

ОТЗЫВ
официального оппонента

на диссертационную работу *Дмитриева Дениса Витальевича* на соискание
учёной степени «кандидат физико-математических наук»
по специальности «1.3.1. Физика космоса, астрономия» на тему
**«Моделирование наблюдательных проявлений
магнитосферной аккреции у звезд типа UX Ori поздних
спектральных классов»**

Изучение фотометрической переменности молодых звезд предоставляет возможность разобраться в сложных физических процессах, сопровождающих формирование звезд и управляющих эволюцией околозвездных протопланетных дисков. Наиболее сильная эруптивная переменность молодых звезд связывается с резким ростом аккреции из протопланетного диска на звезду, что наблюдается в виде феномена звезд типа FU Ori и EX Lup. Сценарий эволюции диска, в котором реализуется нестационарный характер аккреции из протопланетного диска на звезду, позволяет разрешить фундаментальные противоречия между наблюдаемыми и «монотонными» темпами аккреции на молодые звезды. Однако физические механизмы нестационарной аккреции до сих пор надежно не установлены. Переменность звезд типа UX Ori (предмет исследования данной диссертации) не такая сильная, как у FU Ori и EX Lup, но также фундаментальна важна для объяснения процессов на поздних этапах эволюции протопланетных дисков. Их переменность объясняется затмениями веществом в околозвездном окружении или в протопланетном диске, однако причины возникновения затмений остаются дискуссионными. Являются ли затмения следствием каких-либо неустойчивостей в диске, результатом изгиба диска или присутствия планет — остается открытым вопросом. Я считаю, что изучение переменности молодых звезд и их причин имеет фундаментальное значение для теории звездо- и планетообразования.

Интерпретация наблюдений, в целом, и систем типа UX Ori, в частности, возможна на базе той или иной физической модели. С одной стороны, модель может быть достаточно сложной, например, включать в себя магнитогидродинамическое моделирование диска с учетом каких-либо неустойчивостей, его взаимодействие с магнитосферой звезды, самосогласованный расчет температуры, моделирование профилей линий. Однако такая модель труднореализуема, малоприемлема для объяснения множества объектов и может в конечном итоге не учитывать определяющий физический аспект. С другой стороны, слишком простая феноменологическая модель может быть не в состоянии отразить ключевые физические особенности явления и в конечном итоге не сможет объяснить наблюдательные данные. В этой связи автор диссертации поставил перед собой и успешно решил задачу по разработке такой модели, которая одновременно была бы наглядной и гибкой, и вместе с тем -- физически хорошо обоснованной и детализированной. Актуальность и востребованность такой модели связана не только с ее потенциалом объяснять конкретные фотометрические особенности молодых систем. Эту модель можно рассматривать как эффективный метод восстановления физических параметров магнитосферной аккреции молодых звезд, таких как темп аккреции на звезду, наклон диска к наблюдателю, магнитное поле звезды.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. В первой главе объясняются основные понятия и элементы теории магнитосферной аккреции: магнитосфера звезды, коротационный радиус, аккреционные пятна и структура аккреционной колонки, особенности формирования профилей линий излучения и их использование для оценки темпа аккреции.

Во второй главе описана реализация модели магнитосферной аккреции, созданная в процессе работы над диссертацией. Приведены демонстрационные модельные расчеты, которые наглядно иллюстрируют зависимость профилей линий от параметров модели. **На мой взгляд, в этой главе можно было бы также показать сравнение с аналитическими решениями или с другими программными комплексами. Модель достаточно сложна математически, в ней есть аспекты, связанные с процессами возбуждения линий и с геометрическими факторами. Иллюстрация того, что все аспекты реализованы корректно, была бы полезна.**

Третья глава посвящена исследованию магнитосферной аккреции в отсутствии ионизационного равновесия. Показано, что адвекционный перенос степени ионизации влияет на профили водородных линий, особенно при низких темпах аккреции. Без учета этого процесса оцениваемый темп аккреции может быть занижен в несколько раз. Этот новый результат безусловно важен для восстановления корректных темпов аккреции из наблюдательных данных звезд типа Т Тельца. **Моим пожеланием к данной главе является то, что объяснение двугорбой формы отношения максимальной интенсивности в линии $H\alpha$ в стационарном приближении к максимальной интенсивности без него (Рис. 3.4) желательно было бы сопроводить соответствующими графиками, показывающими поведение обсуждаемых величин: оптической толщины, отношения населенностей уровней, степени ионизации, влияния радиативных и столкновительных процессов.**

