

ОТЗЫВ
официального оппонента
о диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Бекесова Егора Владимировича
на тему «Влияние тонких эффектов на результаты интерпретации
наблюдений экзопланетных транзитов»
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертационная работа Бекесова Егора Владимировича посвящена решению актуальной проблемы современной астрофизики по определению фундаментальных характеристик экзопланет, открытых транзитным методом. В фокусе исследования находятся геометрия их орбит, радиусы (как следствие плотности, при знании массы из высокоточной спектроскопии) и структуры атмосфер, формирующие тонкие особенности в формах их транзитов и широкополосных трансмиссионных спектрах, полученных фотометрическим методом. Эффективной стратегией исследования принято создание новой методики детального, многопараметрического анализа форм транзитов экзопланет. В результате исследования такая методика создана и протестирована на конкретных, компьютерно-сгенерированных примерах и примерах реальных наблюдений. Показано, что детальный модельный анализ форм транзитных затмений света от родительской звезды, в некоторых случаях, позволяет определять основные физические параметры экзопланет без дополнительных и сложных методов диагностики (в частности, таких, как высокоточная доплеровская спектроскопия и трансмиссионная спектрофотометрия). Это, на мой взгляд, инновационный и важный вклад в дальнейшее развитие темы исследования экзопланет. Теперь более детально.

Благодаря усилиям космических миссий «Кеплер» и «Корот», а также успешному проведению различных наземных фотометрических проектов

поиска экзопланет, таких как знаменитый SuperWASP и других, мы теперь располагаем списком из более десяти тысяч экзопланет и кандидатов в экзопланеты. Благодаря этим исследованиям стали известны базовые свойства значительной части подтверждённых планет. Экзопланеты демонстрируют широкий диапазон масс, химического состава и расстояний от своих родительских звёзд. Тем не менее, несмотря на прогресс, наши знания о свойствах экзопланет до сих пор добываются с большим трудом, требуют развития существующих и создания новых методов диагностики физических свойств вновь открываемых внесолнечных миров. Это формирует как актуальность, так и прикладной интерес к решению поставленных в диссертации задач.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения. Во **Введении** раскрыты актуальность темы, цели и задачи работы, научная новизна и методология, научная и практическая значимость исследования, достоверность и обоснованность результатов, личный вклад автора, публикации и апробация результатов, а также положения, выносимые на защиту. Приведен также краткий экскурс в историю исследований экзопланет и развития методик этих исследований. На мой взгляд, актуальность и новизна автором полностью аргументированы и не вызывают сомнений. Цели и задачи обозначены четко и ясно. Диссертация написана хорошим языком.

Первая глава посвящена описанию программы, написанной автором с использованием языка C++ для интерпретации кривых блеска. Описаны постановка задачи и цели, которых планировалось достичь написанием данной программы, а также объяснены причины использования собственного кода вместо имеющихся в настоящий момент в открытом доступе программ. Критических замечаний не возникло.

Во **Второй главе** описываются результаты исследования влияния оценки эксцентриситета экзопланетной системы на результаты интерпретации фотометрических данных. Рассмотрен вопрос возможности определения эксцентриситета и аргумента перицентра системы (одни из тех самых ``тонких эффектов'', обозначенных в названии диссертации) на основе данных только фотометрических наблюдений, а также исследуется их связь с другими параметрами. Показано также влияние принятых в модели тестовых значений эксцентриситета на определяемый по наблюдательным данным закон потемнения к краю звезды. Глава важная для практически исследований. Даже простой взгляд на приведенный иллюстративный материал может дать практикующему исследователю форм транзитов качественную подсказку в направление его дальнейших исследований и интерпретации полученного результата. Серьезных критических вопросов также не возникло, хотя замечание по использованию эмпирически определяемого коэффициента потемнения к краю появилось. Об этом ниже.

В **Третьей главе** приводятся результаты исследования возможности поиска следов атмосфер экзопланет на основе выявления зависимости определяемого радиуса экзопланеты от длины волны, полученной из интерпретации данных многоцветных фотометрических наблюдений.

