

ОТЗЫВ  
официального оппонента на диссертационную работу  
Антонины Сергеевны Шибаловой  
«Трассеры работы динамо в магнитных полях небесных тел»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.03.03 – Физика Солнца

В диссертационной работе А.С. Шибаловой проведен ряд исследований строения и эволюции магнитных полей Солнца и Земли. Получены новые знания о дипольной и квадрупольной компонентах поля, исследованы фрактальные характеристики и фазовая асимметрия, рассмотрены процессы инверсии солнечного и земного диполей.

Можно по-разному описывать фабулу коллективных научных исследований. Например, можно сказать, что разнообразие научных школ, математических подходов и моделей развивается в параллельное существование направления поиска физических связей и закономерностей по наблюдательным данным и кластера теоретических исследований основанных на моделировании процессов. Несмотря на то, что стадия синергии результатов статистического анализа наблюдательных данных и моделей наступает неизбежно, тем не менее, работа с данными зачастую не подчинена насущным запросам теоретического анализа. Найденные закономерности накапливаются и в какой-то мере ждут своей востребованности со стороны теории, в то время как со стороны моделирования накапливается дефицит знаний ряда процессов, связей и их мер.

Научный руководитель диссертанта является классиком теории генерации магнитных полей космических объектов. Поэтому примечательно отметить, что представленная к защите диссертация, посвященная работе с наблюдательными данными, напрямую отвечает насущным запросам теории о проявлении различных типов динамо, о деформации и инверсии моментов поля, о роли асимметрии мод. То есть восполняет вышеозначенный дефицит. Это, в свою очередь, гарантирует выполнение требований об **актуальности, научной и практической востребованности** защищаемых положений.

**Достоверность** полученных результатов подкреплена публикациями в российских и иностранных журналах. В трех из девяти рецензируемых статьях диссертант является первым автором. Более того, указано, что в диссертации перечислены лишь те работы, которые имеют отношение к защищаемым положениям. Помимо научной ценности проделанной работы хочу отметить, что диссертантка демонстрирует высокий класс молодого ученого: математические коды для анализа данных были написаны ею самостоятельно. То есть диссертация не есть применение готовых пакетов программ к массивам данных. Данный аспект выгодно отличает молодого специалиста.

Перейду к содержанию защищаемой диссертации. Работа объемом 128 страниц состоит из введения, 5-ти глав, заключения, списка публикаций автора из 9-ти статей в журналах, 2-х статей в сборниках и 11-ти тезисов докладов и списка литературы из 145-ти наименований. Текст работы хорошо структурирован и доступно изложен.

Во **введении** описаны все необходимые вводные данные, такие как цели и задачи исследования, их актуальность, методы исследования, положения, выносимые на защиту, их научная новизна, значимость, достоверность и область применения.

**Глава 2** посвящена теории гидромагнитного динамо. Освящены идеи Лармора, Паркера, Бэбкока-Лейтона, Брагинского, Штеенбека, Краузе и Редлера (Рэдлера, в работе указаны обе транскрипции). Рассказано о характеристиках униполярного динамо и динамо Рикитаке, динамо средних полей, приведены основные уравнения и их упрощения.

**Глава 3** посвящена расчету фрактальных характеристик магнитного поля, рассчитанных по проекции Пастеля для магнитограмм SOHO/MDI. Показано, что хаусдорфова размерность зависит от уровня солнечной активности и варьируется в противофазе с солнечным циклом. Также рассмотрена эволюция параметра, имеющего смысл средней величины напряженности магнитного поля. Данная величина почти не зависит от фазы солнечного цикла для выбранного разрешения магнитограмм. Сделан вывод, что магнитное поле нельзя назвать хаотическим; на разных масштабах проявлены различные типы динамо, в основе которых лежат регулярные процессы генерации магнитных полей.

**Глава 4** посвящена тому, как меняются и переориентируются в пространстве дипольный и квадрупольный моменты магнитного поля Солнца, начиная с 21-го цикла активности. Оказывается, минимумы аксиального и экваториального диполей не совпадают во времени, поэтому полный дипольный момент не обращается в ноль. Важными результатами являются описание эволюции проекций поля, трассировка широтно-долготной ориентации полюсов двух первых гармоник поля, а также их миграция относительно твердотельного вращения кэррингтоновской системы координат.

