унікальні лабораторії для позагалактичної астрофізики та космології. Складна ієрархія войдів, взаємні перетини, піноподібна структура роблять їх цікавими об'єктами з точки зору геометрії та топології.

У рамках астрофізики високих енергій войди розглядають як шосе для поширення релятивістських частинок, в яких присутність ненульового магнітного поля, чи позагалактичного фонового інфрачервоного випромінювання, є досі відкритим питанням. Войди є важливими для тестування моделей еволюції галактик, оскільки вони дозволяють вивчити ізольовані об'єкти і дослідити вплив сусідніх галактик, порівнюючи властивості об'єктів у різних оточеннях. Спостережуваний дефіцит карликових галактик у близьких войдах суперечить космологічному сценарію з холодною темною матерією. Войди можуть бути використанні для ефективного тестування космологічних моделей та оцінки космологічних параметрів. Їхні фізичні властивості залежать від природи темної енергії та зародкового поля густини, з якого вони

розвинулися. Форма voidів дуже чутлива до рівняння стану темної енергії та вмісту темної матерії.

Шукачі перших двох класів виділяють voidи з Ейлерових координат. Така стратегія має два недоліки. По перше, галактики використовуються як трасери маси, і припускається певна невизначеність у зв'язку між полем концентрації галактик і полем густини матерії. По друге, за означенням voidи – це області з низькою концентрацією галактик, тому будь-який метод, що прямо використовує розподіл галактик для ідентифікації voidів, підданий високому статистичному шумові. В роботі [1] показано, що наївний підхід вимірювання концентрації галактик в сферичних шарах навколо voidів призводить до великої кількості порожніх шарів без галактик і як наслідок до систематичної недооцінки профілю густини. Перевагою шукачів voidів третього класу є те що voidи можуть бути визначені в Лагранжевих координатах, що значно покращує проблему статистичного шуму та полегшує теоретичну інтерпретацію результатів. Проте недоліком цих шукачів полягає в тому, що вибрані порожнечі не можна легко порівняти з тими, які отримані за допомогою інших методів.

### **3.2 Динамічний та некорельований шукач voidів**

Отже, як правило, виділення порожнеч базується на критерії густини чи геометричної структури розподілу галактик. Це зумовлює високу статистичну невизначеність через дуже низьку концентрацію галактик всередині voidів. В роботі [2] запропоновано новий алгоритм третього класу пошуку voidів, що базується на динамічних і кластерних критеріях виділення voidів в Лагранжевих координатах, що мінімізують вклад фактору низької концентрації галактик у них. Основна ідея полягає в спеціальній рандомізації вибірки галактик для досягнення однорідного первинного розподілу галактик та подальшого використання індивідуальних векторів зміщення галактик після даної процедури. Така процедура відповідає зворотній в часі еволюції великомасштабної структури

Всесвіту. Іншими словами, вектор зміщення показує, як далеко і в якому напрямі необхідно запусити частинку-галактику з однорідного первинного розподілу, щоб отримати спостережну зараз великомасштабну структуру. В роботі використано стандартну  $\Lambda$ CDM модель Всесвіту, де темна матерія є основним гравітуючим елементом (27%), навколо центрів концентрації якої (гало) утворюються галактики.

Описаний в роботі шукач LZVF (Lagrangian Zeldovich Void Finder) використовує апроксимацію Лагранжа-Зельдовича для відновлення взаємного розташування галактик на початку еволюції. Він полягає в припущенні, що рух галактик відбувається з дотриманням умови мінімізації дії  $S$ , яка є інтегралом Лагранжіана по часу. На практиці, застосування цього підходу вимагає генерацію вибірки випадкових галактик розміром і об'ємом, що відповідають реальній вибірці. З'єднання реальних галактик з випадковими, дає змогу побудувати векторне поле зміщення, таким чином, щоб сума квадратів відстаней всіх пар реальна-випадкова галактика була мінімальною.

Для верифікації даного підходу був розроблений так званий некорельований шукач войдів UVF (Uncorilated Void Finder), в якому поле зміщень будувалося, виходячи лише з геометричних міркувань. Як відомо, в сучасну космологічну епоху розподіл галактик є сильно неоднорідним. Відхилення від неоднорідності прямо характеризується просторовою двоточною кореляційною функцією, що вимірює наскільки далеким розподіл є від Пуасонового. З іншого боку, припускається, що в ранні епохи розподіл маси був однорідним, без просторової кореляції. Це натякає нам, що для відновлення орбіт назад у часі, принаймні в статистичному сенсі, може бути зняття напруженості в теперішньому розподілі до однорідного розподілу, який формально характеризується станом, коли кореляційна функція рівна 0 на всіх лінійних масштабах. Ефективним шляхом досягнути цього є т.зв. метод "відпалу", запропонований [3], що полягає в ефективному змінні стану системи від конфігурації з мінімальною внутрішньою енергією.

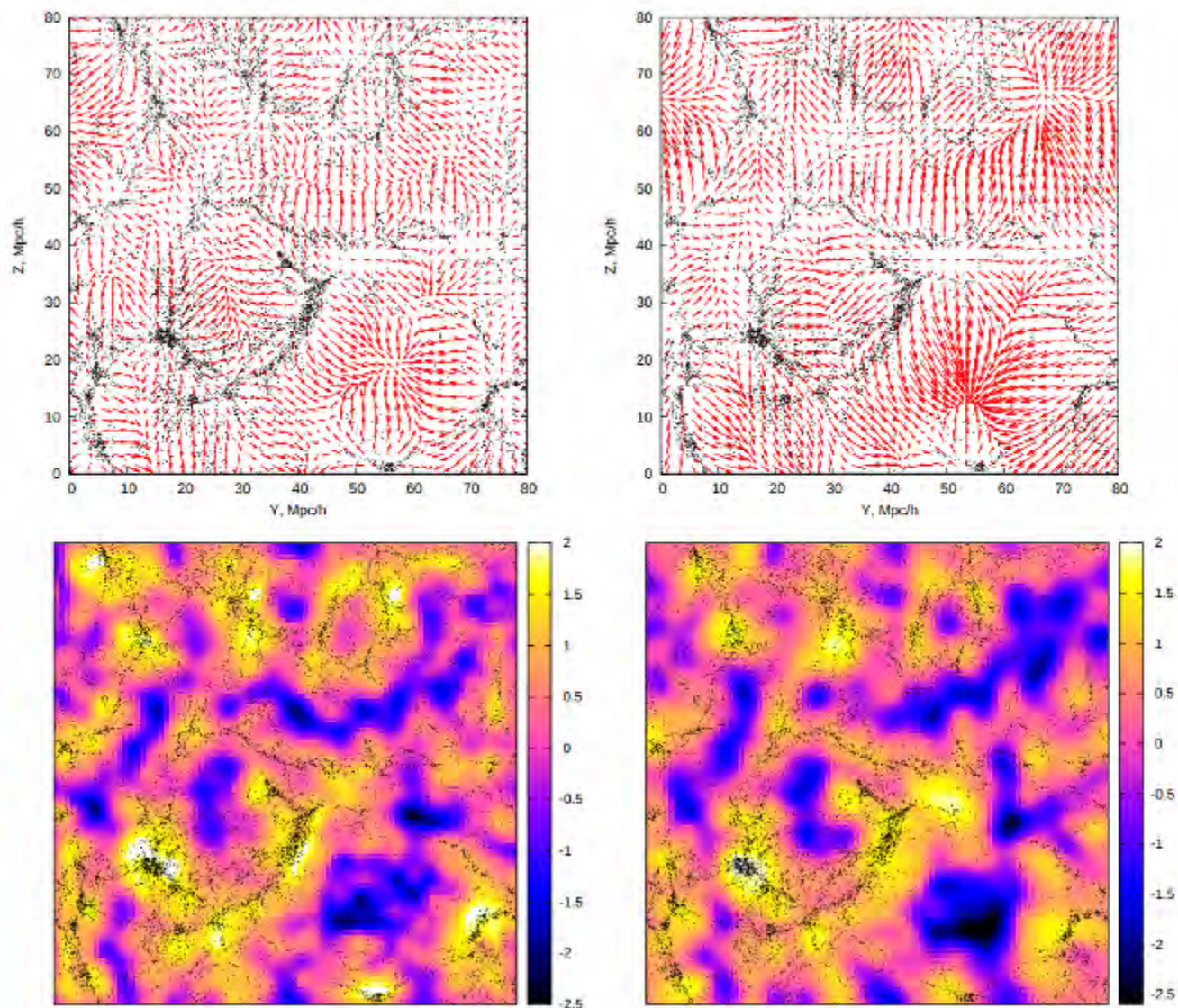


Рис. 3.1. Реконструйоване поле зміщення  $\Psi$  (верхні панелі) та його дивергенції  $\Theta$  (нижні панелі), отримані за допомогою двох шукачів, UVF (ліва панель) та LZVF (права панель). Розмір області, що відображається, становить  $80 \times 80$  Мпк/г, товщиною 5 Мпк/г. Чорні круги репрезентують частинки темної матерії.

поля дивергенції. Порівняння полів дивергенції можна бачити на нижній панелі Рис. 3.1. В такому підході войди визначаються як області негативної дивергенції поля зміщення в Лагранжевих координатах, це відповідає стоку галактик при зворотній еволюції. Для тестування методу було використано каталог

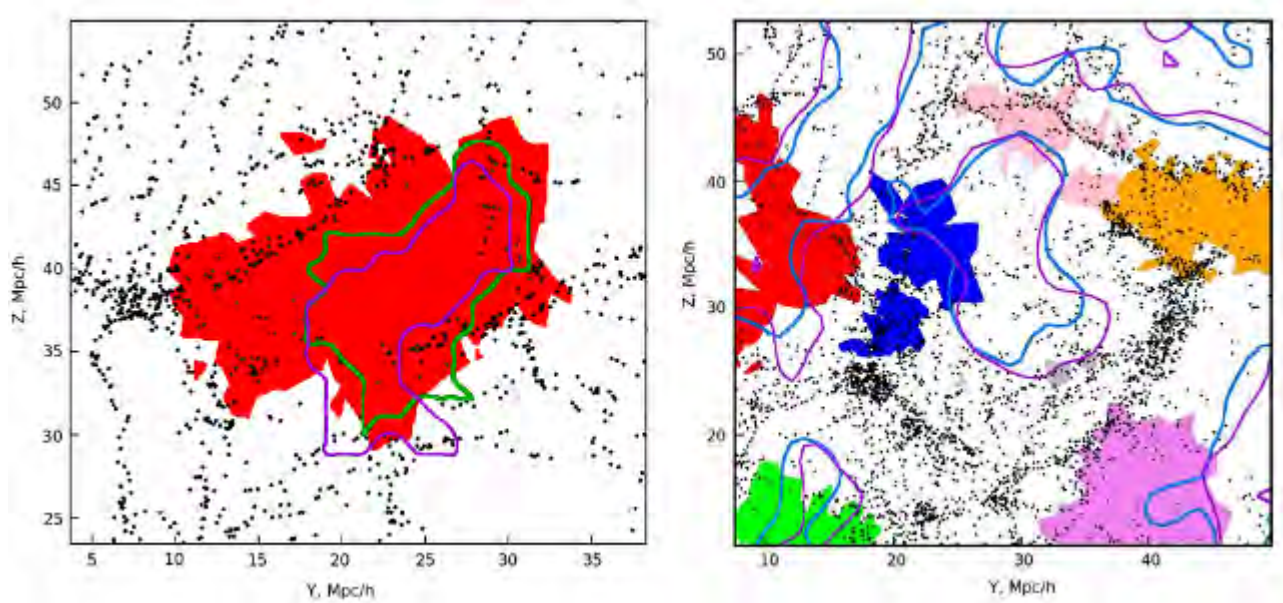


Рис. 3.2 Порівняння voidів виділених нашим алгоритмом (лінії) та ZOBOV (заповненні площі). Ліворуч приклад узгодження обох підходів, праворуч – розходження.

гало холодної темної матерії N-тіл моделювання CODECS для стандартної космологічної моделі  $\Lambda$ CDM, де частинки темної матерії є основними трасерами локальної густини маси. Отримані результати порівняно з класичним шукачем voidів ZOBOV (ZOnes Bordering On Voidness) з роботи [4], застосованого до тієї самої вибірки гало (Рис. 3.2). Цей шукач voidів побудований на основі виділення контрасту концентрації галактик за допомогою мозаїки Вороного. Видно що voidи виділені LZVF і UVF краще накладаються на неоднорідності великомасштабної структури Всесвіту, ніж виділені шукачем ZOBOV. Показано добре узгодження двох запропонованих шукачів між собою та знайдено, що профіль дивергенції поля зміщення є менш флуктуаційним, ніж звичайний профіль концентрації галактик, а отже їхнє накладання є більш стійким та придатним для космологічних тестів (Рис. 3.3). Крім того, відношення сигнал-шум для профілю дивергенції в центральній частині voidів для обох шукачів є на 60% вищим, ніж для профілів густини у випадку ZOBOV voidів. В Таблиці 3.1 показані основні параметри вибірок отриманих voidів, а саме їхні ефективні

радіуси. Для LZVF та UVF також були проведені тестові об'єднання суміжних войдів, ефективні радіуси яких менші за певний граничний  $R_{lim}$ . Ці та інші результати показують, що запропоновані шукачі войдів є хорошими альтернативами до існуючих, і можуть зробити значний вклад для покращення точності космологічних тестів, що базуються на статистиці войдів, вимірюванні асиметричностей накладених войдів.

Таблиця 3.1 Основні параметри виділених войдів шукачами UVF, LZVF, ZOBOV. Для шукачів UVF, LZVF приведені параметри войдів отриманих після злиття войдів ефективним радіусом менше  $R_{lim}$ .

вибірка войдів $R_{lim}$ , Mpc/h	кількість войдів	діапазон ефективних радіусів Mpc/h	медіана ефективного радіусу Mpc/h
UVF			
всі войди	427	0.6 - 7.4	4.0
2	405	2.0 - 7.4	4.1
3	344	3.0 - 7.4	4.4
4	211	4.0 - 8.0	5.4
5	103	5.0 - 11.6	6.8
5.3	82	5.3 - 12.6	7.0
6	34	6.0 - 17.1	8.3
7	8	7.0 - 28.7	12.0
8	7	8.0 - 28.7	12.5
LZVF			
всі войди	433	0.6-8.4	4.1
2	412	2.0-8.4	4.2
3	358	3.0-8.5	4.4
4	233	4.0-8.5	5.3
5	117	5.0-12.2	6.9
5.3	96	5.3-12.6	7.3
6	46	6.0-17.9	8.5
7	15	7.0-26.5	9.0
8	5	8.0 - 32.2	17.5
ZOBOV	87	3.9 - 15.1	8.2

### 3.3 Войди Місцевого Всесвіту, пошук агломератів галактик

Недавні спектральні позагалактичні огляди 2MASS, SDSS, 2MRS, демонструють, що головним елементом великомасштабної структури Всесвіту є войди, яких оточують стіни та філаменти, де в основному сконцентровані галактики. У вузлах перетину філаментів розташовані багаті скупчення галактик. В сучасну епоху ( $z = 0$ ) вірталізовані групи та скупчення охоплюють близько 74%



всіх галактик, або близько 90% зоряної маси. Проте ці регіони займають всього лиш 5% загального об'єму, решта 95% містять лише чверть всіх галактик. Саме таким галактикам, які займають проміжну ланку між скупченнями і войдами присвячено роботу [5]. В роботі розглянуто властивості розподілів близьких галактик в областях Місцевого Всесвіту з низькою густиною. Область Всесвіту навколо нашої галактики Молочний Шлях діаметром біля 100 Мпк містить майже всі основні великомасштабні структури як групи, скупчення, філаменти та космічні войди. Виявлено, що серед 7596 галактик з радіальною швидкістю  $< 3500$  км/с приблизно 42% не належить до жодних населених структур таких як скупчення, групи, тощо. До них застосовано перколяційний метод виділення дифузних агломератів. Дві третини галактик мають найближчого сусіда на відстані до 2.8 Мрс. Цю відстань вибрано як перколяційний радіус для ієрархічного методу виділення агломератів. Знайдено 226 агломератів з населеністю 4 і більше членів. Агломерати з чисельністю галактик 10 і більше наведені на Рис. 6.4.

Згідно з сучасними оцінками розміри войдів можуть набувати дуже різних значень від гігантських войдів, розміром біля 200 Мпк до міні войдів ефективним радіусом 3-5 Мпк. Загальноприйнято, що середня концентрація галактик у войдах на порядок менша за середню. Невирішеним залишається питання основного населення войдів, чи їхні центральні частини абсолютно не містять ніякої речовини. Також цікавим є питання кінетики войдів, чи розширюються вони і як при цьому поведуть себе навколишні галактики в стінах та філаментах. Очевидно, що для глибокого дослідження войдів варто починати з Місцевого Всесвіту, де представлено всі типи галактик аж до карликових, які є основним кандидатом на населення войдів. Створюючи атлас близьких галактик, Таллі та Фішер відкрили гігантську порожню область у напрямку на сузір'я Орла та Геркулеса, яка починається відразу за нашою Місцевою Групою і охоплює приблизно чверть всього неба. В середині цього войда було знайдено тільки дві карликові галактики KK 246 та ALFAZOA J1952+1428 з абсолютною зоряною

величиною  $-13.7^m$  та  $-13.5^m$ , відповідно. Аналіз радіальних швидкостей та відстаней галактик Місцевого Войду показує розширення оболонки войду зі швидкістю 300 км/с.

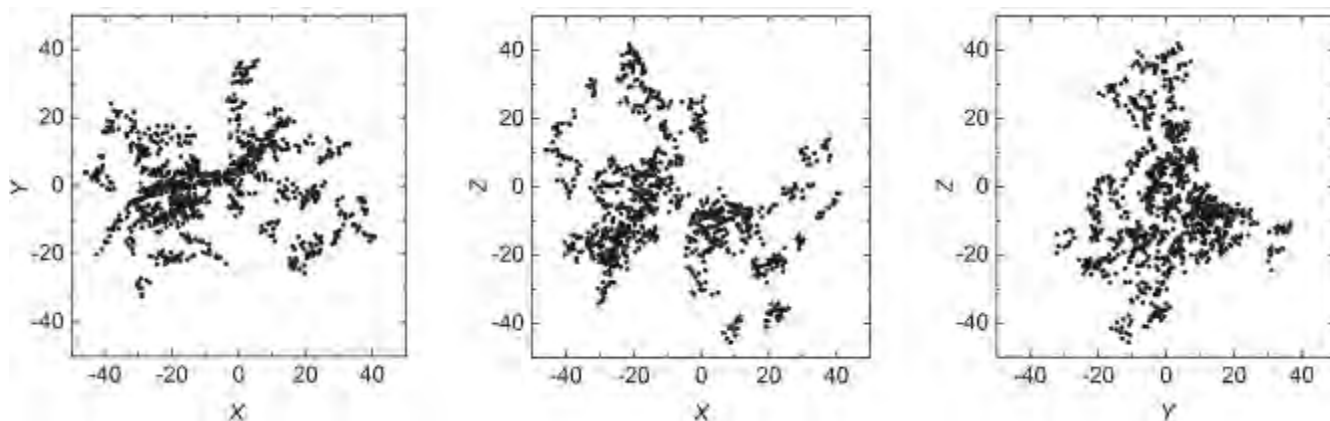


Рис. 3.4 Просторовий розподіл членів розріджених агломератів галактик з більш ніж 10 членів кожен, в трьох проекціях екваторіальних Декартових координат.

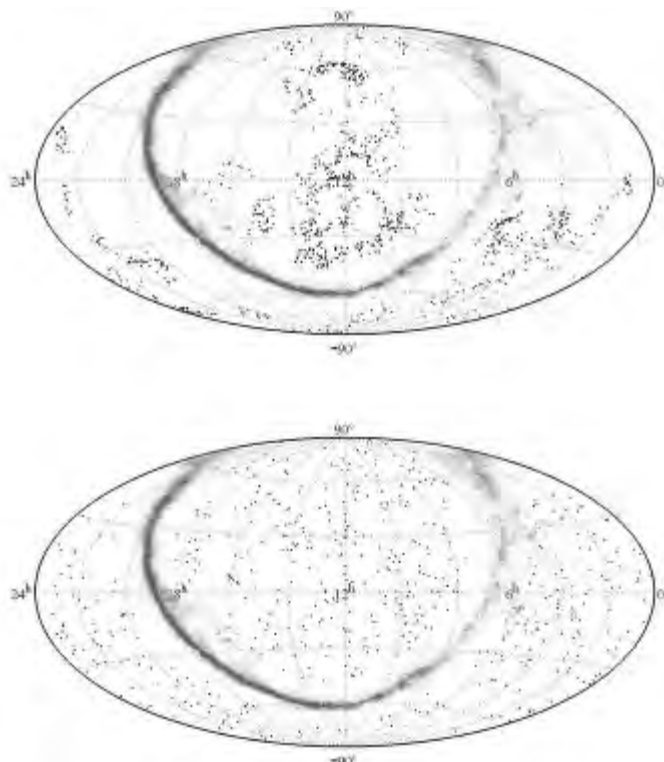


Рис. 3.5. Розподіл галактик Місцевого Всесвіту до 40 Мпк, що належать до агломератів з більш ніж 10-ма членами (верхня панель) та галактики, які не належать до жодних структур (нижня панель). Екваторіальна система координат.

В роботі [6] проведено пошук сферичних об'ємів, які не містять галактик зі світністю вище певної граничної (світність Магелланових хмар). Для дослідження взято вибірку 10502 галактик з радіальною швидкістю до 3500 км/с. Вибірка включала обидві північну і південну небесні сфери за виключенням поясу в околі галактичного екватору  $|b| < 15$  гр. Для уникнення ефектів селекції по відстані, виключено з вибірки карликові галактики слабші  $M_K = -18.4$ . З вихідної вибірки ми виключили також об'єкти з від'ємними променевими швидкостями. Для цих галактик були уточнені їх видимі величини і морфологічні типи. Оскільки зоряна маса галактики найкращим чином виражається через її світність в K-смузі, тому ми використовували  $K_s$  світність з 2MASS огляду.

а) Розподіл галактик у войдах за морфологічними типами сильно зміщений в сторону пізніх типів: Im, BCD, Ir в порівнянні з вибірками карликів в групах і загальному полі.

б) Серед 60 карликових галактик в близьких войдах спостережених на ультрафіолетовому телескопі GALEX, тільки у чотирьох були знайдені потоки в FUV смузі.

в) Карликові галактики у войдах мають підвищений вміст водню на одиницю світності. Медіанне значення для них  $M_{HI}/L_B = 2.1 M_{Sun}/L_{Sun}$  виявляється приблизно в три рази вище, ніж для Ir, Im, BCD-галактик в групах і загальному полі. Іншими словами, карликові галактики у войдах володіють підвищеними запасами газу в порівнянні з галактиками в більш щільному оточенні.

г) Тільки чверть галактик у войдах залягають глибше 1.5 Мпк під поверхнею войдів. У нашому алгоритмі точність, з якою визначалося положення центру сферичного войду, становила якраз 1.5 Мпк. Отже, частина цих карликових галактик в прикордонному шарі можуть перебувати насправді за межами войду.

д) Незважаючи на малу статистику, можна відзначити деяку тенденцію зменшення світності карликових галактик з ростом їх глибини під поверхнею гіпервойдів.

### 3.4 Великомасштабна структура та рухи галактик у Місцевому надскупченні

Сучасна космологічна парадигма вважає, що утворення галактик відбувається в областях концентрації темної матерії, куди стікається баріонна речовина, в якій включаються процеси зореутворення. В цій концепції видимий розподіл галактик повторює розподіл темної матерії, але з меншим контрастом. Аналіз розподілу темної ( віріальної) матерії в найбільш вивченій та близькій частині Всесвіту з променевими швидкостями  $V_{LG} < 3500$  км/с був проведений Макаровим та Караченцевим (2008, 2009, 2011). Головний та парадоксальний результат цих досліджень – середня густина темної матерії у Місцевому надскупченні та його околицях виявилася в 3-4 рази меншою, ніж глобальна середня густина, тобто  $\Omega_{local} = 0.08$ , а  $\Omega_{global} = 0.28-0.30$ .

Огляд різноманітних пояснень парадоксу «втраченої темної матерії» зроблено Караченцевим [7]. Одне з них є припущення, що значна частина темної матерії знаходиться проміж відомими скупченнями та групами галактик, в зонах, де з якихось причин не включився процес зореутворення. Подальшому аналізу вказаного парадоксу і була присвячена робота, про яку коротко викладено нижче.

(1) *смуга в сузір'ї Bootes*. В базі HyperLEDA знайдено 2515 об'єктів, серед них 2154 виявилися фіктивними галактиками, в основному зірками. Після критичного розгляду даних із різних джерел маємо вибірку 361 галактики; з них 161 – з індивідуальними оцінками відстаней. Розподіл галактик за пекулярними швидкостями вздовж смуги демонструє відомий ефект падіння галактик в напрямі на скупчення Virgo та ознаки відтоку галактик від Місцевого войду. Більшість (56%) галактик входять у склад 13 груп та 11 пар. Філамент галактик у сузір'ї Bootes містить сумарну зоряну масу  $2.7 \cdot 10^{12}$  сонячних та сумарну

віріальну масу  $9.07 \cdot 10^{13}$  сонячних, маючи середню густину темної матерії  $\Omega_{\text{local}}=0.09$ , тобто втричі менше значення середньої космічної густини.

(2) *смуга в сузір'ях Leo-Cancer*. В області знаходиться 1918 об'єктів; з них тільки 543 – реальні галактики. З них 290 мають оцінки відстаней, причому методами «первинних індикаторів» з точністю 5-10 % тільки 39. У цій області знаходяться 23 групи та 20 пар галактик, для яких обчислені віріальні (орбітальні) маси. Відношення суми віріальних мас груп та пар в області Leo-Cancer до суми зоряних мас галактик, що до них входять, дорівнює 26. Це еквівалентно значенню локальної середньої густини  $\Omega_{\text{local}}=0.074$ , що в 3-4 рази менша, ніж глобальна середня густина матерії.

(3) *площина екватору Місцевого надскоупчення*. В нашій вибірці налічується 2158 галактик з променевими швидкостями  $V_{\text{lg}} < 2000$  км/с, для яких представлено дані оптичних та НІ спостережень з відомих баз даних. Виконана детальна морфологічна класифікація галактик, в тому числі карликових. Для 1119 галактик (52%) представлено індивідуальні оцінки відстаней на основі первинних ( $N=226$ , точність 5-10%) та вторинних ( $N=893$ , точність 20-25%) методів і пекулярні швидкості.

Приблизно 75% галактик ранніх типів сконцентроване в межах ядра скоупчення Virgo, а більшість галактик пізніх типів смуги розташовані за межами віріального радіусу. Розподіл карликових галактик, що багаті на газ, у яких  $M_{\text{HI}} > M^*$ , виглядає нечутливим до наявності скоупчення Virgo.

Із 50 груп, розташованих в екваторіальній смузі Місцевого надскоупчення, шість груп мають пекулярні швидкості приблизно  $500 \div 1000$  км/с, тобто такі ж, як віріальні рухи в багатих скоупченнях. Найзагадковий випадок – це угруповання близько 30 галактик навколо NGC 4278 («хмара» Coma I), що рухається в напрямі до спостерігача зі середньою пекулярною швидкістю -840 км/с. Ця «хмара» (філамент?) знаходиться на відстані 16.1 Мпк від нас і приблизно 5 Мпк від центру скоупчення Virgo.

Галактики навколо скупчення Virgo демонструють падіння на його центр із характерною швидкістю біля 500 км/с. Вважаючи, що це падіння є радіальним та сферично-симетричним, ми оцінили по діаграмі «швидкість-відстань» радіус поверхні нульової швидкості як  $R_0 = (7.0 \pm 0.3)$  Мпк. Тоді повна маса скупчення Virgo, що відповідає цьому  $R_0$ , дорівнює  $(7.4 \pm 0.9) \cdot 10^{14}$  сонячних, в гарному узгодженні з віріальними оцінками маси, отриманими різними авторами раніше  $(6.2 - 7.5) \cdot 10^{14}$  сонячних. Тому ми робимо висновок, що периферія Virgo поза віріальним радіусом  $R_{vir} = 1.8$  Мпк не містить значної кількості темної матерії.

На основі спостережень на Космічному телескопі Габбла (HST) та наземних спостережень методом TRGB з точністю (5-10) % були зроблені оцінки відстаней до 29 галактик групи Centaurus A. Окрім двох, всі галактики розміщуються в двох тонких площинах, приблизно паралельних екватору Місцевого надскупчення. Сильно сплюснені площини карликових супутників також відмічені навколо галактик Місцевої групи – Андромеди (M31) та нашої Галактики. Потрібні додаткові спостереження для точної оцінки відстаней.

### **3.5 Мультихвильові властивості ізольованих галактик з активними ядрами на червоних зміщеннях $z < 0.1$**

Для аналізу було використано оптичні спектри з огляду Sloan Digital Sky Survey Release 9 та загальні характеристики кожного об'єкта з літератури та астрономічних баз даних. Ми створили вибірку 2MIG ізольованих АЯГ шляхом перехресного порівняння каталогу 2MIG [8] з каталогом квазарів та АЯГ Veron-Cetty [9], щоб визначити загальні об'єкти при  $z < 0.8$  в радіусі 10 кутових секунд, використовуючи їх координати [10]. Наша основна вибірка містила 70 об'єктів, у тому числі 69 AGN і один об'єкт, NGC 0157, який був класифікований як QSO (квазар).

Всі 2MIG ізольовані АЯГ-кандидати були ретельно перевірені за типом активності ядра. Виявлено, що сім галактик мають активність у ядра, пов'язану

з зореутворенням, а один з об'єктів — UGC01597, як видається, є взаємодіючими двома галактиками. Найближча галактика NGC 4395 має близько 200 сусідів в області пошуку та не є ізольованою (після аналізу даних). NGC 4395 помилково потрапила у каталог 2MIG з огляду 2MASS через незрозумілі параметри спостереження, що призвело до недооцінки реального кутового діаметра NGC 4395 і проходження критеріїв ізоляції Караченцевих. Нарешті, всього дев'ять галактик були викинуті з вибірки.

Таким чином, наша вибірка 2MIG ізольованих АЯГ для  $z < 0,05$  складається з 61 об'єкта (2% галактик 2MIG). Вона була поділена на дві частини: 36 (північне небо) і 25 (південне небо).

Північна підвибірка з 2MIG ізольованих АЯГ була обмежена, в першу чергу, за  $\delta > -15^\circ$  [доступний для спектральних спостережень з ЗТШ 2.6-м телескопом в Кримській астрофізичній обсерваторії КНУ ім. Тараса Шевченка (КрАО)]. У 2012 році ми розпочали тривалі спостереження за ізольованими АЯГ (Mrk845, NGC 5231, Ark79, NGC 0773, NGC 0918) у лініях H $\beta$  і H $\alpha$  для наступних точних оцінок мас надмасивних чорних дір (НМЧД) шляхом ревербераційного методу. Друга причина для формування цієї підвибірки полягала в тому, що в більшості цих галактик є оптичні спектри в огляді SDSS DR9, які використовувались для попередніх оцінок мас НМЧД. Ми виконали спектральну класифікацію 2MIG ізольованих АЯГ, використовуючи всі доступні архівні дані. Також у дослідженні враховувалися дані обробки спостережень, які були проведені в 2012 році на телескопі ЗТШ 2.6-м (КрАО) для тих галактик, де дані спектроскопії були невідповідними.

Після ретельної перевірки кожного об'єкта ми розділили 36 північних ізольованих АЯГ 2MIG на наступні категорії з урахуванням наявності слабких супутників як апіорного критерію в нашій класифікації (див. таблицю 3.2).

*Група А:* 15 чистих 2MIG ізольованих АЯГ, для яких ми не знайшли сусідню галактику. Серед них галактики-хазяї CGCG179-005, NGC 3035, NGC

7479, 2MFGC17245, UGC12282 та IC1495 мають супутники, але кутові відстані до сусідніх галактик задовольняють критеріям ізоляції 2MIG.

*Група В:* 5 слабких 2MIG ізольованих АЯГ. Ці галактики мають деякі ознаки активності в ядрі в оптичних спектрах; були класифіковані як LINERs або АЯГ.

*Група С:* 6 (8) 2MIG-ізольовані композити - АЯГ і III галактики. Кілька галактик згідно зі спектрами SDSS DR9 знаходяться в долині III. Області III в більшості випадків асоціюються з Sy2-типом AGN (шість з восьми галактик композитного типу).

*Група D:* 10 2MIG ізольованих АЯГ з слабкими супутниками. Найважливішим критерієм дослідження в нашій роботі є вплив властивостей господаря на його ядерну активність. З цієї причини дві галактики (NGC 1050 і CGCG248-019) були пов'язані з групою D, оскільки вони мають слабкий супутник.

Північні підвибірки з 2MIG ізольованих АЯГ були обмежені, в першу чергу,  $\delta > -15^\circ$  [який доступний для спектральних спостережень з ЗТШ 2.6-м телескопом в КрАО]. Таким чином, ми змогли отримати повний опис 36 ізольованих AGM 2MIG у північному небі ( $\delta \geq -15^\circ$ ). Вони були розділені на кілька категорій (чітко та слабо виділені AGN, композити та слабкі супутники), щоб виявити їх багатохвильові властивості, включно всі доступні архівні дані з літератури та баз даних.

Ми виявили, що більшість із ізольованих галактик 2MIG з AGN північного неба належать до S0-Sc типів (близько 40% мають тип Sb), а половина з них - галактики типу Sy2; 2MIG ізольовані AGN - переважно слабкі джерела від радіо до рентгенівського діапазонів; положення трьох галактик (CGCG179-005, UGC10774, CGCG248-019) на діаграмах ВРТ, які раніше називалися галактиками Сейферта, знаходяться в долині активності типу III. Вперше ми виявили, що галактики з АЯГ типу Sy1 (без слабких супутників), як видається, володіють морфологічними особливостями присутності бару. Це говорить про те, що бар



має вирішальне значення для існування області широких ліній (BLR) в ядрі ізольованої галактики, що забезпечує передачу газу та пилу від диска галактики до АЯГ. Тому взаємодія з сусідніми галактиками не є необхідною умовою для формування BLR. Результати морфологічних та кінематичних властивостей досліджуваних галактик приведені на рисунках 3.9 і 3.10, основні відомості про мультитхвильові властивості ізольованих галактик 2MIG подано у таблиці 3.2.

