

Отзыв ведущей организации на диссертацию

Теликовой Ксении Николаевны

**ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ РАННЕЙ ВСЕЛЕННОЙ
МЕТОДАМИ АБСОРБЦИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ КВАЗАРОВ**

представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 — Физика космоса, астрономия

Диссертация К.Н. Теликовой посвящена нескольким важным вопросам (задачам), относящимся к тепловым свойствам и тепловой эволюции Вселенной на $z = 2-4$, т.е. в тот период, когда происходила реионизация HeII. Роль процессов реионизации, в частности, реионизации HeII, в тепловой эволюции Вселенной всё ещё недостаточно изучена и остаётся актуальным предметом активных обсуждений. Кроме того, в диссертации решается ряд задач по уточнению свойств и тепловой эволюции окологалактического газа и межзвездного газа в рассматриваемую эпоху.. Список решаемых в диссертации задач сформулирован четко и это облегчает анализ достигнутых результатов. В списке:

1. Разработка автоматической процедуры анализа линий Ly α леса в спектрах квазаров высокого разрешения с учётом возможного блендирования линий.
2. Разработка статистического метода анализа ансамбля индивидуальных линий Ly α леса с целью оценки физических условий в межгалактической среде (МГС).
3. Исследование теплового состояния МГС в эпоху реионизации HeII, а именно зависимости температуры газа от его плотности. Получение ограничений на скорость фотоионизации водорода. Исследование механизма уширения спектральных линий Ly α леса за счёт космологического расширения филаментов МГС, а также оценка характерного размера филаментов МГС на красных смещениях $z = 2 - 4$.
4. Измерение кинетической температуры тёплой фазы нейтральной среды в субнасыщенной Ly α системе на красном смещении $z \approx 2.2$ в

направлении на квазар HE 0001–2340. Сравнение полученных результатов с имеющимися данными по насыщенным Ly α системам на больших красных смещениях.

5. Оценка темпа охлаждения межзвёздного газа в линии [CII] λ 158 мкм для экстремально насыщенных Ly α систем, ассоциированных с газом на малых галактоцентрических расстояниях. Анализ бимодального характера распределения темпов охлаждения газа в линии [C II] λ 158 мкм для насыщенных Ly α систем.

Сразу нужно отметить, что все поставленные задачи решены, хотя и с разной степенью глубины.

По первым двум задачам существенным результатом можно считать разработанный автором статистический метод аппроксимации наблюдаемого распределения абсорбционных систем Ly α леса в пространстве параметров лучевых концентраций и доплеровских уширений (N , b) модельной функцией распределения, позволяющей провести уверенный расчёт тепловых параметров МГС. Этот результат методического плана можно считать эффективным способом определения параметров МГС.

По третьей задаче наибольшее впечатление производит оригинальный результат – предложенный механизм уширения спектральных линий Ly α леса за счёт космологического расширения филаментов МГС. Показано, что дополнительный механизм уширения, связанный с наличием пространственной структуры филаментов МГС, значительно влияет на определяемые из наблюдений параметры теплового состояния МГС. Оценен характерный размер филаментов МГС, который при умеренных значениях средней плотности на $z \approx 2.4 - 4.3$ составляет 1 – 1.6 Мпк.

Еще один интересный результат – получено, что средневзвешенная кинетическая температура компонент тёплой фазы нейтральной среды в субнасыщенной Ly α системе (красное смещение системы $z \approx 2.2$), в направлении на квазар HE 0001–2340, оцениваемая в $\sim 16\,000\text{K}$, существенно превышает значение, получаемое в стандартных моделях теплового баланса ($\sim 10\,000\text{K}$). В диссертации описано, как получен этот результат (с помощью развитого автором метода оценки температуры тёплой нейтральной фазы газа из анализа уширения линий металлов низкой степени ионизации, ассоциированных с этим газом) и проведено сравнение с другими оценками (по литературе), однако результат дается как факт и не предлагается какого-то четкого объяснения такому интересному феномену. А было бы неплохо попробовать. С другой стороны, для причин выявленной автором значимой антикорреляции между температурой тёплой нейтральной фазы и полной лучевой концентрацией HI для абсорбционных систем в диапазоне $N(\text{HI}) = 10^{17.4} - 10^{20.8}$ вполне правдоподобные объяснения предлагается.

