

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию Гадельшина Дамира Раеловича
”Комплексное исследование свойств избранных экзопланет
и кандидатов в экзопланеты”,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности
01.03.02 - астрофизика, звездная астрономия.

Исследование характеристик планет и планетных систем за пределами Солнечной системы является одним из самых молодых и бурно развивающихся направлений современной астрофизики. За 20 с небольшим лет, прошедших с момента открытия первой планеты, наши познания в данной области прошли не только количественную, но и качественную эволюцию: открыто несколько тысяч кандидатов в экзопланеты и подтвержденных объектов, для сотен из них определены параметры орбит, физические характеристики и даже оценки химического состава. Быстрое накопление данных об экзопланетах позволило более широко взглянуть на процесс формирования планетных систем и границы допустимых параметров этих небесных тел. Кроме того изучение экзопланет во многих случаях способствует уточнению информации об особенностях их материнских звезд и их взаимодействиях с планетными системами. Наконец, наука вплотную приблизилась к обнаружению аналогов Земли, допускающих появление и развитие жизни, что может стать революционным научным открытием.

В этих условиях несомненной ценностью обладают работы, позволяющие расширить набор инструментов исследования экзопланет, в том числе адаптирующих для таких целей имеющуюся наблюдательную базу. Важным компонентом подобных работ является компиляция накопленного материала земных и космических наблюдений с собственными наблюдениями. Это обеспечивает комплексный анализ объектов с итоговой классификацией, определением наиболее полного набора параметров и физических процессов, происходящих на и вблизи поверхности. Представленная диссертация Гадельшина Д.Р. является заметным шагом в развитии таких исследований в САО РАН, что обуславливает ее несомненную актуальность и практическую значимость.

Диссертация, объемом 101 страница, состоит из Введения, пяти глав, Заключения и списка цитируемой литературы, содержит 16 рисунков, 12 таблиц и 145 ссылок на литературные источники.

Введение включает краткий обзор современного состояния исследований экзопланет, обосновывающий актуальность и значимость рассматриваемой тематики. Далее сформулированы цель и задачи работы, научная и практическая новизна и значимость ее результатов, а так же - положения, выносимые на защиту, степень их апробации и список публикаций с указанием вклада автора. Вторая часть Введения посвящена описанию структуры диссертации. Выбранный диссертантом нестандартный формат Введения рецензент признает удачным, т.к. оно позволило заранее ознакомиться с научным направлением до формулировки целей и результатов диссертации.

Последующие пять глав представляют различные подходы к исследованию экзопланет и заканчиваются разделами, обобщающими содержание каждой главы.

Первая глава состоит из 4-х разделов и посвящена анализу возможности фотометрических наблюдений транзитов на телескопе Цейсс-1000 САО РАН. В разделе 1.1 описаны особенности двух объектов, наблюдения которых выполнены в 2015 году, в разделе 1.2 кратко изложен процесс наблюдений и их обработки, а его результаты проанализированы в разделе 1.3. Диссертантом установлено, что возможности штатного фотометра телескопа Цейсс-1000 позволяют

корректно регистрировать транзиты на уровне точности $\Delta m_V = 0.^m003$, достаточной для обеих рассмотренных экзопланет.

Вторая глава, включающая 5 разделов, рассматривает трансмиссионные спектры трех экзопланет, построенные на основе компиляций наблюдений диссертанта и других исследователей. Важность и эффективность исследования трансмиссионных спектров обсуждается в разделе 2.1, использованный массив наблюдательных данных представлен в разделе 2.2, методика моделирования кривых блеска транзитов - в разделе 2.3, а полученные спектры проанализированы в разделе 2.4. Диссертант нашел плоское распределение спектров WASP-33b и WASP-43b и получил оценки эффективных радиусов всех экзопланет.

В третьей главе, состоящей из 5 разделов, выполнен поиск и анализ транзитов горячей экзопланеты HD 219134 b в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Разделы 3.1 и 3.2 описывают характеристики планет, находящихся на малых расстояниях от материнских звезд, и особенности планетной системы HD 219134, раздел 3.3 характеризует наблюдения объекта на телескопах Цейсс-1000 САО и АЗТ-11 КраО, раздел 3.4 представляет результаты их анализа, а раздел 3.5 - их обсуждение. Диссертантом сделан вывод о первом обнаружении в ультрафиолетовом диапазоне транзита HD 219134 b, параметры которого указывают на значительно больший эффективный радиус объекта, чем было найдено ранее по инфракрасным наблюдениям. В результате Гадельшиным Д.Р. предположено наличие у экзопланеты обширной газовой оболочки, непрозрачной в УФ-диапазоне.

