

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу
Кондратьева Ильи Алексеевича
«Магниторотационные процессы в коллапсирующих сверхновых»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1. - «Физика космоса, астрономия»

В диссертации Кондратьева Ильи Алексеевича «Магниторотационные процессы в коллапсирующих сверхновых» рассмотрен ряд актуальных вопросов физики замагниченных нейтронных звезд и теории взрывов сверхновых. Как и многие современные работы, посвященные теоретическому описанию физических процессов, диссертация И.А.Кондратьева в качестве инструментария использует методы математического моделирования и вычислительного эксперимента. Следует подчеркнуть, что в этом отношении работа выполнена на высоком уровне. Пройдены все необходимые этапы на пути к численному моделированию: выбор вычислительных алгоритмов, адекватных решаемой задаче, их программная реализация и тщательная верификация разработанных кодов (главы 1 и 2). Разработанные программные комплексы применяются для численного интегрирования дифференциальных уравнений, описывающих изучаемые в диссертации проблемы: расчет теплового излучения от замагниченной нейтронной звезды (глава 1) и несимметричный взрыв сверхновой в рамках магнито-ротационной модели этого явления (глава 3).

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, двух Приложений, изображений и таблиц. Во введении сформулированы цели и задачи исследования, положения, выносимые на защиту, обоснованы актуальность и новизна исследований, описаны личный вклад и научная и практическая значимость работы.

Первая глава посвящена численному моделированию процессов теплопереноса во внешних слоях замагниченных нейтронных звезд. Разработан и реализован вычислительный алгоритм для численного интегрирования уравнения теплопроводности с тензорными коэффициентами, определяемыми распределением магнитного поля в коре звезды. При построении моделей были приняты разумные приближения, в частности, приближение тонкой оболочки нейтронной звезды. При этом вся оболочка разделяется на кору и относительно тонкую внешнюю оболочку, в которой происходит существенное изменение температуры и плотности. В коре численно интегрируется трехмерное «уравнение Лапласа», в оболочке – одномерное. В рамках этих приближений проведена серия расчетов, в которых варьировались как величина, так и структура магнитного поля нейтронной звезды. Анализ полученных численных результатов показал, что форма и переменность тепловой кривой блеска одиночной нейтронной звезды может быть обусловлена, в том числе, величиной и структурой ее магнитного поля.

Вторая глава посвящена разработке вычислительных алгоритмов для численного интегрирования уравнений астрофизической магнитной гидродинамики. Разработаны и реализованы явные и полуневявные высокоточные разностные схемы явновского типа на подвижных сетках для двумерных и трехмерных уравнений газовой динамики и магнитной гидродинамики. Разработанный алгоритм содержит также квазилагранжевый метод учета азимутального вращения, позволяющий эффективно моделировать течения в

быстровращающихся системах. Рассмотрены вопросы, связанные с учетом самогравитации на динамику вещества.

Разработанный программный комплекс позволил провести моделирование магниторотационного механизма взрыва сверхновых с коллапсирующим ядром и асимметричным магнитным полем, что составило содержание третьей главы. Рассмотрено несколько сценариев взрыва с различными начальными распределениями магнитного поля. Также реализованы расчет влияния самогравитации на динамику вещества и упрощенный подход к учету нейтринного переноса. Проведена серия расчетов, в результате которых установлено, что линейная скорость протонейтронной звезды может достигать 500 км/сек. Это значение согласуется с наблюдательными данными.

В заключении подведены итоги диссертационного исследования.

Список литературы содержит 171 наименование.

Все результаты диссертации прошли апробацию и опубликованы в рецензируемых журналах, в том числе высоко рейтинговых. Результаты изложены ясно и последовательно. Работа хорошо проиллюстрирована.

Все полученные в диссертации результаты обоснованы путем тщательной верификации применяемых численных методов. Там, где это возможно, произведено сравнение с наблюдательными данными или расчетами, основанными на использовании других алгоритмов.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

К работе можно высказать следующие замечания:

В заключении к главе 1 сказано, что в ней «изложено развитие численного метода опорных операторов ...». В тексте диссертации этот вопрос вынесен в Приложение Б.

В главе 2, в частности в формуле (2.5), буква S используется в двух смыслах, как площадь грани, и как правая часть уравнений. Это затрудняет чтение текста.

Было бы корректнее сказать, что в работе уравнения газовой динамики и магнитной гидродинамики решаются не в подвижной системе отсчета, а аппроксимируются на подвижной расчетной сетке. Поэтому w - это не скорость системы отсчета, а скорость граней сетки (своя для каждой грани). Это утверждение сделано в заключении к главе 2.

Алгоритм, использующий раздельное азимутальное движение колец сеточных элементов описан недостаточно подробно. Хотелось бы получить ответы на следующие вопросы. После выполнения одного шага по времени сеточные элементы соседних колец должны совместиться? Или такое условие не накладывается? Как выглядит в этом случае решение (приближенное) задачи Римана?

В главе 3 в уравнениях МГД появляется множитель $1/4\pi$, которого не было в уравнениях МГД главы 2. Кроме того, сами уравнения записаны в несколько другой редакции.

В главе 2 применительно к трехмерной геометрии описана «древовидная расчетная сетка». Осталось не проясненным, использовалась ли такая сетка при двумерном моделировании, результаты которого представлены в главе 3.

В работе имеется некоторое число опечаток.

Указанные недостатки носят редакционный характер и не умаляют качества работы, которую можно охарактеризовать как законченное самостоятельное исследование, выполненное на высоком научном уровне. Автором получены интересные результаты, имеющие несомненную ценность как для моделирования магнито-гидродинамических течений в целом, так и для астрофизических приложений к проблемам замагниченных нейтронных звезд: форме их тепловых спектров и конечной

скорости. Последнее наблюдательное проявление связывается автором диссертации с асимметричностью выбросов при взрывах сверхновых, обусловленной асимметричностью их магнитного поля.

Считаю, что представленная Кондратьевым Ильей Алексеевичем работа «Магниторотационные процессы в коллапсирующих сверхновых», удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности по специальности 1.3.1. - «Физика космоса, астрономия».

Доктор физико-математических наук,
заведующий кафедрой моделирования и технологий
разработки нефтяных месторождений МФТИ (НИУ)

Колдоба /Колдоба А.В./
25.02.2025

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Тел.: +79152546351.

E-mail: koldoba@rambler.ru.

Подпись заведующего кафедрой моделирования и технологий разработки нефтяных месторождений МФТИ (НИУ) Колдобы Александра Васильевича удостоверяю.

Ученый секретарь МФТИ (НИУ)

к.ф.-м.н.



Евсеев /Евсеев Е.Г./