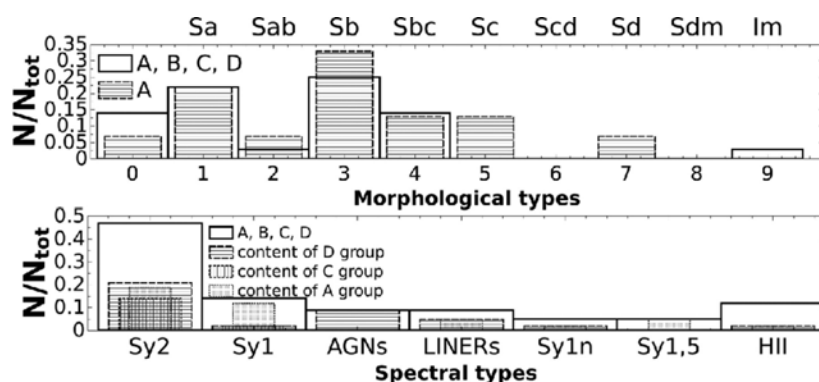


Рис. 3.9. Розподіл вибірки 2MIG ізольованих АЯГ північного неба за морфологічними типами (зверху), спектральними типами (знизу)

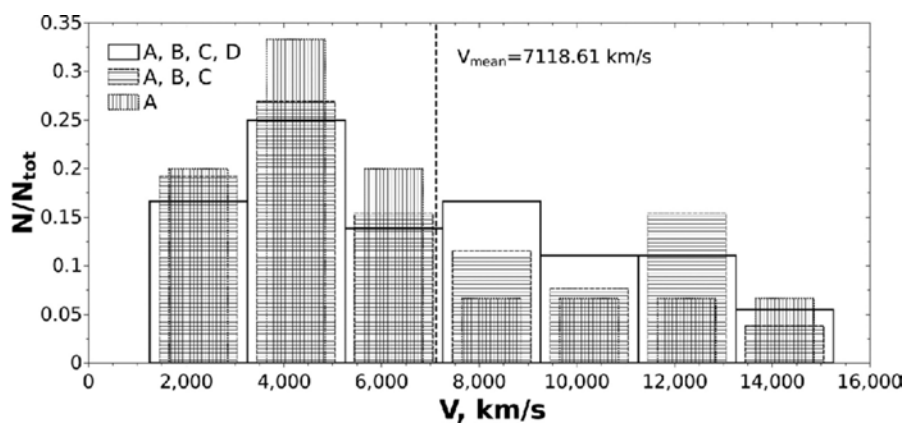


Рис. 3.10. Розподіл вибірки 2MIG ізольованих АЯГ північного неба за радіальними швидкостями

Таблиця 3.2. Мультихвильові властивості ізольованих галактик з активними ядрами з каталогу 2MIG північного неба [11]

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
2MIG	Name	RA hh:mm:ss	DEC dd:mm:ss	$V_h$ (km/s)	Type	N	Radio (mJy)	IR (Jy)	O (mJy)	UV (mag)	X-ray	R	Sp Typ
A: Pure 2MIG isolated AGNs													
417	MCG-02-09-040	03:25:04.94	-12:18:28.5	4495	SO-a <sup>19</sup>	—	18.1 <sup>5</sup>	3.52 <sup>6</sup>	4.1	-	1.1 <sup>7</sup>	4.4	Sy2 <sup>19</sup>
488	UGC02936	04:02:48.25	+01:57:56.6	3814	SB(s)d <sup>8</sup>	—	37.4 <sup>5</sup>	11.2 <sup>9</sup>	6.5	-	1 <sup>7</sup>	5.8	Sy2 <sup>10</sup>
1126	CGCG179-005	08:25:10.24	+37:59:20.2	6362	Sb <sup>19</sup>	1 <sup>1</sup>	4.8 <sup>5</sup>	-	3.6	-	-	1.3	Sy2 <sup>3</sup>
1345	NGC3035	09:51:55.02	-06:49:22.5	4350	SB(rs)bc <sup>8</sup>	2 <sup>1</sup>	6.2 <sup>5</sup>	1.61 <sup>6</sup>	14.6	-	1.7 <sup>7</sup>	0.4	Sy1.5 <sup>11</sup>
1522	UGC06087	11:00:32.50	+02:06:57.3	11824	SBb <sup>11</sup>	—	—	—	4.7	16.9 <sup>12</sup>	-	-	Sy1 <sup>3</sup>
1646	CGCG243-024	11:53:41.76	+46:12:42.6	7385	SB(r)a <sup>8</sup>	—	—	0.9 <sup>6</sup>	1.5	15.6 <sup>14</sup>	0.12 <sup>13</sup>	-	Sy1n <sup>3</sup>
1998	NGC5664	14:33:43.60	-14:37:10.9	4544	Sa <sup>19</sup>	—	66 <sup>5</sup>	4.1 <sup>6</sup>	4.5	—	—	14.7	Sy2 <sup>10</sup>
2067	MCG+09-25-022	15:07:45.04	+51:27:09.6	13801	SABb <sup>19</sup>	—	3.8 <sup>5</sup>	0.8 <sup>6</sup>	0.4	-	-	9.5	Sy1 <sup>10</sup>
2570	PGC86291	18:51:59.48	+11:52:33.7	2603	SB(r)c	—	8.4 <sup>5</sup>	5.9 <sup>15</sup>	4.1	-	-	2	Sy1 <sup>10</sup>
2811	NGC6951	20:37:14.07	+66:06:20.3	1424	SAB(rs)bc <sup>8</sup>	—	70.4 <sup>5</sup> ; 36 <sup>16</sup>	37.5 <sup>6</sup>	100	17.5 <sup>17</sup>	0.005 <sup>18</sup>	0.7	Sy2 <sup>10</sup>
3107	2MFGC17245	22:55:59.94	-12:22:11.7	7552	Sc <sup>19</sup>	3 <sup>1</sup>	10.3 <sup>5</sup>	-	2.2	-	-	4.7	AGN <sup>20</sup>
3110	UGC12282	22:58:55.28	+40:55:55.9	5097	SABA <sup>19</sup>	2 <sup>1</sup>	11.8 <sup>21</sup>	3.5 <sup>15</sup>	5.9	-	2.1 <sup>7</sup>	2	Sy1.5 <sup>3</sup>
3118	NGC7479	23:04:56.66	+12:19:22.3	2381	SB(s)c <sup>8</sup>	4 <sup>1</sup>	101 <sup>5</sup> ; 41 <sup>22</sup>	25.8 <sup>9</sup>	104	14.8 <sup>17</sup>	0.023 <sup>18</sup> 1.9 <sup>7</sup>	0.9	Sy1.9 <sup>11</sup>
3128	IC5287	23:09:20.28	+00:45:23.0	9715	(R)SB(r)b <sup>8</sup>	—	-	< 0.3 <sup>9</sup>	5.8	17.1 <sup>17</sup>	-	-	Sy1 <sup>10</sup>
3166	IC1495	23:30:47.73	-13:29:07.6	6384	SAB(r)b <sup>8</sup>	1 <sup>1</sup>	18.9 <sup>5</sup>	< 4.3 <sup>6</sup>	28.6	-	-	0.7	Sy2 <sup>10</sup>
B: Weak 2MIG isolated AGNs													
9	IC1529	00:05:13.22	-11:30:09.3	6751	(R)SA0(r) <sup>8</sup>	—	3.4 <sup>5</sup>	-	11.4	16.7 <sup>23</sup>	-	0.3	AGN <sup>20</sup>
223	NGC0773	01:58:52.01	-11:30:52.6	5437	SAB(r)a <sup>8</sup>	1 <sup>1</sup>	4.9 <sup>5</sup>	1.6 <sup>6</sup>	11.5	-	-	0.4	Sy3 <sup>3</sup>
287	NGC0918	02:25:50.22	+18:29:56.1	1508	SAB(rs)c <sup>8</sup>	1 <sup>2</sup>	-	6.9 <sup>9</sup>	1.8	14 <sup>23</sup>	-	-	AGN <sup>10</sup>
1989	PGC989455	14:29:33.27	-09:33:40.5	12879	SO-a <sup>19</sup>	—	5.8 <sup>5</sup>	-	2.4	-	-	2.4	Sy3
2202	UGC10244	16:09:55.47	+43:07:44.3	9785	Sbc <sup>19</sup>	—	2.2 <sup>21</sup>	1.2 <sup>9</sup>	1.9	-	-	1.2	Sy3 <sup>10</sup>
C: 2MIG isolated composites													
35	IC0009	00:19:44.00	-14:07:18.4	12622	Sb(r) <sup>19</sup>	—	8.8 <sup>5</sup>	1.3 <sup>6</sup>	4.5	-	(r)	1.9	Sy2 <sup>10</sup> , HI
70	NGC0157	00:34:46.75	-08:23:47.3	1673	SAB(rs)bc <sup>8</sup>	—	136 <sup>5</sup>	-	453	13.4 <sup>23</sup>	-	0.3	Sy2, HI
479	PGC89963	03:56:00.88	-13:42:32.7	8793	-	—	8.6 <sup>5</sup>	3.5 <sup>6</sup>	2.7	-	-	3.2	Sy2 <sup>10</sup> , HI
1454	MCG-02-27-009	10:35:27.35	-14:07:47.6	4529	SB0(rs) <sup>8</sup>	—	4.3 <sup>5</sup>	1.6 <sup>6</sup>	11.4	-	-	0.4	Sy2, HII
1981	MCG-02-37-004	14:26:12.28	-11:54:16.3	12422	SABb <sup>19</sup>	—	8.3 <sup>5</sup>	1.2 <sup>6</sup>	4.5	-	-	1.8	Sy2, HII
2357	UGC10774	17:14:09.07	+58:49:06.7	8873	SBAbc	1 <sup>3</sup>	1.5 <sup>24</sup>	0.5 <sup>6</sup>	0.08	17.5 <sup>25</sup>	-	18.75	Sy3, HI
D: 2MIG isolated AGNs with faint nearby companions (according to NED search)													
267	UGC01757	02:17:23.07	+38:24:49.9	5060	SO-a <sup>19</sup>	2 <sup>3</sup>	16.3 <sup>5</sup>	-	5.8	-	-	2.8	Sy2 <sup>10</sup>
320	NGC1050	02:42:35.57	+34:45:48.4	3904	(R)SB(s)a <sup>8</sup>	1	31.9 <sup>21</sup>	8.9 <sup>9</sup>	14.9	-	-	2.1	Sy2 <sup>10</sup> , F
1086	IC2227	08:07:07.17	+36:14:00.1	9673	Sa <sup>19</sup>	2	5.1 <sup>5</sup>	1.1 <sup>6</sup>	5.5	-	-	0.9	Sy2
1571	UGC06398	11:23:11.44	+29:35:53.9	14137	Sbc <sup>11</sup>	1	4.1 <sup>5</sup>	-	1.9	-	-	2.1	Sy2 <sup>10</sup>
1633	UGC06769	11:47:43.69	+01:49:34.3	8539	SB(r)b <sup>8</sup>	1	-	0.6 <sup>9</sup>	0.3	-	-	-	Sy2 <sup>10</sup>
1873	NGC5231	13:35:48.25	+02:59:55.6	6523	SBA <sup>8</sup>	5	11.7 <sup>5</sup>	1.3 <sup>6</sup>	9	17.1 <sup>27</sup>	1.8 <sup>7</sup>	1.3	Sy2 <sup>3</sup>
1915	NGC5347	13:53:17.85	+33:29:26.7	2384	(R)SB(rs)ab <sup>8</sup>	2	5.6 <sup>21</sup> ; 3.1 <sup>28</sup>	2.6 <sup>6</sup>	18.7	16.9 <sup>14</sup>	0.03 <sup>13</sup>	0.3	Sy2 <sup>10</sup>
2018	CGCG248-019	14:43:31.25	+49:23:35.3	9032	Sa <sup>26</sup>	3	3.8 <sup>5</sup>	1.01 <sup>6</sup>	3.9	-	-	0.9	Sy1, HI
2183	UGC10120	15:59:09.67	+35:01:47.3	9438	SB(r)b <sup>8</sup>	2	5.9 <sup>5</sup>	1.37 <sup>9</sup>	2.4	14.5 <sup>14</sup>	0.3 <sup>29</sup>	2.5	Sy1n <sup>3</sup>
3051	MCG-02-57-008	22:29:55.37	-08:16:45.5	10577	SBAc <sup>19</sup>	2	6 <sup>5</sup>	1.32 <sup>6</sup>	8	-	-	0.8	AGN <sup>20</sup>

<sup>1</sup> distance to the nearest NED faint nearby companion satisfies 2MIG isolation criteria, <sup>2</sup> Neighbour center of Galaxies Group

<sup>3</sup> see, Appendix B, for the comments, <sup>4</sup> Huchra et al. (1993), <sup>5</sup> Condon et al. (1998), <sup>6</sup> Moshir et al. (1990), <sup>7</sup> Cusumano et al. (2010),

<sup>8</sup> de Vaucouleurs et al. (1991), <sup>9</sup> Lisenfeld et al. (2007), <sup>10</sup> Véron-Cetty & Véron (2006), <sup>11</sup> Nilson (1973), <sup>12</sup> Catinella et al. (2010), <sup>13</sup> Ueda et al. (2005),

<sup>14</sup> Muñoz Marín et al. (2007), <sup>15</sup> Beichman et al. (1988), <sup>16</sup> Sramek (1975), <sup>17</sup> Gil de Paz et al. (2007), <sup>18</sup> Akylas & Georgantopoulos (2009), <sup>19</sup> Karachentseva et al. (2010),

<sup>20</sup> Véron-Cetty & Véron (2010), <sup>21</sup> Condon et al. (2002), <sup>22</sup> Gregory & Condon (1991), <sup>23</sup> Buat et al. (2007), <sup>24</sup> Fadda et al. (2006),

<sup>25</sup> Lemonias et al. (2011), <sup>26</sup> Nair & Abraham (2010), <sup>27</sup> Smith & Struck (2010), <sup>28</sup> Gallimore et al. (2006), <sup>29</sup> Gallo (2006),

## 4 ВЛАСТИВОСТІ ГАЛАКТИК З АКТИВНИМИ ЯДРАМИ ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РЕНТГЕНІВСЬКОМУ ТА ОПТИЧНОМУ ДІАПАЗОНАХ

### 4.1 Активні ядра галактик, особливості великомасштабного розподілу

Вивчення об'єктів великомасштабної структури Всесвіту на далеких відстанях призводить до необхідності створення глибоких оглядів позагалактичних об'єктів. Такі спостереження проводяться практично у всіх доступних діапазонах довжин хвиль. Рентгенівські спостереження становлять важливу їхню частину цих через слабе міжгалактичне поглинання при таких високих енергіях. Більше 95% всіх виявлених об'єктів в рентгенівському діапазоні далеко від площини Галактики є точковими джерелами, переважно АЯГ, інші в основному протяжні джерела (групи і скупчення галактик). Завдяки високій рентгенівській світності, АЯГ можуть бути виявлені в широкому діапазоні червоних зміщень, аж до  $z = 4$ , на відміну від нормальних галактик. Отже, ці об'єкти є відмінним мітками космічної структури: войдів, філаментів, стін, скупчень і зручним інструментом для вивчення еволюційних явищ у Всесвіті. Вивчення кластеризації АЯГ дає інформацію про флуктуації щільності речовини на різних масштабах важливу для уточнення космологічних параметрів. Найбільш поширеним підходом для вивчення кластеризації АЯГ є вимірювання двоточкової кутової кореляційної функції.

Більшість точкових джерел, що відібрані з глибоких рентгенівських оглядів неба, є АЯГ, що дають інформацію про природу та розподіл надмасивних чорних дір (НМЧД) до дуже далеких червоних зміщень  $z > 4$ . За цієї причини рентгенівські огляди, разом з мультихвильовим аналізом їх материнських галактик, є ефективним інструментом для вивчення властивостей оточення АЯГ різних типів. В роботі [12] розглянуто властивості оточення та внутрішні характеристики точкових джерел, відібраних з рентгенівського огляду XMM-LSS

виконаного рентгенівським супутником XMM-Newton. Головна мета роботи була дослідити локальну густину оточення різних типів рентгенівських точкових джерел, використовуючи оптичні дані Canada France Hawaii Telescope Legacy Survey (CFHTLS).

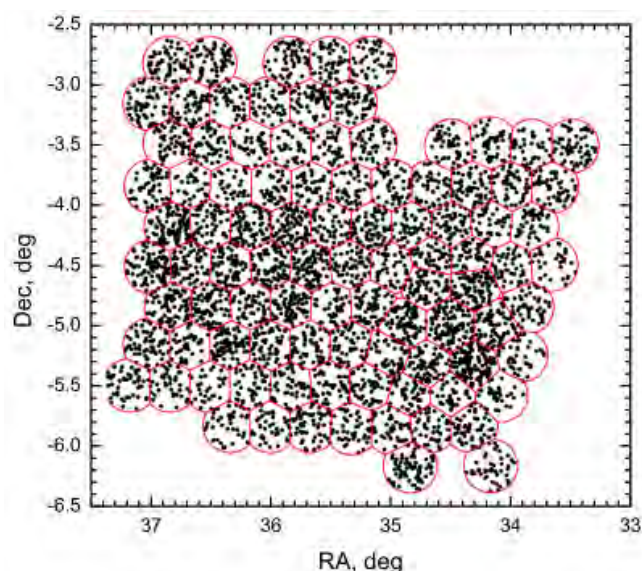


Рис. 4.1. Розподіл точкових джерел спостережуваних в рентгенівському м'якому діапазоні з поля XMM-LSS (прототипу XXL). Червоним кольором позначені межі між окремими спостереженнями телескопу XMM-Newton неперервне і складається з 94 суміжних спостережень експозицією від 10 до 40 ксек (Рис. 4.1). Воно містить близько 5700 точкових джерел в м'якому рентгенівському діапазоні (0.5 - 2 кеВ) і близько 2500 в жорсткому (2 - 10 кеВ).

Метою дослідження, починаючи з роботи [13] було вивчення великомасштабної структури різних типів АЯГ за допомогою глибокого рентгенівського огляду XMM — LSS розміром 11 кв. гр., яке було прототипом для огляду XXL. Виявлено значні кутові кореляції для повної вибірки XMM-LSS, які можуть бути апроксимовані степеневим законом з нахилом  $\gamma = 1.81 \pm 0.02$  та масштабом кореляції  $\theta_0 = 1.3'' \pm 0.2''$  для м'якого і  $\gamma = 2.00 \pm 0.04$ ,  $\theta_0 = 7.3'' \pm 1.0''$  для жорсткого діапазону. Підтверджено, що ступінь кластеризації зростає зі збільшенням граничного мінімального потоку (Рис. 4.2, права панель). Просторова кореляційна довжина збільшується від 7 до 18 Мпк/г для джерел в м'якому діапазоні та від 10 до 13 Мпк/г в жорсткому, при збільшенні граничного потоку від  $3 \times 10^{-15}$  ерг/(с·см<sup>2</sup>) до  $3 \times 10^{-14}$  ерг/(с·см<sup>2</sup>).

Згідно уніфікованої моделі квазару, різні типи АЯГ – затемненні (І типу з жорстким спектром в рентгені) та незатемнені (ІІ типу з м'яким спектром) – мають різні орієнтації відносно променя зору, тому їхні кореляційні властивості повинні бути схожі. Ми умовно розділи вибірку за ступенем жорсткості:  $HR = (CR_h - CR_s) / (CR_h + CR_s)$ , де  $CR$  це потік в м'якому  $s$  діапазоні (0.5-2 кеВ) та  $h$  в жорсткому (2-10 кеВ). АЯГ з  $HR > -0.2$  ми відносили до затемнених І типу. В роботі показано, що джерела з жорстким спектром більш кластеризовані, ніж ті, що мають м'який спектр (Рис. 4.2, ліва панель). Цей результат може бути натяком, що два основних типи АЯГ перебувають в різних середовищах, а саме АЯГ з м'яким рентгенівським спектром тяжіють до більш розріджених областей Всесвіту, якими є межі космічних воїдів.

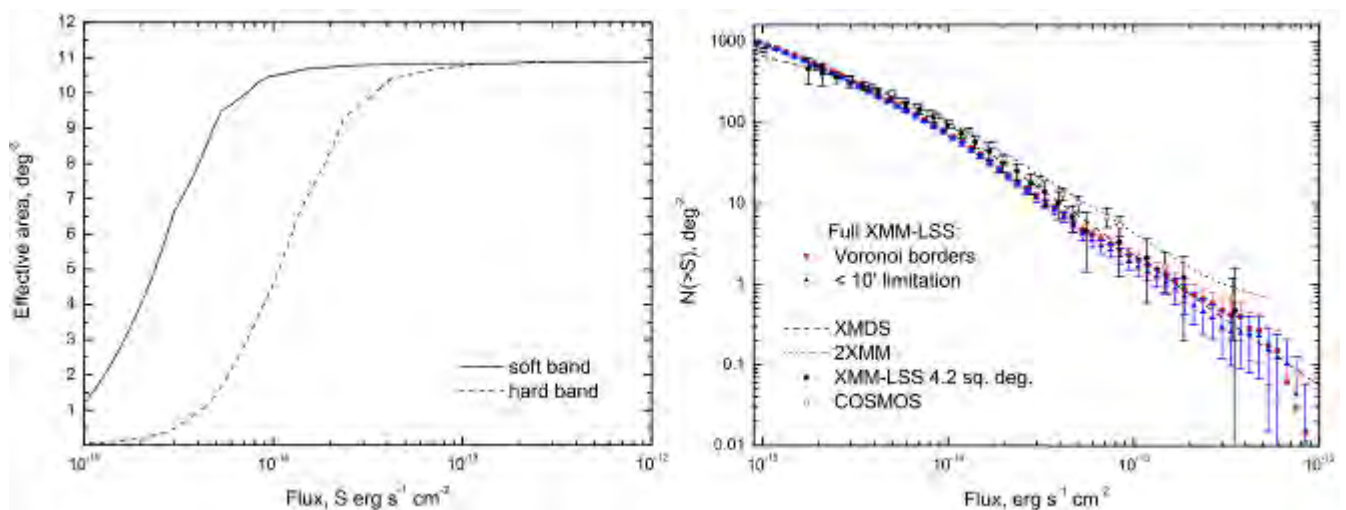


Рис. 4.2. Ефективна площа огляду XMM-LSS як функція потоку для джерел в м'якому та жорсткому рентгені (ліва панель).  $\log(N)$ - $\log(S)$  співвідношення для джерел в м'якого рентгенівському діапазоні. Різними лініями зображенні співвідношення для відомих оглядів: COSMOS, 2XMM, XMD5.

Такі результати підтверджуються нашою іншою роботою [14], де на основі фотометричних та спектроскопічних червоних зміщень та мультитхвильових даних визначено відмінності між близьким оточенням АЯГ І та ІІ типів. Неочікувано для уніфікованої моделі квазара, виявлено, що вибірки м'яких та жорстких АЯГ показують значимо різні надлишки густини. Такий ефект спостережуваний в різних діапазонах червоних зміщень, але у дальньому діапазоні ( $0.55 < z < 0.85$ ) проявляється сильніше. Також було показано що галактики, спостережувані в рентгені знаходяться у значно більш щільному

оточенні, ніж АЯГ. Ми показали, що надлишок густини галактик відносно АЯГ становить  $\sim 2 - 10$  для близького оточення до 0.4 Мпк (рис. 4.3).

В роботі [15] було проведено пошук кандидатів у гравітаційно-лінзові системи (ГЛС) серед оптичних CFHTLS ототожнень 5142 рентгенівських точкових джерел XMM-LSS огляду. Оскільки ймовірність того, що рентгенівське точкове джерело є АЯГ або квазаром є досить високою, то такий підхід виглядає досить оптимістично. Було переглянуто оптичні зображення всіх джерел у трьох смугах  $g$ ,  $r$  та  $i$ . З початку було відібрано компактні пари та групи джерел, що могли б бути кратними зображеннями квазару. Обчислено кольори та класифіковано відібрані джерела — кандидати у ГЛС. При цьому автори використовували фотометричну апроксимацію кратних зображень за допомогою відомої функції розсіяння точки. Після цього знайдено три найкращих кандидата: J021511.4-034306, J022234.3-031616 та J022607.0-040301, що складаються з пар точкових джерел та мають подібні показники кольору. Їх спостереження з вищою кутовою роздільною здатністю є перспективним в рамках виявлення там ефекту сильного гравітаційного лінзування.

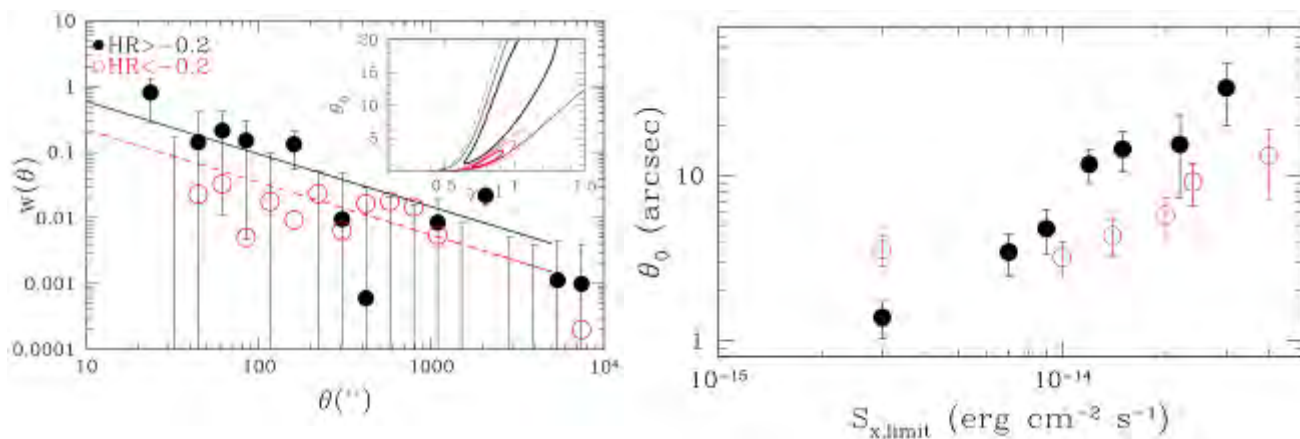


Рис. 4.3 Кутовий масштаб кореляції  $\theta_0$ , для АЯГ зі спектрами різних типів жорсткості (ліва панель), та в залежності від мінімального рентгенівського потоку для АЯГ спостережуваних в м'якому рентгенівському діапазоні (червоні кола), та в жорсткому (чорні круги).

## 4.2 Електромагнітні лавини від блазарів та вимірювання магнітного поля в войдах

Величина та походження магнітного поля у войдах є важливим в розумінні еволюції Всесвіту. До недавнього часу войди розглядали як абсолютно порожні регіони великомасштабної структури Всесвіту. Такі регіони утворюються як наслідок початковій флуктуації поля густини матерії в місцях з густиною значно меншою за середню. Спектроскопічні спостереження та чисельні моделювання розвитку Всесвіту показують, що войди мають складну форму від сфер, еліпсоїдів, опуклих многогранників до складної піноподібної фрактальної структури. На околицях войдів розміщені так звані стіни, їхні розміри коливаються від кількох до сотень Мпк. Малочисельні, як правило карликові галактики у войдах еволюціонують повільно і не відзначаються особливою активністю.

Загальноприйнято, що чорні діри перебувають в центрі галактик, та генерують струмені заряджених частинок, які можуть транспортувати магнітне поле в міжгалактичне поле. У випадку надмасивної чорної діри в радіогалактиках таке транспортування може відбуватися на відстані кількох Мпк. Проти малі маси галактик та відсутність помітної активності АЯГ у войдах роблять такий сценарій малоімовірним. Проте карликові галактики можуть містити чорні діри проміжних мас, де присутність струменів на масштабі парсек або кілопарсек можуть мати місце. На додаток високо магнетизовані струмені АЯГ на границях войдів можуть проникати в основний об'єм та робити свій внесок у магнетизацію.

Різні моделі передбачають дуже різні величини магнітних полів у войдах від  $\leq 10^{-20}$  Гс аж до  $\approx 10^{-9}$  Гс. Спостережувана границя на магнітні поля у войдах на сьогоднішній день  $< 10^{-9}$  Гс впливає зі спостережень ефекту Фарадея для емісійних ліній від далеких квазарів. Подібне обмеження накладається зі спостереження мікрохвильового фону. У роботі [16] показана можливість

вимірювання магнітного поля у войдах, виходячи зі спостережень вторинного випромінювання від електромагнітних лавин, що проходять крізь них. А саме, розглянуто поширення в космічних войдах електромагнітних каскадів, викликаних високоенергетичними гамма-променями від малочисельного підкласу АЯГ — блазарів. Особливістю блазарів є спрямований майже на спостерігач релятивістський джет, який генерує в космічний простір високоенергетичні 10 - 300 ТеВ гамма-промені. Ті, в свою чергу, взаємодіють із інфрачервоним фоном і розпадаються на зарядженні електрон-протонні пари, які відхиляються в міжгалактичному магнітному полі та взаємодіють з мікрохвильовим фоном генеруючи вторинні гамма-промені нижчих енергій (інверс-Комптон реакція). Вторинні гамма промені на енергіях 0.1-10 ТеВ можуть знову генерувати нові електрон-позитронні пари, або прямо спостерігатися черенковськими телескопами.

Такі приблизні обрахунки дають якісну картину, але для їх верифікації необхідні чисельні моделювання. В роботі промодельовано лавину (рис. 4.4) методом Монте-Карло на рівні індивідуальних частинок, використовуючи перерізи реакцій: взаємодії гамма фотонів високих енергій з інфрачервоними фотонами, утворення електропозитивних пар та інверс-Комптон реакції взаємодії електронів та позитронів з мікрохвильовим випромінюванням та генерації вторинних гамма-фотонів. Побудовано детальний профіль лавини, зображення протяжного гало навколо блазарів в гамма діапазоні для різних магнітних полів, для блазарів на різних відстанях від спостерігача (Рис. 4.5).

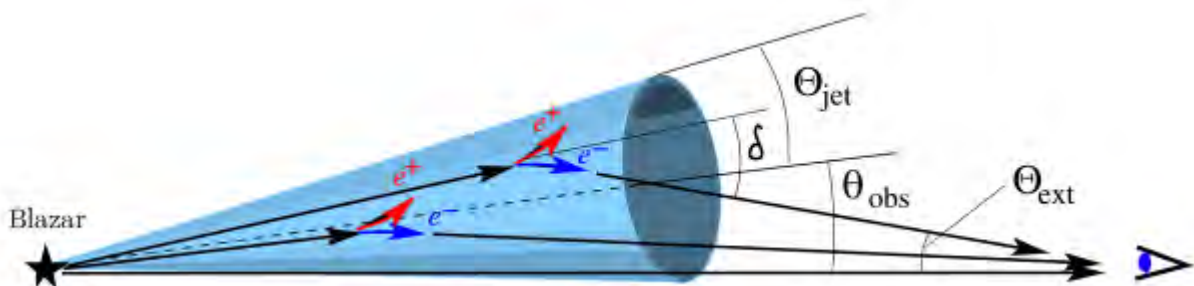




Рис. 4.4 Геометрія розвитку електромагнітної лавини в voidі, ініційована гамма-фотонем.

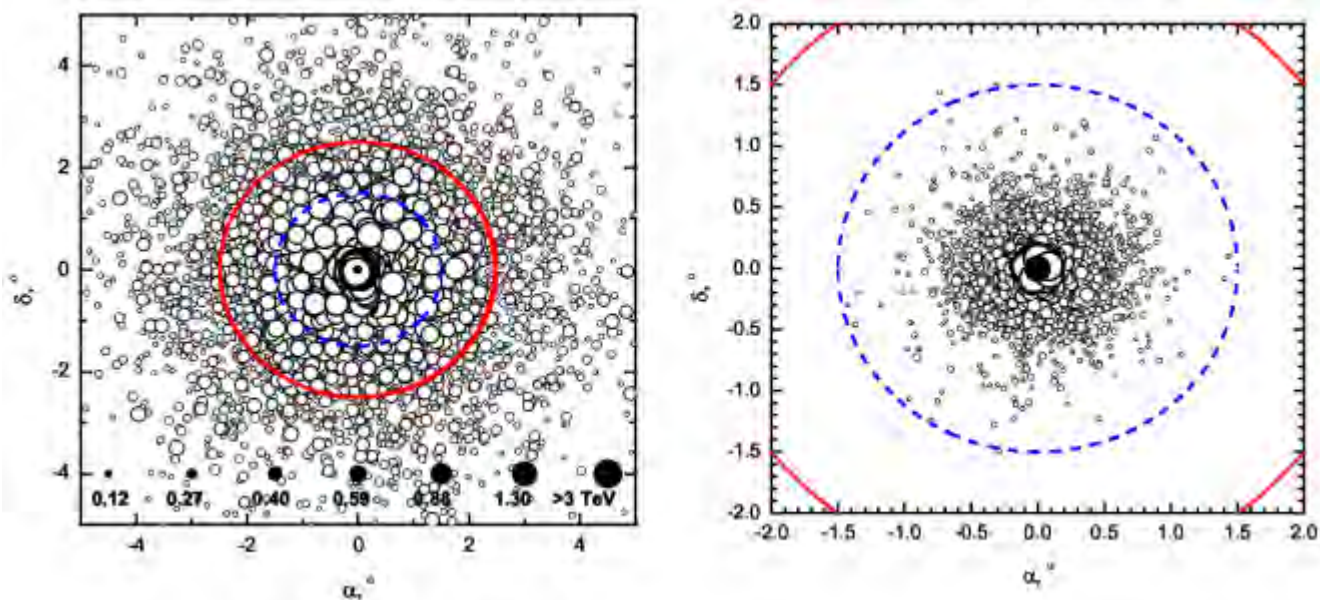


Рис. 4.5 Напрямки приходу первинних та вторинних гамма-фотонів від блазара на відстані 120 Мпк. Напруженість магнітного поля  $10^{-14}$  Гс (ліва панель) та  $10^{-15}$  Гс (права панель). Розмір фотонів репрезентує їхню енергію. Голуба переривчаста лінія радіусом 1.5 гр., відповідає полю зору черенковського телескопу MAGIC. Радіус червоного суцільного кола 2.5 гр. відповідає радіусу поля зору телескопа HESS.

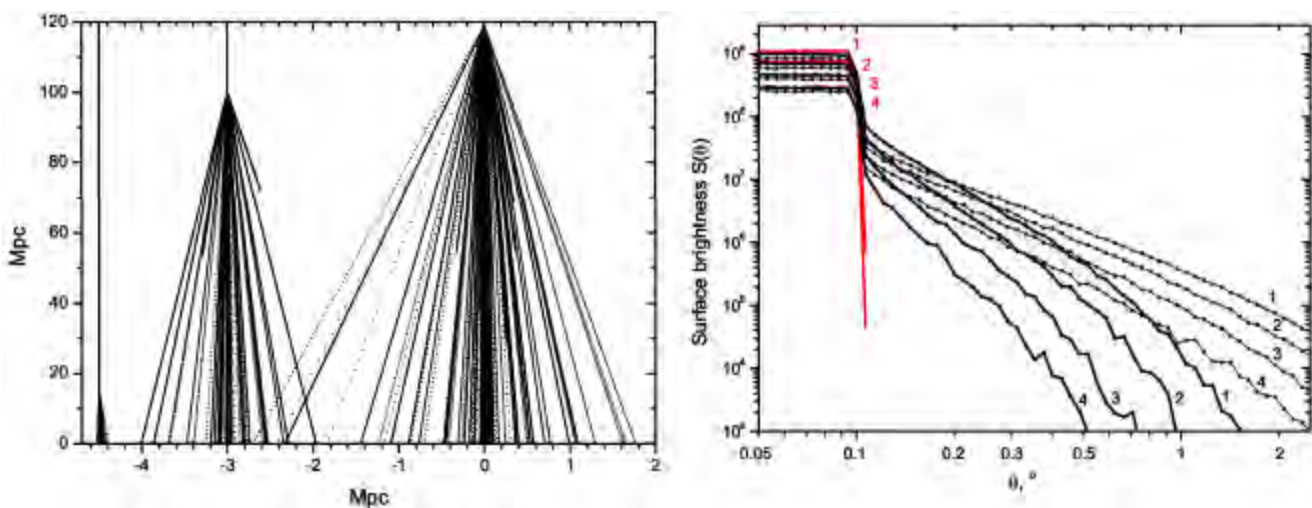


Рис. 4.6 Приклади лавин від гамма-фотонів різних енергій 10, 30, 100 TeV в магнітному полі voidа напруженістю  $10^{-15}$  Гс (ліва панель). На правій панелі представлено профілі поверхневої яскравості в різних енергетичних смугах (1 – 0.11 TeV, 2 – 0.15 TeV, 3 – 0.22 TeV, 4 – 0.34 TeV) в магнітному полі voidа

напруженістю  $10^{-14}$  Гс (тонкі чорні лінії),  $10^{-15}$  Гс (товсті чорні лінії) та без магнітного поля (червоні лінії)

Ці дослідження були продовжені [17] для вивчення морфології гамма зображень блазарів. За допомогою чисельних моделювань показано, що витягнута струменеподібна структура форми зображення зумовлена невеликим зміщенням (порядку кількох градусів) напрямку генерації первинних фотонів із блазара від променя зору. Досліджено характеристики протяжного зображення, а саме форму, розподіл поверхневої яскравості та їхню залежність від характеристик міжгалактичного магнітного поля (Рис. 4.7). Показано, що гамма випромінювання від протяжної частини зображення затримується близько на 10 млн. років по відношенню до прямих фотонів від джерела. Така довга затримка означає, що протяжні гало навколо можуть спостерігатися навколо блазарів, які вже не активні.