Четвертая глава из 5 разделов содержит спектроскопический анализ звезд с транзитами, найденными в рамках проекта "Кеплер". Необходимость спектроскопических наблюдений для подтверждения планетной природы вновь открытых тел обоснована в разделе 4.1, а критерии выбора объектов перечислены в разделе 4.2. Раздел 4.3 описывает процесс наблюдений на спектрометре НЭС БТА и их последующей обработки. В разделах 4.4 и 4.5 показаны итоговые кривые лучевых скоростей трех звезд, наборы их физических параметров, а так же оценки параметров кандидатов в экзопланеты. Результаты исследования исключают наличие спутников звездной массы, что является весомым аргументом в пользу их планетной природы.

Пятая глава, содержащая 3 раздела, посвящена изучению магнитных и динамических характеристик двойной системы χ Dra. Во введении к главе дан краткий обзор данной системы, в разделе 5.1 описан наблюдательный материал, полученный на спектрометре BOES 1.8-м телескопа обсерватории ВОАО, в разделе 5.2 даны результаты измерения магнитного поля и лучевых скоростей главной компоненты и их численный анализ, обсуждение которого проведено в разделе 5.3. При указанной диссертантом оценке точности измерений найдены правильные вариации магнитного поля звезды с периодом $P = 23.^d39$ и заметные отклонения ее лучевых скоростей от ранее предложенной эфемериды. В результате наряду с альтернативными объяснениями выявленных аномалий высказано предположение о возможном наличии в системе третьего тела планетной массы.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Автореферат отражает структуру и основные выводы диссертации.

В целом по совокупности представленных в диссертации Гадельшина Д.Р. результатов она заслуживает положительной оценки. В ней рассмотрен широкий круг проблем, связанных с физическим состоянием экзопланет, методами их регистрации, классификации и определения характеристик. Исследование таких объектов является новым направлением в САО РАН, что требовало от диссертанта адаптировать существующие методики к возможностям предоставленной ему регистрирующей аппаратуры телескопов БТА и Цейсс-1000. С данной задачей он определенно справился. Именно в широком использовании данных наблюдений на телескопах САО рецензент видит одно из главных достоинств диссертации. Одновременно в ней получен ряд результатов, имеющих самостоятельное научное значение. В частности, можно отметить вы-

воды о принадлежности к экзопланетам четырех спутников звезд KOI-974, KOI-2687, KOI-2706 и выводы о плоском распределении трансмиссионных спектров WASP-33b и WASP-43b, указывающем на отсутствие заметных газообразных оболочек. Важными для дальнейшего статистического изучения экзопланет представляются полученные в работе наборы параметров (температура, эффективный радиус) ряда объектов. Методики, освоенные и модифицированные диссертантом, могут быть в дальнейшем использованы при проведении аналогичных исследований как в САО РАН, так и в других обсерваториях России: КрАО, ГАО РАН, КАО УрФУ и т.д. Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается их сравнением с эфемеридными прогнозами и данными литературных источников, а так же - апробацией на двух общероссийских и трех международных конференциях с личным участием автора. Все представленные в диссертации результаты опубликованы в 6 научных работах, из них 5 - в высокорейтинговых журналах, включенных в списки ВАК и Scopus.

Однако рецензент считает необходимым высказать ряд замечаний по результатам диссертации и их интерпретации.

1) Описание выполненных наблюдений и методов их обработки носит поверхностный характер. Например, в большинстве случаев не указаны продолжительность экспозиций и их полное количество, выбранные звезды сравнения, контрольные звезды и фотометрические стандарты (при спектроскопии), учет вторичной поправки за цвет и т.д. Не дано даже название телескопа, использованного для наблюдений в КрАО. Погодные условия на моменты наблюдений во всех случаях названы условно ("хорошо", "удовлетворительно") без любых численных оценок. На наш взгляд диссертанту следовало указать размеры звездных изображений, а лучше построить и показать зависимости "блеск" - "дисперсия блеска" для доступных звезд поля. Последние, кстати, позволяют получить точную оценку ошибок дифференциальной фотометрии в зависимости от яркости объектов и качества звездных изображений. Представленная в главе 1 оценка предельной точности в $0.^m003$ не имеет никакого иллюстративного или статистического подтверждения, а способ ее получения остается непонятным. Однако на основании кривых блеска транзитов на рис.2 рецензент готов согласиться с данной оценкой, как пределом точности фотометрических наблюдений автора.

2) Утверждение на стр. 39 "Что касается сильного несоответствия глубин транзитов, измеренных в фильтре H_α , то оно скорее всего, является физическим ..." представляется ошибочным. Во-первых, сильное отклонение радиуса обнаружено только при одном наблюдении и, возможно, обусловлено наблюдательной ошибкой. Во-вторых, диссертант забраковал найденное по 9-ти наблюдениям отклонение в фильтре V, предполагая влияние пульсаций звезды на оценки блеска. Подобный избирательный подход к отбраковке наблюдательных данных рецензент считает неприемлемым. Добавим, что избыток радиуса в фильтре H_α в дальнейшем объясняется существованием вокруг WASP-33b обширной оболочки, поглощающей в этой линии. Такая интерпретация входит в противоречие с найденным в диссертации плоским трансмиссионным спектром объекта, указывающим на отсутствие у него даже слабой оболочки.

