

Отзыв официального оппонента
на диссертацию **Маланчева Константина Леонидовича**
«Нестационарные процессы в астрофизических дисках»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук МГУ по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Диссертация К.Л.Маланчева посвящена исследованию нестационарных процессов в геометрически тонких аккреционных дисках, в частности, построению моделей эволюции такого диска в рентгеновских новых, объяснениям кривых блеска некоторых из карликовых новых, ответа на вопрос о структуре аккреционных потоков и ее конвективной устойчивости. Несмотря на то, что основы теории аккреции на компактные объекты были заложены еще в начале 70-х годов прошлого века и с тех пор ее развитию было посвящено множество работ, многие аспекты остаются до конца неясными и требующими пристального внимания исследователей. Более того, имеющиеся экспериментальные данные демонстрируют широкое разнообразие наблюдательных проявлений нестационарных процессов в астрофизических объектах, которые зачастую не удается объяснить в рамках уже существующих теорий и моделей. Таким образом, тема диссертации, безусловно, актуальна.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 138 страниц и включает 30 рисунков, 2 таблицы, а также список литературы из 171 наименования.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, приведен исторический обзор научной литературы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, указана их новизна, практическая значимость и апробация работы, описан личный вклад автора, приведены сведения о структуре диссертации и публикациях по ее теме.

Первая глава работы посвящена моделированию кривых блеска рентгеновской новой A0620-00. Для этого авторами предложена модель нестационарной дисковой аккреции с учетом нескольких важных физических эффектов. В первую очередь, во внимание было принято облучение внешних частей диска рентгеновским излучением, формирующимся в его внутренних частях. Вторым важным элементом проведенных расчетов является учет вертикальной конвекции в рамках модели с длиной перемешивания. Особенностью рассматриваемой модификации модели является учет разницы в турбулентной генерации энергии внутри конвективной ячейки и вне ее. Разработанная модель была применена для описания оптических и рентгеновских кривых блеска рентгеновской новой A0620-00 и получены оценки на параметры турбулентной вязкости. Для объяснения вторичного максимума блеска выдвинуто предположение о дополнительном притоке массы со звезды-компаньона, а недостаток получаемой в модели оптической светимости предложено объяснить добавлением третьего света, связанного с прогревом звезды-компаньона или внешней части диска.

Во второй главе проанализирована эволюция темпа аккреции во время вспышки 2002 года в системе 4U 1543–47, когда этот рентгеновский источник находился в высоком мягком состоянии. Показано, что форма наблюдаемой кривой блеска не может быть воспроизведена с помощью модели горячего диска с постоянным радиусом и требует применения модели уменьшающейся зоны высокой вязкости. Особое внимание уделяется рассмотрению эффектов, связанных с рентгеновским самооблучением диска, от которых сильно зависит характер его эволюции. Для нескольких наборов возможной массы черной дыры в системе и параметра Керра по данным рентгеновских наблюдений смоделировано изменение темпа аккреции в течение вспышки. Кроме того, из исследований свойств вязкого диска для набора параметров черной дыры было обнаружено, что если параметр самооблучения составляет $C_{\text{irr}} \sim 5 \times 10^{-3}$, то для объяснения наблюдаемой эволюции требуются значения α много больше единицы. Таким образом, показано, что типичные значения параметров самооблучения, используемые в литературе, слишком велики и не могут быть использованы для объяснения вспышки.

В третьей главе рассчитана структура ламинарных аккреционных течений, в которых выделение энергии происходит за счет микроскопической вязкости. Были рассмотрены два случая: 1) при условии пренебрежения потерь на излучение и 2) когда перенос энергии осуществляется излучением, но давление вещества преобладает. Для первого случая была исследована конвективная устойчивость полученного решения и выведено критическое значение числа Прандтля, выше значения которого течение оказывается конвективно неустойчивым. Для второго случая был получен ряд новых решений вертикальной структуры диска с коэффициентами непрозрачности и вязкого энерговыделения, которые зависят от плотности и температуры степенным образом. Эти решения были также исследованы на конвективную устойчивость, в результате чего было показано, что имеющиеся в литературе критерии конвективной неустойчивости таких течений являются необходимыми, но недостаточными. Отмечено, что появление конвекции в ламинарных кеплеровских дисках может приводить к турбулентности, которая требуется для эффективного отвода момента импульса. В конвективно устойчивых случаях вертикальная структура ламинарных течений может быть использована как фоновое решение при дальнейшем анализе эволюции малых гидродинамических возмущений.

В четвертой главе представлены результаты трёхмерного газодинамического моделирования движения аккрецирующего вещества в карликовой новой V1239 Her. Особенности этой системы является то, что она достаточно тесная, звезда-компаньон заполняет свою полость Роша, система видна практически «с ребра», что выражается в наблюдаемых затмениях. В результате расчетов показано, что холодный газовый поток, выходящий из внутренней точки Лагранжа, за несколько орбитальных периодов образует дискообразную структуру вокруг компактного объекта. Показано, что предложенная модель хорошо описывает кривые блеска V1239 Her в спокойном состоянии, при этом наблюдаемое изменение их формы может быть объяснено изменением темпа истечения вещества со звезды-

компаньона. В главе также приведено описание формирования некоторых деталей кривых блеска (предзатменного горба и поведения после затмения), а также показано, что половина втекающего вещества через внутреннюю точку Лагранжа покидает систему.