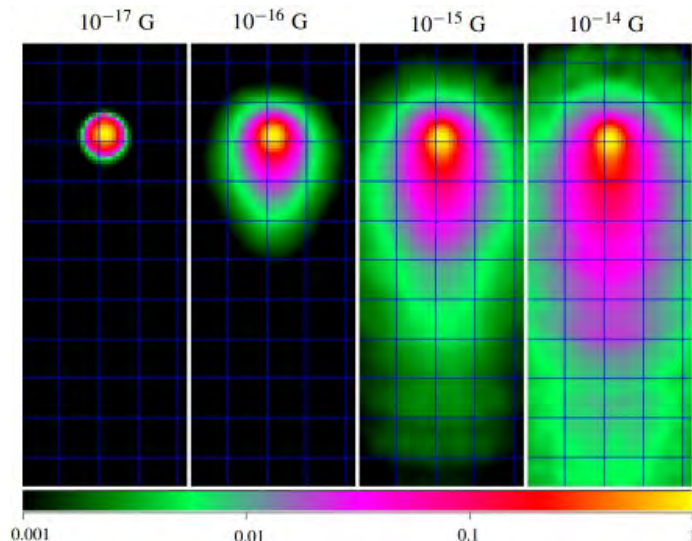


Рис. 4.7. Зображення гало блазара з чисельних моделювань на енергіях  $> 1$  Гев для різних індукцій магнітного поля в войді, джет блазара нахилений на  $3^\circ$  до лінії променя зору.

### 4.3 Властивості та стійкість електромагнітних лавин в войдах

Аналіз стабільності релятивістських пучків електрон-позитронних пар низької щільності, що утворюються у міжгалактичному середовищі від гамма-фотонів ТеВ-них енергій, було проведено в роботі [18]. Проблема актуальна для вимірювання магнітного поля в космічних порожнинах через спостереження в гамма діапазоні. Крім того, розсіювання таких пучків може істотно впливати на теплову історію войдів. Ми використали метод Монте-Карло для кількісної оцінки властивостей електромагнітного потоку, зокрема зміну Лоренц-фактора і кутового розкиду пучка електрон-позитронних пар породжених потоків, залежно від відстані від самого блазара (Рис. 4.8). Показано, що комбінація кінетичних ефектів, нелінійного загасання Ландау та неоднорідностей густини середовища стабілізують електрон-позитронні пучки. Енергія пучка не витрачається на генерування нестабільностей в плазмі. Тобто, пучок в космічних войдах є стабільний на масштабах набагато більших, ніж час розвитку електромагнітного каскаду. З цього також, випливає, що електрон-позитронні пучки від блазарів не впливають на міжгалактичне середовище.

Детальний аналіз взаємодії первинних високо-енергетичних гамма-фотонів з оптичним та інфрачервоним фоновим ізотропним міжгалактичним випромінюванням [19] показав, що фотони останнього мають енергії більш ніж на 10 порядків нижчі за взаємодіючий з ними фотон ТеВ-них енергій. В роботі ми показали, що кутовий розподіл генерованих електрон-позитронних пар від подвійної фотонної взаємодії в лабораторній системі відліку є сильно концентрованим в напрямку руху первинного гамма-фотону. Також ми аналітично вивели рівняння для енергії електрон-позитронних пар для різних енергетичних спектрів як фонового випромінювання, так і первинного гамма-випромінювання. Отримані аналітичні вирази ми перевірили на чисельних моделюваннях.

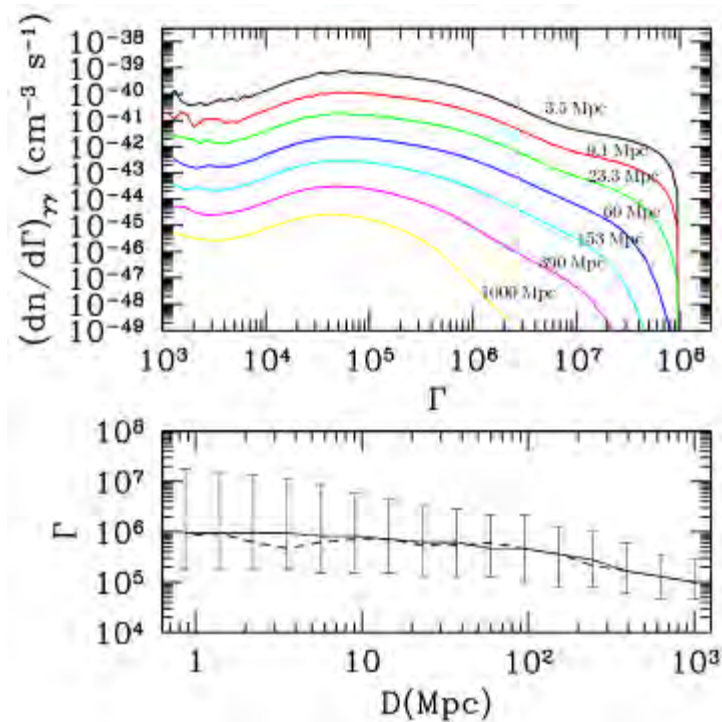


Рис. 4.8 Розподіл по енергії електро-позитронного пучка від блазару з еквівалентом ізотропної світності  $10^{45}$  ерг/с, на різних відстанях від блазару (верхня панель), середня енергія та розкид енергії (68%) частинок в пучку на різних відстанях (нижня панель).

### Основні висновки:

- Знайдено різницю в оточеннях АЯГ 2 типу та 1 типу. Показано, що амплітуда кутової кореляційної функції АЯГ зростає при збільшенні мінімального потоку вибірки. Виявлено, що чим м'якший рентгенівський спектр і менша світність АЯГ, тим ближче вони локалізуються до границь космічних войдів.
- Досліджено високоенергетичні процеси в космічних войдах, а саме електромагнітні лавини від гамма-фотонів, що випущені блазарами. За допомогою чисельних моделювань показано, що за спостереженнями гало навколо блазарів в гамма діапазоні можна оцінити величину магнітного поля в космічних войдах. Доведена стабільність електромагнітних лавин в космічних войдах та відсутність їхнього значного впливу на міжгалактичне середовище.

#### 4.4 Властивості ізольованих галактик з активними ядрами в рентгенівському діапазоні

У результаті літературного пошуку вибірки з 62 галактик з активними ядрами на основі каталогів 2MIG та Veron-Cetty було знайдено, що тільки десять ізольованих 2MIG-АЯГ цієї вибірки, які спостерігалися в рентгенівському діапазоні космічними обсерваторіями Swift, Chandra та XMM-Newton, були проаналізовані в роботах інших авторів з метою отримання фізичних властивостей та параметрів спектральних моделей. Досліджувані галактики відносяться у своїй більшості до рентгенівських слабких, тому якість їхніх спектрів великою мірою залежить від часу експозиції. Об'єднуючи наявні дані космічних обсерваторій XMM-Newton і INTEGRAL, було проаналізовано з використанням програмного пакету XSpec 12.8 рентгенівські спектри ще семи галактик (Таблиця 4.1): NGC 6300 (Sy1), Circinus galaxy (Sy2), NGC 1050 (Sy2), NGC 2989, ESO 317-038, ESO 438-009 (Sy1.5) та CGCG 179-005 (BLAGN), які раніше не вивчалися. Для них були отримані значення таких величин, як «внутрішня» (виправлена за власним поглинанням) світність у діапазоні 2-10 кеВ, степеневий індекс ( $\Gamma$ ) та значення нейтрального поглинання (еквівалент стовпчикової густини  $N_H$ ). Наприклад, для галактики NGC 6300 було отримано також параметри відносного відбиття  $R = 1.00 \pm 0.02$ , енергії експоненційного обрізання  $E_{\text{cut-off}} > 130$  та еквівалентну ширину  $EW = 124 \pm 90$  еВ емісійної лінії Fe  $K_\alpha$ . Приклади отриманих результатів проілюстровано на рис. 4.9.

Виконаний пошук нових спостережних даних для ізольованих АЯГ, проведених з використанням рентгенівської обсерваторії NuSTAR в діапазоні енергій 3-79 кеВ, виявив чотири галактики, властивості яких ще ніхто не аналізував у рентгенівському діапазоні. Це такі об'єкти як NGC 5347, ESO 438-009, MCG -02-04-090 та IGR J11366-6002. Для них було отримано криві блиску у різних діапазонах енергій та проведено їх часовий аналіз (див. приклад на Рис. 4.9). Також для усіх галактик з метою утворення бази значень спектральних

параметрів ізольованих АЯГ для подальшого пошуку систематичних відмінностей цих значень для таких, але взаємодіючих АЯГ, або АЯГ у щільному оточенні (в скупченнях та групах), був виконаний аналіз із застосуванням феноменологічних та складних чисельних спектральних моделей.

Таблиця 4.1. Параметри досліджених 7 ізольованих галактик з активними ядрами

	$z$	Type	Instrument	Luminosity, (2-10 keV)ergs/s
NGC 6300	0.004	Sy2	XMM-Newton+ INTEGRAL + Chandra	$5.96 \cdot 10^{41}$
Circinus galaxy	0.001	Sy2	XMM-Newton+ INTEGRAL	$1.21 \cdot 10^{41}$
NGC 1050	0.013	Sy2	XMM-Newton	$2.15 \cdot 10^{40}$ (0.5-2.0 keV)
NGC 2989	0.014	AGN	Swift/XRT	$4.65 \cdot 10^{40}$
ESO 317-038	0.015	AGN	Swift/XRT+BAT	$2.71 \cdot 10^{41}$
ESO 438-009	0.024	Sy1.5	Swift/XRT+BAT	$3.57 \cdot 10^{42}$
CGCG 179-005	0.021	BLAGN	XMM-Newton+Chandra	$2.13 \cdot 10^{42}$

Всі чотири проаналізовані рентгенівські джерела демонструють компоненту відбитого спектру з різними частками цього відбиття по відношенню до первинного степеневому континууму. Виявлено, що степеневі індекси для наших джерел лежать в діапазоні 1,7 — 2. У спектрах двох джерел - NGC5347 та MCG - 02-09-040 була виявлена емісійна лінія заліза Fe K $\alpha$  на енергії  $\sim 6,4$  кеВ. Ці лінії в обох об'єктах мають помірно велику еквівалентну ширину  $EW \sim 1$  кеВ. Зазначимо, що АЯГ MCG -02-04-090 показує наявність значного власного поглинання нейтральною речовиною з відповідним  $N_H \sim 10^{24}$  см $^{-2}$ , що забезпечує не фізично велику величину відбиття R при феноменологічному моделюванні. Фізично обґрунтованим варіантом з певною геометрією джерела варіант є застосування моделей, наприклад, однорідного сферичного поглинача, або

газопилового тору (типу “бублик”). У цьому випадку значення поглинання визначається як  $N_{\text{H}} \sim 8 \times 10^{23} \text{ см}^{-2}$ .

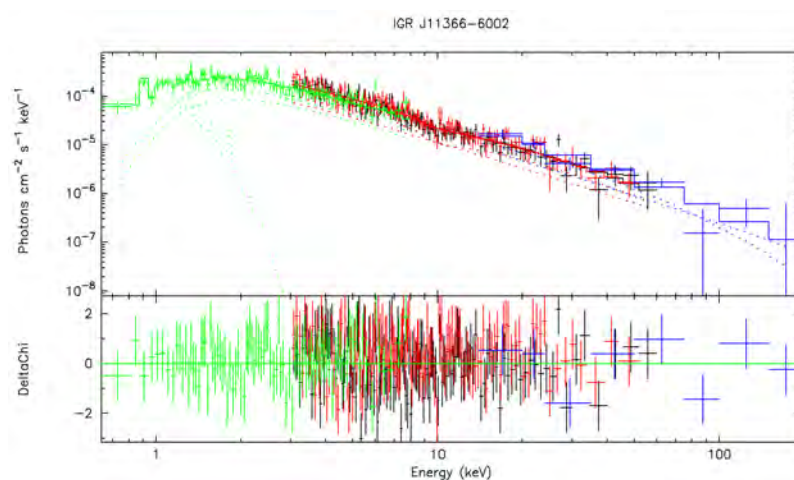


Рис. 4.9. Рентгенівський спектр галактики IGR J11366-6002 в діапазоні 0.6-200 keV за даними обсерваторій Swift/XRT, NuSTAR, Swift/BAT

#### 4.5 Властивості галактик з активними ядрами в рентгенівському діапазоні, вибраними за однорідними каталогами або за однаковою феноменологічним типом

На основі оригінальної вибірки з 95 об’єктів каталогу 22-month Swift-BAT All-Sky Hard X-ray Survey (енергетичний діапазон 14-195 keV) проведено дослідження рентгенівських спектрів АЯГ у діапазоні енергій 0.5—250 keV. Для галактик вибірки отримано параметри рентгенівських спектрів за даними супутників XMM-Newton та INTEGRAL/IBIS, побудовані взаємні залежності фотонного індексу  $\Gamma$ , параметра відносного відбиття  $R$ , енергії експоненційного обрізання  $E_{\text{cut-off}}$ , еквівалентної ширини лінії  $EW_{\text{FeK}\alpha}$  та стовпчикової густини  $N_{\text{H}}$ . Проведено кореляційний аналіз як для всієї вибірки, так і окремо у залежності від радіо-гучності галактик та від сейфертівських типів АЯГ. Вперше виявлено тенденцію про систематично вище значення параметра відносного відбиття  $R$  при малих значеннях степеневого індексу  $\Gamma$  для Сейфертів типу 2 у порівнянні з сейфертівськими галактиками 1-го типу. Показано, що параметр  $R$  має менші

значення у радіо-гучних галактиках у порівнянні з радіо-тихими, а еквівалентні ширини ліній  $EW_{\text{FeK}\alpha}$  у радіо-гучних галактиках при фіксованому значенні  $R$  менші в порівнянні з радіо-тихими АЯГ. У цілому проведений аналіз свідчить про індивідуальну специфіку АЯГ, яка виходить за рамки уніфікованої схеми Антонуччі — Міллера.

Було утворено ще одну вибірку з 79 галактик, які не є блазарами і входять у базу даних АЯГ обсерваторії RXTE. Проведено феноменологічне спектральне моделювання даних з використанням стандартних моделей (з метою подальшого порівняння з роботами інших авторів), щоби перевірити відповідність між їх спектральними властивостями та очікуваними спостережними проявами, передбаченим спіл-парадигмою моделі “центрального двигуна” AGN. В результаті виявлено 25 радіо-тихих (RQ) і 17 радіо-гучних (RL) АЯГ, які демонструють поведінку, яка суперечить передбаченням спіл-парадигми, а саме тому прогнозу, що повинні очікуватись низькі значення експоненціального обрізання на високих енергіях (мале  $E_{\text{cut-off}}$ ) в спектрах RQ АЯГ і великі значення  $E_{\text{cut-off}}$  для RL АЯГ (див Рис. 4.10.). Ці об’єкти в майбутньому будуть детально вивчені на знаходження причини такого протиріччя. Можливою причиною, особливо для об’єктів типу RQ, є те, що відсоток незвичних об’єктів може бути вищими через нескорельовану змінність у різних діапазонах енергій: наприклад, для об’єктів зі змінною спектральною формою NGC4388 чи NGC4945.

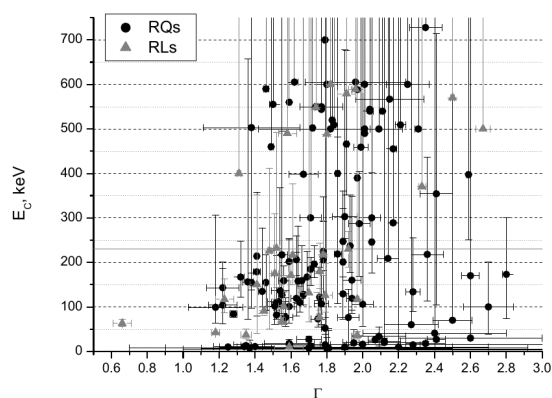


Рис. 4.10. Діаграма степеневий індекс-енергія завалу для 79 галактики з бази даних RXTE



Вивчення особливостей процесу акреції та відповідного фізичного стану корони акреційного диску відбувалось на прикладі глибокого спектрального аналізу галактики типу Сейферт 1 з вузькими лініями (NLS1) NGC 4748. З використанням рентгенівських даних камери EPIC/PN супутника XMM-Newton, телескопу BAT супутника Swift та телескопу ISGRI супутника INTEGRAL було виконано часовий та глибокий, детальний спектральний аналіз. На базі його результатів виконано пошук та обґрунтування фізичної інтерпретації характеристик спостережуваного рентгенівського випромінювання у діапазоні 0,5-300 кеВ. З метою врахування випромінювання від речовини акреційного диска, було виконано додатковий аналіз ультрафіолетових даних у трьох фільтрах (U, UVW1, UVM2) бортового оптичного/УФ телескопу XMM-Newton (див Рис. 4.11). У результаті це дозволило побудувати схематичну структуру акреційного диску активного ядра NGC4748; запропонувати якісну картину радіального розподілу джерел рентгенівського випромінювання у акреційному диску в залежності від енергії, а також оцінити масу надмасивної чорної діри у центрі NGC4748. Встановлено, що модель, яка передбачає додаткову зону комптонізації з низькоенергетичних електронів, а також модель, яка передбачає наявність високоіонізованої плазми, добре описують спостережену форму спектру і за наявними даними їх неможливо статистично розрізнити.

У продовження досліджень фізичних властивостей акреційних дисків виконано обробку спостережних даних галактики NLS1 LEDA 2816068, отриманими телескопом XMM-Newton у наближенні моделі спектру комптонізації при трьох різних геометріях. Встановлено, що такі наближення геометрії корони як сфера або плоска пластина дають майже однакові значення оптичної товщини при різних (відрізняються вдвічі) значеннях енергії електронів. Одночасно наближення півсфери демонструє майже в чотири рази більше значення оптичної товщі при енергії електронів, яка порівняна з такою, отриманою при наближенні плоскої пластини. Враховуючи, спостережна

оптична товща при наближенні тонкої пластини включає в себе різні оптичні товщини від різних частин, а при сферичному наближенні — тільки вздовж радіального напрямку, саме наближення сфери, як геометрії корони у даному випадку є найменш можливим (оскільки температура корони занадто висока). Аналіз повторного спостереження даної галактики XMM-Newton через місяць показує незмінність спектральних параметрів..

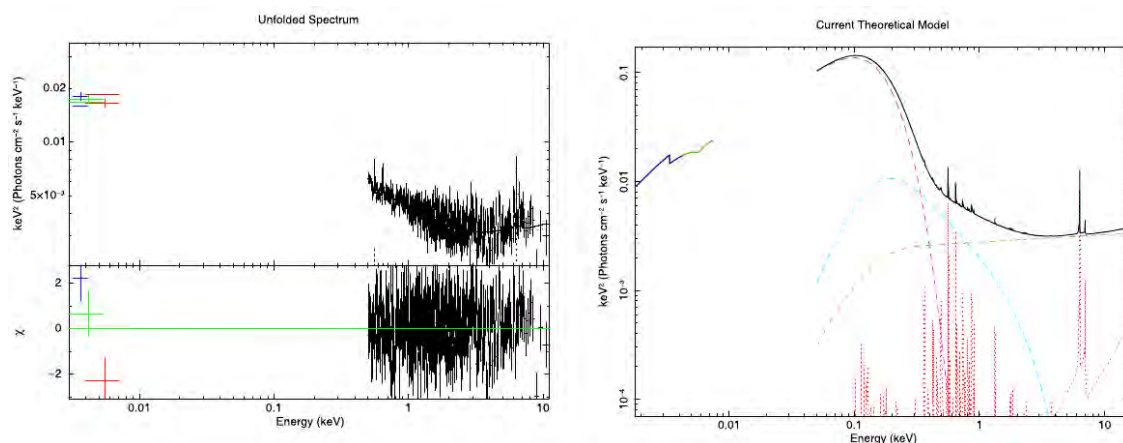


Рис. 4.11. Спектр NGC 4748 з використанням рентгенівських та УФ даних обсерваторії XMM-Newton (справа), компоненти спектральної моделі, використаної у підгонці (показано червоним — спектр відбиття, оранжевим — степеневий континуум, синій — континуум низькоенергетичної комптонізації, пурпуровий — чорнотільне випромінювання).

## 5 ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СКУПЧЕНЬ ГАЛАКТИК: ТЕМНА І БАРІОННА МАТЕРІЯ

Скупчення галактик — найбільші гравітаційно-зв'язані системи галактик у Всесвіті. Дослідження властивостей скупчень галактик, таких як профіль густини маси, морфологія, хімічний склад (металічність), світність, градієнт температури та інші, є важливим для розуміння формування великомасштабної структури Всесвіту та для уточнення космологічних параметрів. Вивчення залежності фізичних характеристик скупчень у широкому діапазоні червоних зміщень необхідне для перевірки сучасної теорії еволюції Всесвіту, оскільки часовий масштаб еволюції скупчень галактик становить близько 10 млрд років, а, отже, їхні властивості можуть відображати початкові умови та подальший перебіг фізичних процесів упродовж космологічного часу.

Властивості скупчень галактик значною мірою обумовлені основними космологічними параметрами, тому космологічні тести, що опираються на спостережувані дані, можна умовно розбити на три групи:

1) відносний вміст баріонної та темної матерії в скупченнях повинен відповідати параметру середньої густини Всесвіту, оскільки скупчення утворюються шляхом колапсу дуже великих областей з характерними розмірами  $5\text{--}10 h^{-1}$  Мпк, на яких гравітаційна взаємодія є основною. За обрахунками відношення мас баріонної та темної матерії для невеликої кількості скупчень галактик можна визначити внесок баріонів в загальну густину Всесвіту,  $\Omega_b/\Omega_m$ . Оскільки  $\Omega_b$  достатньо точно визначається із теорії первинного нуклеосинтезу, то за даними скупчень галактик визначається  $\Omega_m$ ;

2) оскільки скупчення галактик утворюються з високо-амплітудних первинних флуктуацій густини матерії, тому їхня функція мас чутлива до спектру потужності первинних збурень і до параметрів  $\Omega_m$  та (в меншій мірі)  $\Omega_\Lambda$ , які визначають зростання лінійних збурень густини;

3) спостереження скупчень галактик дозволяють перевіряти космологічні параметри, що базуються на визначенні залежностей різних фізичних властивостей скупчень галактик від червоного зміщення. Зокрема тут варто згадати ефект Сюняєва – Зельдовича щодо вимірювання абсолютних відстаней до скупчення з аналізу спостережень в рентгенівському та радіодіапазонах.

### **5.1 Вплив зворотнього зв'язку активних ядер на міжгалактичний і міжзоряний газ у складі скупчень галактик, групах та масивних галактиках**

У центрах більшості масивних галактик знаходяться надмасивні чорні діри, маси яких корелюють з основними характеристиками цих галактик. Такі кореляції є характерними і для центральних галактик у складі галактичних груп і скупчень галактик. Це, в свою чергу, вказує на те, що еволюція чорних дір та великомасштабних структур (в масштабах від галактик до скупчень галактик) є тісно пов'язаними між собою. Поясненням для такої кореляції є використання механізму саморегуляції зворотного зв'язку з активним ядром галактики, що являє собою надмасивну чорну діру, і в якому відбуваються процеси, що супроводжуються виділенням великої кількості енергії в міжгалактичне (міжзоряне) середовище. Основна увага цього проекту приділена дослідженню взаємодії між АЯГ та міжгалактичним середовищем, а також впливу механізму зворотного зв'язку АЯГ на галактичне середовище в цілому.

Формування та еволюція галактик є відносно нелінійним процесом і створює серйозні проблеми для нашого сучасного уявлення про Всесвіт. Згідно сучасної космологічної парадигми, галактики формуються всередині гало з темної матерії [20], що характеризується певними космологічними параметрами. Це так звана  $\Lambda$ -модель холодної темної матерії (Lambda Cold Dark Matter model). Темна матерія, на яку приходить близько 85% усієї матерії Всесвіту, є гравітаційно домінуючою матерією на величезних масштабах, а тому відіграє вирішальне значення для розуміння формування усіх структур Всесвіту. Саме

реалізація того, що ми живемо у Всесвіті, де домінує темна матерія, призвела до розробки перших комплексних моделей формування галактик [21]. Ці моделі були побудовані на основі простих законів фізики газу, вони були аналітичними моделями, які вказують на те, що усі структури Всесвіту формуються в рамках ієрархічного зростання, від галактик до скупчень і надскупчень галактик. Відповідно до таких моделей, видима матерія – баріонна матерія (тобто, речовина, яка є основним вмістом зірок) – “проживає” в гало темної матерії, де утворює газоподібні гало, і на кінцевих стадіях еволюції охолоджується, створюючи холодні, з високою густиною, акреційні диски у центральних частинах гало. Відповідне охолодження призводить до фрагментації і, як наслідок, формування холодного молекулярного газу і, власне, нових зір. Тому наше уявлення про формування структур Всесвіту є тісно пов’язаним з утворенням і еволюцією гало темної матерії.

Існує два основні методи дослідження еволюції гало темної матерії: реальні спостереження та чисельне моделювання. Незважаючи на досягнутий значний прогрес у нашому розумінні формування структур Всесвіту, жоден з цих методів, а також їх комбінація, не описують повну картину еволюції гало темної матерії та Всесвіту в цілому. Наприклад, відомо, що функція маси гало темної матерії, отримана чисельними методами, різниться зі спостереженнями функції світності галактик. А саме, припускаючи, що маса зірок співвідноситься з масою гало, ми не спостерігаємо великої кількості масивних галактик в ближньому Всесвіті. Сучасні спостереження не вказують на велику кількість баріонів в галактичних гало, що й слідує з теоретичних прогнозів. Для усунення цих та інших проблем, які стосуються, перш за все, надлишку баріонів для формування нових зірок у галактиках, було запропоновано ряд теоретичних моделей (негравітаційних процесів нагріву), серед яких і модель зворотнього зв’язку від АЯГ. Такі моделі могли б пояснити знайдені розбіжності в спостереженнях та чисельних моделюваннях. Відповідно до цих теорій, різного роду негравітаційні процеси нагрівають газ в центрах галактик, запобігаючи його повному

охолодженню, а також викидають (виштовхують) газ з галактики та гало, знижуючи загальний вміст газу (баріонів), доступного для утворення нових зірок.

Незважаючи на те, що у галактиках з малою масою негравітаційні процеси пов'язані з Надновими (SNe) та зоряними вітрами, котрі можуть регулювати вміст холодного газу та зореутворення [21], вони неефективні для такого ж регулювання в масивних галактиках. Більш ефективна взаємодія для масивних галактик може бути забезпечена негравітаційним механізмом нагрівання - зворотнім зв'язком активного галактичного ядра від надмасивних чорних дір, які, як вважається, є в центрах усіх близьких галактик [22]. Швидке поглинання газу (акреція) чорною дірою може призводити до генерування великої кількості високоенергетичного випромінювання, яку здатне викликати надшвидкі потоки речовини [23]. Такі викиди мають великий вплив на міжгалактичне середовище шляхом викидання та/або нагрівання газу. Ці ж процеси також регулюють баріонний вміст і зореутворення в галактиках [24].

Однак досі не зрозумілими залишається низка питань, серед яких основним є те, як саме відбувається фізична взаємодія між АЯГ та міжгалактичним (міжзоряним) середовищем материнської галактики. На сьогодні існують дві основні теорії (два основних механізми) такої взаємодії: відтік газу пов'язаний з джетями від АЯГ та те, що відтік газу пов'язаний з випромінюванням від АЯГ. На даний момент неможливо дослідити надзвичайно широкий динамічний діапазон повного циклу АЯГ: від масштабів кількох парсеків, де утворюються акреційні диски, до розмірів самих галактик. Також існують ускладнення, які пов'язані з тим, що більшість теоретичних припущень розглядають міжгалактичне (міжзоряне) середовище за допомогою відносно простих моделей, ігноруючи багато спостережних малих структур (бульбашок, турбулентних потоків та ін.). Цікаво, що різного роду моделювання на галактичних масштабах вказують на те, що властивості міжгалактичного середовища визначають чи зворотний зв'язок АЯГ здатний витіснити велику

кількість газу з галактики або чи може такий витік фактично сприяти формуванню нових зірок [27]. Все це спонукає до більш глибокого вивчення (1) взаємодії між потоками АЯГ і гарячим газом міжгалактичного (міжзоряного) середовища, а також (2) впливу механізму зворотнього зв'язку АЯГ на галактику-хазяїна, та, власне, (3) самого механізму зворотнього зв'язку АЯГ з гарячим дифузним газом.

З цією метою було відібрано 100 об'єктів, а саме масивні еліптичні галактики, групи та лінзовидні галактики для отримання початкових результатів. Дані були взяті з архівних спостережень телескопу Чандра, що має найкращу роздільну здатність з усіх існуючих рентгенівських інструментів. Завдяки цим спостереженням стало можливим зареєструвати випромінювання від точкових джерел, таких як рентгенівські подвійні системи з малою масою та інші зоряні компоненти у складі міжгалактичного газу. Завдяки такому детектуванню вдалося набагато точніше визначити параметри міжзоряного газу. Відповідна точність дозволила достовірніше визначити деякі кореляційні співвідношення між газом материнської галактики та властивостями АЯГ, в тому числі, для зворотнього зв'язку. Було побудовано співвідношення між основними параметрами газу, світністю, температурою та масою газу. Результати цих співвідношень вказують на те, що зворотній зв'язок АЯГ має сильнішу дію на системи з меншою масою. Такий висновок було зроблено через збільшення величини нахилу в степеневих кореляційних співвідношеннях. Наприклад, для скупчень галактик нахил для кореляційного співвідношення між світністю та температурою лежить в діапазоні 2.7-3, для груп галактик – 3-4, тоді як для індивідуальних масивних галактик – 4.5-5.5. Те ж саме відбувається й з іншими співвідношеннями, - нахили зростають зі зменшенням маси структур.

Для більш детального розуміння фізики зворотнього зв'язку було також використано спостереження в оптичному та радіо діапазонах. За допомогою таких спостережень було досліджено структуру газу в центрі АЯГ у складі скупчень, груп і галактик. Завдяки оптичним та радіо спостереженням, зокрема

масиву радіотелескопів ALMA, було виявлено нові, досі невідомі структури (філаменти, порожнини, великомасштабні ударні хвилі, струї низького тиску, потоки охолодження та ін.) та досліджено розподіл холодного молекулярного газу в центрах скупчень, груп і деяких масивних еліптичних галактик. Фізичні параметри таких структур також тісно пов'язані з навколишнім газом і, звісно, АЯГ, які генерують подібні структури.

## 5.2 Розподіл видимої та прихованої маси в рентгенівських скупченнях галактик на $z < 1.4$ за даними космічної обсерваторії “Чандра”

Основними критеріями відбору скупчень галактик були параметри рентгенівського потоку випромінювання, значення червоного зміщення та відсутність ознак злиття чи неправильності форми скупчення, що є необхідним при застосуванні умов гідростатичної рівноваги та сферичної симетрії. Зокрема, вибір обмежень для потоку обумовлювався такими критеріями:

— величина потоку повинна бути достатньо низькою, щоб вибірка була як найбільше представницькою в статистичному плані;

— і в той же час, величина потоку повинна бути достатньо високою для того, щоб надійно проводити необхідні вимірювання маси скупчень.

Аналіз робіт показав, що потік  $f_x$  (0.5–7.0 кеВ) =  $7.0 \cdot 10^{-12}$  ерг  $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$  (або  $11.3 \cdot 10^{-12}$  в діапазоні енергій (0.1–2.4 кеВ)) як найкраще підходить для такого роду досліджень. Проте, варто відмітити, що дана методика обчислення потоку випромінювання не є ідеально точною, оскільки виконується автоматично. Тому на початковому етапі відбирались скупчення з рентгенівськими потоками, які перевищують  $7.0 \cdot 10^{-12}$  ерг  $\text{с}^{-1} \text{см}^{-2}$ , а також було обрано діапазон енергій 0.5–7.0 кеВ, який відповідає максимуму чутливості матриць ACIS - спектрометра. Не брались до уваги також спостереження тих скупчень, де час експозиції був занадто малим ( $< 5000$  с). Спочатку дана умова не використовувалась, але в процесі обробки даних виникла необхідність її встановлення, оскільки дані, які



спостерігались менше 5000 с, мали малу статистику, що призвело до великих похибок під час моделювання спектру та визначення повної маси скупчення. Зупинимося на критеріях відбору скупчень галактик більш детально.

Для покращення вимірів було використано розбиття зображення на концентричні кільця з однаковою кількістю фотонів, що дозволило зменшити похибки визначення параметрів (більш детально буде розглянуто нижче). Було обрано значення параметра  $\beta$  на рівні 0.67, хоча відомо, що будь-яка систематична зміна  $\beta$  з червоним зміщенням або середньою світністю скупчення може викликати помітні аберації вимірних світностей. Основна частина симетричних скупчень галактик з нашої вибірки містить достатньо сильні центральні піки поверхневої яскравості, які є наслідком радіаційного охолодження газу. Використання центральних частин подібних скупчень при апроксимації  $\beta$ -моделлю, зазвичай, приводить до малих значень радіуса ядра  $r_c$  і параметра  $\beta$ , а також до поганої апроксимації даних. Очевидно, що при обробці даних центральна частина скупчення виключається, якщо метою є правильний опис розподілу газу на великих радіусах.

На зображеннях скупчень було спочатку знайдено і видалено точкові джерела (в основному, це галактики та активні ядра). Для цього використовувалась команда *CIAO wavdetect*. Зображення кожного скупчення галактик було розбито на концентричні кільця з центрами у максимумах їхніх рентгенівських потоків. Для кожного кільця було отримано спектр за допомогою команди *specextract* програмного пакету *CIAO*, який апроксимувався моделлю *WABS\*MEKAL*. Вплив галактичного поглинання враховувався за допомогою параметра *WABS*. Варто відмітити, що відповідно до розміру кільця на зображенні будувалося аналогічне за розміром кільце для фону без будь-яких джерел в ньому (в процесі обробки даних фон із кінцевого спектру вилучався). В результаті такого моделювання було отримано розподіли температури та металічності. Також при моделюванні брався до уваги параметр нормування даної моделі *Norm<sub>MEKAL</sub>*, який буде використовуватися в подальшому для

побудови профілю поверхневої яскравості скупчень галактик. Похибки визначались для 68% довірчого інтервалу у середовищі *Xspec* за допомогою команди *error*. Профілі величин згладжувались за допомогою програмного пакету *DSDEPROJ*.

