

Отзыв официального оппонента

д.ф.-м.н. Петра Готлобовича Фрика

на диссертационную работу Антонины Сергеевны Шибаловой

«Трассеры работы динамо в магнитных полях небесных тел»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 — физика Солнца

Актуальность диссертационной работы. Космические магнитные поля, в первую очередь поле Земли и Солнца, оказывают самое непосредственное воздействие на жизнь человечества в целом и отдельно взятого человека, поэтому совершенствование методов наблюдения за этими полями и методов интерпретации наблюдательных данных, позволяющих следить не только за средними трендами, но и за более тонкой пространственно-временной структурой магнитных полей, является актуальной научной задачей.

Общая характеристика диссертационной работы. Работа посвящена разработке и применению новых методов обработки наблюдательных данных, касающихся магнитных полей Земли и Солнца, и их интерпретации. Конкретно, в рамках диссертационной работы решаются: задача по выявлению вклада крупномасштабного и мелкомасштабного динамо в наблюдаемое магнитное поле Солнца, а также анализ роли каждой составляющей на различных стадиях солнечного цикла; задача отдельного анализа солнечной активности по полушариям, задача разделения дипольной и квадрупольной мод солнечной активности с последующим анализом поведения каждой моды; задача анализа шкалы инверсий магнитного поля Земли с целью выявления фрагментов квазипериодического поведения геодинамо. Перечисленные задачи составляют содержание пяти основных глав (по нумерации, это главы 3-7), помимо которых диссертация включает вводную часть, обзор состояния проблемы, заключение и список литературы.

Конкретно, глава 3 посвящена анализу зависимости вычисляемых значений средней (по времени) напряженности магнитного поля от пространственного разрешения анализируемой магнитограммы. Показано, что эта зависимость носит степенную зависимость, и показатель степени характеризует уровень перемежаемости анализируемого (турбулентного)

поля, причем выявлены закономерности его вариации в течение солнечного цикла.

Глава 4 излагает результаты анализа поведения дипольной и квадрупольной составляющих магнитного поля Солнца, причем диполь раскладывался на аксиальную и экваториальную компоненты, что позволило детально проследить за эволюцией каждой составляющей. Выполнен детальный анализ эволюции аксиальной и экваториальной компонент диполя на стадиях роста и падения активности, а также при инверсии поля. Отмечен существенный рост отношения квадрупольного момента к дипольному в течение четырех анализируемых циклов. Эта тенденция интересна, так как есть данные, свидетельствующие о росте квадрупольной компоненты поля перед большими минимумами.

Глава 5 посвящена анализу широтной асимметрии солнечной активности, а именно, включает сравнительный анализ вариаций трассеров солнечной активности (числа групп пятен и их суммарной площади) в северном и южном полушариях в течение 12 солнечных циклов. Показано, что в течение рассмотренного периода времени активность в северном полушарии в основном опережала активность в южном, хотя оба трассера свидетельствуют о том, что в середине прошлого века южное полушарие опережало северное. Важно, что смена порядка следования не коррелирует с нарушениями симметрии основного диполя.

Глава 6 посвящена исследованию квадрупольного момента магнитного поля в терминах тензорного анализа. Автором рассчитаны значения компонент тензора за период 1976-2019 гг и показано, как характеристики тензора изменяются в течение четырех солнечных циклов. Показано, что два наибольших по модулю собственных значения имеют противоположные знаки и хорошо скоррелированы между собой, а также с числом солнечных пятен. Третье собственное число существенно меньше по величине и слабо скоррелировано с двумя другими. Тензорная форма представления квадрупольного поля Солнца позволила сопоставить имеющиеся наблюдательные данные с результатами теоретических моделей.

Последняя, глава 7 касается анализа поведения магнитного поля Земли, которое, как хорошо известно, не демонстрирует выраженного циклического поведения, но характеризуется случайной последовательностью инверсий диполя. Последовательность инверсий восстановлена на огромном временном интервале и анализировалась многими авторами, мнение которых сходилось в целом в том, что последовательность носит случайный характер. В рассматриваемой работе была предпринята еще одна попытка выявить следы квазипериодичности в магнитостратиграфической шкале. Основанием к такому анализу стало появление надежных данных за последние 250 млн. лет (предыдущий схожий анализ делался на основе данных за 168 млн. лет). Проведенный вейвлет-анализ шкалы и модельных

распределений позволил автору выделить особенность в спектре на периодах порядка 50 млн. лет.

Степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации. Выдвинутые на защиту научные положения и выводы подтверждены и обоснованы в полной мере на основе проведенного логического анализа полученных результатов, а также их сравнения с имеющимися в литературе данными.

