

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу *Руменских Марины Сергеевны*
**«Оптический метод транзитных поглощений в линии метастабильного гелия для
определения параметров экзопланетных атмосфер»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности **1.3.6** – оптика, физико-математические науки.

Диссертационная работа Руменских М.С. направлена на определение физико-химических условий около внесолнечных планетарных систем. Эту амбициозную проблему Руменских М.С. решает изучением оптических поглощений атмосферами экзопланет в триплетной линии $\text{HeI}(2^3\text{S})$ метастабильного гелия. Эти оптические поглощения земной наблюдатель фиксирует при транзитных прохождениях экзопланет вокруг родительских звезд, используя современные телескопы, в том числе космического базирования.

В диссертации выделен вопрос, как гелий появляется в верхних атмосферах и плазмосферах экзопланет, и поставлены три задачи: а) расчет поглощения излучения конкретной родительской звезды в линии метастабильного гелия б) отбор среди известных планетарных систем наиболее перспективных для определения условий в их атмосферах развиваемым методом в) оценка роли радиационного давления излучения звезды в наблюдаемых транзитных поглощениях.

Проблематика диссертации находится на переднем крае и в русле современных научных исследований – все международные журналы, в которых опубликованы статьи, имеют рейтинг Q1. **Актуальность** этой проблематики с ее Нобелевской премией 2019 года определяется открытием более 20-ти лет назад первой экзопланеты (их на сегодня свыше 5500). В частности, в естествознании появилась возможность найти ответ на вопрос, как исследовать скрытые от нас в далеких временах начальные этапы формирования Солнечной системы с ее возрастом более 4,5 миллиарда лет. Руменских М.С. в своей диссертационной работе изучала наблюдательные данные, полученные с наиболее совершенных оптических приборов – современных астрономических телескопов, в частности, Hubble космического базирования, обрабатывала эти данные и сравнивала с результатами математического моделирования трехмерной по пространству динамики слабоионизованной среды применительно к конкретному

звездному объекту. Полученные в диссертации результаты по определению физико-химических условий около изученных экзопланет актуальны.

Научная новизна диссертационного исследования, подтвержденная публикациями в международных журналах высшего уровня, состоит в использовании оригинальной математической модели атмосфер экзопланет для обработки поступающих спектральных данных с современных телескопов. Это позволило получить, в частности, количественную информацию об интенсивности ионизирующего излучения звезды и относительном содержания гелия (He/H) в атмосферах экзопланет, а также оценить параметры планетарных атмосфер.

Теоретическая **значимость результатов** данной диссертации состоит в предложенной методике получения из наблюдений параметров атмосфер экзопланет, а практическая значимость видится в использовании этих данных для подготовки долгосрочных прогнозов космической погоды при планировании многолетних миссий к телам Солнечной системы.

Достоверность полученных результатов обоснована проделанной методологической работой, отраженной в диссертации. Наиболее убедительно выглядит сравнение с результатами других работ, использование методов, зарекомендовавших себя на решении ряда задач, связанных с интерпретацией транзитных поглощений горячих экзопланет в линиях различных элементов. Трехмерный гидродинамический код для численного моделирования верифицирован сравнением с результатами расчетов тестовых задач. Полученные результаты проверены в международном коллективе соавторов статей и обсуждались на 18 международных и российских конференциях.

Личный вклад автора состоит в разработке численного блока по расчету оптических поглощений в линии метастабильного гелия, в проверке выполнимости физических условий в численной модели, в расчетах влияния ряда оптических эффектов, связанных с непосредственным измерением телескопами транзитных поглощений излучения экзопланетными атмосферами. Автором был определен выбор объектов, результаты которых положены в основу работы, а также проведен самостоятельный анализ оптических, химических и гидродинамических явлений, оказывающих влияние на транзитные поглощения. Диссертант участвовал в формулировании выводов статей и в подготовке публикаций в международных журналах.

Диссертация с изложением основных результатов исследования на 127 страницах включает пять глав, из которых первая является введением, и заключения. В тексте 27 рисунков и 9 таблиц. Список используемой литературы состоит из 93 ссылок.

«Введение» состоит из всех обязательных пунктов диссертации, среди которых Положения, выносимые на защиту и состоящие из трех пунктов. В разделе «Степень

разработанности» первой главы приведен краткий литературный обзор данных, полученных по атмосферам экзопланет, оптическому методу зондирования экзопланетных атмосфер с помощью излучения самой звезды при транзитных прохождениях наблюдаемого объекта в поле зрения телескопа. Здесь же ставятся задачи по анализу транзитов горячих экзопланет в линии $\lambda=1083$ нм метастабильного гелия, по определению физико-химических условий, влияющих на особенности оптических профилей поглощения регистрируемого излучения в этой линии. В таблице приведен список выбранных астрономических объектов. В главе 2 описана система уравнений трехмерной гидродинамической модели многокомпонентной водород - гелиевой среды с учетом переноса излучения и с кинетическими уравнениями фотоплазмохимии. Эта система решается численно. Приведен метод решения уравнений, отвечающих за оптический перенос излучения звезд в атмосферах горячих экзопланет. Далее обсуждаются физико-химические процессы, ответственные за возбуждение и дезактивацию уровня 2^3S гелия HeI. В главе 3 представлены результаты интерпретации экспериментальных данных для транзитных наблюдений трех планетарных систем HD189733b, GJ436b и G3470b. Первая из них хорошо изученный «горячий юпитер», вторая - «теплый нептун» без гелия в своей атмосфере, третья система - «теплый нептун» с аномально высоким поглощением в линии гелия в своей протяженной атмосфере. В главе 4 приведены результаты расчетов физико-химических параметров систем HD189733b, Wasp69b и HD209458b, которые были выполнены путем сравнения наблюдательных оптических транзитных поглощений и данных численного моделирования. Для атмосферы Wasp69b получено значение $4\div7$ эрг·см⁻²·с⁻¹ для излучения в области ультрафиолета и мягкого рентгена $1\leq\lambda\leq91$ нм. В главе 5 обсуждается важность учета радиационного давления звезды в окрестности линии 1083 нм для интерпретации транзитных поглощений горячих экзопланет в линии HeI(23S). Используя разработанную методику, изучаются данные измерений для экзопланет GJ436b и Wasp107b. Важным результатом представляется вывод о необходимости учета радиационного давления излучения звезды на атомы метастабильного гелия при численном моделировании оптических транзитных поглощений горячих экзопланет.