Четвертая глава посвящена применению модели магнитосферной аккреции к объекту RZ Psc, что позволило получить темп аккреции на звезду, магнитное поле звезды, угол наклона магнитосферы к лучу зрения. Анализируя эти параметры, был сделан вывод, что аккреция вещества с диска на звезду происходит в режиме слабого магнитного пропеллера. Этот результат, безусловно, интересен, так как объясняет возможную причину сохранения у RZ Psc протопланетного диска с большим возрастом ~20 млн. лет. **На мой взгляд при обсуждении данной системы полезно было бы также перечислить возможные физические причины вспышки аккреционной активности звезды RZ Psc.**

В пятой главе изучается влияние излучения горячего аккреционного пятна на фотометрическую активность звезд типа UX Ori. Показано, что наличие на поверхности звезды горячего пятна может привести к увеличению разброса показателей цвета во время затмений. Это, безусловно, новый и важный результат, объясняющий детали фотометрической переменности этих звезд. Для объяснения быстрых изменений показателя цвета на временах около часа в данной главе также предложена модель затмения звезды сильно неоднородным пылевым экраном, содержащим пылевые сгустки и просветления. Показано, что такая модель способна воспроизвести наблюдавшуюся переменность у звезды RY Lup. **В данной главе отмечается, что переменность звезд типа AA Tau может быть вызвана**

изгибанием внутренней области диска магнитосферой звезды, наклоненной к оси вращения. Считаю, что здесь полезно было бы также указать каковы другие возможные причины появления неоднородностей в протопланетном диске, приводящие к затмениям излучения звезды, а также предположить возможные физические процессы, обеспечивающие «просветление в пылевом экране» и неоднородное распределение пыли в затмевающей звезду «экране».

Диссертация производит очень хорошее впечатление. Она написана строгим научным языком и хорошо проиллюстрирована. Форма ссылок позволяет различить результаты, полученные соискателем, от результатов других авторов. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Вместе с тем у меня есть несколько замечаний к тексту:

1. В тексте встречаются англицизмы и непродублированные английские термины. Например: стр. 12 «Это расстояние называют truncation radius...», стр. 13 «филлинг фактор», стр. 15 «рентгеновского излучения шока». На мой взгляд, предпочтительнее все же использовать русскоязычные термины.
2. Для ряда формул, например, (1.1) и (1.2) нет ссылок на первоначальный источник.
3. Стр. 12 «Для того, чтобы была возможна магнитосферная аккреция должно выполняться условие $R_T < R_{CO}...$ » Здесь и далее в абзаце под R_{CO} понимается ранее введенная величина R_{cor} ?
4. Некоторые разделы, на мой взгляд, выделены не вполне удачно. Например, в разделе «1.4 Одномерная модель магнитосферной аккреции» очень кратко упоминается модель аккреции в дипольно-октопольном магнитном поле из статьи [43], но не ясно, используется ли она в диссертации. Из дальнейшего текста становится понятно, что в диссертации используется модель, описанная изначально в других работах.
5. Стр. 19 Перед уравнением (2.2) «...для полоидальной скорости звезды V_p ». Должно быть «для полоидальной скорости газа V_p ».
6. Стр. 38 После уравнения (3.1) повтор предложения «Также, для простоты, можно принять $n_e = n_H - n_1$, так как вклад верхних уровней в n_H для условий магнитосферы оказывается незначителен.»
7. В тексте встречаются грамматические ошибки, например, «не смотря на его давность» (стр. 49), «в последствии были подтверждены» (стр. 47).

Отмечу, однако, что отмеченные выше пожелания и замечания несколько не умоляют высокого уровня работы. Диссертация Дмитриева Дениса Витальевича представляет собой законченную научную работу, результаты которой являются новыми и достоверными. Полученные в диссертации результаты важны для идентификации механизмов нестационарной аккреции. Разработанные в диссертации численные модели могут быть использованы для восстановления параметров аккреции у молодых звезд. Полученные соискателем результаты опубликованы в 7 статьях,

рекомендованных ВАК, а также прошли широкую апробацию на российских и международных конференциях.

Диссертация полностью соответствует критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., и специальности 1.3.1 — Физика космоса, астрономия и отрасли физико-математических наук, а ее автор Дмитриев Денис Витальевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник Института астрономии РАН
(119017, Москва, ул. Пятницкая д. 48)
доктор физ.-мат. наук
pavyar@inasan.ru, +7(495) 951-27-35



Я.Н. Павлюченков

31.03.2025

Подпись в.н.с. Института астрономии РАН
Я.Н. Павлюченкова заверяю

Ученый секретарь Института астрономии РАН
кандидат физ.-мат. наук



М.С. Мурга