Було побудовано залежність між часткою баріонів та нахилом профілю густини темної матерії  $\alpha$ . Частка баріонів є сумарною масою гарячого газу та світної матерії, поділеної на повну масу, і була визначена як функція радіуса. На лівому зображенні рис. 5.2 показано залежність частки баріонної компоненти при відповідному радіусі  $R_{200}$  від внутрішнього нахилу профілю густини темної матерії  $\alpha$ . Для визначення загальної величини внутрішнього нахилу було отримано загальну суму величин нахилу (з їхніми значеннями  $\chi^2$ ) як функцію від  $\alpha$  для 128 скупчень (див. праве зображення на рис. 5). Просумувавши усі значення  $\chi^2$  було визначено найкраще значення внутрішнього нахилу для профілю густини як  $\alpha = 1.1 \pm 0.45$ , де невизначеність складала 95% довірчого інтервалу. Отримані результати добре узгоджуються з передбаченнями з чисельного моделювання космологічної CDM-моделі та попередніми роботами [35, 37]. Кореляція між нахилом  $\alpha$  і часткою баріонів показує, що профіль газу у скупченнях у центральних областях має плоский характер, тобто  $\alpha < 1$ .

Співвідношення “світність – температура” ( $L - T$ ) для близьких скупчень має значний надстатичний розкид, який є порівняльним з очікуваною еволюцією даного співвідношення. Розкид для скупчень на малих  $z$  значно зменшується, якщо при визначенні світності і температури скупчень виключити центральні області, яким притаманно радіаційне охолодження. Тому при визначенні співвідношення  $L - T$  на великих  $z$  також бажано виключити центральні області, оскільки це може зменшити розкид і, відповідно, полегшити визначення еволюційних залежностей. Ця задача стала можливою лише після запуску обсерваторії “Чандра”, що має кутову роздільну здатність 1" і дозволяє легко відокремлювати центральні області навіть у дуже далеких скупченнях.

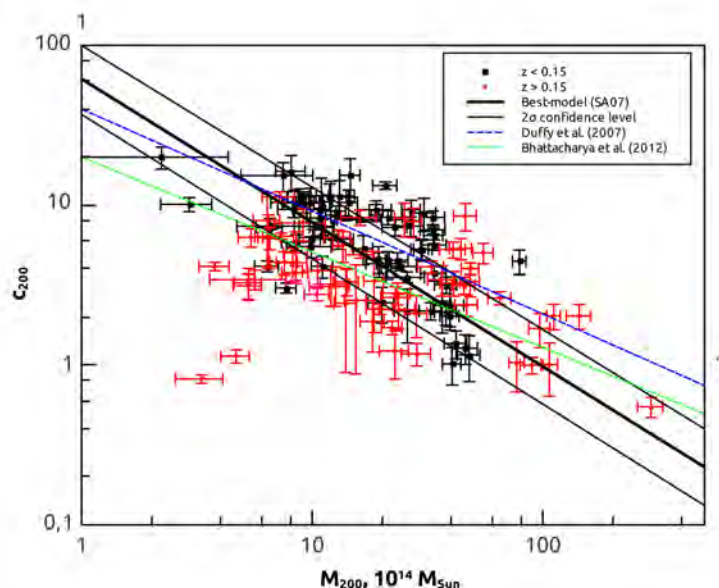


Рис. 5.1. Залежність “повна маса – параметр концентрації” ( $c_{200} - M_{200}$ ) для досліджуваної вибірки X-скупчень галактик. Товста та дві тонкі суцільні лінії відповідають моделі Шмідта та ін. (1.12) і  $1\sigma$ -відхиленню від відповідної моделі. Дві штриховані лінії показують моделі, взяті з робіт [20] та [25].

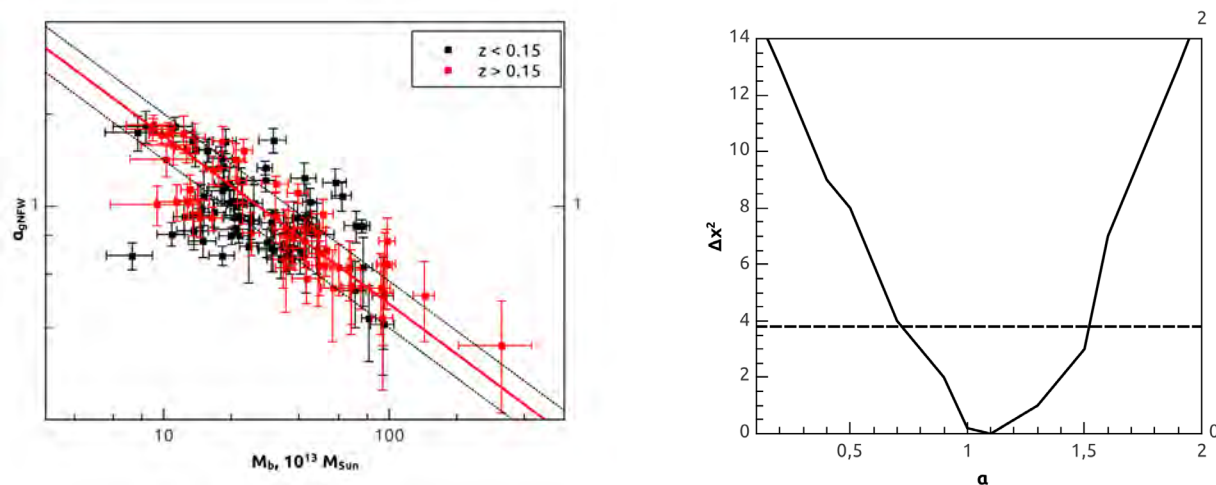


Рис. 5.2. Ліворуч:  $\alpha - M_b$  залежність для досліджуваної вибірки X-скупчень галактик. Дана залежність промодельована простим степеневим законом, для якого параметр нахилу становив  $1.72 \pm 0.37$ , тоді як дві тонкі суцільні лінії показують  $2\sigma$ -відхилення. Праворуч: Сума значень  $\chi^2$  як функція величин  $\alpha$  для скупчень галактик для моделі НФУ. Пунктирна лінія показує  $2\sigma$ -довірчий інтервал. Найкраще значення для нахилу з відповідного розподілу становить  $1.1 \pm 0.4$  для 95% довірчого інтервалу.

У досліджуваній вибірці є близько 40 скупчень галактик на  $z > 0.4$ , спостережуваних з великим часом експозиції, що дозволило визначити температури скупчень з точністю краще 10–15%. Використовуючи ці дані, в нашій роботі вдалось точно визначити еволюцію кореляційних співвідношень між світністю, температурою та масою міжгалактичного газу скупчень на  $z > 0.4$ . Співвідношення  $L - T$  для далеких скупчень галактик, отримане для космологічних параметрів  $\Omega_\Lambda = 0.73$ ,  $\Omega_m = 0.27$ ,  $H_0 = 73 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ , подано ліворуч на рис. 5.3. Як і для близьких скупчень, розкид у співвідношенні дуже малий, – він практично повністю пояснюється похибками вимірювань. Нахил також узгоджується зі співвідношенням на малих  $z$ , проте нормування сильно відрізняється – при однаковій температурі далекі скупчення мають велику світність. Якщо параметризувати залежність від  $z$  у вигляді  $L \sim (1 + z)^{A_{LT}} T^\alpha$ , то отримаємо, що  $\alpha = 2.64 \pm 0.07$ , то тоді  $A_{LT} = 1.5 \pm 0.23$  на рівні достовірності 90%. На правому зображенні рис. 6 показано отриману залежність  $M_{g,200} - T$ . При  $\Omega_\Lambda = 0.73$ ,  $\Omega_m = 0.27$ ,  $H_0 = 73 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$  еволюція дуже мала. Параметризуючи її як  $M_g \sim (1 + z)^{A_{MT}} T^\beta$ , було отримано  $\beta = 1.77 \pm 0.15$  і  $A_{MT} = -0.58 \pm 0.13$ .

Таким чином, співвідношення між температурою, світністю та масою газу скупчень на  $z > 0.4$  має сильну еволюційну залежність по відношенню до кореляцій, що спостерігаються на малих  $z$ . Співвідношення, які пов'язують масу газу з іншими характеристиками, безпосередньо пов'язані зі співвідношеннями, в яких використовується повна маса скупчень. Справа в тому, що, як уже згадувалось, частка баріонів у повній масі скупчення,  $f_b$ , повинна бути універсальною величиною, близькою до середнього значення для всього Всесвіту, проте, в такому випадку, повна і баріонна маса відрізняються на постійний множник  $M = M_b/f_b$ .

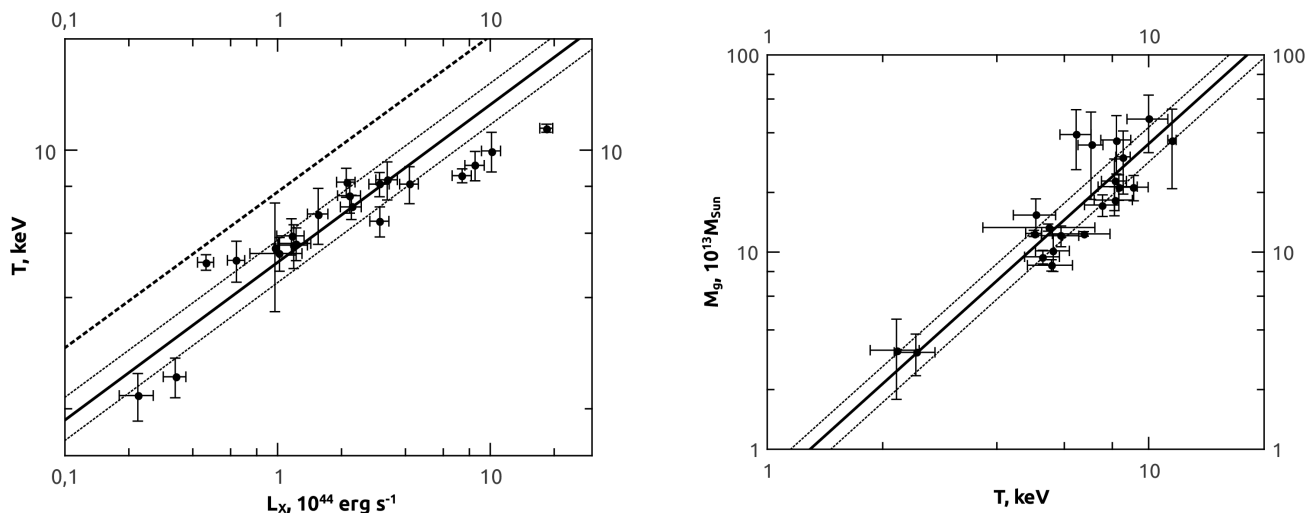


Рис. 5.3. Ліворуч: Кореляційне співвідношення між температурою та світністю досліджуваних скупчень галактик. Пунктирною лінією показано співвідношення  $L - T$  на малих червоних зміщеннях [33]. Суцільна лінія є скорегована на множник  $(1+z)^{1.5}$ . Праворуч: Залежність між масою газу та температурою газу всередині радіуса  $R_{200}$ . Суцільною лінією показано співвідношення  $M_g - T$  для близьких скупчень галактик із робіт [35, 37].

Відповідно, еволюція в співвідношеннях  $M - L$  і  $M - T$  для баріонів та темної матерії повинна бути однаковою. Отже, спостережувана сильна еволюція в залежності  $M_g - L$ , якщо врахувати ще і слабку від'ємну еволюцію функції світності, означає, що функція мас сильно еволюціонує: просторова густина скупчень певної маси на великих  $z$  набагато менша, чим у теперішній спостережуваний час. Фактично, це дає можливість отримати обмеження на космологічні параметри  $\Omega_d$  та  $\Omega_m$ . Спостережені еволюційні залежності в кореляційних співвідношеннях  $L-T-M_g$  вказують на те, що скупчення в минулому мали велику густину – вони були гарячіші і мали більшу світність при фіксованій масі, це, власне, і передбачається автомодельною теорією їхнього формування.

## 6 ВЛАСТИВОСТІ ГАЛАКТИК ЯК ІНДИКАТОР ЕВОЛЮЦІЇ ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ СТРУКТУРИ ВСЕСВІТУ

### 6.1 Залежність «морфологічний тип – показник кольору» галактик, отримані за усередненими характеристиками даних оглядів близького Всесвіту

Морфологія галактик, а також їх світність, колір, маса і темп зореутворення залежить від оточення: в областях більшої концентрації галактик частка галактик ранніх типів значно більше, ніж в малонаселених областях. Спіральні галактики з високим темпом зореутворення уникають густонаселених областей скупчень. При цьому, вплив оточення такий, що спіральні галактики в скупченнях мають більш ранній тип, ніж спіральні галактики поля, запасів нейтрального водню у них менше. Галактики у войдах, як правило, мають більш пізній тип і більший вміст газу на одиницю світності, ніж галактики груп і скупчень. Темп зореутворення в центрах дискових галактик ранніх типів, що знаходяться в скупченнях, вище, ніж в аналогічних галактик поля, при цьому галактики скупчень мають явні ознаки збурень. Результати [28] показали, що еволюційні зміни морфології галактик з пізніх типів в ранні зазвичай супроводжується зміною їх кольору в червоний бік, однак, зміна кольору галактики не завжди тягне за собою кардинальну зміну морфологічного типу (див. також [20]). Крім цього, спостерігається еволюція бімодальності в розподілі кольорів галактик: частка червоних масивних галактик в сучасну епоху ( $z \sim 0$ ) значно вище, ніж в більш ранні епохи [30].

Взаємозв'язок властивостей галактик і щільності їх оточення проявляються не тільки на масштабах скупчень, але і на масштабах малонаселених груп, пар і триплетів галактик. Караченцевим (1987) для пар галактик, а також в серії робіт [31-32], було показано, що частка галактик ранніх типів в парах і триплетах більша, ніж в ізольованих галактиках. При цьому, цікаво, що оптичний ( $g-r$ ) і

ближній інфрачервоний ( $J-H$ ) колір галактик ранніх типів не залежить від щільності оточення, а спіральні і пізні типи галактик в парах і триплетах значно червоніші, ніж ізольовані. Виняток становлять галактики, що перебувають в дуже тісних парах (мають ознаки взаємодії), – ці галактики трохи блакитніші, ніж ізольовані.

Щільність оточення визначає також характер кластеризації галактик–супутників. Наприклад, дослідження розподілу карликових галактик низької поверхневої яскравості (НПЯ) в об’ємі Місцевого надскупчення показало, що ці галактики, як збагачені газом ( $dIr$ ,  $dIm$ ), так і з малим вмістом газу ( $dSph$ ), мають однакову тенденцію до скупчування в полі надскупчення; при цьому в областях з підвищеною щільністю (скупчення в Діві і Печі) карликові НПЯ галактики пізніх типів ( $dSm$ ,  $dIr$ ,  $dIm$ ) і яскраві спіральні галактики уникають центрів скупчень, в той час, як щільність розподілу карликових ( $dE$ ,  $dSph$ ) і нормальних галактик ( $E-S0$ ) ранніх типів добре описуються профілем Кінга і лінійні розміри  $dE-dSph$  галактик–супутників не залежить від щільності оточення, як це свого часу показала Караченцева В.Ю. Цікаво також, що частка ранніх типів галактик–супутників більша в оточенні центральної галактики раннього типу, ніж в оточенні центральної галактики пізнього типу тієї ж маси [33]. Відкритим залишається також питання про кореляцію властивостей центральної галактики і галактик–супутників (див., наприклад, [34]), розглядати яке треба також в залежності від щільності оточення малочисельних груп, їх віку, морфологічних типів (наприклад, ми не знайшли кореляції показників кольору галактик в парах [35]). У результаті цього підготовчого етапу вибірка була звільнена від дублікатів зображень об’єктів, помилкових зображень (поле), одних й тих самих галактик, представлених різними своїми частинами. В результаті у вибірці залишилось 362 588 галактик. За рекомендацією SDSS, її обмежено за зоряною величиною в  $r$ -фільтрі  $modelMag_r < 17.7$ , для усунення типових помилок спектроскопії. Після цього вибірка містила 317 018 галактик.

Після отримання тривимірних декартових координат галактик, ми розбили геометричний простір, що займають галактики вибірки, на комірки мозаїки Вороного (об'єм  $V$ , у 3D випадку). Кожна комірка має ядро–галактику і складається з елементарних об'ємів простору, які ближче до даної галактики, ніж до будь-якої іншої. На рис. 6.1. зображено приклад мозаїки Вороного в двовимірному випадку для простоти візуалізації. Зворотнім об'ємом комірки Вороного ( $1/V$ ) ми будемо описувати щільність оточення галактик: чим більше величина  $1/V$ , тим менше ізольованою є галактика.

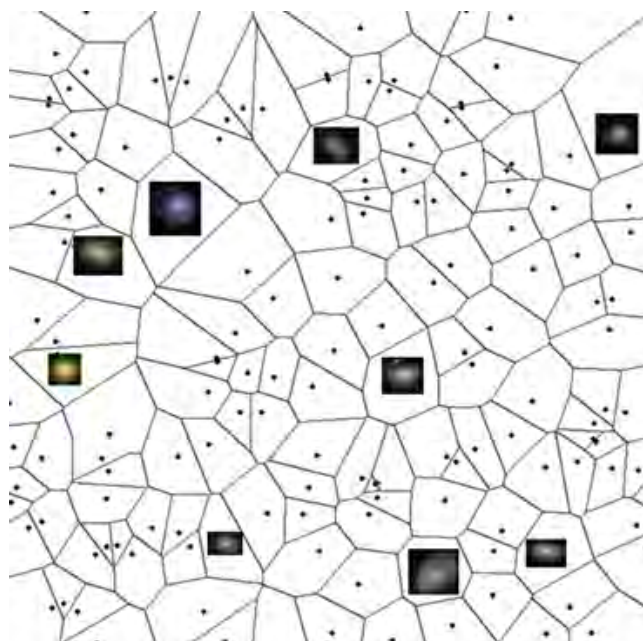


Рис. 6.1. Приклад побудови мозаїки Вороного в двовимірному випадку.

Дослідження щільності оточення і показників кольору галактик проводиться на вибірці  $N = 317\,018$  галактик. Для знаходження щільності оточення галактик ми будемо використовувати зворотній об'єм комірки Вороного ( $1/V$ ): чим більше величина  $1/V$ , тим менше ізольованою є галактика. Перш ніж застосувати метод мозаїки Вороного, вибірка повинна бути підготовлена, зокрема цей метод чутливий до крайових ефектів, тому всі клаптикуваті краї вибірки було обрізано. Також перед застосуванням даного методу вибірка галактик пройшла декілька етапів підготовки. Застосовано поправки за галактичне поглинання (екстинкцію)



Після обрізання клаптикуватих країв вибірки та граничних об'єктів отримано вибірку, що містить  $N = 262\,078$  галактик на червоних зміщеннях  $0.02 \leq z \leq 0.1$ . Діаграма «абсолютна зоряна величина – червоне зміщення» представлена на рис. 6.2. Для застосування методу мозаїки Вороного вибірка повинна бути однорідною, наскільки це можливо. З цієї причини метод мозаїки Вороного був застосований до вибірки центральних галактик з  $M_r \leq -20.7$  ( $N = 124\,292$ ), а потім розглядалися властивості оточення центральних галактик, що складається з більш слабких галактик–сусідів з  $M_r > -20.7$  ( $N=137\,786$ ) (рис. 6.3.). На рис. 6.8 показано розподіл галактик  $E-S0$  і  $Sa-Irr$  типів в залежності від величини зворотного об'єму комірок Вороного, в яких вони знаходяться, об'єднаних в 4 логарифмічних інтервали  $1/V < 0.001$ ,  $0.001 < 1/V < 0.01$ ,  $0.01 < 1/V < 0.1$ ,  $1/V > 0.1$ , для чотирьох діапазонів червоних зміщень  $0.02 \leq z \leq 0.04$ ,  $0.04 < z \leq 0.06$ ,  $0.06 < z \leq 0.08$  і  $0.08 < z < 0.1$  (в рядках) і для різних діапазонів абсолютної зоряної величини:  $-21.5 < M_r \leq -20.7$ ,  $-22.5 < M_r \leq -21.5$  і  $M_r \leq -22.5$  (в стовпчиках). Кількість галактик в кожному біні для  $E-S0$  і  $Sa-Irr$  типів нормалізовано на загальну кількість галактик  $E-Irr$  в даній підвибірці та показана на кожному з рисунків. З рис. 6.8 видно тенденцію, що, чим більше червоне зміщення, тим частка галактик спіральних і пізніх типів збільшується, а ранніх типів, навпаки, зменшується. Тобто прос тежується відоме еволюційне співвідношення зменшення галактик з пригніченим зореутворенням зі збільшенням червоного зміщення..

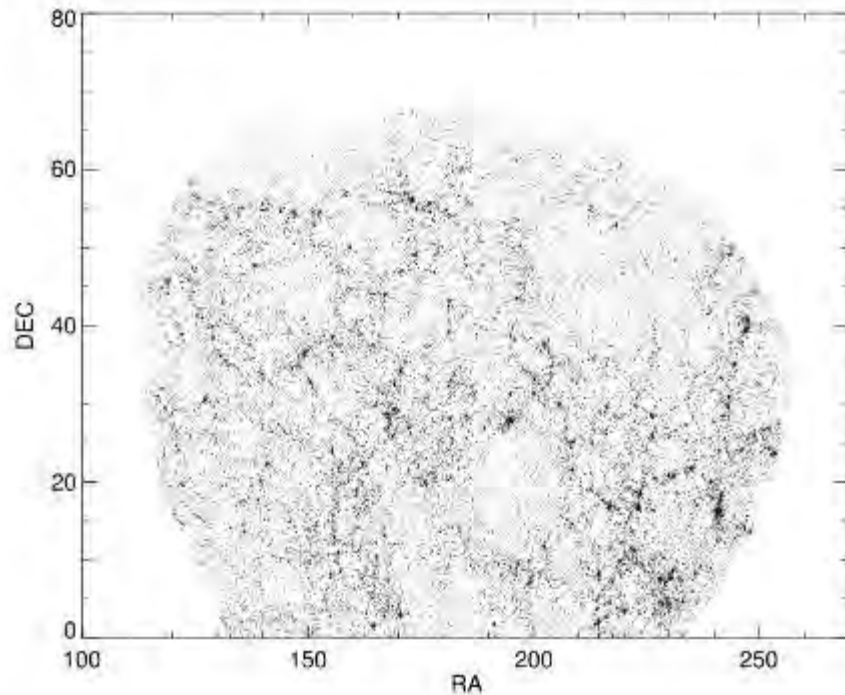
. Було також визначено щільність галактик в комірках Вороного з урахуванням їх слабких сусідів. Галактики з  $M_r > -20.7$ :  $(n+1)/V$ , де  $n$  – кількість слабких галактик, що знаходяться в комірці Вороного,  $V$  – об'єм комірки Вороного. На рис. 6.9. представлено розподіл ранніх  $E + S0$  (суцільна лінія) і  $Sa - Irr$  типів (пунктир) за параметром  $(n + 1) / V$  в чотирьох інтервалах:  $(n + 1) / V < 0.01$ ,  $0.01 < (n + 1) / V < 0.1$ ,  $0.1 < (n+1) / V < 1$ ,  $(n + 1) / V > 1$ . Кількість галактик нормовано на кількість  $E-Irr$  галактик в даному діапазоні  $(n + 1) / V$ .

## 6.2 Методи машинного навчання

### для морфологічної класифікації галактик із вибірки SDSS

Досліджувана вибірка містила 60 561 галактик огляду SDSS DR9 з червоним зміщенням  $0.02 < z < 0.06$  та абсолютною зоряною величиною  $-24^m < M_r < -19.4^m$ . Саме для неї була проведена бінарна морфологічна класифікація галактик з використанням методів машинного навчання з учителем за допомогою програмного забезпечення Analytics KNIME. 3.5.0. Для тренування вибірки ми використовували наступні методи класифікації: наївний байєс, випадковий ліс, метод опорних векторів на основі програмного забезпечення WEKA та нейтральних мереж RProp MLP. Для навчання класифікатора ми використали абсолютні величини:  $M_u$ ,  $M_g$ ,  $M_r$ ,  $M_i$ ,  $M_z$ , колірна продуктивність  $M_u - M_r$ ,  $M_g - M_i$ ,  $M_r - M_z$  та зворотній індекс концентрації кольору R50/R90 до центру галактики. Точність методів, ми оцінювали за допомогою перехресної перевірки: ми розподілили тренувальну вибірку на випадково вибрані 5 підвбірок, по черзі 4-и слугували тренувальними і одна тестовою вибіркою. Така процедура повторюється 5 разів. Точність класифікації визначається як середня величина тестових вибірок.

Ми перевірили зміну точності методів машинного навчання як функцію від розміру тренувальної вибірки. Якщо точність методу перестає збільшуватись зі збільшенням тренувальної вибірки це означає достатню кількість елементів вибірки. Але якщо точність продовжує зростати, швидше за все, це не зашкодить збільшенню кількості навчальних даних. Ми зробили наступні кроки з тренувальною вибіркою  $N = 6\,749$  галактик для яких відомі морфологічні типи: поділили її на підвбірки, які містять таку кількість галактик: 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6740; елементи кожної з підвбірок було сформовано випадковим чином 10 разів;



6.10. Розподіл галактик досліджуваної вибірки в екваторіальній системі координат

Виявилося, що метод випадкового лісу забезпечує найвищу точність — 92,9% правильно класифікованих (96% — ранній морфологічний тип ( $E$ ) і 84% — пізній морфологічний тип ( $L$ )). Точність решти від 87% до 90%. В нашій попередній роботі ми теж використовували показники кольорів  $M_u-M_r$ ,  $M_g-M_i$ ,  $M_u-M_g$ ,  $M_r-M_z$  і зворотній індекс концентрації до центру  $R50/R90$  для класифікації галактик. Точність для  $E$  типу становила 96% і для  $L$  типу — 67%, однак, тренувальна вибірка була також і тестовою, а це означає, що реальна точність була принаймні на кілька відсотків нижче. Таким чином, використовуючи інформацію про абсолютні зоряні величини, показники кольору, зворотній індекс концентрації до центру та тренуючи класифікатор випадковий ліс галактиками з візуально визначеними морфологічними типами, ми отримали морфологічні типи галактик тестової вибірки ( $N = 60\,561$  галактик) серед них 28 199 галактик раннього типу і 32 362 пізнього морфологічного типу (Рис. 6.12 і 6.13).

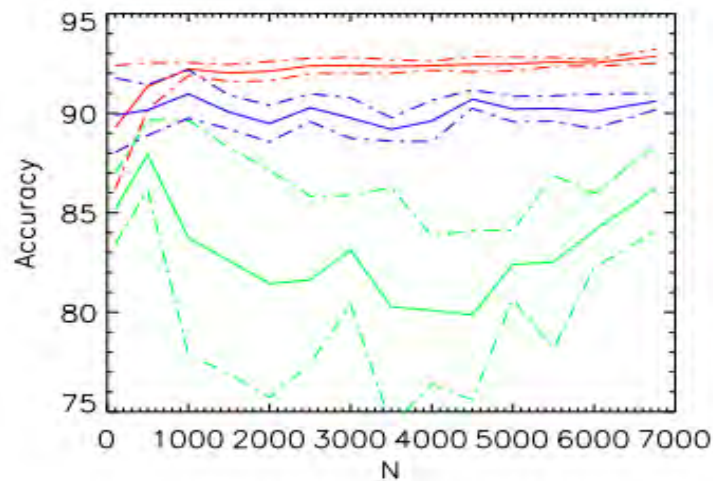


Рис. 6.11. Перевірка точності методів машинного навчання як функцію від розміру тренувальної вибірки. Червона лінія (Random Forest), синя лінія (Support Vector Classifier) та зелена лінія (Naive Bayes) показують середню точність 10 повторень процедури оцінки.

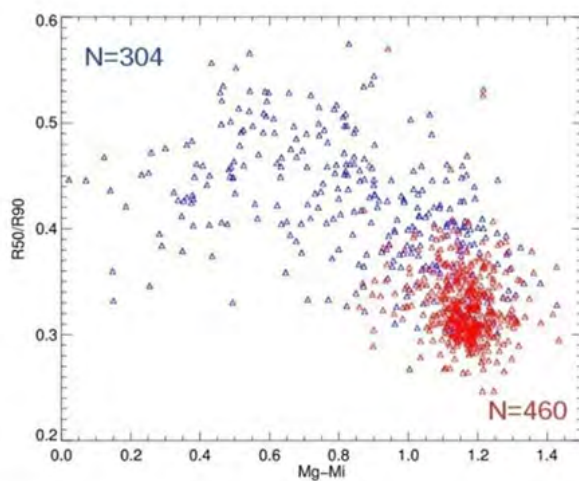


Рис. 6.12. Залежність показника кольору  $M_g-M_i$  від зворотного індексу концентрації  $R50/R90$  для 764 галактик нашої вибірки. Червоні трикутники ( $N = 60$ ) показують галактики  $E$ , сині –  $L$ .

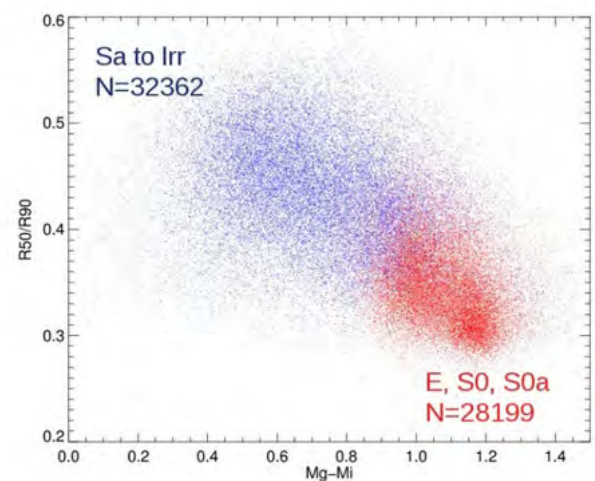


Рис. 6.13. Залежність показника кольору  $M_g-M_i$  від зворотного індексу концентрації  $R50/R90$  для всієї вибірки. Червоні точки показують галактики  $E$ , сині –  $L$ .

## 7 ВЕЛИКОМАСШТАБНА СТРУКТУРА ВСЕСВІТУ: НОВІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 7.1 ЗОНА УНИКНЕННЯ МОЛОЧНОГО ШЛЯХУ: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЯМИМИ І НЕПРЯМИМИ МЕТОДАМИ

*Загальна проблематика.* Зона уникнення Чумацького Шляху вперше була згадана Р. Проктором у своїй роботі, що стосується "Загального каталогу туманностей" Дж. Гершеля (1878): він назвав його зоною декількох туманностей. У 1922 р., Використовуючи дані Дреєра (1888, 1895 рр.) "Нового загального каталогу", Шарлі був першим, який назвав цю область неба науковою проблемою у визначенні розподілу туманностей в зоні, яке затемнена Чумацьким Шляхом. У 1961 році Шеплі запропонував назвати цю область **зоною уникнення** (ZoA), що обмежується "ізоплетом п'яти галактик на квадратний градус за дослідженнями Ліка і Гарварда". Протягом тривалого часу цю зону уникали астрономи, зацікавлені у вивченні позагалактичних об'єктів через 1) малу кількість відомих об'єктів; 2) зменшення яскравості позагалактичних об'єктів до галактичного екватора; 3) збільшення концентрації зірок на лінії зору, що призводить до збільшення перекривання позагалактичних об'єктів з зірками [38]. Оскільки Сонячна система розташована не в центрі нашої Галактики, ZoA також є неоднорідною по довготі.

Починаючи з 1990-х років уявлення про розподіл галактик в ZoA істотно змінилося. Якщо раніше вважалося, що ця область закриває спостерігача близько 20% просторового розподілу галактик у оптичному діапазоні, то це значення становить зараз близько 10%. Перш за все, це відбулося завдяки дослідженням в інфрачервоному та радіочастотному спектральних діапазонах, оскільки внаслідок зменшення кількості поглинання світла з збільшенням довжини хвилі Зона уникнення стає більш прозорою в цих спектральних діапазонах. Що стосується неповноти використання каталогів галактик ZoA як функції затухання

переднього плану, то ми відзначаємо, що оптичні ZoA-огляди заповнені до видимого діаметра  $D=14''$  (де діаметр визначений для ізофоти  $24.5^m/\text{arcsec}^2$ ) для рівня затухання менше ніж  $A_B=3.0^m$ .

Нами запропоновано новий підхід, названий нами “алгоритм штопання зони уникнення”, для розбивання існуючих позагалактичних оглядів (наприклад, SDSS DR 14) на зрізи залежно від червоного зміщення, зоряних величин, координатів та інших параметрів для формування тренувальної вибірки машинного навчання, а також описуємо загальну схему GAN методу для застосування до відновлення ZoA. Ми обговорюємо основні завдання генерування штучних розподілів галактик та їх властивостей в ZoA і описуємо, як дискримінаційна мережа буде порівнювати отриманий розподіл з реальним і оцінювати його реалістичність.

Через те, що галактичний газ і пил закривають значну частину неба від візуального спостереження, виявлення джерел в цій області стає проблематичним. Через неповному вибірки в області поглинання, на основі якої будується поле швидкості, ми не можемо сказати про її однорідність, що дає помилку в певному напрямку руху нашої Галактики за цим методом. Проблема розбіжності між векторами руху галактик Місцевої Групи відносно системи координат та пов'язаної з реліктовим випромінюванням, свідчить про наявність значної кількості галактик у зоні поглинання нашої Галактики.

Перший якісний прорив при вивченні ZoA належить перш за все італійському астрономові П. Маффею, який в 1968 р. Виявив дві галактики в ZoA, використовуючи спостереження в інфрачервоному діапазоні (див. статтю [39]). Еліптична галактика Maffei-1 разом зі своєю компаньйонкою, спіральною галактикою Maffei-2 була виявлена на гіперзвуженій фотографічній пластині I-N, виставленій 29 вересня 1967 р. Телескопом Шмідта в обсерваторії Азіга. Ці галактики отримали назву Maffei-1 і Maffei-2. Наприклад, останні оновлені дані про Maffei-1 виглядають так: морфологія E3, сузір'я Кассіопеї, RA  $02^h36^m35.4^s$ , DEC  $+59^\circ39'19''$ , розмір  $75,000 \text{ Ly}$  ( $23,000 \text{ pc}$ ), радіальна швидкість  $V_r=66.4\pm 5.0$

km/s, відстань  $2.85 \pm 0.36$  Мрс, видима величина  $m_v = 11.14 \pm 0.06$ . розташований лише  $0.55^\circ$  від галактичної площини в середині ZoA і страждає від поглинання приблизно на  $4.7^m$  (коефіцієнт длизько  $1/70$ ) у видимому діапазоні. Якби не було цього поглинання, це була б однією з найбільших і яскравіших еліптичних галактик на небі (близько  $3/4$  розміру повного Місяця).

Рентгенівський спектральний діапазон - відмінне вікно для вивчення великомасштабної структури в ZoA, оскільки Чумацький Шлях є прозорим для жорсткого випромінювання. Оскільки рентгенівська світність приблизно пропорційна масі скупчення галактик як  $L_x \propto M^{3/2}$  чи  $M^2$ , в залежності від все ще невизначеного закону масштабування між рентгенівською світністю і температурою (див. розділ 4 цього звіту, статтю Babyk & Vavilova, 2012), масивні скупчення, приховані Чумацьким Шляхом, спостерігаються в рентгенівському діапазоні. Цей метод є особливо привабливим, оскільки скупчення насамперед містять галактики раннього типу, які неможливо побачити ускладі інфрачервоних оглядів неба.

Непрямі методи полягають у застосуванні математичного моделювання та методів виявлення даних для заповнення ZoA, а також для визначення гравітаційного потенціалу найближчих галактик, щоб прогнозувати положення галактик та систем галактик у районі поглинання Чумацького Шляху. Тепер також велика увага приділяється техніці машинного навчання.

