

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию
Гадельшина Дамира Раеловича

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗБРАННЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ И КАНДИДАТОВ В ЭКЗОПЛАНЕТЫ

представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

(Специальность: 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия)

1. Актуальность темы диссертации.

Диссертационная работа Гадельшина Д. Р. посвящена комплексному исследованию свойств экзопланет методами фотометрии и спектроскопии. Поиск и изучение экзопланет является одним из «мейнстримовских» «направлений астрофизики в настоящее время, наряду с изучением черных дыр, темной материи, темной энергии, открытием ускорение Вселенной и гравитационных волн. Начиная с 1995 года по настоящее время открыто около 2000 вне солнечных планетных систем и около 4000 экзопланет. Достаточно казать, что на состоявшемся в Берлине в сентябре этого года Европейском планетном научном конгрессе, где были представлены более 800 устных докладов и около 1200 постеров, исследованию экзопланет были посвящены специальные сессии. Изучение экзопланет расширяет наши возможности решения фундаментальной проблемы происхождения и эволюции Солнечной системы и связанные с этим фундаментальные проблемы происхождения жизни на Земле и в целом во Вселенной. Это определяет актуальность темы диссертационной работы Гадельшина Д. Р.

Естественно, решение фундаментальных проблем сводиться к решению многих частных задач. Применительно к изучению экзопланет, современные исследования находятся на стадии их интенсивного поиска у звезд разных типов и практически первоначального изучения их физических свойств. Поэтому, задачи, сформулированные в диссертационной работе Гадельшина Д. Р., а именно:

- 1) Независимое фотометрическое подтверждение транзитов недавно открытых экзопланетных кандидатов с использованием телескопов метрового класса.
- 2) Построение трансмиссионных спектров избранных транзитных экзопланет по собственным фотометрическим наблюдениям на 1-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории РАН и по наблюдениям других авторов с целью детектирования у этих планет атмосфер, а также исследования их свойств.
- 3) Уточнение физических характеристик исследуемых экзопланет с помощью спектроскопических наблюдений на БТА.
- 4) Подтверждение экзопланетной природы кандидатов, отобранных по данным фотометрии, и поиск новых на основе наблюдений со спектрографами высокого спектрального разрешения НЭС БТА и БОЕС 1.8-м телескопа обсерватории Бохюнсан (Южная Корея)

представляется весьма важными. Они соответствуют приоритетным направлениям исследований экзопланет, предпринимаемых международным сообществом исследователей, и является их частью.

Диссертационная работа Гадельшина Д. Р. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованных источников. Полный объем диссертации составляет 101 страницу, включая 16 рисунков, 12 таблиц, 12 страниц списка использованных источников из 145 наименований.

В качестве новых научных результатов автор выделяет следующее:

1) Продемонстрировано, что с помощью 1-метрового телескопа САО РАН можно проводить наблюдения транзитов экзопланет с точностью фотометрии 0.1% от потока (и даже лучше) для звёзд вплоть до 13 звездной величины в широкополосной системе Джонсона-Козинса.

2) Впервые обнаружены свидетельства существования гигантской пылевой или газопылевой оболочки у планеты с радиусом несколько больше радиуса Земли.

3) Впервые по анализу широкополосных трансмиссионных спектров горячих юпитеров, полученных при наблюдениях транзитов, а не вторичных затмений, была сделана оценка температуры ночной стороны планеты.

4) Впервые в России проверка лучевых скоростей звезд с планетными кандидатами, открытыми сторонними фотометрическими проектами, позволила подтвердить планетную природу затмевающих объектов.

Автор выносит на защиту следующие положения:

1) Для горячих юпитеров WASP-33b, WASP-43b и WASP-104b построены широкополосные трансмиссионные спектры – зависимости эффективных радиусов планет от длины волны. С точностью около 5% от значения радиуса трансмиссионный спектр планеты WASP-33b является «плоским» в диапазоне от 0.35 до 1.2 мкм. Получены свидетельства того, что широкополосный спектр WASP-43b от голубого до инфракрасного диапазонов, вплоть до длины волны 4.5 мкм, также плоский. Независимо определена ночная температура этой планеты, $T = 930$ К. Для WASP-104b дана уточненная оценка её радиуса в видимом диапазоне.