Из положительных моментов диссертации Руменских М.С. следует отметить впечатляющий объем проделанной работы в достаточно сжатые сроки, самостоятельность в эксплуатации трехмерной по пространству программы и исключительно высокую публикационную активность.

Основные научные результаты по теме диссертации изложены в **16 научных статьях**, опубликованных в международных журналах с высоким рейтингом из перечня ВАК, индексируемых в международных базах WoS и Scopus.

По диссертации Руменских М.С. имеются следующие замечания.

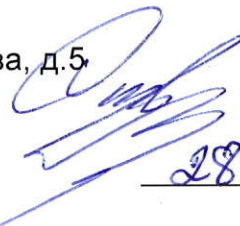
1. На странице 38 приведена нестационарная система уравнений математической модели, в которой нет магнитного поля. В то же время в диссертации на страницах 26-27 обсуждается возможность наличия магнитного поля в планетных системах и звездных ветрах, его влияния на газодинамику атмосферной среды у горячих экзопланет. В тексте отсутствует оценка или объяснение, почему стало возможным пренебречь влиянием магнитного поля.
2. В заключении диссертации на странице 117 приведен один из основных выводов, что «методом интерпретации оптических транзитных поглощений горячих экзопланет были оценены параметры космической погоды в окрестности следующих систем: HD189733A, HD209458, Wasp107, Wasp69, GJ3470.» Этот вывод с некоторым редактированием представляется, по-видимому, самым сильным результатом диссертации. Однако по неясным причинам именно этот вывод отсутствует в защищаемых положениях диссертации.
3. Слова «космическая погода», биомаркеры показывают направления современных исследований. В этой диссертации эти слова представляются излишними, а их непосредственная связь с найденными параметрами среды около экзопланет требует, как минимум, разъяснения и дополнительную конкретизацию.
4. Диссертант иногда использует свою собственную терминологию в давно устоявшихся областях спектроскопии. Так, вместо общепринятых понятий возбуждение – дезактивация и заселение – опустошение встречаются депопуляция (стр. 19), расселение (стр. 27), девозбуждение (стр. 28,54), что мешает восприятию текста.
5. Для текста диссертации хотелось бы видеть более тщательное редактирование. Один пример: на странице 26 написано «Численная модель, результаты которой будут лежать в основе выводов настоящей работы, является инструментом, специально созданным для моделирования наблюдений». В действительности диссертант моделирует не наблюдения, то есть работу исследователя с телескопом, а наблюдаемое оптическое поглощение.
6. В списке публикаций с результатами диссертации статьи в российских журналах Известия РАН, Астрономических вестник, Астрономический журнал отделены от статей в других журналах, хотя эти журналы, как и остальные, входят в список, утвержденный ВАК.

Несмотря на указанные недостатки, в целом диссертационная работа Руменских Марины Сергеевны **«Оптический метод транзитных поглощений в линии метастабильного гелия для определения параметров экзопланетных атмосфер»**, представляет законченное исследование по направлениям «16. Оптика звездных и планетарных атмосфер» и «5. «Развитие физических основ молекулярной оптики и спектроскопии...» специальности 1.3.6. «Оптика». Тема работы актуальна, результаты

работы востребованы для дальнейшего развития в теоретическом плане и в практических приложениях. Научные положения диссертации в своей области применимости достаточно обоснованы, выбранные численные методы адекватны поставленным задачам. Новизна результатов подтверждается их публикацией в ведущих международных журналах. Публикации диссертанта из списка литературы правильно отражают результаты исследований и выводы, изложенные в диссертации. В **Автореферате** правильно изложено основное содержание диссертации, выводы и защищаемые положения.

Таким образом, диссертационная работа Руменских Марины Сергеевны **«Оптический метод транзитных поглощений в линии метастабильного гелия для определения параметров экзопланетных атмосфер»** соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней (п.9), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (с изм. от 20.03.2021 г.), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.6. «Оптика».

Официальный оппонент,
ведущий научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Федеральный исследовательский центр
«Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения
Российской академии наук»
кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник (доцент)
630090, г. Новосибирск, проспект Лаврентьева, д.5.
Тел. 8(383) 3269-469, snyt@catalysis.ru


Валерий Николаевич
Снытников
28 декабря 2023 г.

Подпись Снытникова Валерия Николаевича заверяю

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИК
К.Х.Н. Ю.В. ДУБИНИН