Приводятся результаты модельной интерпретации кривых блеска транзитов экзопланеты HD 189733 b, взятых из литературы. Полученная в результате зависимость радиуса планеты от длины волны интерпретируется в соответствии с моделью изотермической экспоненциальной атмосферы с облачным слоем. Проводится интерпретация спутниковых кривых блеска HD 189733 b и HD 209458 b, с применением уточнённого четырёхпараметрического закона потемнения к краю. На основе выявленных зависимостей радиусов экзопланет от длины волны дана новая оценка параметров экзопланетной атмосферы в рамках полностью изотермической

экспоненциальной модели. На мой взгляд, в этом исследовании автор следует традиционным методикам с введением в рассмотрение более точной модели закона потемнения к краю. Полученные результаты уточняют возможную структуру атмосфер рассматриваемых экзопланет. Это уже не столько методическое, сколько научное исследование, что хорошо вписывается в значимость и новизну полученных результатов.

Наконец, в **Четвертой главе** построенная автором методика применяется для интерпретации наблюдательных данных, полученных с наземными телескопами Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. Показаны выявленные зависимости радиуса от длины волны. Для HD 189733 б результаты, полученные из наземных наблюдений, сопоставлены с результатами интерпретации высокоточных спутниковых наблюдений, описанных в Главе 3. Очень хорошее добавление к разработанной автором методике, аргументирующее ее практическую важность в собственных наблюдательных исследованиях ГАИШ МГУ и в учебном процессе.

Раздел **Заключение** подытоживает результаты и представляет перспективы дальнейшего развития начатого автором исследования.

Из представленного краткого анализа результатов могу сказать, что научная новизна и методология, научная и практическая значимость исследования, достоверность и обоснованность результатов также не вызывают сомнений. Личный высокий вклад автора строго определен. Публикации и апробация результатов достаточны. Все положения на защиту и выводы обоснованы и также не вызывают сомнений. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Мои замечания к диссертации следующие. Во **второй Главе** диссертации подробно разбирается влияние значения эксцентриситетов орбит экзопланет

на эмпирически определяемый коэффициент потемнения к краю. Академический интерес для такого рода анализа вполне понятен, интересен и не вызывает сомнения. Между тем в практических исследованиях, в тех случаях, когда фундаментальные параметры родительской звезды известны хорошо, коэффициент потемнения к краю для таких звезд следует фиксировать из теоретического анализа спектра звезд и использовать как известный параметр, поскольку теория здесь дает нам вполне точную оценку. Фиксация этого параметра сделает вывод об эксцентриситете орбиты экзопланеты более уверенным. В частности, для экзопланеты HD 189733 b. Впрочем, это даже не замечание, а комментарий. Само по себе исследование в академическом контексте правильное и значимое.

Есть также ряд грамматических и стилистических замечаний по тексту. В принципе, их не много, и они не вызывают отторжения. Кроме того, некоторые из них субъективны. Отмечу лишь некоторые.

1. Страница 27, последнее предложение второго абзаца снизу "... с помощью так называемого коэффициента потемнения к краю". Строго определенные базовые физические величины в профессиональной литературе обычно не используют в контексте "так называемые".

2. Страница 48, одиннадцатая строчка снизу. Нет пробела между математическим символом "Ангстрем" и продолжением строки (классическая проблема редакторской системы Latex, требующая расстановки дополнительных пробелов, или разрыва).

3. Страница 64, пятая строчка сверху "в свою очередь" не выделено запятыми.
4. Страница 77, первый абзац, два предложения подряд начинаются с фразы "В таком случае".
5. Страница 77, последнее предложение начинается не с заглавной буквы, а со спецсимвола (z_{eff}).
6. Страница 95, одиннадцатая строчка снизу. В слове "эксцентриситет" пропущена буква.
7. Страница 97. Первое предложение. Вместо "наблюдения с наземных телескопов" должно быть "с наземными телескопами".

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Бекесов Егор Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН)

Валявин Геннадий Геннадьевич

03.12.2025

Контактные данные:

тел.: +7 (87878) 46336, e-mail: gvalyavin@sao.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Адрес места работы:

369167, Карачаево-Черкесская республика, пос. Нижний Архыз, ул. Асфальтная, САО РАН

Тел.: +7 (87878) 46336; e-mail: adm@sao.ru

Подпись сотрудника САО РАН Г. Г. Валявина удостоверяю:
Ученый секретарь САО РАН

Е. И. Кайсина