2) Результаты наземных фотометрических исследований транзитной экзопланеты HD 219134 b. Транзит был неоднократно зарегистрирован, что независимо подтверждает факт существования этой планеты. Глубина транзита в полосе U в среднем почти в 4 раза больше, чем в инфракрасной полосе 4.5 мкм по данным других авторов. Различие свидетельствует о существовании оболочки вокруг планеты, которая непрозрачна (или частично прозрачна) в ближней ультрафиолетовой области.

3) Доказательства планетной природы 4 транзитных кандидатов в экзопланеты, обращающихся у звезд KOI-974, KOI-2687, KOI-2706. Кандидаты были выбраны из каталога космической миссии «Кеплер» и проверены методом измерения лучевых скоростей из спектров, полученных с помощью инструмента НЭС БТА. Все кандидаты оказываются планетами. Измерены их радиусы и температуры. KOI-974b и KOI-2706b являются нептонами, а KOI-2687b и KOI-2687c – землеразмерными планетами.

4) Предположение о существовании новых кандидатов в массивные планеты в системах KOI-974 и хи Дракона на основании анализа лучевых скоростей.

2. Общая характеристика диссертации, оценка достоверности полученного наблюдательного материала, его обработки, анализа и выводов

Диссертация содержит результаты оригинальных фотометрических наблюдений двух транзитов экзопланет WASP-43b и WASP-104b в полосе V, 5-ти транзитов экзопланеты HD 219134b в полосе U и наблюдений трех кандидатов в транзитные экзопланеты с эшелле-спектрометром БГА.

Фотометрических наблюдений транзитов экзопланет WASP-43b и WASP-104b продемонстрировали возможность 1-м телескопа проводить фотометрические наблюдения транзитов экзопланет с точностью 0.1% от потока для звезд вплоть до 13 звездной величины. С точки зрения первых наблюдений транзитов экзопланет на телескопе САО метрового класса это хороший результат. Однако надо иметь в виду мировой уровень исследований, когда подобные наблюдения и открытия экзопланет проводятся с помощью робот телескопов с существенно меньшими апертурами – от нескольких десятков сантиметров и до экстремально маленьких апертур, как например, 8-см телескоп KELT-South Астрономической обсерватории Южноафриканской Республики. По этой причине, мне кажется, что не стоило выносить демонстрацию возможностей наблюдать экзопланеты на 1-м телескопе в качестве нового научного результата диссертационной работы. Если уж 8-см телескоп способен фиксировать транзиты у звезд до 10 зв. величины! Нужно было отметить, что проведены оригинальные фотометрические и спектральные наблюдений транзитов, результаты которые необходимы для интерпретации и анализа физических свойств исследуемых экзопланет.

Тем не менее, полученные данные в полосе V вместе с данными, полученными в полосах BVR на телескопах Пулковской обсерватории, и с литературными данными, позволили автору диссертации исследовать трансмиссионные спектры WASP-43b, WASP-104b, а так же WASP-33b. Для этого была построена модель, которая рассчитывает форму транзита в заданной спектральной полосе в зависимости от относительного радиуса планеты в долях радиуса её родительской звезды, равновесной температуры планеты, физических характеристик самой звезды и прицельного параметра. В итоге, диссертант пришел к выводу, что «С точностью до погрешностей измеренные широкополосные трансмиссионные спектры всех трех исследуемых экзопланет являются плоскими». Правда, автор не объясняет, что термин «плоский» означает физически. Для понимания физических и химических свойств атмосфер этих экзопланет, это надо было бы сделать, поскольку автор приводит не само распределение энергии в их спектрах, а глубины или относительные радиусы экзопланет (Таб.3. и Рис. 7.). Кстати, я не нашел такой формулировки в работе Seager&Sasselov (2000), на которую ссылается автор диссертации (на стр. 13), вводя понятие трансмиссионного спектра как зависимость радиуса экзопланеты от длины волны. Авторы цитируемой работы приводят реальные распределения энергии в спектрах. Тем не менее, результаты автора по свойствам трансмиссионных спектров, представляется новым и значительным. Кроме того, применение созданной автором модели к имеющимся в литературе данным позволило впервые оценить ночную температуру WASP-43b по данным транзита.