Неоднорідна розподілена маса речовини в ZoA, що оточує Місцеву Групу, може спричинити незбалансованість тяжіння до Місцевої Групи (МГ) у одному напрямку. Очікувана швидкість Місцевої Групи може бути розрахована як сума гравітаційних сил від усіх відомих галактик МГ. Незважаючи на те, що результуючий вектор лежить в межах  $20^\circ$  від спостережуваного космічного фонового диполя, розрахунки залишаються дуже неоднозначними, частково тому, що галактики в ZoA не враховуються.

Отже, до цих пір аналіз просторового розподілу галактик та їх систем у районах, що оточують зону уникнення Чумацькому шляху, залишається

складною і невирішеними проблемою, а також оцінка "невидимого" вмісту розподілу галактик в просторі, що є затемнені цією зоною поглинання. Останні успішні результати, засновані на огляді 2MASS Таллі-Фішера та огляді HI, представлені у роботах Саїда та співав., де також застосовується оптимізоване відношення Таллі-Фішера, дозволяє точно вимірювати відстані до галактик та власних швидкостей галактик в області, що не охоплена пиловою зоною поглинання.

Ми використали каталог 2MFGC для дослідження великомасштабних потоків на основі співвідношення Таллі-Фішера (TFR). У каталозі представлено 18020 галактик, виділених з джерел інфрачервоного дослідження неба 2MASS XSC. Більшість галактик у каталозі - це спіральні галактики пізніх морфологічних типів, диски яких видно майже з ребра. У 2006 році було створено зразок галактик  $N = 3074$  2MFGC з відомими швидкостями обертання галактики та радіальними швидкостями, необхідними для побудови TFR. Для 2724 галактик були визначені та опубліковані їхні індивідуальні відстані та власні швидкості на основі багатопараметричних інфрачервоних TFR. Дипольний рух галактик цього зразка відносно космічного мікрохвильового випромінювання характеризується швидкістю  $V = 199 \pm 37$  км / с у напрямку  $l = 304^\circ \pm 11^\circ$ ,  $b = -8^\circ \pm 8^\circ$ . За останні 10 років кількість галактик 2MFGC з необхідними даними значно зросла (понад 3750 таких галактик у базі даних HyperLEDA). Метою цієї роботи є перегляд ранніх результатів з урахуванням нових даних та використання основних даних TF (швидкості обертання та радіальних швидкостей) лише з бази даних HyperLEDA. Використання цієї бази даних гарантує уніфікований підхід до взаємного перерахунку ширини 21-см радінліна та аналогічний з точки зору максимальної швидкості обертання.

Ще однією причиною для перегляду попередніх результатів є поява списку "помилкових" об'єктів серед галактик 2MFGC. Каталог 2MFGC був автоматично вибраний з 1,64 мільйонів об'єктів каталогу 2MASS XSC. Як виявилось, XSC містила "помилкові" об'єкти, які були перенесені в каталог 2MFGC. Ми



виключили "помилкові" об'єкти з розгляду. Ми обмежуємось порівнянням лише "старих" та "нових" параметрів дипольного компонента поля швидкості. Ми пропонуємо провести розгляд вищих мультиполю на нову вибірку в іншій роботі. Нові параметри дипольного колективного руху на основі нової вибірки галактик 3173 галактик 2MFGC: колективна швидкість  $V = 267 \pm 36$  км/с у напрямку  $l = 308^\circ \pm 8^\circ$ ,  $b = -16^\circ \pm 6^\circ$ .

## 7.2 ЗОНА УНИКНЕННЯ МОЛОЧНОГО ШЛЯХУ: РЕКОНСТРУКЦІЯ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

*Неповнота даних і методи відновлення даних.* Сучасний підхід у вирішенні проблеми неповноти даних полягає у використанні спостережень галактик та їх систем, що оточують ZoA, для реконструкції відсутньої інформації в ній. Дослідження слід проводити в рамках обмеженого моделювання Місцевого Всесвіту і, на відміну, від звичайної космологічної симуляції, ці симуляції мають обмеження на початкові умови, обмежені спостережними даними. Таким чином, ці спостереження можуть торкнутися або власних радіальних швидкостей галактик, або каталогів червоного зміщення.

Існуючі незацікавлені зони в масштабах, порівнянні з розміром досліджуваної зони, можуть серйозно впливати на вивчення властивостей галактики та місцевого середовища. У цьому випадку необхідний метод локального та детермінованого відновлення відсутніх даних [Cusciati 2006]. Для реконструкції малих масштабів широко застосовуються такі методи, як пряме клонування, [хвильковий аналіз, кластерний аналіз, рандомізоване клонування об'єктів у незайманих областях або застосування фільтрації Вінера, мозаїка Вороного. Кусіатті зі співавторами запропонували два алгоритми, які використовують фотометричне червоние зміщення обраних галактик та «призначають» червоні зміщення на основі спектроскопічних червоних зміщень найближчих галактик. Вінерський фільтр, застосований у цій роботі, був дуже

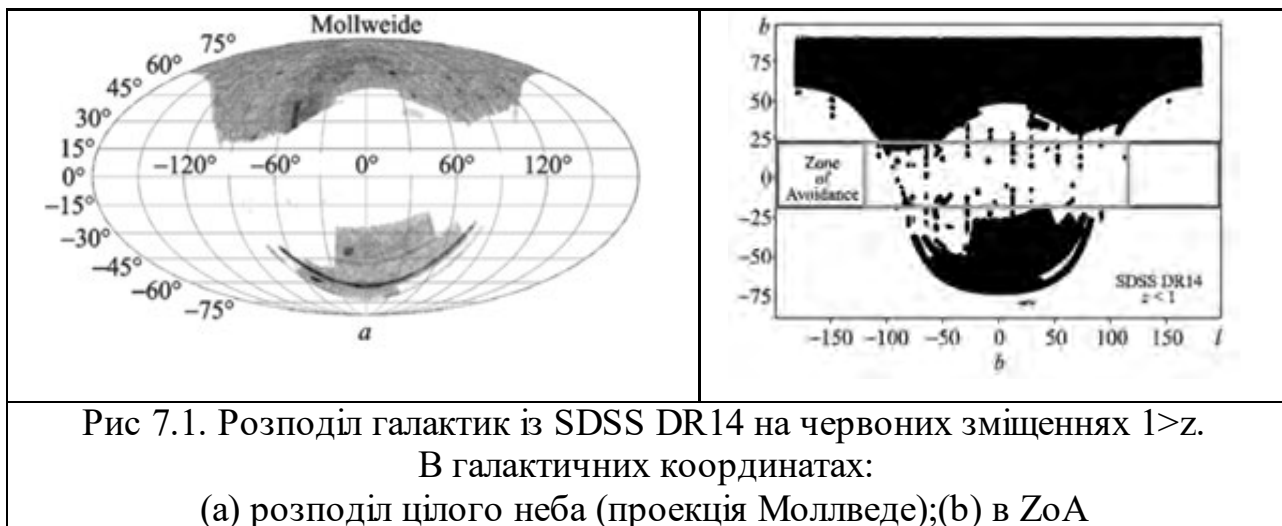
ефективним і для реконструкції поля безперервного щільності замість окремих положень галактик. Це байєсовський метод з основними припущеннями про те, що як розподіл поля надщільності, так і ймовірність спостереження галактик розподіляються гаусовим законом. Реальний розподіл щільності реконструюється шляхом максимізації за формулою Байєса. Ці методи можуть чітко відокремити підгрунття від надлишкових областей на масштабах  $5 h^{-1} \text{Mpc}$  – при помірних червоних зміщеннях  $0.5 < z < 1.1$ , що важливо для досліджень космічної дисперсії та малонаселених галактичних систем.

**Генеративні адвекториальні нейронні мережі для відновлення пошкоджених астрономічних зображень та спостережних оглядів.** Оптичні спостереження об'єктів обмежені випадковими та систематичними шумами від детектора, системи телескопів та фону неба. При цьому зображення з телескопа можна інтерпретувати як згортку реального зображення з функцією розповсюдження точки (PSF) та деяким шумом. Теорема про вибірки Шеннона-Найквіста демонструє межі техніки деконволюції для поліпшення спостережуваних образів [40]. З іншого боку, при деконволюції немає єдиного рішення. Шавінський та співавтори оцінювали можливість відновити штучно деградовані зображення з високим шумом краще, ніж проста деконволюція. Вони запропонували використовувати state-of-the-art методи машинного навчання, а саме Глибоке Навчання - Генеруюча змагальна мережа (GAN). У випадку зображень галактики, коли ми знаємо, як вони повинні виглядати, ця інформація може бути корисною для прийняття рішень, вибираючи серед багатьох рішень.

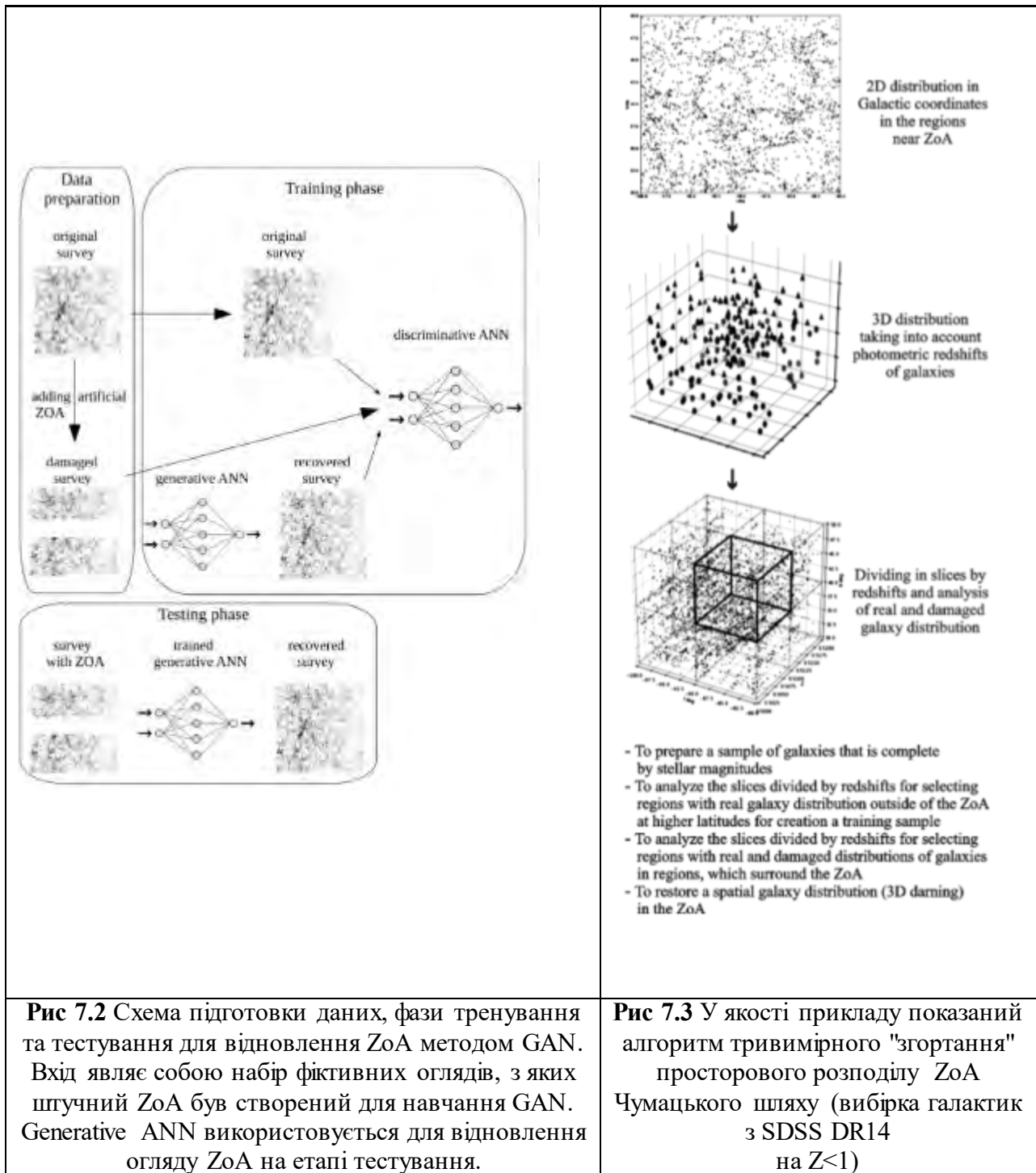
**Застосування методу «Генеруюча змагальна мережа» для реконструкції Зони уникнення.** Ми запропонували застосувати метод GAN до вибірки галактик з SDSS DR14 (загальний розподіл галактик при червоних зміщеннях  $1 > z$  показаний на рис.7.1 (а), розподіл галактик в ZoA показаний на рис.7.1 (b)). Загальна схема метод GAN до заповнення ZoA показана на рисунку 7.2. Основною проблемою з розподілом галактики цілого неба є те, що у нас є

лише унікальний зразок розподілу галактик, тобто лише один набір для навчання. Ми не можемо використовувати набір багатьох зображень для навчання, ймовірно, в рамках описаного вище методу. Вирішення може полягати в тому, щоб підготувати макетні каталоги з чисельного моделювання, які відтворюють цільову вибірку. У цьому випадку ми можемо генерувати якомога більше пар - реальних зі спостереження та спостереження з ZoA. Крім того, положення в області ZoA може бути рандомізованим у полі зору.

Мета генеративної штучної нейронної мережі (ANN) полягає у спробі створення галактичних розподілів та їх властивостей в ZoA з латентного простору особливостей. У той же час, дискримінаційна мережа порівнює отримане зображення з реальним і оцінює, наскільки це реально. Генеративна мережа створює кращі обстеження з ітерацією, а дискримінаційний стає більш досвідченимою при маркуванні синтетичних. Таким чином система автоматично вивчає складні функції втрат без попереднього визначення.



**"Алгоритм штовки ZoA"** для розділення реальних позагалактичних спостережень (наприклад, SDSS або 2MASS або майбутнього огляду LSST) на слайси за червоним зміщенням, зоряними величинами, координатами та іншими параметрами для формування навчального зразка наведено на рис. 7.3. Щоб



застосувати алгоритм, ми повинні підготувати вибірку галактик, що оточують ZoA, який є повним за зоряною величиною. Щоб отримати 3D-просторовий розподіл галактик у цьому зразку, ми повинні отримати їхні фототометричні червоні зміщення та розділити цей зразок на скибочки за координатами з урахуванням космологічних параметрів. Кожна з цих фрагментів буде містити

реальний розподіл та пошкоджене зображення (частина зони ZoA), для якого буде виконуватись заживання. Попередній крок, як працює алгоритм і відновлює розподіл галактик, повинен бути проведений та випробуваний з підвбірками реальних галактик, вибраних з незруйнованих областей. Інформація про морфологічну класифікацію галактик буде корисною на цьому етапі і може бути отримана іншою методикою машинного навчання про застосування методу "випадкових лісів" для отримання бінарної морфологічної класифікації (ранні та пізні типи ) або трійкова класифікація, яка вимагає знань про колірні показники та фотометрію галактик). Будуть також задіяні інші методи виявлення даних, такі як візуалізація даних, карта що самоорганізується, класифікація, байєсівський аналіз, а також моделі 3D-друку.

### **7.3 СЕРЕДНЯ ПРОЗОРІСТЬ МІЖГАЛАКТИЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДАНИМИ $L\alpha$ -ЛІСУ У СПЕКТРАХ КВАЗАРІВ**

В останні два десятиліття розвитку астрономічних досліджень зайшла мова про *“еру надточної космології”*. Цьому сприяла поява масштабних оглядів червоних зміщень галактик і квазарів (SDSS, 2dF, 6dF та ін.) із розподілу матерії у Всесвіті; результати космічних місій COBE, WMAP, Planck із розподілу анізотропії температури реліктового випромінювання; нові дані про динаміку розширення Всесвіту зі спостережень наднових типу Ia і піку баріонних акустичних осциляцій у розподілі галактик; створення потужних інформаційно-комп’ютерних технологій, що дозволило робити складні чисельні моделювання еволюції Всесвіту для різних космологічних моделей. На сьогодні більшість космологічних параметрів, зокрема стала Габбла, параметри густини баріонної та темної матерії, визначаються з точністю  $\approx 1\%$  або краще.

Згідно з теоретичними моделями утворення великомасштабної структури Всесвіту розпочалося із гравітаційного зростання первинних збурень густини матерії у Всесвіті, що розширювався. Формування цих структур, тобто темп їх

розвитку, залежить від значень космологічних параметрів на різних етапах еволюції Всесвіту, наприклад від величини середньої густини речовини у Всесвіті. Тому для дослідження еволюції структур у Всесвіті важливо знати точні значення космологічних параметрів та первинний склад Всесвіту. На сьогодні вважається, що газ у міжгалактичному середовищі є залишком тієї речовини, з якої в минулому формувалися галактики та великомасштабна структура Всесвіту в цілому, тому його дослідження є важливими для визначення космологічних параметрів.

Одним із потужних методів дослідження міжгалактичного середовища (МГС) є так званий  $L\alpha$ -ліс (Лайман-альфа ліс) у спектрах квазарів. Вважається, що флуктуації густини матерії можна визначити з флуктуації прозорості основного компонента міжгалактичного нейтрального середовища – нейтрального водню,  $\text{H I}$  – в лінії  $L\alpha$ . Одним із основних джерел неточностей цього методу дослідження є визначення рівня континууму в спектрах квазарів. Під “континуумом” у цьому випадку розуміють весь початковий спектр квазара (неперервний спектр разом із власними лініями випромінювання) до поглинання в міжгалактичному середовищі. Від точності визначення континууму залежить точність визначення величини прозорості міжгалактичного нейтрального водню, відносно якої визначаються флуктуації прозорості. За двоточковими статистиками розподілу флуктуацій прозорості визначаються відповідні функції для флуктуацій густини матерії, з яких у подальшому визначаються космологічні параметри для відповідних космологічних моделей.

Для досягнення високої точності визначення величини прозорості міжгалактичного нейтрального водню, перш за все, необхідно провести аналіз вже існуючих методів визначення континууму у спектрах квазарів, щоб визначити їх переваги та порівняти результати, отримані за їхньою допомогою. Також актуальним завданням залишається створення нового методу визначення континууму, який буде базуватися на однотипності спектрів квазарів, наприклад на схожості спектрів за спектральним індексом та світністю.

*Аналіз існуючих та розробка нового методу обчислення середньої прозорості.* У звітний період було виконано дослідження залежності величини прозорості міжгалактичного нейтрального водню від червоного зміщення з використанням нового методу визначення континууму в спектрах квазарів на основі нової вибірки із десятого випуску Слоанівського цифрового огляду неба (SDSS DR10). На сьогоднішній день  $L\alpha$ -ліс у спектрах квазарів є одним із потужних методів дослідження міжгалактичного середовища.  $L\alpha$ -ліс - це набір ліній поглинання нейтрального водню H I у короткохвильовій частині спектру від лінії випромінювання  $L\alpha$ , який утворюється за рахунок поглинання випромінювання квазара в міжгалактичному середовищі на різних червоних зміщеннях вздовж променя зору між квазаром та спостерігачем. Обчислюючи довжини хвиль та інтенсивність кожної лінії поглинання з  $L\alpha$ -лісу, можна відтворити розподіл густини міжгалактичного нейтрального водню, а отже, і всієї матерії на позагалактичних масштабах.

Узагальнення результатів вимірювання величини прозорості міжгалактичного нейтрального водню,  $F(z)$ , отриманих різними авторами, свідчить, що прозорість МГС в лінії  $L\alpha$  близька до одиниці в межах  $z < 1$ , потім спадає з червоним зміщенням і на  $z \approx 5$  знов виходить на асимптоту, наближаючись до нуля. Великий розкид точок є результатом того, що для обчислення  $F(z)$  використовуються дані з різних наземних і космічних телескопів (спектри різного розділення) та різні методи обробки, наприклад різні методи визначення континууму в спектрах квазарів.

Величина середньої прозорості міжгалактичного нейтрального середовища  $\langle F(z) \rangle$  визначає середню густину нейтрального водню для даного червоного зміщення  $z$ . Відносно неї обчислюють флуктуації величини прозорості, які характеризують флуктуації матерії. Точність флуктуацій, а отже, і двоточкових статистик їх розподілу залежить від точності визначення величини  $\langle F(z) \rangle$ . Одним із основних факторів, який впливає на точність визначення  $\langle F(z) \rangle$  є

точність визначення дійсного рівня континууму (тобто відтворення первинного спектру квазара до поглинання його світла в МГС) у спектрах окремих квазарів. На сьогодні не існує стандартизованої методики визначення рівня континууму в області  $L\alpha$ -лісу в спектрах квазарів. Всі методи визначення континууму в області  $L\gamma$ -лісу можна умовно розділити на два основних. Перший - метод проведення континууму “руками”, який полягає у виборі на око найбільш вільних від поглинання частин спектру та з’єднання їх за допомогою інтерполяційних поліномів. Другий - метод екстраполяції континууму у вигляді степеневого закону з довгохвильової області з різними значеннями спектрального індексу. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки, які неодноразово обговорювалися в різних роботах, але в жодній роботі не було проведено чисельної оцінки різниці величин  $F(z)$ , які були отримані з використанням різних методів визначення континууму.

Під час дослідження було проведено порівняльний аналіз визначення  $\langle F(z) \rangle$  для різних методів визначення континууму. Отриманий результат показує, що величини, одержані методом визначення континууму “руками”, систематично вищі, ніж отримані з екстрапольованого континууму, при цьому різниця зростає від 5% при  $z = 2$  до 33% при  $z = 4.5$ . На жаль, порівняння цих методів при більших червоних зміщеннях є неможливим, оскільки при  $z \approx 4$  в області  $L\alpha$ -лісу неможливо виділити непоглинені частини спектру через високу щільність ліній, яка призводить до так званого ефекту “корита Гана–Петерсона” при  $z \div 5 - 6$ . Обробка даних вибірок спектрів квазарів та проведення континууму дозволило обчислити значення середньої прозорості, похибки були обчислені як середньоквадратичне відхилення.

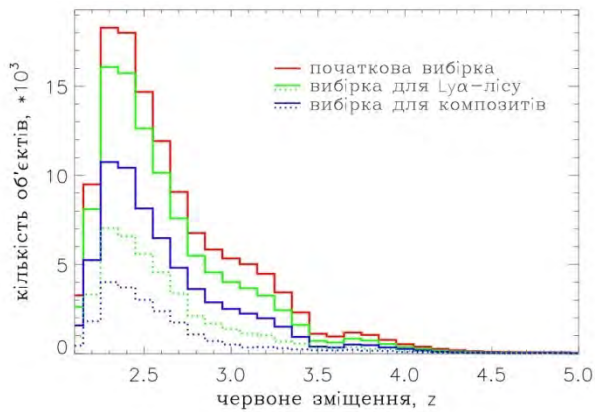
**Спектральні характеристики досліджуваної вибірки квазарів на основі композитних спектрів.** Дослідження частини УФ-оптичного піка в спектрах квазарів у діапазоні 121.0–145.0 нм на основі композитних спектрів містило перевірку наявності ефекту Болдвіна (обернена залежність між еквівалентною шириною лінії випромінювання та світністю об’єкта) в спектрах



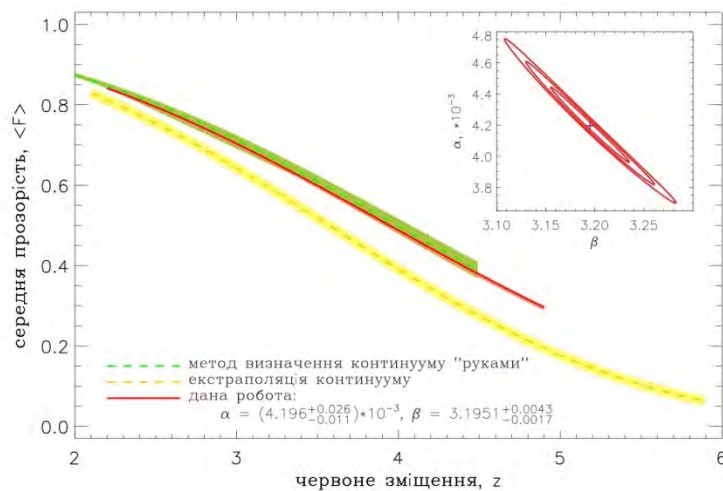
квazarів, а також залежностей “еквівалентна ширина \_ спектральний індекс спектру”, “спектральний індекс - світність” та “маса надмасивної чорної діри  $M_{\text{BH}}$  - спектральний індекс”. Композитні спектри для цього дослідження були створені на основі вибірки спектрів квazarів, яка була скомпонована з 3535 одиночних спектрів із загальнодоступного сьомого видання SDSS DR7 у діапазоні червоних зміщень  $2.3 < z < 4.6$  (рис. 7.4). Композитні спектри, або композити, - це усереднені спектри об’єктів певного класу. Головна ідея створення таких спектрів полягає у збільшенні відношення сигнал/шум (S/N), що дозволяє “побачити” (тобто детектувати з певною достовірністю) деталі, які неможливо виділити в одиночних спектрах окремих об’єктів через низьке значення S/N. Процес створення композитів складається з таких кроків, як відбір одиночних спектрів, визначення їх червоного зміщення, зсув спектрів у лабораторну систему відліку, нормування спектрів (в залежності від світності об’єкта), перебінування (із заданим кроком) та усереднення спектрів.

Іншими словами, метод визначення континууму з використанням композитних спектрів, створених за підвибірками з близькими значеннями спектрального індексу та близькими значеннями монохроматичної світності. Даними для дослідження слугувала репрезентативна вибірка спектрів квazarів із SDSS DR10. На сьогодні існує два основні методи визначення континууму: метод визначення континууму “руками” та екстраполяція континууму, які мають певні недоліки та обмеження у використанні. Гарною альтернативою цим двом методам можуть стати методи, які базуються на однотипності спектрів квazarів, так звані методи аналізу основних компонентів та різні методики використання композитних спектрів. Недолік останніх полягає в тому, що зазвичай використовуються композити, створені без урахування деяких спектральних та фотометричних характеристик, які суттєво різняться від спектру до спектру, наприклад відомий ефект Болдвіна. Також одними із головних спектральних характеристик, що відрізняються в різних спектрах квazarів, є спектральний індекс у довгохвильовій області від лінії  $L\alpha$  та світність об’єкта. Як уже

відмічалось, для композитів, які використовувалися для визначення континууму, необхідно робити підвибірку не тільки за спектральним індексом, але і за світністю, щоб краще врахувати профілі ліній випромінювання. Окремі результати дослідження подано на рис. 7.4 і 7.5.



**Рис. 7.4** Розподіл об'єктів за червоним зміщенням з а) початкової вибірки (червоний), б) вибірок для дослідження області Ly $\alpha$ -лісу (зелений) та в) створення композитів (синій). Додатково представлено вибірки після візуального відбору (синя та зелена суцільна лінія) та з середньоквадратичним відхиленням не більше 10% (синій та зелений пунктир).



**Рис. 7.6** Залежність середньої прозорості від червоного зміщення для досліджуваної вибірки (червоний), отримана на основі методу визначення континууму за допомогою композитних спектрів в порівнянні з іншими методами. Зеленим та жовтим представлені оптимальні апроксимації з  $1\sigma$ -похибкою для результатів, одержаних на основі методу визначення континууму “руками” та методу екстраполяції континууму з довгохвильової частини спектру від лінії Ly $\alpha$  відповідно.

## **8 РОЗВИТОК ПЛОТНОГО ПРОЕКТУ ОБ'ЄДНАНОЇ БАЗИ СПОСТЕРЕЖНИХ ДАНИХ НА ПОРТАЛІ УКРВО ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСТУПУ ДО АСТРОІНФОРМАЦІЙНОГО ФОНДУ УКРВО**

### **8.1 Зоряний каталог FONAC:**

#### **фінальна версія київської частини проекту ФОН**

У 1990-х роках, коли в світі почалася реалізація ідей цифровий астрономії, робоча група IVOA (Міжнародний альянс віртуальних обсерваторій) і MAC ініціювала роботу по складанню каталога архівів астронегативів (Catalogue of Wide-Field Plate Archives, <http://www.skyarchive.org/catalogue.html>, WFPDB - архів ширококутних скляних бібліотек) за даними ~ 200 астрономічних обсерваторій / інститутів світу, підготовлених відповідно до розроблених цією групою форматом подачі даних з метою їх оцифровки. Сформована в процесі виконання програми ФОН база даних пластинок стала основою для створення WFPDB-архіву ГАО і включення його в світову базу спостережних даних в складі Об'єданого цифрового архіву УкрВО. Розвиток інформаційних технологій і модернізація парку комп'ютерних потужностей зробила можливими повну оцифровку пластинок ФОН, їх обробку та отримання даних всіх зареєстрованих на пластинках об'єктів.

На початку 2000-х почалася масова оцифровка негативів з використанням комерційних сканерів, оснащених слайд-модулем. Цьому передували ретельні дослідження можливостей інструментів, які показали, що за використання адекватних методик сканування і розробці відповідного програмного забезпечення можна отримувати координати і блиск об'єктів з усією можливою для фотографічного матеріалу точністю. Для оцифровки пластинок ФОН були обрані дві моделі сканерів: Microtek ScanMaker 9800XL TMA і Epson Expression 10000XL. Початковий варіант обробки оцифрованого матеріалу передбачав спільне використання двох сканів кожної пластинки, розвернутих на 90 ° з метою виключення помилок сканера уздовж осі руху матриці, що істотно збільшувало

час роботи і обсяги інформації, що зберігається. За цим методом було отримано попередній варіант каталогу 15 млн. об'єктів, що містяться на пластинках ФОН.

## 8.2 Версія каталога FONAC 3.0

У процесі обробки оцифрованих зображень були розроблені вдосконалені алгоритми первинної обробки та редукції, що дозволили відмовитися від технології двох зображень і повністю виключити помилки сканування при обробці одного прямого скана без погіршення фінальної точності. Крім того, ці алгоритми дозволяли використовувати повне поле пластинки, що забезпечувало для 90% об'єктів не менше ніж 2-х кратне перекриття пластинок, а також виключати з фінальної обробки за непотрібністю зображення другої (короткої) експозиції. Пакет програм для обробки оцифрованих зображень і редукції вимірних координат і зоряних величин розроблений на основі стандартного пакета MIDAS / ROMAFOТ для CCD зображень і доповнений спеціалізованими модулями, що реалізують алгоритми обробки великих зіркових полів, обліку помилок сканера і геометрії зображення за даними опорного каталогу методом послідовних наближень (3-4 кроки) в положеннях об'єктів. Застосування цих алгоритмів для корекції первинних даних більш ніж в два рази знижувало помилки редукції в порівнянні з невідкоригованими значеннями і давало в середньому на 20% кращу точність у порівнянні з технологією двох зображень. Для остаточного варіанту каталогу FONAC були використані скани 2260 пластинок київської і кітабської зон, на яких зареєстровано 153 млн. об'єктів різної природи. В каталог включено 19 568 347 зірок і галактик до  $B \leq 16.5^m$  на епоху 1988.1. Кожен об'єкт, в середньому, отриманий на 4 пластинках, 1,8 млн. зір і галактик мають тільки по одному зображенню. Оцифровані зображення отримані в сірому 16-бітному діапазоні з роздільною здатністю 1200 dpi. Астрометрична редукція виконана в системі опорного каталогу Tycho-2 на епоху експонування пластинок. Фотометрична редукція виконана в систему

фотоелектричних  $B$ -величин, для чого використані фотоелектричні стандарти спеціалізованих каталогів. У зонах перекриття координати і зоряні величини об'єктів отримані як середньозважені з урахуванням ваг, отриманих для кожного об'єкта в результаті редуції окремих пластинок. Збіжність між отриманими координатами об'єктів і даними каталогу Tycho2 становить  $\sigma_{\alpha\delta} = \pm 0.06''$ , збіжність з фотоелектричними зоряними  $B$ -величинами дорівнює  $\sigma_B = \pm 0.15^m$ . Порівняння отриманого каталогу з UCAC-4 дало середньквдратические різниці  $\sigma_{\alpha\delta} = \pm 0.30''$ . Остаточний варіант каталогу доповнений також власними рухами і зоряними величинами  $f$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $r$ , і з каталогу UCAC-4.

Проміжні відомості про хід і результати створення каталога ФОН (а також час виконання робіт із застосуванням програмного забезпечення ФОН) доповідалися на конференціях Gamov-2014, Gamov-2015 року, Gamov 2016 (Одеса, Україна), Astroplate 2016 (Прага, Чехія) та інших конференціях. Каталог доступний на веб-сторінці ОЦА УкрВО (<ftp://ftp.mao.kiev.ua/pub/astro/fon-3.0/>) і в Страсбурзькому центрі астрономічних даних <ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/I/342>. На базі спостережного матеріалу програми ФОН для відпрацювання та тестування алгоритмів обробки були отримані часткові зоряні каталоги в зоні  $58\dots 90^\circ$  північної широти та  $60^\circ$  зони північної широти.

### **8.3 Розповсюдження каталогу FONAC на об'єкти до $16^m$ включно: північна близькополюсна зона (FONAC V3.0 CPR)**

Для близькополюсної зони ( $58\dots 90^\circ N$ ) програми ФОН був отриманий каталог положень та зоряних величин, в який включені всі зареєстровані на фотографічних пластинках небесні об'єкти. Каталог отриманий з обробки 477 пластинок. Оцифрування астронегативів виконане на двох комерційних сканерах: Microtek ScanMaker 9800XL TMA і Epson Expression 10000XL. Режим сканування — 1200 dpi, сірий діапазон, лінійні розміри пластинок — 30x30 см

або 13000x13000 пікселів. Каталог містить 1 975 967 зір та галактик з  $B \leq 16.5^m$  на епоху 1985.28. Положення об'єктів були отримані в опорній системі каталогу Tycho-2, зоряні величини  $B$ - в системі фотоелектричних стандартів. Внутрішня точність каталога для всіх об'єктів складає  $\sigma_{RA,DEC} = 230 \text{ mas}$  і  $\sigma_B = 0.12^m$  (для зірок в діапазоні зоряних величин  $B = 8^m \dots 14^m$  відповідні помилки складають  $\sigma_{RA} = 110 \text{ mas}$  і  $\sigma_B = \pm 0.06^m$ ). Збіжність між обчисленими та опорними значеннями положень складає  $\sigma_{RA,DEC} = 60 \text{ mas}$  (для 171 124 з каталога Tycho-2), Збіжність з фотоелектричними зоряними величинами  $B$  дорівнює  $\sigma_B = \pm 0.15^m$  (для 5130 зір). Зовнішня оцінка точності виведена з порівняння з каталогом UCAC-4 і становить  $\sigma_{RA,DEC} = \pm 330 \text{ mas}$  (взаємо-ідентифіковано 1 928 367 об'єктів двох каталогів). Каталог FONAC V3.0 CPR доступний на сайті ([http://ukr-vo.org/VOtable/FONAC/FONAC\\_CPR.zip](http://ukr-vo.org/VOtable/FONAC/FONAC_CPR.zip)) та Страсбурзького центру даних.

#### **8.4 Зоряні каталоги на порталі УкрВО та організація доступу до них**

Обидва зоряні каталоги FONAC V3.0 і FONAC V3.0 CPR розміщені на сервері баз даних ОЦА УкрВО та в ftp-архіві цього ж серверу. Доступ до каталогів можливий або по ftp-протоколу, або за допомогою форми пошуку даних на порталі УкрВО <http://ukr-vo.org/science/index.php?b2&2> [Рис.8.1]. Результати пошуку виводяться в текстовій формі на екран. Є можливість побудування зоряних мап по вибраних даних (Рис. 4.2). На цьому-ж сервері розміщені каталоги положень великих та малих тіл Сонячної системи <http://gua.db.ukr-vo.org/starcatalogs.php> разом з галереями зображень, за якими вони були отримані (Рис. 8.3).