Научная и практическая значимость полученных результатов состоит в полученных новых знаниях о структуре и временной изменчивости магнитных полей Солнца и Земли, в отработке алгоритмов анализа и интерпретации данных наблюдений за космическими полями по различным трассерам.

Достоверность и научная новизна полученных результатов сомнений не вызывают. Автор использует хорошо проверенные методы анализа либо, при использовании оригинальных алгоритмов и программ, проводит их тщательное тестирование.

Замечания по диссертации

1. Первое замечания касается обзорной главы. При названии работы «Трассеры работы динамо...» хотелось бы в обзоре, прежде всего, увидеть историю и современное состояние способов оценки характеристик звездных и планетарных динамо по тем или иным измеряемым и наблюдаемым трассерам. Вместо этого в диссертации дан достаточно беглый обзор развития идей динамо и совсем немного про модели динамо. Кроме того, не всегда удовлетворительно описывается (и оценивается) вклад конкретных работ. Так, на стр. 19 читаем «Многие работы (например, [63-141]) посвящены исследованию уравнения ...» а чуть ниже приведен список из полутора десятков имен и узнать, как они соотносятся с упомянутыми в скобках 78 (!) работами, предоставляется читателю.
2. Параграф 3.4 «Турбулентный спектр» не выдерживает никакой критики ни по объему, ни по содержанию и только портит очень хорошее впечатление, которое производят результаты третьей главы. Весь параграф занимает половину страницы, на которой полученные значения размерности сравниваются со значениями, которые можно ожидать в «хаотическом поле» и в однородной турбулентности. Что понимается под хаотическим полем, не поясняется (дельта-коррелированное?), а сделанное со ссылкой на книгу Л.Д.Ландау и

Е.М.Лифшица утверждение о том, что в однородной турбулентности рассматриваемая в главе размерность (размерность областей, определяющих значение среднего значения напряженности поля на двухмерной проекции трехмерного поля) будет равна $2/3$, если и верно (в чем уверенности нет), то требует тщательного обоснования. Само отношение анализируемой величины к спектру турбулентных пульсаций требует серьезного обсуждения.

3. В главе 7 при анализе магнитостратиграфической шкалы автор неоправданно сэкономил на иллюстрациях, что затрудняет понимание материала. В общем случае, вейвлет спектр есть сглаженная версия спектра Фурье, причем степень сглаживания зависит от вида вейвлета (его спектрального разрешения), поэтому появление в спектре более острого локального максимума и его существенный сдвиг по частоте при снижении спектрального разрешения (переход от вейвлета Морле к вейвлету «мексиканская шляпа») настораживает и требует аккуратной интерпретации. Эффект сдвига по частоте при вариации вейвлета известен и даже использовался для анализа степени негармоничности квазипериодических сигналов. В данном случае, эффект, по-видимому, связан с телеграфной структурой анализируемого сигнала – не лучшего объекта для вейвлет-анализа. Грубо говоря, «мексиканская шляпа» выделяет характерную ширину отдельной зоны, а вейвлет Морле реагирует на последовательность зон, то есть на расстояния между ними. Автор проявляет разумную осторожность при интерпретации результатов и делает правильные выводы, но читателю было бы крайне полезно видеть вейвлет-спектрограммы, полученные каждым вейвлетом для каждого ряда. Это сняло бы многие вопросы.
4. Работа не свободна от технических, стилистических и грамматических ошибок. Очень неудобно, что нумерация глав в автореферате не совпадает с нумерацией в самой диссертации (в диссертации содержательные главы имеют номера от 3 до 7, а в автореферате они отсчитываются от 1 до 5). В тексте достаточно много некорректных стилистических оборотов, например, «целью работы является определение проявления...» (стр.10) или «данные предполагают сравнение с моделями для определения возможного обоснования...» (там же), «тип формирования полей» (стр.12) и т.д.

Заключение

Сделанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы. На основании всего сказанного можно заключить, что диссертационная работа «Трассеры работы динамо в магнитных полях

небесных тел» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.03 – физика Солнца, а её автор, Шибалова Антонина Сергеевна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент, профессор, заведующий лабораторией Физической гидродинамики ФГБУН Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук

доктор физико-математических наук

(шифр специальности 01.02.05 - механика жидкости, газа и плазмы)



Фрик Пётр Готлобович

614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, 1

Телефон +7 (342) 237-84-61, +7 (342) 237-83-22

E-mail: mvp@icmm.ru

Подпись П.Г. Фрика заверяю

Ученый секретарь ИМСС УрО РАН

кандидат физико-математических наук



Юрлова Наталия Алексеевна

«12» мая

2022 г.