Особый интерес, как мне кажется, представляет вывод о наличии в экзопланете HD 219134 b протяженной оболочки непрозрачной в ближней ультрафиолетовой области спектра (Гл.3). Этот вывод автор сделал из сравнения, полученных им, глубин транзитов HD 219134 b в полосе U с опубликованными данными в ИК диапазоне на длине волны 4.5 мкм, которые различаются почти в 4 раза. Моделирование данных по транзитам с учетом физических параметров планеты и ее родительской звезды по литературным источникам дало радиус экзопланеты $R_p = 3.95 \pm 0.4 R_{\oplus}$, что в 2.47 раза больше радиуса, полученного по ИК наблюдениям. Это вполне конкретный и важный результат на основе наблюдений и модели. Кроме того, заслуживает внимания и сам факт независимого подтверждения автором диссертации наличия этой экзопланеты и оценка ночной температуры WASP-43b по данным транзита.

Еще один интересный результат автора – это доказательство планетной природы 4-х транзитных кандидатов в экзопланеты, обращающихся у звезд KOI-974, KOI-2687, KOI-2706. Для этого были проведены измерения лучевых скоростей из спектров, полученных с помощью инструмента НЭС 6-м БТА. Это важно, поскольку минимумы на фотометрических кривых не всегда вызваны транзитными планетами и кандидатов в экзопланеты гораздо больше, чем самих экзопланет. Был применен метод лучевых скоростей и выбран ряд критериев для того, чтобы исключить транзит объектов не планетной природы. Кроме того, высокое качество спектров, полученных с высоким разрешением ($R=40000-60000$) позволило уточнить ускорение свободного падения, эффективную температуру и металличность родительских звезд. Это позволило уточнить физические параметры кандидатов в экзопланеты. Диссертант подробно проанализировал пределы лучевых скоростей каждого кандидата и сделал вывод об их планетной природе. Кроме того, у звезды KOI-974 обнаружен дополнительный тренд, который может свидетельствовать о присутствии третьего массивного тела в системе – другой планеты или второго звездного компонента.

Глава 5 посвящена еще одному направлению в изучение экзопланет, а именно, поиску этих объектов в системах кратных звезд, поскольку такие объекты составляют большую часть звездного населения нашей Галактики. Для этой цели была выбрана спектроскопически двойная звезда χ Дракона А. Автор обработал спектрополяриметрические наблюдения этой звезды, полученные с высоким разрешением с помощью спектрополяриметра 1.8-м телескопа обсерватории Бохюсан (Южная Корея). В результате были получены данные о переменном продольном магнитном поле и отклонение лучевых скоростей от орбитальной кривой звезды. Анализ имеющихся данных привел автора к выводу, что магнитометрические измерения не подтверждают пульсационную причину периодичности остаточных лучевых скоростей и, следовательно, можно заподозрить в присутствии нового кандидата в экзопланеты звезды χ Дракона А. Несомненно, это заключение требует проверки, но сама постановка вопроса о возможности существования экзопланет в двойных и кратных звездных системах и попытка всестороннего анализа двойной звезды χ Дракона А, представляется важной.

Описание приборов, методов получения материала, его обработки, сопоставление с результатами наблюдений других авторов свидетельствуют о достоверности полученного наблюдательного материала. Автор провел интерпретацию полученных данных с учетом всех имеющих в литературе наблюдательных проявлений по каждому объекту исследования и получил достоверные выводы о природе изучаемых экзопланет.