**YOUR REQUEST TO FONAC AND ITS ENHANCEMENTS:**

**CATALOGUE:** FONAC V3.0 G

FONAC V3.0  
FONAC V3.0.Circumpolar  
FONAC V1.0

**RIGHT ASCENSION, DECLINATION, DEG:**  
examples for both fields: 12.34567; 02 03 05.5

**SIZE OF SEARCH REGION, RA,DEC,DEG:**  
rectangular area; if only one value - square area;  
default and maximum value - 10 degrees

**DOWN TO MAGNITUDE:**  

**OUTPUT FILE FORMAT:**  TEXT  VOTABLE

**BUILD STAR MAP:**

Search

Рис. 8.1 HTML-форма для пошуку даних в двох версіях каталогу FONAC (1 і 3) і в каталозі FONAC V3.0 CPR.

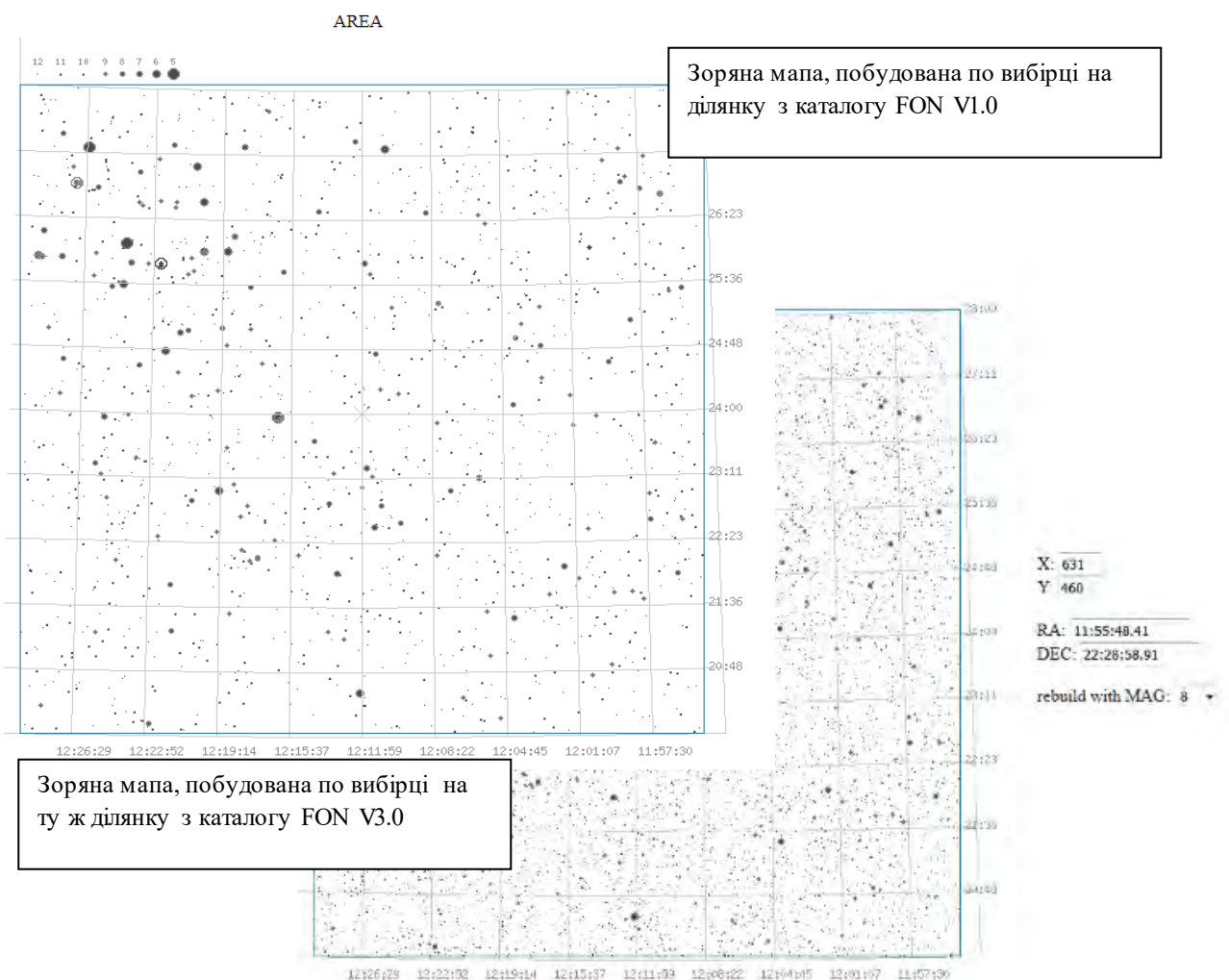


Рис. 8.2 Візуалізація наповнення двох версій каталогу FONAC по побудованих зоряних мапах на одну і ту ж ділянку неба.

**DATABASE of JOINT PLATE ARCHIVE (DBGPA V2.0)**

OUTPUT PREFERENCES SEARCH PLATES: FIELD OVERLAP OBJECTS BY IDs OR NUMBERS STAR CATALOGUES GUIDES SPECIALS

**Photographic Survey of the Northern Sky** (Фотографічний огляд Північного неба - ФОН)

**Astrometric and Photometric Catalogues for researches in stellar kinematics** (Астрометричні та фотометричні каталоги для зоряно-кінематичних досліджень)

**Catalogues of Astrometric Positions and Photometric Stellar Magnitudes of SS Bodies** (Каталоги астрометричних положень та фотометричних зоряних величин тіл Сонячної системи)

*Yizhakevych O., Andruk V., Pakuliak L. The Catalogue of Topocentric positions of Saturn's moons, obtained from photographic observations in 1961-1990 at MAO NASU.*

*V. Golovnya, E. Izhakevich, I. Kulyk, S. Major, S. Shatokhina The catalogue of astrometric positions of Mars, Phobos and Deimos.*

*O. Yizhakevich, I. Kulyk, S. Major, S. Shatokhina Catalogue of astrometric positions of the satellites of Saturn, Uranus, and Neptune at 1990 opposition.*

*I. Kulyk, K. Jockers, N. Karpov, A. Sergeev Positions of the inner Jovian moons.*

*I. Kulyk, K. Jockers Photometric magnitudes of the small inner Jovian moons.*

*V. V. Golovnya, S. P. Major Positions of selected minor planets, obtained from photographic observations.*

*S. P. Major and R. L. Semerenko Astrometric observations of the martian moons Phobos and Deimos.*

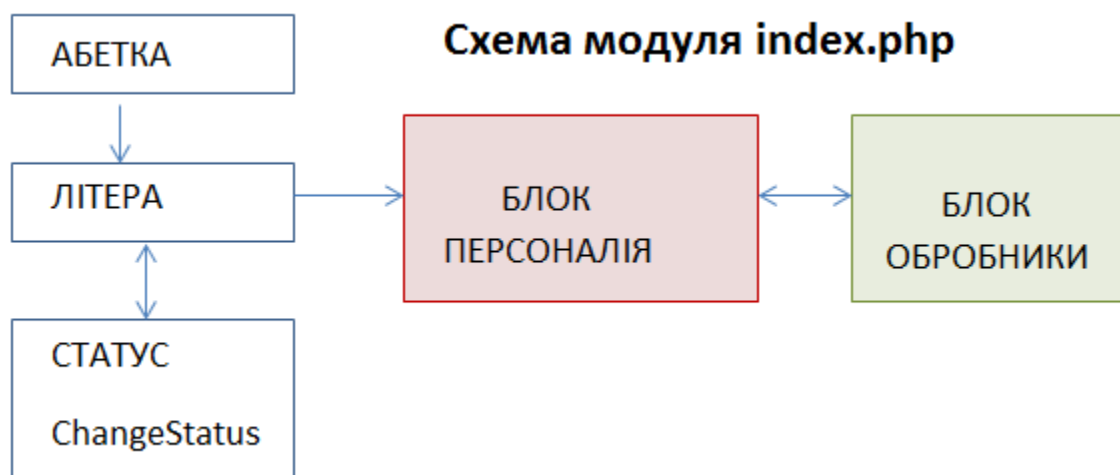
*S. V. Shatokhina Astrometric positions of the external planets and their moons.*

**Catalogues of Positions and Orbital Elements of Geosynchronous Satellites** (Каталоги орбітальних елементів геосинхронних небесних об'єктів)

L.Pakuliak. Questions, remarks and proposals

Рис. 8.3 Сторінка зоряних каталогів та каталогів тіл Сонячної системи з галереями зображень на сайті баз даних ОЦА УкрВО.

Модулі скриптів: **Index.php**: основний модуль. Забезпечує додавання персоналії, редагування та додавання даних персоналії, редагування переліку доступних для перегляду персоналій.





## 8.5 Адміністративний модуль бази даних «Астрономи України» на порталі УкрВО

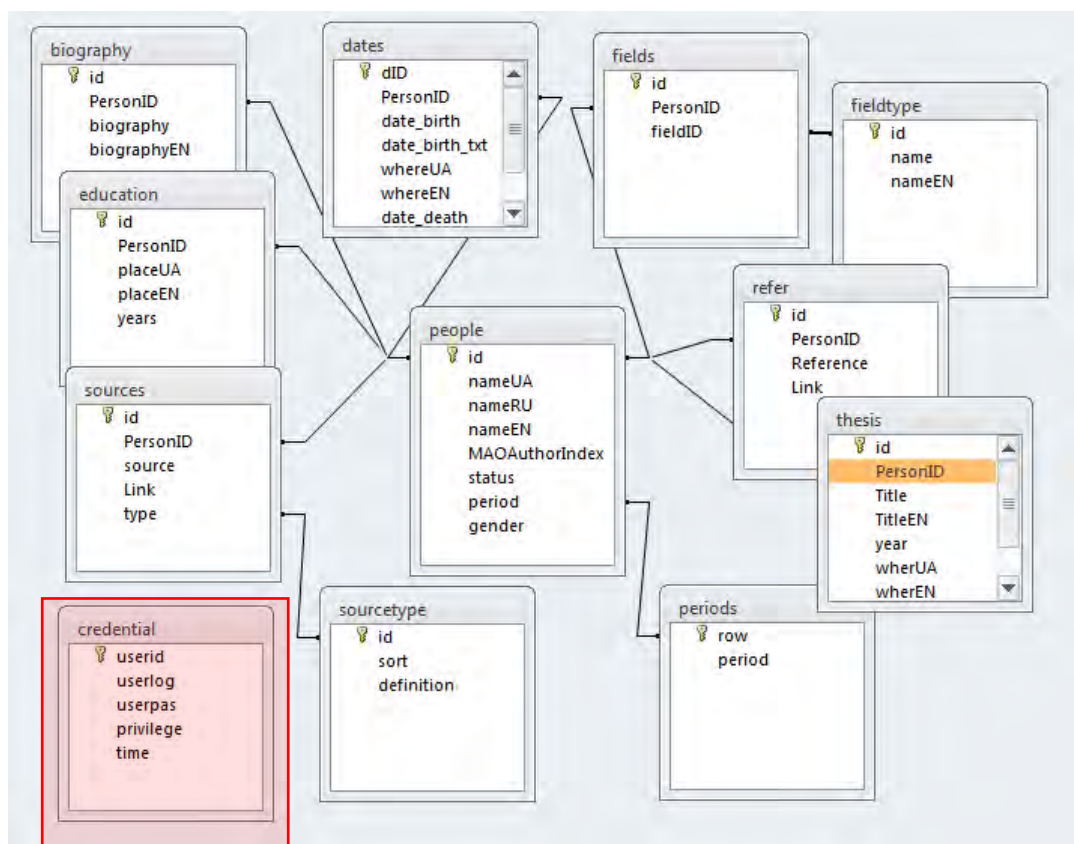
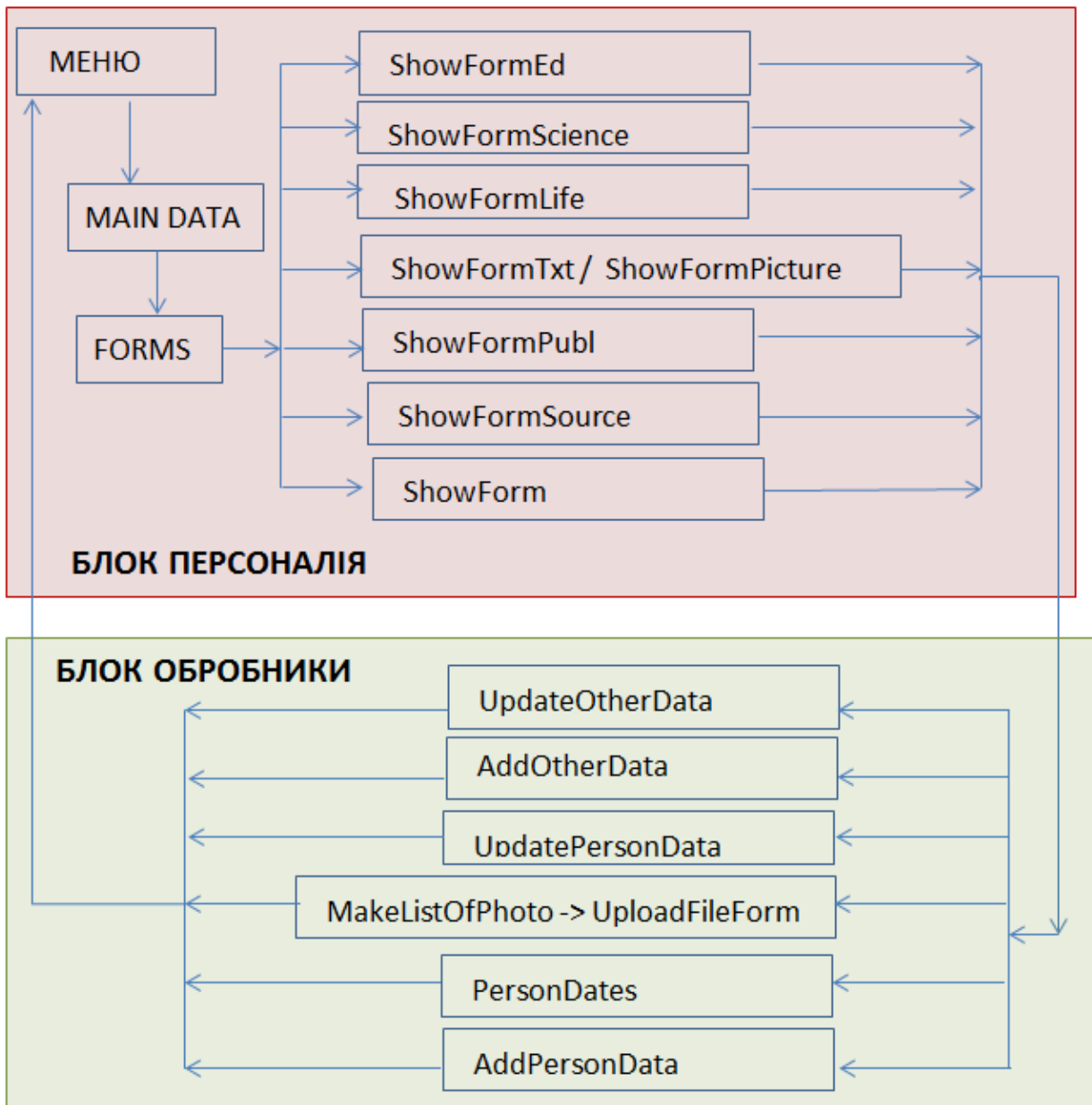


Рис. 8.4 Схема прямих зв'язків бази даних «Personalities». Для більш гнучкого оперування контентом попередньо створеної бази даних (БД) «Астрономи України» було змінено структуру БД на більш оптимальну. Замість однієї таблиці, що містила всі дані персоналій, структура БД складається з 11 основних таблиць (відношень, в термінології реляційних баз даних) з розподіленням інформації за типами даних і однієї таблиці авторизації для встановлення рівнів доступу до даних. Схему бази даних і зв'язки між відношеннями наведено на Рис. 8.4



**Askaccess.php:** модуль авторизації.

**FileUp.php:** модуль завантаження файлів зображень.

**CreatePrev.php:** модуль створення мініатюри зображення.

**Delrow.php:** модуль видалення записів в таблицях бази даних.

На даний момент на сайті УкрВО представлений варіант бази даних, який можна переглянути в алфавітному порядку з першої сторінки (<http://ukr-vo.org/personalities/index.php?b&6>). Скріншоти функціональних сторінок адміністративного інтерфейсу наведені в Додатку УкрВО. Адміністративний

інтерфейс дозволяє редагувати поточний склад бази даних, доступний для перегляду користувачу, шляхом активації/деактивації потрібних записів бази даних (Рис. 10 Додатку УкрВО ). На Рис.11 Додатку наведений приклад сторінки персоналії на сайті УкрВО. В базу вносяться такі дані щодо персоналії: біографія, назви атестаційних робіт і дати захисту (магістерські, кандидатські і докторські дисертації), публікації з посиланнями на електронні варіанти в форматах pdf, doc, djvu, html тощо винаходи і технічні розробки, фотографії з коментарями, якщо вони є, списки електронних та друкованих джерел біографічних даних.

Дані формуються на двох мовах: українській та англійській. В активному контексті планується можливість видачі, в залежності від варіанту вибору персоналії по періоду початку наукової діяльності особистості (зазвичай він визначається роком закінчення вищого навчального закладу), по статі і по вченому званню ( і в тому числі і відомих астрономів-любителів і вчених-астрономів , які не мають вченого звання). База даних на кінець 2018 року містить 1387 персоналії, 1100 біографічних сторінок, 5 тис. джерел, 8 тис. публікацій. Для загального перегляду база даних відкрита частково.

## **8.6 База даних «Астрономи України» на порталі УкрВО: матеріали про персоналії та з історії астрономії**

Виконавцями виконано дослідження з історії прадавньої астрономії на теренах України, а саме, проаналізовано археологічні знахідки

1) епохи палеоліту з метою систематизації даних про прадавні астрономічні календарі; більшість із цих знахідок зберігаються в Національному музеї України та в Природничому музеї в Києві, у колекції Інституту археології НАН України, Історичному музеї м. Полтава;

2) епохи енеоліту, з метою опису прадавніх астрономічних обсерваторій на сучасних теренах України та опису прадавніх астрономічних календарів, що

збереглися у розписах предметів побуту; більшість із цих знахідок зберігаються в Національному музеї України, у колекції Інституту археології НАН України, колекціях трипільської і черняхівської культур; такими, що можуть бути підтверджені як прадавні астрономічні обсерваторії, розташовані в АР Крим біля Бахчисараю та у Львівській і Запорізькій областях.

Виконано дослідження з історії розвитку наукових шкіл академіка АН УРСР М.П. Барабашова (планетологія) і члена-кореспондента АН УРСР В.П. Цесевича (фізика змінних зір), а також з історії вивчення гравітаційних хвиль за роботами вчених, які працювали над цією тематикою у 1930-1980-х роках в установах України. Особливою частиною роботи було дослідження інтелектуальної еміграції українських вчених, у т.ч. астрономів, на початку ХХІ ст. Виконано дослідження з історії становлення позагалактичної астрономії, а саме про фундаторів цієї галузі науки, про роботи щодо розвитку наших уявлень про структуру Галактики і Місцевої групи галактик та про перші фотографічні огляди неба.

### **8.7 Методи обробки зображень на ПЗЗ-кадрах та астронегативах з метою пошуку та опрацювання положень планет і малих тіл Сонячної системи**

У ГАО НАН України розроблена методика опрацювання оцифрованих зображень і накопичений великий досвід використання Об'єднаного Цифрового Архіву УкрВО. Фотографічні спостереження минулих періодів ХХ ст. залишаються важливим джерелом інформації про малі тіла Сонячної системи для заповнення положеннями їх ранніх опозицій та фотометричних оцінок блиску в міжнародних базах даних. Сучасний підхід до переопрацювання ранніх спостережень з використанням нових цифрових технологій вимірювань і обробки забезпечує досить високу точність положень. Це може бути ефективним особливо для малоспостережуваних у ті часи астероїдів, або тих, що відкриті значно пізніше і фотографічні платівки для яких – єдине джерело інформації у попередній до моменту відкриття час.

Завершено цифрову обробку фотографічних платівок програми ФОН, за матеріалами якої складено каталог зір північної небесної півкулі. Результати обробки 93 платівок 8 зони ФОН ( $\alpha = 0h \div 24h$ ,  $\delta = +4^\circ \div +12^\circ$ ) використані для масового пошуку астероїдів. Астероїди ідентифіковані на 66 платівках. Для цих платівок середня квадратична похибка редукції одного положення становить 0.097 і 0.093 arcsec по прямому сходженню і схиленню відповідно, а по зоряній величині 130. На сканах ідентифіковано 130 астероїдів, 157 астрометричних положень і В-величин яких зібрано в каталог. Отримані всі астероїди із зоряною величиною від 7.<sup>m</sup>8 до 15.<sup>m</sup>7, за середній час експозиції 20 хв для платівок ФОН можна стабільно отримати всі астероїди до 14.<sup>m</sup>3 зоряної величини. Зазвичай усі ідентифіковані астероїди належать до Main belt. Виключення становлять тільки 748 і 2204, що належать до сімейств Hilda і Mars crosser. Серед усієї кількості отриманих астероїдів є такі, що спостерігались в часи, які передували моменту їх відкриття. Це – астероїди 14691 і 6475. Окрім них, є спостереження, які виконані поблизу років відкриття астероїда або в той проміжок часу, де недостатня кількість спостережень за даними MPC. Це – астероїди 3767, 3509, 1817, 5363, 3478 (див. таблицю 8.7.1). Для кожного з них за архівами даних УкрВО і обсерваторії в Балдоне (Латвійський університет) виконано пошук можливих їх інших спостережень. Знайдено кілька десятків платівок, що відповідають одночасно моменту, місцезнаходженню на платівці і прийнятній для телескопа зоряній величині астероїда.

Це дає можливість одночасно визначити, які з небесних тіл можуть стати небезпечними космічними об'єктами, а також оцінити ймовірність їх зіткнення або тісного зближення з Землею. Регулярні спостереження таких об'єктів забезпечать уточнення їх орбіт і стійкість прогнозів щодо їх подальшої поведінки. З цією метою за звітний період виконані дослідження з розробки нових методів обробки зображень на ПЗЗ-кадрах та астронегативах з метою пошуку та опрацювання положень малих тіл, планет і їхніх супутників у Сонячній системі. Отримані дані становлять самостійну цінність з точки зору

теорії походження Сонячної системи, зміни динаміки тіл Сонячної системи у процесі їхньої еволюції та інших завдань сучасної космогонії.

Зокрема, у 2018 році здійснено пошук зображень астероїдів та комет на платівках програми ФОН-Душанбе, що були на той час опрацьовані (<http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/html/multisat/nssephme.htm>) Визначено координати для 104 астероїдів та 1 комети. Для трьох нульових зон програми ФОН-00 (Душанбе, Кітаб, ГАО) виконано порівняння узгодженості між спостереженнями та теорією (О-С) для однойменних астероїдів. Виконувалися роботи по упорядкуванню Об'єднаного цифрового архіву (ОЦА) УкрВО: додані повнорозмірні оцифровані зображення у графічному форматі TIFF близько 5 тис. пластинок колекції Симеїзького архіву фотографічних спостережень малих тіл Сонячної системи 1909-1920 років. Підготовлені метадані 887 пластинок 1909-1915 років цієї колекції у форматі WFPDB (Wide-Field Plate Database, [vizier.u-strasb.fr/cats/VI.htm](http://vizier.u-strasb.fr/cats/VI.htm)) та розміщені в базі даних Болгарського Центру Обробки Даних (<http://www.skyarchive.net>).

Також опрацьовано фотографічні спостереження планет Сонячної системи з колекції платівок Астрономічного інституту Академії наук Республіки Узбекистан (UBAI). Спостереження були виконані у 1895-2004 роках за допомогою двох Астрографів TNA та DAZ. Обчислено 50 положень Урана, Нептуна, Плутона та супутників Сатурна в єдиній опорній системі Tycho2 за новою технологією. Точність редукції становить 0.08–0.13 arcsec. Порівняння з Ефемеридними даними інституту ІМССЕ (<http://lnfm1.sai.msu.ru/neb/nss/nssephmr.htm>) свідчать про хороше узгодження з теорією.

Потужне програмне забезпечення CoLiTec (Collection Light Technology) для автоматичного виявлення малих небесних об'єктів (наприклад, астероїдів) на серії ПЗЗ-кадрів (<http://www.neoastrosoft.com>), розроблений В. Савановичем з колегами. Ядром цього програмного забезпечення є новий ітераційний метод, заснований на субпіксельній гауссовій моделі зображення дискретного об'єкта для оцінки координат небесного тіла. Цей метод працює з неперервними

параметрами (координатами об'єкта) в окремому спостережному просторі (множина піксельних потенціалів) ПЗС-кадру. У цій моделі розподіл координат фотонів, що потрапляють на піксель ПЗС-кадру, априорно відомі, тоді як асоційовані параметри визначаються з реального зображення цифрового об'єкта. Метод є гнучким у пристосуванні до будь-якої форми зображення об'єкта, він має високу точність вимірювання поряд з адаптовано низькою розрахунковою складністю. Порівняльний аналіз обробки тих самих кадрів за допомогою CoLiTec і програмного забезпечення Astrometrica говорить про те, що в разі низьких співвідношень сигнал / шум, стандартне відхилення позиційних ПЗС-вимірів за допомогою програмного забезпечення Astrometrica становить на 30-50% більше, ніж у програмного забезпечення CoLiTec. Від 2010 року – CoLiTec було встановлено на декількох обсерваторіях світу з метою автоматичного встановлення відкриття астероїдів і комет на ПЗС-кадрах.

Зауважимо, що з використанням цього програмного забезпечення було відкрито чотири комети C / 2010 X1 (Elenin), P / 2011 NO1 (Elenin), C / 2012 S1 (ISON) і P / 2013 V3 (Невський) і більше 1500 малих тіл Сонячної системи було відкрито. У 2014 році це програмне забезпечення було рекомендовано всім користувачам мережі Gaia-FUN-SSO для аналізу спостережень як інструмент для виявлення слабких рухомих об'єктів на ПЗС-кадрах. Група CoLiTec також розробила новий інструмент для калібрування астрономічних зображень FrameSmooth як крос-платформенний модуль для вирівнювання яскравості програмного забезпечення CoLiTec. Це дозволяє обробляти зображення з будь-якими форматами. Модуль заснований на фільтрі для вирівнювання яскравості, зворотній медіані та нелінійних високочастотних фільтрах. Модуль підтримує додаткові астрономічні майстер-кадри (Bias, Dark, DarkFlat і Flat), а також додано режим OLDAS та інструменти для перетворення зображень у відповідний формат (див. детальніше <http://www.neoastrosoft.com/>).

## Частина 2

### ВИСНОВКИ

Виконано дослідження динамічної еволюції подвійних надмасивних чорних дір (НМЧД) у системах без газу при злитті галактик з рівними масами. Використовуючи пряме N-тільне моделювання з роздільною здатністю до двох мільйонів частинок на спеціальному багатоядерному кластері GPU laohu у НАОС, було розраховано значення подій ПР зірок НМЧД та їх варіації з динамічною еволюцією подвійних НМЧД. Типова відстань між компонентами НМЧД при злитті галактик коливається від  $r_{\text{ВН}} \approx 200 r_h$  до  $\approx 2 \times 10^{-3} r_h$ . Подвійні НМЧД перебувають під впливом навколишнього обертання галактики, що дозволило дослідити: (1) зміну кута нахилу орбіти подвійної НМЧД; (2) ефект обертання ядра; і (3) зміну початкових орбітальних ексцентриситетів НМЧД. У контрротаційних моделях виявлено, що ексцентриситет подвійної НМЧД сильно залежить від проекції вектора моменту імпульсу у подвійній галактиці. Кутовий момент сильніше у моделях з нахилом, в яких подвійні системи контрротаційні до зірок, таким чином, площина подвійної системи повертається до більш коротаційної орієнтації. З урахуванням цієї обставини можна очікувати, що подвійні НМЧД в реальних галактиках будуть переважно коротаційними.

Виявлено, що кінематика центральної галактики в першу чергу відповідає за характеристичну поведінку подвійної системи. Проте, знайдено, що центр маси подвійної НМЧД може потрапляти на орбіту значно далеко за межі центру щільності галактики, що має спостережливі наслідки, а саме, може ускладнити дослідження подвійної АЯГ. Для джерел-хазяїнів LISA-подібних НМЧД часові шкали злиття знаходяться у діапазоні від 40 млн. років до 500 млн. років.; в той час як ці часові шкали значно менші, ніж час Габбла, тобто найдовша шкала часу злиття відбудеться задовго після злиття галактики. Це може означати, що зв'язування рівня злиття НМЧД з показниками злиття галактик за спостереженнями вимагатиме нетривіальної статистичної корекції для масштабів



злиття НМЧД і може ускладнити спостережні кампанії для визначення циклів активності в АЯГ. Теоретичне розуміння демографічних показників НМЧД від гідродинамічного моделювання та напів-аналітичних моделей потребує врахування цих відносно довгих коефіцієнтів за часом при активації зворотного зв'язку АЯГ та зростання маси НМЧД. Проте ця затримка в часових масштабах злиття може бути корисною для обсерваторій, які моніторять джерела у пошуках гравітаційних хвиль, таких як LISA, оскільки ці джерела будуть гучними при потенційному злитті НМЧД.

Робота охоплює дослідження в широкому спектрі електромагнітних хвиль від інфрачервоного діапазону до гамма-випромінювання, на масштабах від Місцевого Всесвіту до червоного зміщення  $z = 2$ . Розроблено алгоритми та програмне забезпечення, яке може бути використане для обробки майбутніх позагалактичних оглядів з космічних та наземних телескопів для уточнення космологічних параметрів Всесвіту. Були створені нові алгоритми виділення космічних войдів та агломератів галактики. Розроблено шукач войдів, який показує кращі результати за існуючі аналоги, а саме динамічний шукач войдів на основі апроксимації Лагранжа-Зельдовича, який показує значно надійніші результати, ніж аналогічні класичні шукачі. Виділено войди і гіпервойди в Місцевому Всесвіті. Виявлено, що карликові галактики у войдах перебувають неглибоко під поверхнями войдів, до 6 Мпк, та уникають їхніх центральних частин.

До вибірки галактик, складеної на основі SDSS DR9 ( $0.02 \leq z < 0.1$  і  $modelMag_r < 17.7$ ) був застосований 3D-метод мозаїки Вороного з метою визначення щільності оточення галактик вибірки. При цьому, галактики вибірки були розділені на дві групи: яскраві центральні з  $M_r \leq -20.7$  ( $N = 124\,292$ ) та слабкі галактики-супутники  $M_r > -20.7$  ( $N = 137\,786$ ). Щоб уникнути ефектів селекції, пов'язаних зі зменшенням кількості слабких галактик з червоним зміщенням, метод мозаїки Вороного був застосований до вибірки центральних галактик. Щільність оточення галактик ми характеризували зворотним об'ємом

комірки Вороного  $1/V$ . На порівняно малих червоних зміщеннях до  $z < 0.1$  простежується тенденція еволюційного зменшення ранніх типів галактик (з пригніченим зореутворенням) зі збільшенням червоного зміщення. Ці результати підтверджують, що частка червоних масивних галактик в сучасну епоху ( $z \sim 0$ ) істотно вища, ніж в більш ранні епохи.

Розроблені та протестовані програмні комплекси демонструють високу ефективність програм моделювання гравітаційної взаємодії багатьох частинок. Використання програмних інструментів OpenCL дозволяє використовувати однаковий код на багатьох різноманітних апаратних прискорювачах. При цьому ефективність OpenCL не поступається рідним інструментам для кожної платформи (CUDA та ін.), дозволяючи запускати один і той же код на різних платформах. Універсальність та відкритість OpenCL дозволяє об'єктивно порівнювати ефективність прискорювачів від різних виробників, вибираючи найліпші варіанти ціна/швидкодія. Співробітники ГАО давно використовують для астрофізичного моделювання різноманітні апаратні засоби. Вибір ефективного обладнання напряму впливає на результат наукової діяльності, дозволяючи бути на вістрі технічного прогресу при досить обмеженому фінансуванні. Результати тестувань та досліджень в даній роботі можуть стати у нагоді іншим науковим колективам при виборі ефективного інструментарію для проведення моделювань та розрахунків.

Продовжені роботи з наповнення і оптимізації баз даних контенту порталу УкрВО. Зокрема, виконана обробка повного спостережного фотографічного архіву програми ФОН і створено низку великих зоряних каталогів. В процесі обробки оцифрованих зображень були розроблені вдосконалені алгоритми первинної обробки та редукції, що дозволили відмовитися від технології двох зображень і повністю виключити помилки сканування при обробці одного прямого скана без погіршення фінальної точності. Ці алгоритми дозволяли використовувати повне поле пластинки, що забезпечувало для 90% об'єктів не менше ніж 2-х кратне перекриття пластинок, а також виключати з фінальної

обробки за непотрібністю зображення другої (короткої) експозиції. Пакет програм для обробки оцифрованих зображень і редукції вимірних координат і зоряних величин розроблений на основі стандартного пакета MIDAS / ROMAFOТ для CCD зображень і доповнений спеціалізованими модулями, що реалізують алгоритми обробки великих зіркових полів, обліку помилок сканера і геометрії зображення за даними опорного каталогу методом послідовних наближень (3-4 кроки) в положеннях об'єктів. Застосування цих алгоритмів для корекції первинних даних більш ніж в два рази знизило помилки редукції в порівнянні з невідкоригованими значеннями і дало в середньому на 20% кращу точність у порівнянні з технологією двох зображень. Отриманий каталог (FONAC V3.0) містить 1965 млн об'єктів до  $B \leq 16.5m$  з позиційною точністю  $\sigma_{\alpha\delta} = \pm 0.30''$  і фотометричною точністю  $\sigma_B = \pm 0.15m$ . Доступ до каталогу та пошук даних реалізовані на порталі УкрВО. База даних "Астрономи України" на поточний момент налічує більше 1300 осіб. Проведено оптимізацію бази даних та створений адміністративний інтерфейс для наповнення даними та моніторингу поточного стану БД. Доступ до перегляду бази даних реалізовано на сторінках portalу УкрВО.

За матеріалами науково-дослідної роботи опубліковано 162 роботи у реферованих виданнях, у тому числі розділи в іноземних монографіях і збірниках праць; 4 монографії і 1 підручник для студентів ВУЗів. Виконавцями теми захищено 4 кандидатські дисертації (Бабик Ю.В., Василенко А.А., Добричева Д.В., Торбанюк О.О.). Серед виконавців теми – лауреати премії імені Є.П. Федорова НАН України за 2015 рік (Вавилова І.Б., Пакуляк Л.К.), лауреати Державної премії України в галузі науки і техніки за 2014 рік (Берцик П.П., Вавилова І.Б., Караченцева В.Ю.).

