

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

**Физический
ИНСТИТУТ**



*имени
П.Н.Лебедева*

Российской академии наук

Ф И А Н



УТВЕРЖДАЮ

Директор ФИАН
академик РАН, д.ф.-м.н.

Н.Н.Колачевский

119991, ГСП-1, Москва
Ленинский проспект, 53 ФИАН
Телефон: (499) 135 1429
(499) 135 4264
Телефакс: (499) 135 7880
<http://www.lebedev.ru>

Дата 16.10.2025 г.

Отзыв ведущей организации на диссертационную работу

Зазнобина Игоря Альбертовича

«Оптическое отождествление скоплений галактик и других объектов в обзорах всего неба космических обсерваторий им. Планка и СРГ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.1 – Физика космоса, астрономия».

Диссертационная работа Зазнобина Игоря Альбертовича «Оптическое отождествление скоплений галактик и других объектов в обзорах всего неба космических обсерваторий им. Планка и СРГ» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН). Она состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 171 наименование. Общий объем диссертации составляет 186 страниц.

Диссертация посвящена наблюдениям скоплений галактик и точечных рентгеновских источников в оптическом диапазоне. Одной из ключевых научных задач обзора всего неба, проводимого обсерваторией «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ), является построение карты всего неба в рентгеновском диапазоне длин волн, что позволит, среди прочего, сформировать большую выборку скоплений галактик с известной функцией отбора. Последнее необходимо для определения функции масс скоплений и получения точных ограничений на космологические параметры. Однако измерения расстояний и, как следствие, масс скоплений невозможны без их оптического отождествления и измерения красных смещений. Все наблюдения проводились на российских телескопах: на 6-м телескопе БТА САО РАН, 1.6-м телескопе АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН, 1.5-м Российско-турецком телескопе РТТ-150 и 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ (RC2500).

Диссертация четко структурирована, материал изложен понятно и доступно. Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, четко обозначены цели и задачи

работы, описана научная значимость и новизна.

Глава 1 посвящена оптическим наблюдениям и измерениям спектроскопических красных смещений z_{spec} выборки из 133 скоплений галактик, включающей в себя скопления из каталога обзора обсерватории им. Планка PSZ2 и его расширения (Буренин 2017). Следует отметить, что по результатам проведенной работы выборка далеких массивных скоплений на красных смещениях $z > 0.7$ была увеличена примерно вдвое.

В главе 2 приведены результаты оптических наблюдений и измерений спектроскопических красных смещений выборки из 227 скоплений галактик, обнаруженных в рентгеновском обзоре поля дыры Локмана во время калибровочных наблюдений eROSITA/CPI и в первом обзоре всего неба eROSITA/CPI. Наиболее далекое скопление галактик, для которого диссертанту удалось измерить z_{spec} , находится на $z_{spec} = 1.298$. Данный объект является наиболее удаленным от нас скоплением, для которого когда-либо был получен спектр на российском телескопе, в частности, на БТА.

В Главе 3 представлен новый алгоритм отождествления скоплений галактик и оценки их фотометрических красных смещений z_{phot} . Данный подход оптимален для измерения z_{phot} скоплений на красных смещениях $0.1 < z < 0.6$, причем точность определения z_{phot} составляет 0.5%. Также в главе 3 обсуждается новый метод оценки массы скоплений галактик по измерению их светимости в инфракрасном (ИК) диапазоне. Полученное диссертантом соотношение между ИК-светимостью и массой скоплений может оказаться полезным в случае, когда два скопления проецируются друг друга и разделить их по рентгеновским данным или данным по эффекту Сюняева-Зельдовича не представляется возможным.

Наконец, Глава 4 посвящена оптическим наблюдениям и анализу трех точечных рентгеновских источников, обнаруженных в диапазоне 4–12 кэВ телескопом ART-XC/CPI в течение первого года обзора всего неба, но не отождествленных к моменту написания диссертации. Диссертантом были проведены фотометрические и спектроскопические наблюдения и показано, что эти объекты являются катаклизмическими переменными (КП) звездами.

Диссертация написана ясным языком, присутствующие опечатки не препятствуют восприятию текста. Есть несколько замечаний по существу и по оформлению работы (в произвольном порядке):

1) Во введении для обоснования необходимости спектроскопических измерений красных смещений используется следующая формулировка: «Например, для космологических исследований необходимы выборки скоплений галактик с известными красными смещениями». Несмотря на то, что данное утверждение является общепринятым, в работе Ghirardini et al. 2024, посвященной космологическим ограничениям, полученным по данным первого обзора eROSITA/CPI на западной половине неба, утверждается, что использование фотометрических красных смещений для выборки из ~5000 скоплений галактик не приносит значимое смещение в определение таких космологических параметров, как σ_8 и Ω_m . Было бы полезно упомянуть, при каких параметрах выборки спектроскопические измерения дают преимущества.

2) В диссертации неоднократно упоминается, что основная практическая ценность данной работы заключается в том, что представленные скопления галактик могут войти в космологическую выборку CPI/eROSITA, однако параметры выборки в диссертации не обсуждаются.

3) В тексте диссертации неоднократно фигурирует « β -модель», но нигде не приводится её определение и обоснование используемых параметров.