В Заключение сформулированы некоторые из полученных результатов, возможные области их применения и перспективы дальнейших исследований.

Как было отмечено выше, несмотря длительные и интенсивные исследования по теории аккреции, многие ее аспекты все еще остаются до конца неясными и требующими пристального внимания исследователей, особенно принимая во внимание широкое разнообразие наблюдаемых проявлений нестационарности процессов, протекающих при аккреции на компактные объекты. В представленной работе сделан существенный шаг в понимании физики таких процессов, получены новые, значимые результаты. В частности, разработаны модели, позволяющие описывать наблюдаемые кривые блеска, найдены аналитические и полуаналитические решения для структуры ламинарного тонкого аккреционного потока и вертикальной структуры аккреционного диска, предложен новый метод расчета болометрических орбитальных кривых карликовых новых. Разработанная модель, учитывающая вертикальную конвекцию, в дальнейшем может быть использована для построения более точных численных моделей аккреционных дисков в карликовых и рентгеновских двойных, протопланетных дисках и дисков в активных ядрах галактик. Важным результатом в плане практического применения результатов диссертации является находящийся в открытом доступе код FREDDI для расчетов модельных кривых блеска рентгеновских новых. Результаты диссертационной работы могут быть востребованы в ГАИШ МГУ, САО РАН, ИКИ РАН, ИНАСАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН и др.

Основные результаты диссертации неоднократно докладывались на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах, в 3 из 5 статей соискатель является первым автором, в остальных – вторым.

У оппонента есть несколько замечаний и вопросов к диссертации.

Глава 1.

Автор предлагает впрыск дополнительной массы в аккреционный диск для объяснения вторичного максимума кривой блеска. Необходимо пояснить, какими физическими процессами можно обеспечить действие такого механизма, чем он лучше предлагавшихся ранее (например, в работе Чена и др. 1993), провести качественное и количественное сравнение с этими моделями.

Кроме того, вторичные максимумы наблюдаются и у других рентгеновских новых в мягком рентгеновском диапазоне, при этом в жестком диапазоне они практически не выражены, и такое поведение достаточно сложно объяснить простым притоком

массы. Также важным является вопрос о том, меняется ли спектр в течение вспышки и если да, то каким образом?

Было бы весьма полезно сравнить построенную модель с моделями, предложенными в работах Любарского, Шакуры (1987) и Сулейманов, Липунова, Шакура (2007), обсудить отличия и преимущества.

При моделировании кривых блеска рентгеновской новой A0620-00, какие данные были первичными для расчетов – рентгеновские или оптические? Если первые, то каким образом проводился пересчет в оптику, в разные фильтры? Если моделировались и рентгеновский, и оптический спектры, то было бы полезно привести широкополосный спектр и сравнить модель, которой он описывается с применявшимися другими авторами, в том числе для других рентгеновских новых.

Из рис. 1.2 и 1.3. видно, что не все оптические данные могут быть адекватно описаны добавлением третьего света. В частности, синяя кривая улучшает аппроксимацию экспериментальных точек в конце вспышки, однако неудовлетворительно описывает их в середине; для красной кривой ситуация выглядит с точностью до наоборот. С чем связано такое различие? Каким образом считался вклад оптической звезды? Постоянен ли он в течение вспышки или переменен?

Глава 2.

В каком диапазоне энергий получены кривые блеска? Какие компоненты присутствуют в рентгеновском спектре источника? Какой вклад жесткой компоненты и как он меняется в течение вспышки? Спектр какой компоненты использовался при расчете облучения внешних частей?

Глава 4.

В результате проведенных расчетов было показано, что основное энерговыделение происходит в центральных областях диска. В то же время утверждается, что для систем с большим наклоном наблюдаемые кривые блеска определяются внешними краями. Насколько полученные решения чувствительны к углу наклона? Известно, что этот параметр является одним из наиболее сложно определяемых из наблюдений. Проводились ли оценки влияния неточности его определения на результаты?

В диссертации присутствует значительное количество опечаток, а также некорректные формулировки, например, на стр. 26 сказано «в случае карликовых новых, в которых аккреция идет на черную дыру», однако карликовые новые по определению включают в себя белый карлик. В представленном экземпляре диссертации перепутаны 9 и 10 страницы. Название диссертации звучит слишком общо и скорее претендует на глобальную формулировку целого направления исследований.

Вместе в том, необходимо отметить, что указанные замечания не являются существенными и никак не влияют на высокое научное значение диссертации.

Диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук МГУ по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия, а ее автор **Маланчев Константин Леонидович**, заслуживает присвоения ему степени кандидата физико-математических наук МГУ.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Заведующий лабораторией релятивистских компактных объектов
и рентгеновской навигации отдела астрофизики
высоких энергий ФГБУН Институт космических
исследований Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН

А.А.Лутовинов

Почтовый адрес: 117997 Москва,
ул. Профсоюзная 84/32,
ФГБУН Институт космических
исследований Российской академии наук
Телефон: 495 3332222
Электронный адрес: aal@iki.rssi.ru

Отзыв заверяю:

Ученый секретарь ИКИ РАН,
доктор физико-математических наук
7 июня 2017 г.



А.В. Захаров