

## ОТЗЫВ

Научного руководителя, к.ф.-м.н. Валявина Г. Г.

на диссертацию Гадельшина Д. Р.

«Комплексное исследование свойств избранных экзопланет и кандидатов в экзопланеты»

За последние два десятилетия естествознание получило мощную поддержку, связанную с общим прогрессом в области целого ряда технологий. Это привело к новым открытиям в фундаментальной науке, значительно обогатив наши знания об окружающем мире. Обнаружение в 90-е годы XX века внесолнечных планет (экзопланет) находится в числе этих открытий.

На сегодняшний день подтверждено существование более трех тысяч экзопланет, вращающихся вокруг звезд разных типов. Эти планеты были открыты фотометрически или спектроскопически в ходе ряда наземных и космических проектов, таких как Kepler и CoRoT. Благодаря этим проектам стали известны основные физические свойства значительной части подтвержденных планет, такие как массы, радиусы, температуры, параметры орбит и т.д. Экзопланетные миры обнаруживают невероятное разнообразие свойств, демонстрируя большой разброс их масс, химических составов и удаленностей от их родительских звезд. Между тем, несмотря на такой впечатляющий прогресс в открытиях внесолнечных планет, детальное исследование их физических свойств и атмосфер остро нуждаются в проведении все новых и новых комплексных наземных наблюдений и их интерпретации. Диссертация Гадельшина Дамира Раеловича посвящена одному из таких исследований, что аргументирует ее актуальность.

В ходе исследования Гадельшина Д. Р. для ряда уже известных экзопланет были построены трансмиссионные спектры (понятие трансмиссионного спектра в астрофизических исследованиях возникло относительно недавно – это зависимость видимого радиуса экзопланеты от длины волны); у двух планет обнаружены свидетельства наличия протяженных оболочек; спектроскопически подтверждены четыре новые экзопланеты, у которых также были определены их физические характеристики (радиусы, равновесные температуры, даны ограничения по массе); и обнаружено два новых кандидата в планеты. Все это имеет очевидную научную значимость работы.

Первые три главы диссертации Гадельшина Д. Р. посвящены фотометрическим исследованиям, построению трансмиссионных спектров экзопланет-гигантов и одной недавно

открытой суперземли. В первой главе Автором продемонстрирован методический уровень, с которым в САО РАН могут выполняться фотометрические исследования внесолнечных планет. Уровень оказался достаточно высоким. Показано, что с использованием метрового телескопа ЦЕЙСС-1000 могут исследоваться:

- 1) экзопланеты размером с Юпитер (не только горячие) у звезд ярче  $V = 15^m$ ;
- 2) планеты типа «нептун» у звезд ярче  $V = 14^m$ ;
- 3) крупные представители планет типа «суперземля» у самых ярких звезд поздних спектральных классов.

Этот методический результат выглядит вполне достойно на уровне мировых экзопланетных исследований с использованием наземных наблюдательных средств. Замечу также, что это были первые успешные наблюдения экзопланет, выполненные в САО РАН за все время ее существования. Таким образом, этот первый результат, не являясь формальным выносом на защиту, играет для обсерватории важное символическое значение.

Во второй главе исследуются широкополосные трансмиссионные спектры горячих юпитеров WASP-33b, WASP-43b и WASP-104b. Для всех планет построены широкополосные трансмиссионные спектры – зависимости эффективных радиусов планет от длины волны. С высокой точностью (около 1-го процента от значения радиуса) измерены средние радиусы исследуемых экзопланет. Получены свидетельства того, что широкополосный спектр одного из исследуемых горячих юпитеров WASP-43b в диапазоне от голубого света вплоть до длины волны 4.5 мкм, является плоским. Это позволило независимо определить ночную температуру этой планеты,  $T = 930$  К с точностью пять процентов от значения. Прошу обратить внимание на то, что прямая оценка температуры планеты была выполнена при анализе широкополосных трансмиссионных спектров горячих юпитеров впервые в мировой практике. До сих пор такие оценки получались модельно (как правило, верхние пределы) по данным наблюдений не транзитов, а вторичных затмений. Этот результат, на мой взгляд, является одним из наиболее важных в диссертации Дамира Раеловича. Корректность полученной им первой прямой оценки температуры экзопланеты подтверждена верхним пределом, опубликованным ранее другими авторами.