4) Красное смещение скоплений галактик находится путем сравнения наблюдаемого спектра с шаблоном синтетического спектра звездного населения возрастом 11 млрд. лет и

металличностью $Z = 0.02$ из работы Bruzual & Charlot 2003, однако отсутствует пояснение, почему именно такой шаблон выбран.

5) Главы 1 и 2 посвящены определению красных смещений скоплений галактик, однако нигде не приводятся ошибки на полученные величины. Сказано только, что ошибка «для полученных нами спектров составляет приблизительно $\delta z \approx 0.001-0.003$ ». Удивительно, что ошибка на красное смещение не зависит от качества спектра и что точность измерения для скопления на $z=0.1$ и $z=1$ одинаковая.

6) Во введении английский термин «fossil groups» переведен как «ископаемые группы», а в тексте диссертации - как «остаток группы».

7) В диссертации приводятся оценки масс скоплений, однако отсутствует детальное описание процедуры определения массы. Например, не понятно, что такое «упрощенная оценка массы M_{500} из карт параметра комптонизации» (стр. 60).

8) На стр. 96 приводится формула, которая связывает показатель приоритета наблюдения скопления с его фотометрическим красным смещением и рентгеновским потоком. При этом вывод данной формулы или ссылка на соответствующую публикацию отсутствуют.

9) Какая космология предполагалась для пересчета красных смещений в расстояния и оценок массы? В главах 1 и 2 упоминаются различающиеся параметры Λ CDM, хотя и близкие друг другу.

10) На стр. 132 имеется следующее утверждение «Распределение масс и красных смещений скоплений галактик проверочной выборки представлено на рисунке 3.1. Видно, что практически все скопления из выборки являются массивными.» При этом на рисунке 3.1 минимальное значение массы скопления составляет $4 \cdot 10^{13}$ масс Солнца и значительная доля скоплений имеют массу меньше $3 \cdot 10^{14}$ масс Солнца. В связи с этим, не ясно, скопления какой массы называются массивными.

11) В Главе 3 приводится соотношение между ИК-светимостью скоплений галактик и оценками их массы M_{500} , полученными из соотношения между рентгеновской светимостью скопления и массой. Интересно было бы откалибровать полученное диссертантом соотношение на выборке хорошо изученных скоплений галактик с надежными оценками массы, поскольку рентгеновская светимость является одним из самых простых, но довольно «шумных» индикаторов массы. Так, разброс в соотношении $L_x - M_{500}$ для фиксированного значения M_{500} составляет $\sim 40\%$.

12) Желательно пояснить, на чем основано утверждение, что «диапазон 4-12 кэВ - наиболее подходящий диапазон для изучения катаклизмических переменных», так как эти источники, как правило, имеют жесткие спектры, но без внутреннего поглощения.

13) Также желательно объяснить, почему рентгеновские спектры катаклизмических переменных аппроксимировались тормозным излучением. Эти источники являются полярами и промежуточными полярами, спектры которых определяются свойствами многотемпературной оптически тонкой плазмы.

14) Не ясен критерий выбора (трех) кандидатов в катаклизмические переменные для оптического отождествления. Какие наблюдательные данные (рентгеновская переменность, цвет, величина потока) позволили предположить, что именно эти источники являются КП?

15) Следует отметить, что часть диссертации, в которой описывается формирование линий в спектрах КП, изложена недостаточно аккуратно. Известно, что значительная часть болометрической светимости этих объектов производится более холодной плазмой в основании аккреционных колонок в магнитных системах. Необходимо пояснить, учитывался ли этот факт.

16) Поляры и промежуточные поляры, как правило, синхронизированы. Обнаружены ли пульсации в рентгеновском диапазоне?

Тем не менее, перечисленные выше замечания не являются существенными и не влияют на основные результаты работы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. На основе материалов диссертации опубликованы 8 научных статей в реферируемых журналах, в семи из которых диссертант является первым автором, также работа была доложена на 6 конференциях. Можно пожелать диссертанту чаще публиковать полученные результаты в ведущих мировых журналах по астрономии и астрофизике, и чаще представлять доклады на международных конференциях.

Доклад И.А. Зазнобина был заслушан, обсуждён и одобрен на семинаре АКЦ ФИАН 09 октября 2025 года. Диссертация Игоря Альбертовича Зазнобина «Оптическое отождествление скоплений галактик и других объектов в обзорах всего неба космических обсерваторий им. Планка и СРГ» отвечает всем требованиям «Положения о присуждении учёных степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.1 — физика космоса, астрономия».

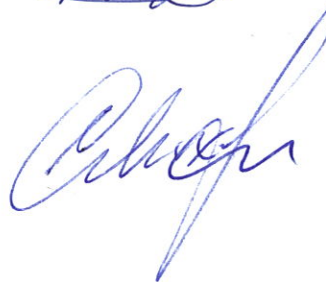
Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории теоретической и наблюдательной космологии АКЦ ФИАН Дмитрием Игоревичем Новиковым.

Ведущий научный сотрудник АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н.



Д.И. Новиков

Руководитель АКЦ ФИАН,
д.ф.-м.н.



С.Ф.Лихачев

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН)

Адрес: 119991 ГСП-1 г. Москва, Ленинский проспект, д. 53

Телефон: 8 (499) 132-65-54

Электронная почта: office@lebedev.ru

Руководитель ведущей организации: Колачевский Николай Николаевич