

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Теликовой Ксении Николаевны
«Изучение теплового состояния ранней Вселенной
методами абсорбционной спектроскопии квазаров»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1 - физика космоса, астрономия

Описание процессов обмена газом между галактиками и их окружением, по-видимому, далеко от детального понимания, особенно на больших красных смещениях. Это связано с эволюцией галактик, динамикой газа в межгалактической среде. Добавляет интриги измерения металличности и параметра ионизации в межгалактической среде в широком интервале красных смещений, проведенные в последние годы, ведь она содержит значительную часть барионного вещества Вселенной, а на больших красных смещениях – основную ее часть. При этом детальное исследование свойств межгалактической среды возможно по большей части только в поглощении из-за ее низкой плотности. О состоянии газа вокруг и внутри галактик с невысоким темпом звездообразования на красных смещениях больше 2 можно судить только по спектрам поглощения квазаров. В диссертационной работе К.Н. Теликовой проведено последовательное изучение теплового состояния межгалактического, окологалактического и межзвездного газа в эпоху бурной активности квазаров – на красных смещениях 2–4.

В рамках работы соединены **разработка** процедур анализа линий в спектрах поглощения, **получение** большого объема данных о системах поглощения и на его основе **определение** физических свойств газа в этих системах. Важным представляется создание авторских методов поиска и анализа линий Ly α в спектрах квазаров. Применение этих методов к имеющемуся открытому наблюдательному материалу позволило автору получить новые оценки теплового состояния газа в системах поглощения. Именно этим определяется **высокая актуальность** и **значительная практическая ценность** представленной диссертации.

Приведем описание структуры и краткую сводку полученных в диссертации новых результатов.

Во **Введении** представленной диссертационной работы сформулированы актуальность, цели, научная новизна, степень достоверности, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** кратко описано современное состояние исследований межгалактической среды в поглощении, приведено описание основ спектрального анализа.

Вторая глава посвящена изучению свойств межгалактического газа в эпоху вторичной ионизации гелия. Представлены новый метод оценки теплового состояния газа, анализ спектров квазаров, в результате получены оценки на физические параметры межгалактической среды.

В **третьей главе** проведено исследование джинсовского уширения абсорбционных линий. Сделаны выводы о влиянии этого механизма на определение параметров межгалактической среды.

Четвертая глава посвящена определению температуры околосгалактического газа. Обнаружены особенности тепловой структуры нейтральной фазы. Проведен анализ результатов для спектров с разным разрешением.

В **пятой главе** изучены химический состав и тепловой режим межзвездного и околосгалактического газа в экстремально насыщенных системах поглощения. Получены аргументы в пользу связи особенностей темпа охлаждения теплого нейтрального газа с его двухфазностью.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы работы.

Как видно, диссертационная работа К.Н. Теликовой представляет собой последовательное исследование теплового состояния межгалактического и околосгалактического газа в эпоху на красных смещениях 2–4, проведенное с помощью современных **достоверных** методов спектрального и статистического анализа. Особенно **ценным** является **получение** параметров систем поглощения на основе авторских методов обработки и указаний на двухфазность теплого нейтрального газа в родительских галактиках для экстремально насыщенных систем поглощения. Этим определяется **новизна** представленной работы.

Стоит отметить, что представленную работу было приятно и интересно читать, в том числе и потому, что полученные результаты дополняют друг друга. Существенных замечаний к работе нет и здесь можно привести некоторые пожелания для дальнейших исследований.

1. О неоднородностях внегалактического ионизационного фона и их возможном влиянии на состояние среды указано несколько раз в работе (стр. 44, 52 и т.д.). Известны работы по исследованию этого влияния на ионизационное состояние гелия и металлов (например, Bolton et al., 2006, MNRAS, 366, 1378; 2011, MNRAS, 414, 241). Можно ли оценить как амплитуда этих флуктуаций повлияет на оценку температуры межгалактической среды.

2. На рис. 3.3 (стр. 62) представлены вклады от теплового и джинсовского уширения, можно заметить, что прослеживается зависимость точки их пересечения от красного смещения. Может ли эта зависимость позволить получить какие-нибудь дополнительные ограничения на тепловое состояние среды.

3. При анализе спектров поглощения пришлось избавляться от линий металлов (п. 2.5.2, стр. 38). Достаточно ли число таких систем поглощения для дополнительной оценки теплового и ионизационного состояния межгалактической среды, подобно процедуре, проведенной для других объектов в п.4.3 (стр. 75).

4. На луч зрения чаще всего попадает тепловая фаза с наибольшим объемным фактором заполнения, можно ли получить ограничения на значения фактора заполнения другими фазами, исходя из имеющихся данных по системам поглощения (например, см. стр. 83, 120).

5. В Галактике металличность испытывает значительные вариации, как изменятся результаты (стр. 98) при вариации распространенностей, положенных равными солнечным, примерно на 0.5 dex?

Эти пожелания не могут каким-то образом повлиять на содержательную часть диссертации, основные ее выводы и положения, выносимые на защиту.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в 9 статьях в рецензируемых журналах.

Представленная диссертационная работа выполнена на очень высоком научном уровне, результаты являются **новыми, практически важными и актуальными**.

Диссертационная работа Ксении Николаевны Теликовой «Изучение теплового состояния ранней Вселенной методами абсорбционной спектроскопии квазаров» отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук Положением о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор К.Н. Теликова заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

ведущий научный сотрудник
Отдела теоретической астрофизики и космологии
Астрокосмического центра
ФИАН им. П.Н.Лебедева РАН,
д.ф.-м.н. (по специальности 01.03.02),
Васильев Евгений Олегович

9 октября 2023 г.

Почтовый адрес:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
Ленинский проспект, д. 53, Москва, 119991
Телефон: 8-495-333-23-78,
Эл. адрес: eusgtar@mail.ru

Подпись Васильева Евгения Олеговича заверяю.

Ученый секретарь ФИАН
к.ф.-м.н.

А.В. Колобов