Третья глава посвящена фотометрическому исследованию недавно открытой транзитной суперземли HD 219134 b по наблюдениям на телескопе «Цейсс-1000» САО РАН. Впервые транзиты этой планеты были обнаружены космическим телескопом «Спитцер». Целью наших исследований

было независимое подтверждение существования этой планеты наземными средствами в ближнем ультрафиолетовом диапазоне. В результате 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. Этот результат является важным как с методической стороны (за полтора года фотометрических дифференциальных наблюдений достигнута фотометрическая точность в три десятитысячных звездной величины), так и с физической стороны полученного результата, связанной с возможным существованием оболочки вокруг планеты.

Четвертая глава посвящена доказательству планетной природы 4-х транзитных кандидатов в экзопланеты, обращающихся у звезд KOI-974, KOI-2687, KOI-2706. Кандидаты были выбраны из каталога космической миссии «Кеплер» и проверены спектроскопическим 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 нептунами, а KOI-2687b и KOI-2687c – землеразмерными планетами. Этот выносимый на защиту результат, как и предыдущие, является важным как с точки зрения спектроскопических методик, развиваемых в САО РАН, так и с точки зрения самого результата – измерены физические характеристики четырех новых экзопланет.

Наконец в пятой главе (и частично в четвертой) аргументируется обнаружение новых кандидатов в массивные планеты в системах KOI-974 и хи Дракона на основании анализа лучевых скоростей. Эта небольшая добавка логически замыкает проделанную Автором диссертации работу по спектроскопическому исследованию кандидатов в экзопланеты с представлением новых кандидатов.

Все результаты диссертации Гадельшина Д. Р. опубликованы в рецензируемых журналах из списка «Web of Science». Обоснованность и достоверность выводов диссертации обеспечивается высоким авторитетом изданий, в которых опубликованы результаты. Результаты диссертационной работы представляют интерес для специалистов в области изучения планетных атмосфер и их эволюции. Полученные данные могут быть использованы в ИНАСАН, ИКИ РАН, САО РАН, ИЛФ СО РАН, НИИЯФ МГУ и других как отечественных, так и зарубежных научных организациях.

Также хочется отметить эрудицию и высокий уровень подготовки подзащитного в области исследований внесолнечных планет. Работая в коллективе авторов, Гадельшин Д. Р. был вовлечен во все этапы исследований – от наблюдений и обработки данных, до их анализа и публикации. Но особенно активно и плодотворно он работал с интерпретацией полученных данных и подготовкой статей для публикации в научных журналах. При этом он демонстрировал весьма высокий уровень владения языком в донесении своих исследований до читателя.

В силу вышесказанного считаю, что диссертационная работа Гадельшина Дамира Раеловича «Комплексное исследование свойств избранных экзопланет и кандидатов в экзопланеты» является законченным научным исследованием, выполненным на высоком уровне. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Результаты изложены в рекомендованных ВАК изданиях. Она удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия, а ее автор, Гадельшин Дамир Раелович, безусловно, достоин присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Научный руководитель:

Старший научный сотрудник

Лаборатории исследований

звездного магнетизма САО РАН,

кандидат физико-математических наук

Г.Г. Валявин

Почтовый адрес: Россия 369167, Карачаево-Черкесская республика, Зеленчукский район, Нижний Архыз, Специальная астрофизическая обсерватория РАН.

Тел. 89283992474; E-mail: gvalyavin@sao.ru

подпись Валявина Г.Г. заверяю.

Ученый секретарь САО РАН

кандидат физико-математических наук



Е.И. Кайсина