

Отзыв научного руководителя
на диссертационную работу Бекесова Егора Владимировича
«Влияние тонких эффектов на результаты интерпретации
наблюдений экзопланетных транзитов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Работа Е. В. Бекесова посвящена актуальной теме — исследованию затмений звезд экзопланетами. К настоящему времени, благодаря работе на орбите вокруг Земли специализированных обсерваторий Corot, Kepler, TESS и др., открыто свыше 7000 транзитов экзопланет. Точность спутниковых наблюдений транзитов очень высока, составляет $\sim 10^{-4}$ - 10^{-5} звездной величины, а относительная точность соответствующих затменных кривых блеска лучше 1%. При такой высокой точности из спутниковых наблюдений транзитов удастся с большой надеждностью определять как отдельные параметры орбиты системы «звезда-экзопланета», так и характеристики затмеваемой звезды и экзопланеты. Столь высокая точность наблюдений позволяет также изучать тонкие эффекты: влияние закона потемнения к краю затмеваемой звезды, наличие небольшого эксцентриситета орбиты системы, который, ввиду малости амплитуды кривой лучевых скоростей звезды, определяется со значительной погрешностью. Также при такой высокой точности наблюдений на кривых затмения сказываются эффекты поглощения света затмеваемой звезды в атмосфере экзопланеты.

В связи с предполагаемым запуском на орбиту вокруг Земли космических миссий «Спект-ультрафиолет» и «МГУ-270», где планируются как спектральные, так и многоцветные фотометрические наблюдения транзитов, изучение перечисленных тонких эффектов представляется весьма актуальной задачей.

Диссертационная работа Е. В. Бекесова состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении описана история открытия экзопланет вокруг звезд, суммированы методы наблюдений экзопланет, сформулированы задачи исследований, а также резюмированы основные результаты работы.

В первой главе описаны алгоритмы и компьютерная программа интерпретации кривых затмения звезд экзопланетами на эллиптических орбитах. Здесь же описаны методы решения обратной задачи интерпретации транзитной кривой блеска с учетом эллиптичности орбиты экзопланеты. Важно то, что, в отличие от многих исследований, диссертант учитывает эллиптичность орбиты, что позволило ему значительно расширить круг решаемых задач.

Во второй главе выполнено исследование влияния эксцентриситета орбиты на результаты интерпретации транзитных кривых блеска.

Амплитуда кривых лучевых скоростей звезд, затмеваемых экзопланетами, весьма мала. При точности измерения лучевых скоростей порядка нескольких метров в секунду относительная погрешность наблюдаемых кривых лучевых скоростей не мала и вполне допускает даже для короткопериодических экзопланет значение эксцентриситета орбиты в несколько сотых. Важно исследовать как влияет неопределенность в значении эксцентриситета орбиты на параметры звезды и экзопланеты. В таком виде задача поставлена диссертантом впервые, и здесь им получен важный результат. Показано, что учет небольшого эксцентриситета орбиты в случае транзита HD209458 позволяет устранить несоответствие между наблюдаемой и теоретической зависимостью от длины волны коэффициентов потемнения к краю затмеваемой звезды.

В третьей главе описаны результаты интерпретации высокоточных многоцветных спутниковых наблюдений транзитов HD209458 и HD18973. В последние годы были опубликованы четырехпараметрические законы потемнения к краю для атмосфер этих звезд, рассчитанные в рамках физически более реалистичной трехмерной модели атмосферы с

учетом наличия конвективных ячеек. Диссертант использовал эти законы для надежного восстановления структуры атмосфер экзопланет в системах HD209458 и HD189733. При этом он также использовал физически обоснованную априорную информацию о системе: параметры орбиты системы, угол наклона орбиты и радиус звезды не должны зависеть от длины волны. В такой постановке обратная задача интерпретации многоцветных затменных кривых блеска является однопараметрической, когда в задаче есть лишь один искомый параметр — радиус планеты как функция длины волны. В итоге диссертанту удалось восстановить структуру атмосфер экзопланет в системах HD209458 и HD189733 и определить их физические характеристики. Исследовано также влияние эксцентриситета орбиты на результаты.

В четвертой главе диссертант приводит результаты многоцветных наземных фотометрических наблюдений для восьми экзопланет, полученных на Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ и Крымской станции ГАИШ МГУ. Он выполнил интерпретацию этих наблюдений и определил параметры затменных систем и радиусы экзопланет в рамках однопараметрической модели системы. У трех систем радиусы экзопланет в синих лучах оказались больше, чем в красных лучах (в пределах 1σ). Это позволяет предположить наличие у этих экзопланет атмосфер, рассеивающих свет по рэлеевскому закону. Таким образом, диссертант на основе своих наблюдений показал, что в рамках однопараметрической модели имеет смысл искать следы атмосфер экзопланет даже по наземным многоцветным фотометрическим наблюдениям.

В заключении суммированы полученные результаты и описаны перспективы дальнейших исследований.

Результаты работы Е. В. Бекесова опубликованы в шести научных статьях и доложены на нескольких научных конференциях.

Считаю, что диссертация Е. В. Бекесова «Влияние тонких эффектов на результаты интерпретации наблюдений экзопланетных транзитов» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым МГУ к кандидатским диссертациям, и может быть рекомендована к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (физико-математические науки).

Научный руководитель
доктор физико-математических наук, профессор,
академик РАН
12.05.2025

А. М. Черепашук

Подпись А. М. Черепашука заверяю:
начальник отдела канцелярии ГАИШ МГУ Л. Н. Новикова