### Перелік джерел посилання

1. Nadathur, S., Hotchkiss, S., Diego, J. M., et al. 2014, Self-similarity and universality of void density profiles in simulation and SDSS data. arXiv:1407.1295
2. Elyiv A., Marulli F., Pollina G., et al. Cosmic voids detection without density measurements 2015, MNRAS, 448, 642
3. Rintoul, M. D., & Torquato, S. Reconstruction of the Structure of Dispersions. 1997, J. Colloid Interface Sci., 186, 467
4. Neyrinck, M. C. ZOBOV: a parameter-free void-finding algorithm 2008, MNRAS, 386, 2101
5. Karachentsev I., Karachentseva V., Melnyk O., Elyiv A., Makarov, D. Low density structures in the local universe. I. Diffuse agglomerates. 2012, Astrophysical Bulletin, 67, 353
6. Elyiv A., Karachentsev I., Karachentseva V., Melnyk O., Makarov D. Low-Density Structures in the Local Universe. II. Nearby Cosmic Voids. 2013, Astrophysical Bulletin, 68, 1
7. Karachentsev I.D. Missing dark matter in the local universe. Astrophys. Bull., 2012, v.67, p.123-134.
8. Karachentseva V. E., Mitronova S. N., Melnyk O. V., Karachentsev I. D., Catalog of isolated galaxies selected from 2MASS survey Astrophys. Bull., 2010, vol. 65, pg. 1.
9. Véron-Cetty M. P., Véron P. A catalogue of quasars and active nuclei: 13th edition. 2010, A&A, vol. 518 pg. A10 (Véron+2010)
10. Chesnok, N.G. General properties of a sample of isolated galaxies containing active nucleus Kosm. nauka tehnol. 2010, 16(5):77-88
11. Pulatova, N.G.; Vavilova, I.B.; Sawangwit, U.; Babyk, Iu.; Klimanov, S. The 2MIG isolated AGNs - I. General and multiwavelength properties of AGNs and host galaxies in the northern sky. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 447, Issue 3, p. 2209-2223 (2015).
12. Melnyk O., Plionis M., Elyiv A. et al. Classification and environmental properties of X-ray selected point-like sources in the XMM-LSS field. AA– 2013. – 557. – id.A81. – 14 p.
13. Elyiv A., Clerc N., Plionis M. et al. Angular correlation functions of X-ray point-like sources in the full exposure XMM-LSS field. arXiv:1111.5982
14. Melnyk O., Plionis M., Elyiv A. et al. Classification and environmental properties of X-ray selected point-like sources in the XMM-LSS field. Astron. Astrophys. 2013. 557. id.A81.14 p
15. Elyiv A., Melnyk O., Finet F. et al. Gravitational lens candidates in the XMM-LSS field. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2013. – V. 434, P. 3305 – 3309
16. Elyiv A., Neronov A., Semikoz D. V., Gamma-ray induced cascades and magnetic fields in the intergalactic medium, Phys. Rev. D. – 2009, 80, 023010
17. Neronov A., Semikoz D., Kachelriess M., Ostapchenko S., Elyiv A. Degree-scale GeV "Jets" from Active and Dead TeV Blazars. ApJ. Journal Letters. – 2010, V. 719, L130-L133
18. Miniati F., Elyiv A. Relaxation of Blazar-induced Pair Beams in Cosmic Voids, ApJ, – 2013, 770, 1
19. Schlickeiser R., Elyiv A., Ibscher D., Miniati F. The pair beam production spectrum from photon-photon annihilation in cosmic voids. ApJ. – 2012, 758:101, 18 pp
20. White C., Rees S. Core condensation in heavy halos - A two-stage theory for galaxy formation and clustering. 1978, MNRAS, 183, 341-358
21. Dekel & Silk. The origin of dwarf galaxies, cold dark matter, and biased galaxy. 1986, ApJ, 303, 39-55

22. Kormendy et al. Supermassive black holes do not correlate with galaxy disks or pseudobulges. 2011, *Nature*, 469, 374-376
23. Tortora et al. AGN jet-induced feedback in galaxies - II. Galaxy colours from a multcloud simulation. 2009, *MNRAS*, 396, 61-77
24. Silk & Reese. Quasars and galaxy formation. 1998, *A&A*, 331, L1-L4
25. McNamara & Nulsen. Heating Hot Atmospheres with Active Galactic Nuclei. 2007, *ARA&A*, 45, 117-175
26. Booth & Schaye, Cosmological simulations of the growth of supermassive black holes. 2009, *MNRAS*, 398, 53-74
27. Salome et al., Jet-induced star formation in 3C 285 and Minkowski's Object. 2015, *A&A*, 574, A34
28. Starck J. L, Pantin N E. and Murtagh F. Deconvolution in Astronomy: A Review. 2002. *Publ. Astron. Soc. Pac.* vol. 114, is. 800, pp. 1051–1069
29. Schawinski K. et al. Generative adversarial networks recover features in astrophysical images of galaxies beyond the deconvolution limit. 2017. *Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* vol. 467, is. 1, pp. L110–L114.
30. Baldry, I. K.; Balogh, M. L.; Bower, R. G. et al. Galaxy bimodality versus stellar mass and environment. 2006, *MNRAS*, 421, 621
31. Mel'Nik O.V. Interacting galaxies in sparsely populated groups. 2006, *Astronomy Letters*, vol. 32, Issue 5, p.302-307
32. Dobrycheva, D. V.; Melnyk, O. V.; Vavilova, I. B.; Elyiv, A. A. Environmental Properties of Galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS via the Voronoi Tessellation. 2014. *Astrophysics*, 27, 26
33. Weinmann, Simone M.; van den Bosch, Frank C.; Yang, Xiaohu; Mo, H. J. Properties of galaxy groups in the Sloan Digital Sky Survey - I. The dependence of colour, star formation and morphology on halo mass. 2006. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 366, Issue 1, pp. 2-28.
34. Hartley, W. G.; Conselice, C. J.; Mortlock, A.; Foucaud, S.; Simpson, C. Galactic conformity and central/satellite quenching, from the satellite profiles of  $M^*$  galaxies at  $0.4 < z < 1.9$  in the UKIDSS UDS. 2015. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 451, Issue 2, p.1613-1636
35. Melnyk, O. V.; Dobrycheva, D. V.; Vavilova, I. B. Morphology and color indices of galaxies in Pairs: Criteria for the classification of galaxies. *Astrophysics*, Volume 55, Issue 3, pp.293-305, 2012
36. Cucciati, O., Iovino, A., Marinoni et al. The VIMOS VLT Deep Survey: the build-up of the colour-density relation. 2006. *Astron. Astrophys.* vol. 458, is. 1, pp. 39–52.
37. Kraan-Korteweg R. C. and Lahav O. The Universe behind the Milky Way. *Astron. Astrophys. Rev.* 2000. Vol. 10, No. 3. P. 211–261. DOI: 10.1007/s001590000011
38. Maffei P. My Researches at the Infrared Doors. *Mem. S. A. It.* 2003. Vol. 74, No. 1. P. 19–28.
39. Baldry I. K., Balogh M.L., Bower R.G. et al. Galaxy bimodality versus stellar mass and environment // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2009. – Vol. 373. – P. 469–483.
40. Baldry I. K., Glazebrook K., Brinkmann J. et al. Quantifying the Bimodal Color–Magnitude Distribution of Galaxies // *Astrophys. J.* – 2004. – Vol. 600. – P. 681–694.
41. Bamford S.P., Nichol R.C., Baldry I.K. et al. Galaxy Zoo: the dependence of morphology and colour on environment // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2009. – Vol. 393. – P. 1324–1352.
42. Blanton M.R., Eisenstein D., Hogg D.W. et al. Relationship between Environment and the Broadband Optical Properties of Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey // *Astrophys. J.* – 2005. – Vol. 629. – P. 143–157.

43. Chilingarian I., Zolotukhin I. A universal ultraviolet–optical colour–colour–magnitude relation of galaxies // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2012. – Vol. 419. – P. 1727–1739.
44. Chilingarian I., Melchior A.–L., Zolotukhin I. Analytical approximations of K–corrections in optical and near–infrared bands // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2010. – Vol. 405. – P. 1409–1420.
45. Cucciati O., Iovino A., Marinoni C. et al. The VIMOS VLT Deep Survey: the build–up of the colour–density relation // *Astron. Astrophys.* – 2006. – Vol. 458. – P. 39–52.
46. Dobrycheva D., Melnyk O., Elyiv A., Vavilova I. Environmental density of galaxies from SDSS via Voronoi tessellation // In: «The Zeldovich Universe: Genesis and Growth of the Cosmic Web», *Proc. of the IAU Symp.* 308 – 2016. – Vol. 308. – P. 248–249.
47. Dobrycheva D., Melnyk O., Elyiv A., Vavilova I. Morphology–density relation of galaxies from SDSS DR9 via Voronoi tessellation // VII International Scientific Conference in Honor of Bohdan Babiy (Lviv 7–10 October 2014). *Book of Abstracts.* – P. 30.
48. Dobrycheva D.V., Vavilova I.B. No the Holmberg Effect for Galaxy Pairs Selected from the SDSS DR9 at  $z \leq 0.06$  // *Odessa Astron. Publ.* – 2016. – Vol. 29. – P. 37–41.
49. Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B. and Elyiv A.A. Environmental Density vs. Colour Indices of the Low Redshifts Galaxies // *Astrophysics.* – 2015. – Vol. 58. – P. 168–180.
50. Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B. and Elyiv A.A. Environmental Properties of Galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS via the Voronoi Tessellation // *Odessa Astron. Publ.* – 2014. – Vol. 27 – P. 26–27.
51. Dobrycheva, D. V.; Vavilova, I. B.; Melnyk, O. V.; Elyiv, A. A. Machine learning technique for morphological classification of galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS // eprint arXiv:1712.08955 (2017)
52. Vavilova, I. B.; Ivashchenko, G. Yu.; Babyk, Iu. V.; Sergijenko, O.; Dobrycheva, D. V.; Torbaniuk, O. O.; Vasylenko, A. A.; Pulatova, N. G. The astrocsmic databases for multi-wavelength and cosmological properties of extragalactic sources // *Kosm. nauka tehnol.*-2015. – vol. 21. – Is. 5. – p. 94-107
53. Goto T., Yamauchi C., Fujita Y. et al. The morphology–density relation in the Sloan Digital Sky Survey // *Mon. Notic. R. Astron. Soc.* – 2012. – Vol. 346. – P. 601–614.
54. Hartley W.G., Conselice C.J., Mortlock A. et al. Galactic conformity and central/satellite quenching, from the satellite profiles of  $M^*$  galaxies at  $0.4 < z < 1.9$  in the UKIDSS UDS // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2015. – Vol. 451. – P.1613–1636.
55. Hogg D.W., Blanton M. R., Brinkmann J. et al. The Dependence on Environment of the Color–Magnitude Relation of Galaxies // *Astrophys. J.*, – 2004. – Vol. 601 – P. L29–L32.
56. Karachentseva V. E., Vavilova I. B. Clustering of Low Surface Brightness Dwarf Galaxies in the Local Supercluster // *Dwarf Galaxies, ESO Conference and Workshop Proceedings, Proceedings of an ESO/OHP Workshop on Dwarf galaxies, held at Observatoire de Haute–Provence, France, 6–9 September 1993, Garching: European Southern Observatory (ESO), 1994, edited by Georges Meylan and Phillippe Prugniel., P.91-100.*
57. Karachentseva V. E., Vavilova I. B. Clustering of low surface brightness dwarf galaxies. III. The Fornax cluster. // *Kin. Phys. Celest. Bodies.* – 1995. – Vol. 11. – P. 60–70
58. Kauffmann G., White S.D.M., Heckman T.M., et al. The environmental dependence of the relations between stellar mass, structure, star formation and nuclear activity in galaxies // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2004. – Vol. 353. – P. 713–731.
59. Kovac K., Lilly S. J., Knobel C., et al. zCOSMOS 20k: satellite galaxies are the main drivers of environmental effects in the galaxy population at least to  $z \sim 0.7$  // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2004. – Vol. 438. – P. 717–738.
60. Lindenbergh R. Limits of Voronoi Diagrams // *PhD Thesis.* – 2002. – Univ. Utrecht.

61. Matsuda T., Shima E. Topology of Supercluster–Void Structure // Progress of Theoretical Physics – 2012. – Vol. 71. – P. 855–858.
62. Mel'Nik, O. V. Interacting galaxies in sparsely populated groups // Astron. Lett. – 2006. – Vol. 32. – P. 302–307
63. Melnyk O.V., Dobrycheva D.V., Vavilova I.B. Morphology and color indices of galaxies in Pairs: Criteria for the classification of galaxies // Astrophysics. – 2012. – Vol. 55. – P. 293–305.
64. Park C., Choi Y.–Y. Morphology Segregation of Galaxies in Color–Color Gradient Space // Astrophys. J. – 2005. – Vol. 635. – P.7 L29–L32.
65. Peng Y.–J., Lilly S.J., Kovac K. et al. Mass and Environment as Drivers of Galaxy Evolution in SDSS and zCOSMOS and the Origin of the Schechter Function // Astrophys. J. – 2009. – Vol. 721. – P. 193–221.
66. Schawinski K., Urry C. M., Simmons B. D. The green valley is a red herring: Galaxy Zoo reveals two evolutionary pathways towards quenching of star formation in early– and late–type galaxies // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2014. – Vol. 440, Is. 1. – P. 889 – 907.
67. Schlegel D. J. Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds / Schlegel D. J., Finkbeiner D. P., Davis M. // Astrophys. J. – Vol. 500, Is. 2. – P. 525–553.
68. Scoville N., Arnouts S., Aussel H. et al. Evolution of Galaxies and Their Environments at  $z = 0.1–3$  in COSMOS // Astrophys. J. Suppl. – 2013. – Vol. 206. – P. id. 3, 1–26.
69. Tal T., Dekel A., Oesch P. et al. Observations of Environmental Quenching in Groups in the 11 GYR since  $z = 2.5$ : Different Quenching for Central and Satellite Galaxies // Astrophys. J. – 2014. – Vol. 789. – 164, 11 pp.
70. van den Bosch F. C., Aquino D., Yanget X. et al. The importance of satellite quenching for the build–up of the red sequence of present–day galaxies // Mon. Notic. Roy. Astron. – 2008. – Vol. 387, Is.1. – P. 79–91.

## Список публікацій виконавців

- 1) Wang, Long; Berczik, Peter; Spurzem, Rainer; Kouwenhoven, M. B. N., 2014, The Link between Ejected Stars, Hardening and Eccentricity Growth of Super Massive Black Holes in Galactic Nuclei. // *ApJ* -- 780, A164, (astro-ph/1311.4285).
- 2) Zhong, Shiyan; Berczik, Peter; Spurzem, Rainer, 2014, Super Massive Black Hole in Galactic Nuclei with Tidal Disruption of Stars. // *ApJ* -- 792, A137, (astro-ph/1407.3537).
- 3) Khan, Fazeel; Holley-Bockelmann, Kelly; Berczik, Peter, 2015, Ultramassive Black Hole Coalescence. // *ApJ* -- 798, A103, (astro-ph/1405.6425).
- 4) Zinchenko, Igor A.; Berczik, Peter; Grebel, Eva K.; Pilyugin, Leonid S.; Just, Andreas, 2015, On the Influence of Minor Mergers on the Radial Abundance Gradient in Disks of Milky-Way-like Galaxies. // *ApJ* -- 806, A267, (astro-ph/1504.07483).
- 5) Wang, Long; Spurzem, Rainer; Aarseth, Sverre; Nitadori, Keigo; Berczik, Peter; Kouwenhoven, M. B. N.; Naab, Thorsten, 2015, NBODY6++GPU: ready for the gravitational million-body problem. // *MNRAS* -- 450, 4070 -- 4080, (astro-ph/1504.03687).
- 6) Ernst, A.; Berczik, P.; Just, A.; Noel, T., 2015, Roche volume filling and the dissolution of open star clusters. // *AN* -- 336, 577, (astro-ph/1506.02862).
- 7) Zhong, Shiyan; Berczik, Peter; Spurzem, Rainer, 2015, Supermassive Black Holes in Galactic Nuclei with Tidal Disruption of Stars. II. Axisymmetric Nuclei. // *ApJ* -- 811, A22, (astro-ph/1508.02838).
- 8) Huang, Siyi; Spurzem, Rainer; Berczik, Peter, 2016, Performance analysis of parallel gravitational N-body codes on large GPU cluster. // *RA&A* -- Vol. 16, No. 1, art. id. 11, (astro-ph/1508.02510).
- 9) Long Wang, Rainer Spurzem, Sverre Aarseth, Mirek Giersz, Abbas Askar, Peter Berczik, Thorsten Naab, M.B.N. Kouwenhoven, 2016, The DRAGON simulations: globular cluster evolution with a million stars. // *MNRAS* -- 458, 1450 -- 1465, (astro-ph/1602.00759).
- 10) Gareth F. Kennedy, Yohai Meiron, Bekdaulet Shukirgaliyev, Taras Panamarev, Peter Berczik, Andreas Just, Rainer Spurzem, 2016, Star-disc interaction in galactic nuclei: orbits and rates of accreted stars. // *MNRAS* -- 460, 240 -- 255, (astro-ph/1604.05309).
- 11) Fazeel M. Khan, Davide Fiacconi, Lucio Mayer, Peter Berczik, Andreas Just, 2016, Swift coalescence of supermassive black holes in cosmological mergers of massive galaxies. // *ApJ* -- 828, art. id. 73, (astro-ph/1604.00015).
- 12) Polyachenko E.V., Berczik P., Just A., 2016, Modelling the Milky Way galaxy: global mode analysis. // *MNRAS* -- 462, 3727 -- 3738, (astro-ph/1601.06115).
- 13) Shuo Li, F.K. Liu, Peter Berczik, Riner Spurzem, 2017, Boosted Tidal Disruption by Massive Black Hole Binaries During Galaxy Mergers from the View of N-Body Simulation. // *ApJ* -- 834, art. id. 195, (astro-ph/1509.00158).
- 14) Sobolenko Margaryta, Berczik Peter, Rainer Spurzem, Gabor Kupa, 2017, Fast coalescence of post-Newtonian SMBH binaries in real galaxies. // *KFNT* -- 33, No. 1, p. 21 -- 37.
- 15) Polyachenko E.V., Berczik P., Just A., 2017, Bar formation in the Milky Way type galaxies. // *Baltic Astronomy* -- 25, No. 4, p. 411 -- 418, (astro-ph/1702.01646).
- 16) Moetazedian R., Polyachenko E.V., Berczik P., Just A., 2017, Effects of galaxy--satellite interactions on bar formation. // *A&A* -- 604, id. A75, 15 pp., (astro-ph/1703.06002).
- 17) Shukirgaliyev B., Parmentier G., Berczik P., Just A., 2017, Impact of a star formation efficiency profile on the evolution of open clusters. // *A&A* -- 605, id. A119, 13 pp., (astro-ph/1706.03228).
- 18) Mirza M. A., Tahir A., Khan F. M., Holley-Bockelmann H., Baig, A.M., Berczik P., Chishtie F., 2017, Galaxy rotation and supermassive black hole binary evolution. // *MNRAS* -- 470, 940 -- 947, (astro-ph/1704.03490).



- 19) Hong Jongsuk, de Grijs Richard, Askar Abbas, Berczik Peter, Li Chengyuan, Wang Long, Deng Licai, Kouwenhoven M.B.N., Giersz Mirek, Spurzem Rainer, 2017, The dynamical origin of multiple populations in intermediate-age clusters in the Magellanic Clouds. // MNRAS -- 472, 67 - 77, (astro-ph/1707.09153).
- 20) Hayasaki Kimitake, Zhong Shiyan, Li Shuo, Berczik Peter, Spurzem Rainer, 2018, Classification of Tidal Disruption Events Based on Stellar Orbital Properties. // ApJ -- 855, art. id. 129, 12 pp., (astro-ph/1802.06798).
- 21) Pilyugin L.S., Grebel E.K., Zinchenko I.A., Nefedyev Y.A., Shulga V.M., Wei H., Berczik P.P., 2018, Validity of abundances derived from spaxel spectra of the MaNGA survey. // A&A -- 613, id. A1, 19 pp., (astro-ph/1712.03418).
- 22) Panamarev Taras, Shukirgaliyev Bekdaulet, Meiron Yohai, Berczik Peter, Just Andreas, Spurzem Rainer, Omarov Chingis, Vilkoviskij Emmanuil, 2018, Star-disc interaction in galactic nuclei: formation of a central stellar disc. // MNRAS -- 476, 4224 -- 4233, (astro-ph/1802.03027).
- 23) Piskunov A.E., Just A., Kharchenko N.V., Berczik P., Scholz R.-D., Reffert S., Yen S.X., 2018, Global survey of star clusters in the Milky Way. VI. Age distribution and cluster formation history. // A&A -- 614, id. A22, 11 pp., (astro-ph/1802.06779).
- 24) Khan Fazeel Mahmood, Berczik Peter, Just Andreas, 2018, Gravitational wave driven mergers and coalescence time of supermassive black holes. // A&A -- 615, id. A71, 9 pp., (astro-ph/1803.11394).
- 25) Shukirgaliyev Bekdaulet, Parmentier Geneviève, Just Andreas, Berczik Peter, 2018, The Long-term Evolution of Star Clusters Formed with a Centrally Peaked Star Formation Efficiency Profile. // ApJ -- 863, art. id. 171, 13 pp., (astro-ph/1807.04755).
- 26) Khan, Fazeel M.; Capelo, Pedro R.; Mayer, Lucio; Berczik, Peter, 2018, Dynamical Evolution and Merger Timescales of LISA Massive Black Hole Binaries in Disk Galaxy Mergers. // ApJ -- 868, art. id. 97, 11 pp., (astro-ph/1807.11004).
- 27) Khoperskov, Sergey; Di Matteo, Paola; Gerhard, Ortwin; Katz, David; Haywood, Misha; Combes, Françoise; Berczik, Peter; Gomez, Anita, 2018, The echo of the bar buckling: phase-space spirals in Gaia DR2. // A&A Letters, accepted, (astro-ph/1811.09205).
- 28) Arca Sedda Manuel, Berczik Peter, Capuzzo-Dolcetta Roberto, Fragione Giacomo, Sobolenko Margaryta, Spurzem Rainer, 2018, Supermassive black holes coalescence mediated by massive perturbers: gravitational waves emission and the Milky Way - Andromeda fate. // MNRAS, accepted, (astro-ph/1712.05810).
- 29) Александров А.Н., Вавилова И.Б., Жданов В.И., Жук А.И., Кудря Ю.Н., Парновский С.Л., Федорова Е.В., Яцків Я.С. Общая теория относительности: признание временем. – Киев: Наукова думка, 2015, 332 с.
- 30) Яцків Я.С., Александров О.М., Вавилова І.Б., Жданов В.І., Жук О.І., Кудря Ю.М., Парновський С.Л., Федорова О.В., Хміль С.І. Загальна теорія відносності: горизонти випробувань. – Київ: ГАО НАН України, 2014, 264 с.
- 31) Кудря Ю.М., Вавилова І.Б. Позагалактична астрономія. Книга 1. Галактики: основні фізичні властивості. – Київ: Наукова думка, 344 с. (2016)
- 32) Karachentsev, I.D., Karachentseva, V.E., Nasonova, O.G. Motions of Galaxies in the Bootes Strip// Astrophysics, Vol.57, p. 457 (2014)
- 33) Nasonova, Olga G., Karachentsev, Igor D., Karachentseva, Valentina E. Structure and kinematics of the Bootes filament//2014arXiv1410.0044
- 34) Karachentseva, V.E., Melnyk, O.V., Karachentsev, I.D. Star Formation Rates in Nearby Markarian Galaxies // Astrophysics, Vol.57, p. 1(2014)
- 35) Melnyk, O., Mitronova, S. Colours of isolated galaxies selected from the Two-Micron All-Sky Survey// Mon.Not. of R.A.S., Vol. 438, p. 548 (2014)
- 36) Melnyk O., Karachentseva V., Karachentsev I. Star formation rates in isolated galaxies selected from the Two-Micron All Sky Survey// Mon.Not. of R.A.S., Vol. 451, p. 1482 (2015)

- 37) Tully, R. Brent, Libeskind, Noam i., Karachentsev, Igor D., Karachentseva Valentina E, Rizzi, Luca, Shaya Edward J. Two Planes of Satellites in the Centaurus A Group// *Astrophys.J.*, Vol. 802L, p.25 (2015)
- 38) Karachentsev, I.D.,Nasonova O.G., Karachentseva, V.E. VizieR Online Data Catalog: Galaxies in Leo/Cnc region// 2015yCatp033007001K
- 39) Karachentsev, I.D., Nasonova, O.G., Karachentseva, V.E. Large-scale structure and galaxy motions in the Leo/Cancer constellations// *Astrophysical Bulletin*, 2015, volume 70, p. 1.
- 40) Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N., Karachentsev I.D., Makarov D.I., Melnyk O.V. Ultra-flat galaxies selected from RFGC catalog.I. The sample properties // *Astrophysical Bulletin*, 2016, volume 71, p. 1.
- 41) Makarov D.I., Sharina M.E., Karachentseva V.E., Karachentsev I.D. 6-m telescope observations of three dwarf spheroidal galaxies with very low surface brightness // *Astron. Astrophys.* , Vol. 581A, p. 82
- 42) Karachentsev, I. D.; Makarova, L. N.; Tully, R. B.; Rizzi, L.; Karachentseva, V. E.; Shaya, E. J. DDO 161 and UGCA 319: an isolated pair of nearby dwarf galaxies // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, Volume 469, Issue 1, p.L113-L117 (2017)
- 43) Karachentsev, I. D.; Kashibadze, O. G.; Karachentseva, V. E. VizieR Online Data Catalog: Galaxies in Hercules-Bootes region // *VizieR On-line Data Catalog: J/other/AstBu/72.111*. Originally published in: 2017AstBu..72..111K (2017)
- 44) Karachentsev, I. D.; Kashibadze, O. G.; Karachentseva, V. E. Nearby groups of galaxies in the Hercules-Bootes constellations // *Astrophysical Bulletin*, vol. 72, issue 2, pp. 111-121 (2017)
- 45) Melnyk, O. V.; Karachentseva, V. E.; Karachentsev, I. D. Ultra-flat galaxies selected from RFGC catalog. III. Star formation rate // *Astrophysical Bulletin*, Volume 72, Issue 1, pp.1-15 (2017)
- 46) Karachentsev, I. D.; Makarova, L. N.; Sharina M.E.; Karachentseva,V. E.; KDG 218, a nearby ultra-diffuse galaxy// *Astrophysical Bulletin*, 2017, volume 72, p. 176
- 47) Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N. Ultra-flat galaxies selected from RFGC catalog. II. Orbital estimates of halo masses// *Astrophysical Bulletin*, 2017, volume 71, p. 129.
- 48) Kashibadze, O. G., Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Surveying the Local Supercluster plane. *Astrophys. Bull.*-2018.- v. 73, p. 124-141
- 49) Вавилова І.Б. Гравітаційне червоне зміщення: перевірка ефекту в наземних і космічних експериментах. *Косм. наука технол.*, 23, 6, с. 70-77 (2017).
- 50) Pulatova, N.G.; Vavilova, I.B.; Sawangwit, U.; Babyk, Iu.; Klimanov, S. The 2MIG isolated AGNs - I. General and multiwavelength properties of AGNs and host galaxies in the northern sky. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 447, Issue 3, p. 2209-2223
- 51) Vavilova, I.B.; Ivashchenko, G.Yu.; Babyk, Yu.V.; Sergijenko, O.; Dobrycheva, D.V.; Torbaniuk, O.O.; Vasylenko, A.A.; Pulatova, N.G. The astrocsmic databases for multi-wavelength and cosmological properties of extragalactic sources. // *Kosm. nauka tehnol.*, vol. 21, issue 5, p. 94-107 (2015).
- 52) Tugay A.V., Pulatova N.G., Zhoga A.D. Numerical Estimator for Large-Scale Cosmic Structures/ *arXiv e-print* =1812.04313 (2018).
- 53) Vavilova, I.B., Vasylenko, A.A., Babyk, I.V. Pulatova N.G.. Multi-wavelength properties and SMBH's masses of the isolated AGNs in the Local Universe, In : *Active Galactic Nuclei: What's in a Name?*, ESO Workshop, Garching, Germany, 2016. p. 105.
- 54) De Rosa, G.; Fausnaugh, M. M.; Grier, C. J., ..., Pulatova, N.G. et al. Velocity-resolved Reverberation Mapping of Five Bright Seyfert 1 Galaxies // *The Astrophysical Journal*, Volume 866, Issue 2, article id. 133, 20 pp. (2018)

- 55) Vavilova I.B., Vasylenko A. A. Babyk Iu.V., Pulatova N.G. X-ray spectral properties of the isolated AGNs: NGC 1050, NGC 2989, ESO 317-038, ESO 438-009 // *Odessa Astronomical Publications*. – 2015. – Vol. 28/2. – P. 150-153.
- 56) Vasylenko A.A., Vavilova I.B., Pulatova N.G. The NuStar view of isolated AGNs. *Space Sci. & Technol.* 2019 (submitted)
- 57) Vasylenko A.A. The broad-band spectrum of the Narrow-line Seyfert 1 NGC 4748: from UV to hard X-ray // *Astrophysics and Space Science*. – 2018. – Vol. 363. – P. 228-239.
- 58) Koulouridis E., Ricci M., Giles P., ..., Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey. XXXV. The role of cluster mass in AGN activity - 2018, *A&A*, 620, id.A20, 10 pp.
- 59) Guglielmo V., Poggianti B. M., Vulcani B., ..., Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey: XXX. Characterisation of the XLSSc N01 supercluster and analysis of the galaxy stellar populations - 2018, *A&A*, 620, id.A15, 16 pp.
- 60) Babyk Iu. V. Probing the distant galaxy cluster JKCS 041 on the L-T-M scaling relations, 2018, *AASP*, 8, 28
- 61) Babyk, Iu. V.; McNamara, B. R.; Nulsen, P. E. J.; Russell, H. R.; Vantyghem, A. N.; Hogan, M. T.; Pulido, F. A. A Universal Entropy Profile for the Hot Atmospheres of Galaxies and Clusters within  $R_{2500}$ , 2018, *ApJ*, 862, 39
- 62) Babyk, Iu. V.; McNamara, B. R.; Nulsen, P. E. J.; Hogan, M. T.; Vantyghem, A. N.; Russell, H. R.; Pulido, F. A.; Edge, A. C. X-Ray Scaling Relations of Early-type Galaxies, 2018, *ApJ*, 857, 32
- 63) Pulido, F. A.; McNamara, B. R.; Edge, A. C.; Hogan, M. T.; Vantyghem, A. N.; Russell, H. R.; Nulsen, P. E. J.; Babyk, I.; Salomé, P. The Origin of Molecular Clouds in Central Galaxies, 2018, *ApJ*, 853, 177
- 64) Hogan, M. T.; McNamara, B. R.; Pulido, F. A.; Nulsen, P. E. J.; Vantyghem, A. N.; Russell, H. R.; Edge, A. C.; Babyk, I.; Main, R. A.; McDonald, M. The Onset of Thermally Unstable Cooling from the Hot Atmospheres of Giant Galaxies in Clusters: Constraints on Feedback Models, 2017, *ApJ*, 851, 66
- 65) Babyk, Yu. V. Detail studies of the physical properties in the outer regions of galaxy clusters using Suzaku observations, 2016, *Astr. Rep.*, 60, 542
- 66) Babyk, Yu. V.; Del Popolo, A.; Vavilova, I. B. Chandra X-ray galaxy clusters at  $z < 1.4$ : Constraints on the inner slope of the density profiles, 2014, *Astr. Rep.*, 58, 587
- 67) Babyk, I.; Vavilova, I. The distant galaxy cluster XLSSJ022403.9-041328 on the L X - T X - M scaling relations using Chandra and XMM-Newton observations, 2014, *Ap&SS*, 353, 613
- 68) Babyk, I.; Vavilova, I. The Chandra X-ray galaxy clusters at  $z < 1.4$ : constraints on the evolution of L X - T - M g relations, 2014, *Ap&SS*, 349, 415
- 69) Babyk, Iu. A Distant Chandra Galaxy Cluster CL J1415.1+3612: Constraint on Evidence of the Cool-core Phenomenon, 2014, *Balt. Astr.*, 23, 93
- 70) Babyk Iu.; Del Popolo A. Correlations in Relaxed Clusters of Galaxies, 2014, *Balt. Ast.*, 23, 9
- 71) Vavilova, I. B.; Bolotin, Yu. L.; Boyarsky, A. M.; Danevich, F. A.; Kobychiev, V. V.; Tretyak, V. I.; Babyk, Iu. V.; Iakubovskiy, D. A.; Hnatyk, B. I.; Sergeev, S. G., *Dark matter: Observational manifestation and experimental searches*, Edited by I. Vavilova et al. ISBN 978-966-360-239-4, 375pp. Kiev, Akadempriodyka, 2015
- 72) Chernyakova, M.; ..., Babyk Iu., et al. Multiwavelength observations of the binary system PSR B1259-63/LS 2883 around the 2010-2011 periastron passage, *MNRAS*, 439, 432
- 73) Chernyakova, M., ..., Babyk Iu., et al. Multi-wavelength observations of the binary system PSR B1259-63/LS 2883 around the 2014 periastron passage, 2015, *MNRAS*, 454, 1358
- 74) Chkheidze, N.; Babyk, Iu. Synchrotron emission model of gamma-ray pulsar PSR J2021+3651, 2015, *New Astronomy*, 35, 27

- 75) Chernyakova, M.; Babyk, Iu.; Malyshev, D.; Vovk, Ie.; Tsygankov, S.; Takahashi, H.; Fukazawa, Ya. Study of orbital and superorbital variability of LSI +61° 303 with X-ray data, *MNRAS*, 470, 1718
- 76) Iu. V. Babyk – X-ray scaling relations of elliptical galaxies, подана до *Journal of Physical Studies*, 2018
- 77) Babyk, Iu. V.; McNamara, B. R.; Tamhane, P. D.; Nulsen, P. E. J.; Russell, H. R.; Edge, A. C. - Origins of molecular clouds in early-type galaxies, подана до *Astrophysical Journal*, 2018.arXiv:1810.11465
- 78) Vavilova I. B. & Babyk Iu. V. – New approach for analysis of the X-ray data in cores of galaxy clusters: binning on the concentration rings, contour binning, and wavelet transforms, *Odessa Astronomical Publications*, 31, 239, 2018.
- 79) Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B. and Elyiv A.A. Environmental Properties of Galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS via the Voronoi Tessellation // *Odessa Astron. Publ.* – 2014. – Vol. 27 – P. 26–27.
- 80) Dobrycheva D.V., Melnyk O.V., Vavilova I.B. and Elyiv A.A. Environmental Density vs. Colour Indices of the Low Redshifts Galaxies // *Astrophysics.* – 2015. – Vol. 58. – P. 168–180.
- 81) Dobrycheva D.V., Vavilova I.B. No the Holmberg Effect for Galaxy Pairs Selected from the SDSS DR9 at  $z \leq 0.06$  // *Odessa Astron. Publ.* – 2016. – Vol. 29. – P. 37–41.
- 82) Dobrycheva D.V., Vavilova I.B., Melnyk O.V., Elyiv A.A. Morphological type of 317018 galaxies from the SDSS. Online catalogue in HyperLeda: Ref. ID 52204, 2017.
- 83) Dobrycheva, D.V. Morphological content and color indices bimodality of a new galaxy sample at the redshifts  $z < 0.1$ . / PhD Thesis in Phys.-Math. Sciences, Main Astronomical Observatory, NAS of Ukraine, 2017. 132 pp.
- 84) Добрычева Д. В., Вавилова И. Б., Мельник О. В., Элыив А.А. Морфологический тип и показатели цвета галактик SDSS DR9 на  $0.02 < z < 0.06$ . // *Кинемат. физ. неб. тел.* - 2018.- том 34.- №6.- с. 22-40.
- 85) Dobrycheva D., Melnyk O., Elyiv A., Vavilova I. Environmental density of galaxies from SDSS via Voronoi tessellation // In: «The Zeldovich Universe: Genesis and Growth of the Cosmic Web», *Proc. of the IAU Symp.* 308 – 2016. – Vol. 308. – P. 248–249.
- 86) Dobrycheva, D. V.; Vavilova, I. B.; Melnyk, O. V.; Elyiv, A. A. Machine learning technique for morphological classification of galaxies at  $z < 0.1$  from the SDSS // eprint arXiv:1712.08955 (2017)
- 87) Vasylenko M.Yu., Kudrya Yu.N. Dipole bulk velocity based on new data sample of galaxies from the catalogue 2MFGC // *Advances in Astronomy and Space Physics.*-2017. – Vol. 7.- Issues 1-2.-P. 6-11.
- 88) Vavilova I. B., Elyiv A. A., and Vasylenko M. Yu. Behind the Zone of Avoidance of the Milky Way: What can we rescore by direct and indirect methods? // *Radio phys. radio astron.* - 2018.- 23(4).- P. 244-257.
- 89) Ivashchenko G., Sergijenko O., Torbaniuk O. Composite spectra of quasars with different UV spectral index // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* – 2014. - V. 437. – P. 3343–3361.
- 90) Torbaniuk O. A quasar sample for  $\text{Ly}\alpha$ -forest studies from the Data Release 10 of the Sloan Digital Sky Survey // *Advances in Astronomy and Space Physics* – 2015. – V. 5, I. 2. – P. 84–88.
- 91) Torbaniuk O. Influence of the continuum determination method on the mean transmission in the  $\text{Ly}\alpha$  forest // *Advances in Astronomy and Space Physics* – 2016. – V. 6, I. 1. – P. 34–40.
- 92) Торбанюк Е. А., Иващенко А.Ю. Средняя прозрачность нейтральной межгалактической среды в линии  $\text{Ly}\alpha$  по данным спектральных наблюдений квазаров, // *Кинематика и физика небесных тел.* – 2017. – Т. 33, №4. – С. 57–67.
- 93) Torbaniuk O. Ivashchenko G. Dependence between some spectral and physical characteristics of quasars // In *Week of Doctoral Students' Proceedings of Contributed Papers – Physics.* Eds.: Safrankova J., Pavlu J. 2014. – P. 42–47.