3. Рекомендации по использованию полученных результатов

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных учреждениях России и других стран, в которых ведутся исследования экзопланет, в том числе: САО РАН, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ГАО РАН, ИКИ РАН, КрАО РАН, СПбГУ и КФУ.

4. Замечания по диссертационной работе.

1. Стр.33-34. Описание компьютерной модели, созданной и используемой автором весьма поверхностное. Из текста даже не понятно опубликована она или нет.

2. Как уже отмечалось выше, не стоило выносить демонстрацию возможностей наблюдать экзопланеты на 1-м телескопе в качестве нового научного результата диссертационной работы.

3. Диссертация легко читается, однако часто встречаются повторы в разных местах текста. Например, описания глав в разделе **«Структура диссертации и краткое содержание»**, отчасти дублируется содержанием глав, которые предваряют каждую главу и потом снова повторяются в обсуждениях или основных выводах по каждой главе. Ощущение от прочитанного текста – много мест описательного характера.

4. Стр. 3. Неудачное выражение **«...и, может быть, приблизиться к ответу на вопрос, есть ли жизнь во Вселенной, ...»**. Несомненно, жизнь во Вселенной есть и жизнь на Земле тому доказательство!

5. Стр. 4. Неверное утверждение. **«С тех пор, как в XIX веке с изобретения спектрального анализа возникла современная астрофизика [8], к вопросу об уникальности Солнечной системы и Земли с существующей на ней биосферой ученые возвращались неоднократно»**. Возможность существования других обитаемых миров обсуждалась задолго до изобретения спектрального анализа и возникновения современной астрофизики. Достаточно вспомнить Джордано Бруно и более ранние труды античных ученых.

6. Стр. 20. Неудачное выражение **«... в котором фокус смещается ...»**. Фокус чего?

7. Стр. 32. В подписи под рис.4. **«синяя и голубая ...»** ? На ч/б рисунке цвета не видны.

8. Стр. 59. Опечатка. **«...непланетной природы»** вместо не планетной.

5. Общее заключение о диссертации Гадельшина Д. Р.

Несмотря на критические замечания, я положительно оцениваю рассматриваемую работу. Представленная диссертационная работа Гадельшина Д. Р. является законченной работой. Автором получен достаточный объем наблюдательных данных, который обработан и проанализирован. Основные положения диссертации, вынесенные на защиту, аргументированы и не вызывают сомнения. Автором действительно получены новые научные результаты, за исключением формулировки 1-го пункта. Определен личный

вклад автора в работу. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы в различных научных учреждениях и обсерваториях.

Выполненная работа продемонстрировала, что Гадельшина Д. Р. состоялся как ученый. Он уверенно превысил необходимые требования, предъявляемые для кандидата физико-математических наук, а именно, умение планировать и осуществлять наблюдения, обрабатывать и анализировать полученный материал, с привлечением данных, опубликованных в научной литературе, создавать необходимые модели. Результаты исследований опубликованы в 5-ти специализированных журналах и в одном не рецензированном издании, то есть прошли экспертную оценку. Они докладывались на международных и российских конференциях.

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям ВАК. Автореферат адекватно отражает основное содержание диссертации.

Все сказанное выше дает мне основание утверждать, что диссертационная работа Гадельшина Д. Р. «КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИЗБРАННЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ И КАНДИДАТОВ В ЭКЗОПЛАНЕТЫ», представляет собой исследование, которое в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гадельшин Д. Р. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звездная астрономия

гнс отдела «Физики Солнца и Солнечной системы»

Крымской астрофизической обсерватории РАН,

доктор физ.-мат. наук

 Н.Н. Киселев

Подпись Н. Н. Киселева заверяю:

Директор

Крымской астрофизической обсерватории

канд. физ.-мат. наук



А. Н. Ростопчина-Шаховская

1 октября 2018 г.



Киселев Николай Николаевич

298409 п. Научный, д.ба, кв.17, Бахчисарайский район, Республика Крым

ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»

Главный научный сотрудник. Тел. +7(978)1162998

kiselevnn42@gmail.com