3) Оценки ошибок определения параметров атмосфер звезд KOI-974, KOI-2687, KOI-2706 в табл. 7 на стр. 69 рецензент считает невозможными при выбранном методе их определения. Как явствует из сопутствующего текста, параметры атмосфер (T_{eff} , $\log g$, ξ_{turb} и Fe/H) находились из совместного анализа эквивалентных ширин линий FeI и $FeII$ с применением метода моделей атмосфер. К сожалению, в тексте нет описания использованных моделей звездных атмосфер и атомных параметров линий, а так же - метода дифференциальной привязки получаемых содержания железа к солнечным значениям. Однако, фиксирование значений ξ_{turb} и неучет отклонений от ЛТР в линиях FeI и $FeII$ обуславливают точность определения T_{eff} не лучше 100K, а $\log g$ - 0.1 dex (Mashonkina et al., A&A, 2011, 528, A87, Mashonkina et al., Astr. Lett., 2016, 42, 606), что в три раза больше значений, приводимых автором. Соответствующие ошибки должны быть

учтены и при последующем определении радиусов и масс звезд с применением эволюционных треков.

4) Оценки точности измерений магнитного поля (1 Гаусс) и лучевых скоростей (15 м/сек) главной компоненты χ Dra в табл. 11 необоснованно высоки. Для измерений использовались спектры с разрешением $R = 60000$, полученные на оптоволоконном спектрометре без йодной ячейки. Полуширина аппаратной функции в спектрах соответствует дисперсии скоростей около 5 км/сек, а применяемый достаточно грубый метод измерения положения линий по их центру тяжести обеспечивает точность не выше 1/20 от данной величины, т.е. около 250 м/сек. Рецензент допускает, что анализ сотен линий позволил диссертанту улучшить данную оценку, что следовало статистически доказать в диссертации, но не было сделано. Обнаруженные регулярные вариации магнитного поля представляются нам реальными, т.к. хорошо описываются фазовой кривой с периодом $P = 23.^d39$. Однако найденные отклонения лучевых скоростей звезды от рассчитанных согласно уточненной в диссертации эфемериды могут быть обусловлены ошибками измерений. Поэтому осторожный вывод о подозрении на наличие планеты в χ Dra является единственно допустимым в условиях низкой надежности его доказательной базы.

Кроме того, можно отметить ряд недочетов в оформлении текста диссертации.

1) В пункте "Научная новизна работы" главы "Введение" указана предельная точность фотометрических наблюдений транзитов на уровне $0.^m001$. Однако по результатам исследований в главе 1 на стр. 27 дается более осторожная оценка в $0.^m003$.

2) В предложении на стр. 36 "В инфракрасном диапазоне, где контраст между собственным излучением нагретой планеты и излучением звезды является наибольшим, измерение глубины вторичного затмения позволяет наиболее просто определить температуру планеты." Слово "наибольшим" следует заменить на "наименьшим".

3) Формулировка на стр. 54 "Однако заполнением всей сферы Хилла дело, вероятно, не обходится ..." является нежелательной для применения в научной литературе.

4) Заголовок таблицы 12 "Лучевые скорости орбиты χ Dra" явно не соответствует ее содержанию. Более корректной была бы формулировка "Параметры орбиты χ Dra".

5) Многие рисунки в диссертации оформлены с применением разных шрифтов и даже разной системы обозначений. Например, шрифт на рис. 16 в главе 5 отличается от шрифтов на рис. 13 и 14, которые в свою очередь тоже различаются между собой. На рис. 14 и 16 лучевые скорости обозначены как RV , в то время как на рис. 12 - просто V .

Однако, перечисленные недостатки не являются принципиальными и не изменяют общую положительную оценку диссертации.

Оппонент считает, что диссертация "Комплексное исследование свойств избранных экзопланет и кандидатов в экзопланеты" является полноценной и законченной научной работой по развитию астрофизики внесолнечных планет, обеспечивает дальнейший прогресс науки в данном направлении, удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гадельшин Д.Р. безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 - астрофизика и звездная астрономия.

Доцент кафедры астрономии
и космической геодезии КФУ, к.ф.-м.н.
Республика Татарстан, г. Казань,
ул. Кремлевская, д. 18, КФУ
e-mail Slava.Shimansky@kpfu.ru
тел. (843) 233-76-53
04 октября 2018 г.

В.В. Шиманский