В главе 5, в разделе 5.3, где обсуждается охлаждение газа в линии [CII] на длине волны 158 микрон, сказано, что собственная выборка, а также данные из литературы содержат неизвестный процент насыщенных линий CII*.

Принимая во внимание, что обе выборки невелики, встает вопрос о надежности выводов, сделанных автором диссертации. Известно, что линии ионизованного углерода зачастую обладают значительной оптической толщиной. Это надо было бы отметить.

Диссертация К.Н. Теликовой производит весьма благоприятное впечатление. Можно отметить лаконичный и логичный текст, необходимые детали поясняются с достаточной степенью подробности, но без излишеств. Работа основана на современных наблюдательных данных, полученных на лучших мировых телескопах. Солидный список публикаций в ведущих мировых журналах, где К.Н. Теликова часто является первым автором, показывает, что результаты прошли очень серьезную научную экспертизу, а К.Н. Теликова показала себя как вполне самостоятельный исследователь, признанный в мировом профессиональном сообществе. Оформление диссертации достаточно хорошее. В целом качество диссертации высокое, хотя не обошлось и без моментов, вызывающих замечания, впрочем не имеющие принципиального значения. Помимо уже отмеченных выше перечислим некоторые другие.

Термин «ранняя Вселенная» устоявшийся, и он применяется к описанию Вселенной на период от Большого взрыва до стадии рекомбинации, т.е. примерно до $z = 1100$ (возраст 280 тысяч лет). Так что название диссертации, посвященной свойствам Вселенной на $z = 2-4$, не вполне корректно.

Понятно, что, ограничивая себя нижним значением $z = 2$, автор работает в области, где имеется много наблюдений, выполненных в оптическом (видимом) диапазоне, т.е. с помощью наземных инструментов. Таким образом, автор не включает в рассмотрение данные наблюдений в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне. Однако, было бы неплохо хотя бы качественно учесть и данные наблюдений в УФ, а ещё лучше (с точки зрения составителя отзыва) обсудить перспективы исследований тепловой (ионизационной) эволюции Вселенной с помощью создаваемой в настоящее время в России космической обсерватории «Спектр-УФ». Обсерватория как раз и создается с перспективой для таких молодых и умных исследователей.

Диссертация написана хорошим литературным языком. Но все же встречаются некоторые языковые и смысловые погрешности. Например:

1) В тексте постоянно встречается слово «мы», фразы наподобие «нами была разработана» и т.д., чего лучше избегать, т.к. непонятно кто это «мы».

Полагаем, что ничего нескромного в том, чтобы написать «я сделала», «мной проведены» и т.д. нет, а уж если писать «мы», то нужно указывать кто.

Кстати, в разных местах работы «мы» тоже могут быть разными.

2) На стр. 16 читаем

«Данная диссертация посвящена изучению газового компонента Вселенной, то есть МГС, ОГС и МЗС» неточна. Буква С означает не «газ» а «среда», т.е. гораздо более широкое понятие. Правильнее – «Данная диссертация посвящена изучению газового компонента Вселенной, то есть основной диффузной составляющей МГС, ОГС и МЗС»

3) Там же фраза «Наблюдения Вселенной в поглощении» выглядит немного жаргонно.
4) В тексте присутствуют кальки с английского. Например - «деплеция», хотя существуют вполне понятные русскоязычные термины - обеднение, уменьшение содержания и т.д. Возможно, что слово «деплеция» и станет вполне узаконенным термином, так как привязана к очень конкретному процессу. Посмотрим.
Опечатки встречаются, но их немного.

Впрочем, эти мелкие погрешности общего и весьма положительного впечатления от диссертации не портят.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Считаем, что диссертационная работа Теликовой Ксении Николаевны 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 Теликова Ксения Николаевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.1 - Физика космоса, астрономия.»

Отзыв составили по тексту диссертации
и по результатам обсуждения
доклада К.Н. Теликовой на
астрофизическом семинаре ИНАСАН 12.10.2023

научный руководитель
ФГУБН Институт астрономии РАН
член-корр. РАН

Б.М. Шустов

старший научный сотрудник
к.ф.-м.н.

М.С. Кирсанова

18 октября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
астрономии Российской академии наук (ИНАСАН)

119017, г. Москва, ул. Пятницкая 48