

ОТЗЫВ
официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Лазовика Ярослава Александровича
на тему «Приливная диссипация и орбитальная эволюция в системах
звезда-планета» по специальности
1.3.1. Физика космоса, астрономия

Диссертация Я. А. Лазовика посвящена кругу проблем, связанных с орбитальной эволюцией т. н. горячих юпитеров. Сейчас обнаружено уже несколько сотен объектов этого типа, и их исследованию ежегодно посвящается несколько десятков статей, **что говорит об актуальности тематики диссертации.**

Диссертант тщательно проанализировал роль различных факторов, влияющих на изменение параметров орбит горячих юпитеров, и выбрал наиболее обоснованные методы их учета. Полученные на этой основе оценки скорости перераспределения углового момента в системе звезда-планета были использованы в рамках единого формализма для расчета эволюции орбитальных параметров горячих юпитеров с различными массами и начальным положением. Важно отметить, что при численном моделировании автор применил разработанный им алгоритм, позволивший рассчитать несколько миллионов вариантов эволюции на временном интервале порядка 10^{10} лет.

Сравнение результатов моделирования с наблюдениями позволило автору сделать ряд интересных выводов об относительной роли факторов, влияющих на изменение углового момента горячих юпитеров. Диссертант также получил оценку вероятности реализации того или иного сценария эволюции, в частности, вероятности поглощения горячего юпитера звездой, или его превращения в горячий нептун. С точки зрения проверки правильности современных представлений о механизмах диссипации

орбитального момента горячих юпитеров весьма важной представляется предсказание вероятности обнаружения переменности орбитального периода этого типа экзопланет. **Все результаты в положениях, вынесенных на защиту, являются новыми, нетривиальными и в достаточной степени обоснованы**, о чем, в частности, свидетельствует тот факт, что по материалам диссертации были опубликованы три статьи в журнале *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.*, который относится к списку ТОП-25.

Я весьма высокого мнения о научном содержании диссертации Я.А.Лазовика, но при этом считаю необходимым отметить следующее:

1а. Для оценки радиуса внутренней границы протопланетного диска R_t в Модели 1 с помощью соотношения (3.2) диссертант принимает, что шкала времени аккреции τ_{ac} порядка 10^5 лет. Считаю, что величина τ_{ac} должна быть на порядок больше, т. е. совпадать с характерным возрастом классических звезд Т Тельца. В таком случае величина R_t будет в 2-3 раза больше значения, использованного диссертантом.

В этой связи напомним, что первое положение, вынесенное на защиту гласит: «12—15 % горячих юпитеров вокруг звезд с массой в пределах диапазона $[0.95; 1.05] M_{\odot}$ были поглощены или потеряли достаточно вещества, чтобы выйти из диапазона масс юпитеров ($[0.3; 10] M_J$).» Считаю, что вместо указания диапазона (12—15 %) следует написать более осторожно – «порядка 10 %», поскольку соответствующая оценка получена в рамках ряда предположений, в частности, при расчете величины R_t , о чем, кстати, сказано на стр. 69 диссертации, т. е. речь идет только об изменении формулировки.

2а. На стр.91 диссертант утверждает, что увеличение эксцентриситета с ростом времени циркуляризации «особенно заметно среди систем с горячей звездой». Возможно так оно и есть, но из рис. 4.6 я этого не вижу, поэтому для убедительности следовало бы привести для двух выборок (с T_{eff} больше и

меньше 6250 K) коэффициенты наклона зависимостей $e=e(\tau_e, p_l)$ с указанием ошибок коэффициентов. Кстати сказать, на верхней панели рис. 4.6 было бы неплохо указать и ошибки используемых данных.

3a. В § 2.8 обсуждается вопрос о том, как изменение металличности звезды «влияет на миграцию горячих юпитеров после диссипации протопланетного диска.» В дополнение к сказанному в этом разделе, хочу отметить следующее: у звезд с массой близкой к M_\odot от содержания металлов должно зависеть наличие и размер конвективного ядра, появление которого связано с доминированием горения водорода в CNO-цикле над p-p-цепочкой. В свою очередь, наличие и размер конвективного ядра — важный фактор, влияющий на характер диссипации орбитального момента горячих юпитеров.

Несколько замечаний по поводу терминологии, используемой в диссертации:

1b. В уравнении (1.2) Γ_{wind} — это не «угловой момент ветра» (стр.19), а угловой момент, уносимый ветром в единицу времени, а τ_{disc} в уравнении (1.3) — это не « время диссипации протопланетного диска» (стр.20), а время, прошедшее с момента, когда нарушется условие т. н. «disk locking». Кстати сказать, причина того, что в течение некоторого времени периоды вращения молодых звезд не меняются, не связана с тем, что раскрутка вследствие дисковой аккреции компенсирует торможение замагниченным звездным ветром – см. стр.20. Кроме того, автор в разных местах диссертации использует термин «время жизни диска», но, на самом деле, следовало бы говорить о продолжительности аккреционной фазы эволюции протопланетного диска.

2b. Правильно ли я понял, что используемый диссертантом термин «гравитационные волны» – это g-моды собственных колебаний звезды?

3b. Считаю, что вместо термина «инерциальные волны» нужно использовать термин «инерционные волны»: по-моему, это лучше соответствовало бы физике явления.

В целом диссертация оформлена хорошо, хотя чувствуется, что ее текст переводился на русский язык с оригинальных статей, написанных на английском. В связи с этим у меня возникла пара вопросов:

1с. Хотелось бы, чтобы автор пояснил, каким образом в процессе фотоиспарения диска «равновесие между ионами и нейтральными частицами поддерживается адвекцией газа» – стр.34. Или это опечатка, и имелась ввиду амбиполярная диффузия?

2с. Каков смысл предложения на стр.41: «При нахождении планеты за этим радиусом инерциальные волны быстро доставляют ее к границе собственного возбуждения, что вызывает такое поведение планеты на ранней стадии своей эволюции.»

Приведенные выше замечания не умаляют значимости и моей высокой оценки 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 (по физико-математическим наукам), 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 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Лазовик Ярослав Александрович безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник (ученое звание),
ведущий научный сотрудник
Лаборатории новых фотометрических методов
Государственного астрономического
института имени П. К. Штернберга
Федерального государственного образовательного
учреждения высшего образования «Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»

ЛАМЗИН Сергей Анатольевич

08 мая 2024 года

Контактные данные:

тел.: +7-495-939-16-63, e-mail: lamzin@sai.msu.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена
диссертация: 01.03.02 - Астрофизика и звездная астрономия

Адрес места работы:

119234, г. Москва, Университетский прспект д.13,
ГАИШ МГУ
Тел.: +7-495-939-28-58; e-mail: director@sai.msu.ru

Подпись сотрудника МГУ С. А. Ламзина удостоверяю: