

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
Михайлова Евгения Александровича
на тему: «Эволюционные модели промежуточного типа для магнитного
поля в проводящей среде»
по специальности 1.3.3 – «теоретическая физика»

Представленное диссертационное исследование посвящено разработке теоретических моделей для магнитных полей в различных проводящих средах. В настоящий момент большинство исследований в данной области так или иначе ведется с помощью численных методов, и существует явная нехватка теоретических подходов. Диссертация Е.А.Михайлова призвана восполнить данный пробел. Работа состоит из шести глав, каждая из которых посвящена одному из вопросов магнитной гидродинамики.

Первая глава носит преимущественно вводный характер. Она рассказывает об истории изучения космических магнитных полей, излагает методы вывода уравнений крупномасштабного динамо. После этого отдельное внимание уделяется обсуждению потоков спиральности магнитного поля и их влиянию на работу динамо.

Во второй главе обсуждается планарное приближение в тонких дисках. Автор, следуя работам Д.Мосса, показывает возможность использования двумерной модели, которая в целом достаточно полно описывает процесс генерации магнитного поля в галактиках. Вопрос о его эволюции сводится к задачам на собственные значения для различных дифференциальных операторов. Наличие положительных собственных значений говорит о возможности генерации поля, а их величина – на скорость экспоненциального роста. Автором показано, что генерация осесимметричных магнитных полей происходит быстрее, чем

неосесимметричных. Кроме того, неосесимметричные поля достаточно быстро «размываются» за счет азимутальных потоков среды. Все это делает подобные поля неустойчивыми по сравнению с осесимметричными. Это обосновывает возможность использования в дальнейшем моделей, учитывающих лишь радиальную зависимость магнитного поля.

Третья глава описывает различные астрофизические приложения планарного приближения. Первый пример связан с возникновением и эволюцией инверсий галактического магнитного поля, существование которых наблюдательно подтверждено для Млечного Пути и предполагается для ряда других объектов. Генерация полей подобного типа объясняется с помощью методов асимптотической теории контрастных структур, которые используются автором. Важно отметить, что теоретические исследования автора подтверждаются данными наблюдений, связанных с измерениями фарадеевского вращения плоскости поляризации излучения от пульсаров в Млечном Пути. После этого автор переходит к вопросам, связанным с влиянием звездообразования на магнитные поля галактик. В рамках построенной им модели предполагается, что управляющие параметры динамо могут принимать с определенными вероятностями одно из двух значений, первое из которых соответствует нейтральному водороду, а второе – ионизованному. Величина вероятностей связана с интенсивностью звездообразования. На основании теоретических оценок делается вывод о том, что подобные процессы приводят к разрушению регулярных структур поля. Отметим, что в этом автор полемизирует с рядом работ предшественников, которые говорили о том, что интенсивное звездообразование должно напротив, увеличивать магнитное поле. После этого представлены результаты для наиболее важного из приложений, связанного с магнитными полями аккреционных дисков. Их существование предсказывалось рядом классических работ, и объяснялось с помощью различных механизмов. Автор предлагает применять для этого методы теории динамо, и использовать для этого аналогии с галактическими дисками. На

первый взгляд данный подход кажется весьма спорным ввиду различия в параметрах объектов. Между тем, автор показывает корректность данного смелого решения, и описывает особенности, которые отличают построенную им модель от того, что было предложено в работах предшественников. Так, в отличие от более ранних работ, предлагается метод, позволяющий правильно учесть влияние внутренней границы диска на магнитное поле, и добиться величины поля ниже уровня равномерного распределения.

В четвертой главе обсуждаются магнитные поля во внешних кольцах галактик. В этом случае оказывается невозможным использование планарного приближения, исходящего из того, что вертикальные размеры объекта существенно меньше радиальных. Данная проблема решается путем использования модели, которая сводит задачу к поиску азимутальной компоненты поля и азимутальной составляющей векторного потенциала. Автор показывает, что в отличие от других моделей, здесь возможна генерация магнитных полей как квадрупольной, так и дипольной симметрии.

Пятая глава посвящена принципиально иным задачам магнитной гидродинамики. Она связана с распространением тока в проводящей среде, и возникающими при этом электровихревыми течениями. В данной главе исследуется течение для двух случаев. Первая задача связана с полусферическим контейнером с электродом конечных размеров. Автором впервые было построено спектральное разложение решения для подобной задачи, показано, что оно в целом соответствует данным численного моделирования. Вторая задача относится к электровихревому течению между двумя плоскостями. С помощью методов теории возмущений автор строит решение для достаточно интенсивных токов.

Шестая глава описывает возникновение начальных магнитных полей в галактиках. Методы теории динамо, описанные в главах 1 – 4, позволяют объяснить экспоненциальный рост решения, но не дают никакой информации о том, откуда

берутся «затравочные» поля. Автор предлагает использовать механизм Бирмана, связанный с различием массы протона и электрона, строит модель их движения и генерации магнитного поля. Заключительная часть посвящена влиянию конвективных течений на магнитное поле. Показано, что несмотря на несжимаемость среды, можно говорить о сжимаемости структур магнитного поля, и его экспоненциальном росте на границе конвективных ячеек.

Основным результатом диссертации является то, что автор построил новый класс моделей, которые позволяют исследовать магнитные поля в галактиках и аккреционных дисках. Эти модели дают возможность получать реалистичные данные об их структуре, используя аналитические подходы, а в случае использования численных методов – позволяются ограничиваться довольно небольшими вычислительными ресурсами по сравнению с прямым численным моделированием. Несмотря на то, что автор предлагает использовать принципиально схожие модели для галактических и аккреционных дисков, подчеркнуты принципиальные различия, связанные с радиальными потоками среды и накоплением поля на внутренней границе диска. Впервые подробно исследована структура начальных магнитных полей в галактиках, связанных с действием батарейного механизма Бирмана, в то время как в предшествующих работах, как правило, ограничивались грубыми размерными оценками. Показано, что конвективные течения могут приводить к усилению магнитного поля. Результаты, полученные автором для электровихревых течений, могут быть использованы в различных приложениях в металлургии.

Диссертация написана строгим научным языком и обладает внутренним единством. Достоверность теоретических результатов подтверждается численными тестами, а также (в ряде случаев) – данными экспериментов и наблюдений.

К сожалению, нельзя не отметить ряд недостатков данного диссертационного исследования:

- в третьей главе при изучении влияния на звездообразование используются два дискретных значения коэффициентов, характеризующих скорости турбулентных движений (одно из которых соответствует среде, полностью состоящей из ионизованного водорода, второе – среде, содержащей лишь нейтральную компоненту). Вместе с тем, было бы более разумным использование непрерывного бимодального распределения для параметров, что позволило бы описывать также промежуточные случаи;
- в шестой главе подробно обсуждаются начальные условия для галактического магнитного поля. Вместе с тем, в диссертации также обсуждаются аккреционные диски. Было бы полезным уделить больше внимания затравочным магнитным полям в подобных объектах;
- важно указать ряд недостатков в оформлении работы. Так, в ряде случаев рисунки расположены на большом расстоянии от их описания в тексте, есть проблемы с знаками препинания в формулах.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.3.3 – «теоретическая физика» (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 приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Михайлов Евгений Александрович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.3 – «теоретическая физика».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
заведующий сектором теоретических исследований
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки «Институт космических
исследований РАН»

Петросян Аракел Саркисович

Контактные данные:

тел.: 7(916)5571025, e-mail: apetrosy@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом
защищена диссертация:

01.04.02 – Теоретическая физика

Адрес места работы:

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт
космических исследований РАН»
Тел.: (495)333-5212; e-mail: iki@cosmos.ru

Подпись сотрудника Института космических исследований РАН А.С.Петросяна
удостоверяю:

Садовский Андрей Михайлович

кандидат физико-математических наук,
ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного
Учреждения науки «Институт космических
исследований РАН»
02.05.2023