- 94) Torbaniuk O., Ivashchenko G. Dependence of equivalent width of quasar emission lines on UV-optical spectral index// Proceedings of the IAU Symposium 304 "Multiwavelength AGN Surveys and Studies", October 07-11, 2013. Eds.: Mickaelian A. M., Sanders D. B. - 2014. V. 304. - P. 282-283.
- 95) Вавилова И.Б., Артеменко Т.Г., Пакуляк Л.К. База данных "Астрономы- Украина" на веб- портале УкрВО. // Кинемат. и физ. небес. тел.- 2014.- Т.30.- N 1.- С. 70-80. (Vavilova I.B., Artemenko T.G., Pakuliak L.K. Biographical index "Astronomers of Ukraine" at the UkrVO portal. // Kinematics Phys. Celest. Bodies.- 2014.- V.30.- No.1.- P. 46-52).
- 96) Казанцева Л.В., Пакуляк Л.К., Яценко А.И., Андрук В.М., Казанцев А.М. Обробка астрономічних фотонегативів склютеки АО КНУ в рамках проекту УкрВО. // Вісник КНУ ім.Т. Шевченка. Сер. "Астрономія".- 2014.-N 51.- С. 41-45.
- 97) Andruk V.M., Pakuliak L.K. Flatbed Scanners in Golosiiv Plate Archive Digitization // Odessa Astron. Publ.- 2014.- Vol. 26.- Is.2.- P. 222.
- 98) Protsyuk Yu.I., Shatokhina S.V., Pakuliak L.K., Ivanov G.A., Yatsenko A.I., Andruk V.M., Golovnya V.V., Muminov M.M., Izhakevich E.M. Compilation of Catalog of Stellar Equatorial Coordinates and B- Magnitudes Using UkrVO Plate Database. // Odessa Astron. Publ.- 2014.- V.27.- Is.1.- P. 53-54.
- 99) Protsyuk Yu.I., Kazantseva L.V., Vavilova I.B., Shatokhina S.V., Andruk V.M., Golovnya V.V., Izhakevich E.M., Pakuliak L.K., Lukianchuk V.V., The Scientific Use of the UkrVO Joint Digital Archive: GRBs Fields, Pluto, and Satellites of Outer Planets. // Odessa Astron. Publ.- 2014.- V.27.- Is.1.- P. 65-66.
- 100) Vavilova, I.; Golovnya, V.; Andruk, V.; Pakuliak, L.; Yizhakevych, O.; Shatokhina, S.; Protsyuk, Yu.; Kazantseva, L.; Lukianchuk, V. The Scientific Use of the UKRVO Joint Digital Archive: GRBs Fields, Pluto, and Satellites of Outer Planets. // Odessa Astron. Publ.-2014.- Vol. 27.- P. 65-66.
- 101) Vavilova, I.B. ; Artemenko, T.G. Ancient astronomical culture in Ukraine. 1: Finds relating to the Paleolithic era. // Journal Astron. History & Heritage.- 2014.- Vol. 17. - No. 1. - P. 29-38.
- 102) Yizhakevych O.M., Shatokhina S.V., Andruk V.M., Pakuliak L.K., Lukianchuk V.V. Positional Catalogues of Saturn's and Jupiter's Moons. // Odessa Astron. Publ.- 2014.- V.27.- Is.1.- P. 67-68.
- 103) Andruk V.M., Protsyuk Yu.I., Pakuliak L.K., Shatokhina S.V., Ivanov G.A., Golovnya V.V., Yizhakevych O.M. Catalog of Positions and B Magnitudes of Stars in the Circumpolar Region of Northern Sky Survey (FON) Project. // Odessa Astron. Publ.- 2015.- Vol.28.- N 2.- P. 192-195.
- 104) Golovnya V.V. , Andruk V.M., Protsyuk Yu.I., Baransky A., Vavilova I.B., Romanyuk Ya.O., Pakuliak L.K., Kulyk I.V. Catalogues of the Faint Objects in the Areas with Gamma-Ray Bursts. // Odessa Astron. Publ.- 2015.- Vol.28.- N 2.- P. 196-197.
- 105) Golovnia, V.V.; Protsyuk, Yu.I.; Andruk, V.M.; Vavilova, I.B. ; Pakuliak, L.K.; Kulyk, I.V.; Romanyuk, Ya.O.; Baransky, O.R. Catalogues of the Faint Objects in the Areas with Gamma-Ray Bursts. // Odessa Astron. Publ. – 2015.- Vol. 28. P. 196-197.
- 106) Savanevych, V.E.; Briukhovetskyi, O.B.; Sokovikova, N.S.; Bezkrivny, M. M.; Vavilova, I.B. ; Ivashchenko, Yu.M.; Elenin, L.V.; Khlamov, S.V.; Movsesian, Ia.S.; Dashkova, A.M.; Pogorelov, A.V. A new method based on the subpixel Gaussian model for accurate estimation of asteroid coordinates. // Mon. Not. R. Astron. Soc.-2015.- Vol. 451.- Is. 3.- P. 3287-3298.
- 107) Savanevych, V.E.; Briukhovetskyi, A.B.; Ivashchenko, Yu.N.; Vavilova, I.B. ; Bezkrivny, M.M.; Dikov, E.N.; Vlasenko, V.P.; Sokovikova, N.S.; Movsesian, Ia.S.; Dikhtyar, N.Yu.; Elenin, L.V.; Pogorelov, A.V.; Khlamov, S.V. Comparative analysis of the positional accuracy of CCD measurements of small bodies in the solar system: software CoLiTec and Astrometrica. // Kinemat. Phys. Cel. Bodies.-2015.- Vol. 31.- Is. 6. - P. 302-313.

- 108) Yizhakevych O.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. Catalog of Astronomical Positions of Saturn's Moons obtained by Photographic Observations at the MAO NASU in 1961-1991. // *Odessa Astron. Publ.*- 2015.- Vol.28.- N 2.- P. 213-216.
- 109) Андрук В.М., Процюк Ю.І., Головня В.В., Пакуляк Л.К., Шатохіна С.В., Їжакевич О.М. ПРО КАТАЛОГ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ ТА В-ВЕЛИЧИН ЗІР ПРОГРАМИ ФОН. // *Вісник КНУ ім.Т. Шевченка. Сер. "Астрономія"*.- 2016.- N 54(2).- С. 24-28.
- 110) Андрук В.Н., Процюк Ю.И., Шатохина С.В., Пакуляк Л.К., Иванов Г.А., Головня В.В., Ижакевич Е.М. Каталог экваториальных координат и В-величин звезд околополюсной области программы ФОН. // *Кинемат. физ. небес. тел.*- 2016.- Т.32.- N 1.- С. 56-69.
- 111) Андрук В.Н., Шатохина С.В., Иванов Г.А., Пакуляк Л.К., Яценко А.И., Головня В.В., Ижакевич Е.М. Каталог экваториальных координат и В-величин звезд программы ФОН. // *Кинемат. физ. небес. тел.*- 2016.- Т.32.- N 5.- С. 74-80.
- 112) Егліге М., Еглітіс І., Андрук В.М., Пакуляк Л.К. U-величини зір і галактик з оцифрованих астронегативів телескопу Шмідта в Балдоне. // *Вісник КНУ ім.Т. Шевченка. Сер. "Астрономія"*.- 2016.- N 54(2).- С. 21-24.
- 113) Eglite M., Eglitis I., Andruk V.M., Pakuliak L.K. UV-PHOTOMETRY WITH THE 1.2 M SCHMIDT TELESCOPE IN BALDONE. // *Odessa Astron. Publ.*- 2016.- Vol.29.- P. 126-128.
- 114) Pakuliak L.K., Shatokhina S.V., Ivanov G.A., Yatsenko A.I., Sergeeva T.P., Andruk V.M., Golovnia V.V., Yizhakevych O.M. FON: from start to finish. // *Odessa Astron. Publ.*- 2016.- Vol.29.-P. 132-135.
- 115) Vavilova, I.B. Astrometrics as a New Research Field: UkrVO and VIRGO Resources. // *Odessa Astronomical Publications*- 2016- Vol. 29. - P. 109-115.
- 116) Vavilova, I.B., Isakova, N.B., Oliyuk, M.V., Sayenko, Yu.I., Troyan, V.M. Intellectual Emigration of Ukrainian Scientists at the Beginning of the 21st Century. // *Science & Innovation*. – 2016.-Vol. 12. No.6.- P. 15-36 (2016).
- 117) Yizhakevych O.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS OF MAJOR PLANETS AND THEIR MOONS DURING 1961-1990 AT THE MAO NAS OF UKRAINE. // *Odessa Astron. Publ.*- 2016.- Vol.29.- P. 155-159.
- 118) Андрук В.М., Процюк Ю.І., Рельке О., Мумінов М.М., Казанцева Л.В., Шатохіна С.В., Пакуляк Л.К., Головня В.В., Їжакевич О.М. О ФОТОМЕТРИИ ЗВЕЗД С ОЦИФРОВАННЫХ АСТРОНЕГАТИВОВ. // *Наука та інновації*.- 2017.- 13(1).- С. 17-27.
- 119) Їжакевич О.М., Андрук В.М., Пакуляк Л.К., Лук'янчук В. Фотографічні спостереження Великих планет та їх супутників у ГАО НАН України в 1961–1990 рр. // *Вісник КНУ ім.Т. Шевченка. Сер. "Астрономія"*.- 2017.- N 55 (1).- С. 9-13.
- 120) Andruk V.M., Yuldoshev Q.X., Eglitis I., Mullo-Abdolv A., Vavilova I.B., Protsyuk Yu.I., Relke H., Golovnya V.V., Pakuliak L.K., Shatokhina S.V., Izhakevich E.M., Ehgamberdiev Sh.A., Muminov M., Kokhirova G., Kazantseva L.V. ON THE CONCEPT OF THE ENHANCED FON CATALOG COMPILATION. // *Odessa Astron. Publ.*- 2017.- Т.30.- N.- P. 159-162.
- 121) Andruk V.M., Pakuliak L.K., Golovnia V.V., Ivanov G.O., Yatsenko A.I., Shatokhina S.V., Yizhakevych O.M. VizieR Online Data Catalog: FON Astrogaphic Catalogue, Version 3.0 (Andruk+, 2016). // *SIMBAD Astronomical Database*.- 2017.
- 122) Ehgamberdiev Sh.A., Yuldoshev Q.X., Muminov M.M., Andruk V.M., Relke H., Kahharov B.B., Protsyuk Yu.I., Pakuliak L.K. Astrometry of the  $\eta$  and  $\chi$  Persei clusters based on the processing of digitized photographic plates. // *Bulgarian Astronomical Journal*.- 2017.- V.26.- P. 3-13.
- 123) Izhakevich E.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. Catalogue of astrometric POSITIONS OF JUPITER'S OUTER SATELLITES ON PHOTOGRAPHIC OBSERVATIONS IN MAO NAS OF UKRAINE IN 1987-1993. // *Odessa Astron. Publ.*- 2017.- Т.30.- P. 201-204.

- 124) Vavilova I.B. Scientific Astronomical School by Professor Volodymyr Tsesevich on the physics of variable stars. // *Odessa Astron. Publ.* – 2017. - Vol. 30. - P. 256-262.
- 125) Yizhakevych O.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. Photographic Observations of Saturn's Moons at the MAO NAS of Ukraine in 1961–1990. // *Kinematics Phys. Celest. Bodies.*- 2017.- Vol.33.- No.3. - P. 142-148. (Ижакевич Е.М., Андрук В.Н., Пакуляк Л.К. Фотографические наблюдения спутников Сатурна в Главной астрономической обсерватории НАН Украины в 1961-1990 гг. // *Кинемат. и физ. небес. тел.*- 2017.- Т.33.- N 3.- С.70-80.)
- 126) Yatskiv Ya.S., Vavilova I.B., Romanets O.A., Savchuk V.S. Some little-known facts and events from the history of gravitational wave research in Ukraine. // *Space Sci.&Technol.*-2017.-Vol. 23.- No. 3.-p. 64-72.
- 127) Savanevych, V. E., Khlamov, S. V., Vavilova, I. B., Briukhovetskyi, A. B., Pohorelov, A. V., Mkrtychian, D. E., Kudak, V. I., Pakuliak, L. K., Dikov, E. N., Melnik, R. G., Vlasenko, V. P., Reichart, D. E. A method of immediate detection of objects with a near-zero apparent motion in series of CCD-frames. // *Astron. Astrophys.*- 2018.- Vol. 609.- Id. 54 (11 p.).
- 128) Shatkhina S.V., Kazantseva L.V., Yizhakevych O.M., Andruk V.M. Catalogue of Asteroids from Digitized Photographic Plates of the FON Program // *Kinematics Phys. Celest. Bodies.*- 2018. - Vol.34. –No 5. - P.271-277.
- 129) Yizhakevych O. M., Andruk V. M., Yuldoshev Q., Pakuliak L. K., Muminov M. M.. The first results of processing observations of SS bodies from AI AS RUz photographic plate collection using the new technique. // *Odessa Astron. Publ.*- 2018.- T.31.- P. 251-254.
- 130) Yizhakevych O. M., Mullo-Abdolv A. Sh., Relke H. V., Kokhirova G. I., Pakuliak L. K., Andruk V. M.. First results of the searching of asteroids based on the data of FON-Dushanbe processed plates // *Odessa Astron. Publ.*- 2018.- T.31.- N .- P. 247-250.
- 131) Yizhakevych O.M., Andruk V.M., Pakuliak L.K. VizieR OnlineData Catalog: Topocentric positions of Saturn's moons (Yizhakevych+, 2017). - 2018YCatp003003301YSIMBAD.
- 132) Andruk V.M., Shatkhina S.V., Yizhakevych O.M., Kazantseva L.V., Lukianchuk V.V., Pakuliak L.K., Golovnya V.V. Kyiv UkrVO glass archives: new life. // *Proc. of the Workshop "ASTROPLATE"*, Prague, March 18- 21, 2014/ Ed. by L. Mišková, S. Vitek k.- Prague.- 2014.- .- N .- P. 57-60.
- 133) Pakuliak L.K., Virun N., Shlyapnikov A.A., Protsyuk Yu.I., Kazantseva L.V., Vavilova I.B., Shatkhina S.V., Golovnya V.V., Yizhakevych O.M. Ukrainian Virtual Observatory: Astroplates and the Joint Digitized Archive. // <http://www.astroplate.cz/wp-content/uploads/2014/01/Prague-UkrVO-Vavilova-et-al.pdf>- 2014.
- 134) Vavilova I.; Pakuliak, L.; Protsyuk, Y.; Shlyapnikov, A.; Golovnya, V.; Yizhakevych, O.; Shatkhina, S.; Kazantseva, L.; Virun, N.; Kashuba, S. UkrVO: Astroplates and the Joint Digitized Archive. / In: *Astroplate-2014, Proceedings of a conference held in March, 2014 in Prague, Czech Republic*. Edited by Linda Mišková and Stanislav Vitek. Published by the Institute of Chemical Technology, Prague, 2014, p. 8-12 (2014).
- 135) Вавилова І.Б., Артеменко Т.Г. У книзі «Українське небо 1. Студії над історією астрономії в Україні», збірник наукових праць за заг. ред. О.Петрука. Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С.Підстригача НАН України, 2015, 640 с. (с. 8-13).
- 136) Karachentseva V.E. Extragalactic Astronomy – From pioneers to Big Science. / In: *From the Realm of the Nebulae to Population of Galaxies - Dialogues on a Century of Research*, Eds. M. d’Onofrio, R. Rampazzo, S. Zaggia. Springer, 685 pp. (2016). pp.20-25
- 137) Karachentseva V.E. The Milky Way and the Local Group / In: *From the Realm of the Nebulae to Population of Galaxies - Dialogues on a Century of Research*, Eds. M. d’Onofrio, R. Rampazzo, S. Zaggia. Springer, 685 pp. (2016). pp. 341-347

- 138) Karachentseva V.E. The Impact of Surveys / In: From the Realm of the Nebulae to Population of Galaxies - Dialogues on a Century of Research, Eds. M. d'Onofrio, R. Rampazzo, S. Zaggia. Springer, 685 pp. (2016). 416-418
- 139) Вавилова І.Б., Артеменко Т.Г. Стародавня астрономія в Україні від періоду енеоліту до початку нової ери. У книзі «Українське небо 2. Студії над історією астрономії в Україні», збірник наукових праць за заг. ред. О. Петрука. Львів: Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, 2016, 669 с. - С. 8-13.
- 140) Vavilova I., Artemenko T. Ancient astronomy in Ukraine: from the Paleolithic era to the beginning of New era. In: "Astronomy and world heritage: across time and continents", Ed. M.Ya. Marov, Proc.of the UNESCO and IAU Conference, Kazan, 2010. Publishing House of Kazan University, 274 p. -2016. - P. 136-144.
- 141) Vavilova I.B. , Yatskiv Ya.S., Pakuliak L.K., Andronov I.L., Andruk V.M., Protsyuk Yu.I., Savanevych V.E., Savchenko D.O., Savchenko V.S.. UkrVO Astrominformatics Software and Web-services. / In: "Astrominformatics (AstroInfo16)" , Proceedings IAU Symposium No. 325, Eds. M. Brescia, S.G. Djorgovski, E. Feigelson, G. Longo, S. Cavuoti. Cambridge Univ. Press.- 2017.- Vol.325.- P. 361-366.
- 142) Vavilova I.B., Artemenko T.G. De l'archéoastronomie en Ukraine au Paléolithique. // Kadath ASBL, Ed. P. Ferryn. - 2017. – 10 p.
- 143) Andruk V.M., Yizhakevych O.M., Pakuliak L.K. VizieR Online Data Catalog: Topocentric positions of Saturn's moons. // SIMBAD Astronomical Database.- 2018.-N 07/2018.
- 144) Andruk V.N., Protsyuk Yu.I., Pakuliak L.K., Shatokhina S.V., Ivanov G.A., Golovnya V.V., Izhakevich E.M. Catalogue of star positions and B- magnitudes in 60th declination zone based on UkrVO Joint Digital Archive. // In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V. Andruk.- Riga: LAMBERT Academic Publish., 2018.- 57 p.-.- 2018.- P. 1-19.
- 145) Andruk V.M., Pakuliak L.K. Flatbed scanners in Golosiiv plate archive digitization. // In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V. Andruk.- Riga: LAMBERT Academic Publish., 2018.- 57 p.- P. 20-32.
- 146) Eglite M., Eglitis I., Andruk V.N. , Pakuliak L.K. U-magnitudes of stars and galaxies from the digitized astronegatives of Baldone Schmidt telescope. // In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V. Andruk.- Riga: LAMBERT Academic Publish., 2018.- 57p.- P. 49-52.
- 147) Pakuliak L.K., Protsyuk Yu.I., Shatokhina S.V., Ivanov G.A., Yatsenko A.I., Andruk V.M., Golovnia V.V., Izhakevich E.M. Photographic Survey of the Northern Sky: hidden reserves. // In Book: Results of processing of digitized astronomical photographic plates / comp. by V. Andruk.- Riga: LAMBERT Academic Publish., 2018.- 57 p.- P. 45-48.
- 148) ChiappettiL., FotopoulouS., LidmanC., FaccioliL., PacaudF., ElyivA. et al. The XXL Survey: XXVII. The 3XLSS point source catalogue - 2018, A&A, 620, id.A12, 18 pp.
- 149) FarahiArya, GuglielmoValentina, EvrardAugust E., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey: XXIII. The Mass Scale of XXL Clusters from Ensemble Spectroscopy - 2018, A&A, 620, id.A8, 13 pp.
- 150) GuglielmoV., PoggiantiB. M., VulcaniB., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey: XXII. The XXL-North spectrophotometric sample and galaxy stellar mass function in X-ray detected groups and clusters - 2018, A&A, 620,id.A7, 20 pp.
- 151) Melnyk O., Elyiv A., Smolčić V. et al. The XXL Survey. XXI. The environment and clustering of X-ray AGN in the XXL-South field - 2018, A&A, 620, id.A6, 11 pp.
- 152) Rattenbury N. J., Bennett D. P., Sumi T., ... Elyiv, A.A. et al. Faint-source-star planetary microlensing: the discovery of the cold gas-giant planet OGLE-2014-BLG-0676Lb, MNRAS - 2017, 3, 2710



- 153) Akhunov T. A., Wertz O., Elyiv A. et al. Adaptive PSF fitting - a highly performing photometric method and light curves of the GLS H1413+117: time delays and micro-lensing effects, *MNRAS* - 2017, 465, 3607
- 154) Pierre M., Adami C., Birkinshaw M., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL survey: First results and future, *Astronomische Nachrichten* - 2017, 338, 2.
- 155) Giannini E., Schmidt R. W., Wambsganss J., ... Elyiv, A.A. et al. MiNDSTeP differential photometry of the gravitationally lensed quasars WFI 2033-4723 and HE 0047-1756: microlensing and a new time delay, *A&A* - 2017, 597, 16
- 156) Lavoie S., Willis J. P., Démoclès J., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL survey XV: evidence for dry merger driven BCG growth in XXL-100-GC X-ray clusters, *MNRAS* - 2016, 462, 4141
- 157) Koulouridis E., Poggianti B., Altieri B., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey. XII. Optical spectroscopy of X-ray-selected clusters and the frequency of AGN in superclusters, *A&A* - 2016, 592, 11
- 158) Fotopoulou S., Pacaud F., Paltani S., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey. VI. The 1000 brightest X-ray point sources, *A&A* - 2016, 592, 30
- 159) Pierre M., Pacaud F., Adami C., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey. I. Scientific motivations - XMM-Newton observing plan - Follow-up observations and simulation program, *A&A* - 2016, 592, 16
- 160) Arellano Ferro A., Bramich D. M., Figuera Jaimes R., ... Elyiv, A.A. et al. A detailed census of variable stars in the globular cluster NGC 6333 (M9) from CCD differential photometry, *MNRAS* - 2016, 458, 1188
- 161) Southworth John, Tregloan-Reed J., Andersen M. I. ... Elyiv, A.A. et al. High-precision photometry by telescope defocussing - VIII. WASP-22 WASP-41 WASP-42 and WASP-55, *MNRAS* - 2016, 457, 4205
- 162) Ciceri S., Mancini L., Southworth J., Lendl M., ... Elyiv, A.A. et al. Physical properties of the planetary systems WASP-45 and WASP-46 from simultaneous multiband photometry, *MNRAS* - 2016, 456, 990
- 163) Lidman C., Ardila F., Owers M., ... Elyiv, A.A. et al. The XXL Survey XIV. AAOmega Redshifts for the Southern XXL Field, *Publications of the Astronomical Society of Australia* - 2016, 33, 7 pp.
- 164) Finet F., Elyiv A., Melnyk O., Wertz O., Horellou C., Surdej J., Predicted multiply imaged X-ray AGNs in the XXL survey, *MNRAS* - 2015, 452, 1480
- 165) Southworth John, Hinse T. C., Burgdorf M., ... Elyiv, A.A. et al. High-precision photometry by telescope defocussing - VI. WASP-24, WASP-25 and WASP-26, *MNRAS* - 2014, 444, 776
- 166) Koulouridis E., Plionis M., Melnyk O., Elyiv A., Georgantopoulos I., Clerc N., Surdej J., Chiappetti L., Pierre M., X-ray AGN in the XMM-LSS galaxy clusters: no evidence of AGN suppression, *A&A* - 2014, 567, A83
- 167) Tsapras Y., Choi J.-Y., Street R. A., ... Elyiv, A.A. et al. A Super-Jupiter Orbiting a Late-type Star: A Refined Analysis of Microlensing Event OGLE-2012-BLG-0406, *ApJ* - 2014, 782, 1

## ДОДАТОК А

## Скріншоти функціональних сторінок адміністративного інтерфейсу бази даних «Астрономи України»

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У  
Ч Щ Ю Я Й І

Овчаренко Андрій Олександрович	отключить
Огульчанський Ярослав Юрьевич	отключить
Окулич Л.С.	отключить
Ольях Марина Ростиславівна	отключить
Онегіна Августа Борисівна	отключить
Опанасенко Микола Вікторович	отключить
Орбинський Артемій Робертович	отключить
Орлов Михайло Якович	отключить
Орлов Олександр Якович	отключить
Осипов Олександр Кузьмич	отключить
Осиповський Тимофій Федорович	отключить

Рис.1. Адміністративний інтерфейс бази даних «Астрономи України» <http://ukr-vo.org/tools/personalities/index.php>. Абетковий покажчик персоналій.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С  
Т У Ч Щ Ю Я Й І

### ДОБАВИТЬ ПЕРСОНАЛИЮ

#### ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

ФИО.UA

ФИО.EN

Даты жизни   в формате YYYY-MM-DD  
1500 г.'  или в текстовом формате, например: 'около

Место рождения  укр.   
англ.

Период деятельности

Пол

Индекс автора по картотеке ГАО

**ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ**

Рис.2. Форма додання персоналій до бази даних. Основні дані.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Й І

Олькя Марина Ростиславівна

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ   ОБРАЗОВАНИЕ   ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ   БИОГРАФИЯ   ФОТОГРАФИИ   ПУБЛИКАЦИИ   ИСТОЧНИКИ

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ

ФИО.UA Олькя Марина Ростиславівна

ФИО.EN

Даты жизни:  в формате YYYY-MM-DD

1500 г:  или в текстовом формате, например: "около"

Место рождения: укр.  англ.

Период деятельности: початок XX століття

Пол: жен.

Индекс автора по карточке ГАО: 0

ВНЕСТИ ИЗМЕНЕНИЯ

Олькя Марина Ростиславівна  
25.02.1956 у м.Харків  
1979- ХДУ  
1993- кандидатська дисертація "Флуктуації поляризації радіо випромінювань магнітоактивній космічній плазмі" (ХДУ).

Рис.3. Сторінка редагування основних даних персоналїї.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Й І

Олькя Марина Ростиславівна

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ   ОБРАЗОВАНИЕ   ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ   БИОГРАФИЯ   ФОТОГРАФИИ   ПУБЛИКАЦИИ   ИСТОЧНИКИ

ОБРАЗОВАНИЕ

укр.

Где  когда

eng.

укр.

Где  когда

eng.

укр.

Где  когда

eng.

ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ

Олькя Марина Ростиславівна  
25.02.1956 у м.Харків  
1979- ХДУ  
1993- кандидатська дисертація "Флуктуації поляризації радіо випромінювань магнітоактивній космічній плазмі" (ХДУ).

Рис. 4. Сторінка редагування/додання даних про освіту.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Й І

Олькя Марина Ростиславівна

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ   ОБРАЗОВАНИЕ   ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ   БИОГРАФИЯ   ФОТОГРАФИИ   ПУБЛИКАЦИИ   ИСТОЧНИКИ

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

активні ядра галактик  
астрометрія  
астрономія  
астрофізика

Чтобы выбрать несколько значений, отмечайте их при нажатой клавише Ctrl

ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИЙ

ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ

Название работы где когда

укр.  укр.  когда

eng.  eng.  когда

вид

комментарий

ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ

Олькя Марина Ростиславівна  
25.02.1956 у м.Харків  
1979- ХДУ  
1993- кандидатська дисертація "Флуктуації поляризації радіо випромінювань магнітоактивній космічній плазмі" (ХДУ).

Рис. 5. Сторінка редагування/додання даних про наукову діяльність.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Й І

Ольга Марина Ростиславівна

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ОБРАЗОВАНИЕ ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БИОГРАФИЯ ФОТОГРАФИИ ПУБЛИКАЦИИ ИСТОЧНИКИ

**БИОГРАФИЯ**

укр.

eng.

**ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ**

Рис. 6. Сторінка редагування/додання біографій.

А Л Б Х В К Г Г Д Е Є Ф Ж З І М Н Ш О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Й І

Берцик Петер Петерович

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ОБРАЗОВАНИЕ ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БИОГРАФИЯ ФОТОГРАФИИ ПУБЛИКАЦИИ ИСТОЧНИКИ

**ЗАГРУЖЕННЫЕ ФОТО**

berczik peter peterovich.jpg  
УДАЛИТЬ  
фото  
++текст

berczik pp.jpg  
УДАЛИТЬ  
фото  
++текст

portrait.jpg  
УДАЛИТЬ  
фото

berczik pp.jpg  
УДАЛИТЬ  
фото+текст  
текст

berczik peter peterovich2.jpg  
УДАЛИТЬ  
фото  
++текст

**ДОБАВИТЬ ФОТО:**

Отправить файл:  Файл не выбран. под именем:

подпись (укр):

подпись (eng):

1. Допустимые форматы файлов: JPG,PNG,GIF.  
2. Допустимые размеры файлов - до 60 Мб.  
3. Портретное фото для статьи ВСЕГДА должно иметь название **portrait**, которое при заполнении формы вписывается в поле "под именем". Для остальных фото для галереи это поле можно не заполнять, тогда сохранится исходное название файла.  
4. Названия перегружаемых файлов не должны содержать кириллицы, иначе для них латиницей заполняется поле "под именем".

Рис. 7. Сторінка додання фотографій і ілюстрацій.

А Б В Г Д Е Ж З И М Н О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Ї

Бершик Петер Петерович

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ    ОБРАЗОВАНИЕ    ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ    БИОГРАФИЯ    ФОТОГРАФИИ    ПУБЛИКАЦИИ    ИСТОЧНИКИ    ТАБЛИЦА СПЕЦИ

Всего публикаций: 15

1 2

СТРАНИЦА 1

ПУБЛИКАЦИИ

Публикации	Ссылки	
Dynamical Evolution and Merger Timescales of LISA Massive Black Hole Binaries in Disk Galaxy Mergers/Fazeel M. Khan, Pedro R. Capelo, Lucio Mayer, Peter Berczik// Astrophysical	<a href="https://www.researchgate.net/publication/329228158_Dynamical_Evolution_and_Merger_Timescales_of_LISA_Massive_Black_Hole_Binaries_in_Disk_Galaxy_Mergers">https://www.researchgate.net/publication/329228158_Dynamical_Evolution_and_Merger_Timescales_of_LISA_Massive_Black_Hole_Binaries_in_Disk_Galaxy_Mergers</a>	удалить
Новосядлий Б., Пельх В., Штанов Ю., Боярский О., Якубовский Д., Жук О., Шульга В., Цветкова В., Жданов В., Александров О., Гнатик В., Павленко Е., Сергеев С., Вологин Ю., Даневич		удалить
Бершик П. П., Колесник И. Г. IC 2006 - эллиптическая галактика с полярным кольцом//Кинематика и физика небес. тел.-1992.-8, №4-С. 92-96	<a href="http://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/kfnt/1992-08/kfnt-1992-08-4-11.pdf">http://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/kfnt/1992-08/kfnt-1992-08-4-11.pdf</a>	удалить
Бершик П. П., Колесник И. Г. Может ли объект Хоага быть галактикой с полярным кольцом?//Кинематика и физика небес. тел.-1992.-8, №4-С. 84-91	<a href="http://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/kfnt/1992-08/kfnt-1992-08-4-02.pdf">http://www.mao.kiev.ua/biblio/jscans/kfnt/1992-08/kfnt-1992-08-4-02.pdf</a>	удалить
Шумакова Т.А., Бершик П.П. Эволюция радиального градиента содержания тяжелых элементов в диске массивной галактики в процессе ее слияния с карликовой галактикой // Кинематика и		удалить
Global survey of star clusters in the Milky Way VI. Age distribution and cluster formation history/A.E. Piskunov, A. Just, M.V. Kharchenko, P. Berczik, R.-D. Scholz, S. Reffert,	<a href="https://www.researchgate.net/publication/323302110_Global_survey_of_star_clusters_in_the_Milky_Way_VI_Age_distribution_and_cluster_formation_history">https://www.researchgate.net/publication/323302110_Global_survey_of_star_clusters_in_the_Milky_Way_VI_Age_distribution_and_cluster_formation_history</a>	удалить

ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ

ВНЕСТИ ИЗМЕНЕНИЯ

Рис. 8. Сторінка редагування/додання публікацій.

А Б В Г Д Е Ж З И М Н О П Ц Р С Т У Ч Щ Ю Я Ї

Фадеев Юрий Николаевич

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ    ОБРАЗОВАНИЕ    ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ    БИОГРАФИЯ    ФОТОГРАФИИ    ПУБЛИКАЦИИ    ИСТОЧНИКИ    ТАБЛИЦА СПЕЦИ

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ

Источник	Ссылка	Тип
Астрономы харьковского университета в годы Великой Отечественной войны/ Ю. В. Александров//UNIVERSITATES. Наука и просвещение. -	<a href="http://st.free-lance.ru/users/IliiaMoroz/upload/f_4ec8a0022e2d9.pdf">http://st.free-lance.ru/users/IliiaMoroz/upload/f_4ec8a0022e2d9.pdf</a>	печатные    удалить
Современный очерк истории астрономии в Харьковском университете / Ю. В. Александров, Ю.Г. Шкуратов //200 лет Харьковской астрономии / Под ред. Ю. Г.		печатные    удалить
	<a href="http://zu.astron.kharkov.ua/library/books/200_years_p1.pdf">http://zu.astron.kharkov.ua/library/books/200_years_p1.pdf</a>	общебиографические    удалить
Астрономия в Харьковском университете (к 100летию основания астрономической обсерватории университета) Александров Ю. В. //Очерки ист.		печатные    удалить

ДОБАВИТЬ ДАННЫЕ

ВНЕСТИ ИЗМЕНЕНИЯ

Рис. 9. Сторінка редагування/додання даних про джерел інформації про персоналію.



Рис. 10. Сторінка «Астрономи України» на сайті УкрВО.



Рис. 11. Проект Сторінки персоналії на сайті УкрВО.