В **главе 5** проведен кросс-корреляционный анализ фазового сдвига солнечной активности в полушариях. Верификация результатов проведена по данным площадей и числа пятен. Сделан вывод о «более-менее периодических изменениях» фазового сдвига. Даны возможные объяснения асинхронности циклов.

В **главе 6** разработан метод расчета солнечного квадруполья методами тензорного анализа. Данный подход будет востребован, так как позволяет просто формализовать математическое описание квадруполья, по сравнению с классическим гармоническим анализом. Результаты двух методов расчета сравнены. Описаны ограничения тензорного подхода. Рассчитаны широты и долготы полюса и соответствующей оси тензора. Показано, что несмотря на хорошее совпадение долгот, широты осей квадруполья и тензора не связаны.

Наконец, в **главе 7** исследована цикличность переполюсовки геомагнитного диполя на нескольких вариантах палеомагнитных шкал длиной 168 и 250 млн. лет. С привлечением вейвлет-анализа выделен период 50 млн. лет. Выполнена симуляция в рамках простой (только дипольная компонента поля) модели со случайным



параметром вместо предполагаемых периодических процессов. Показано, что вейвлет-спектр модели схож со спектром, построенным по данным палеорекоkonструкций, что указывает на нециклический характер процессов, ответственных за большие квазипериоды в инверсиях магнитного поля Земли.

Ниже изложу несколько вопросов, которые появились у меня в процессе прочтения диссертации:

- 1) Верно ли я понимаю, что фрактальная размерность по-разному определяется в разных работах? В диссертационной работе  $k$  – коэффициент фрактальной размерности, а, например, в работе Graham et al. (2009) этот параметр назван показателем сокращения (?) – cancellation exponent – равным 0.26, который можно пересчитать к фрактальной размерности  $D_f$ , которая по оценкам Graham равна 1.48. Если пересчет справедлив, то можно ли тогда сравнивать фрактальные размерности, полученные в диссертационной работе, с другими оценками спектров, например, в работе Abramenko, Yarchyshyn, Wang, and Goode (2001, Solar Physics, 201, 225-240) или это разные характеристики?
- 2) В выводах к главе 4, стр. 58, указано, что отношение квадрупольного и дипольного моментов от цикла 21 к циклу 24 возросло почти в два раза, в то время как число солнечных пятен уменьшилось вдвое, и сходная ситуация была в преддверии минимума Маундера. Значит ли это, что в ближайшие десятилетия нам можно ожидать нового глобального минимума?
- 3) В главе 5 указано, что рассматриваются данные Гринвичского каталога. На рис. 19 показаны усредненные значения числа пятен отдельно по полушариям с 1874 г. Скажите, пожалуйста, как было посчитано число пятен, так как гринвичские данные дают информацию о группах пятен и их площадях? По оси ординат индекс SN достигает значения 200, указывая, что на графике представлено не число групп в полушариях.

Также отмечу несколько не критических замечаний:

- 1) Судя по заключению организации, где выполнялась диссертация, плановый срок подготовки работы 2017 – 2021 гг., дата объявления о защите март 2022. По-видимому, диссертантка стремилась завершить работу как можно скорее после окончания аспирантуры. Подобное стремление похвально, однако текст носит явные следы спешки с большим количеством опечаток и неточностей. Например, сразу на титульной странице указано, что диссертация 2021 года. Наибольшее количество опечаток встречается в последней главе. Защищаемые положения также не избежали опечатки.
- 2) Диссертант является представителем одновременно двух классов научных исследований – работа с данными и динамо-теория, что требует в два раза больших затрат времени и сил на работу с литературой. Список литературы по теме диссертации внушителен и можно заметить, что диссертантка симпатизирует работам теоретического анализа. Раздел Современное состояние проблемы описывает базовые модели динамо и скорее является исторической ретроспективой моделирования магнитных полей. Здесь же, на странице 19 диссертантка отмечает: «Многие работы (см., напр., [63] – [141]) посвящены исследованию уравнения для магнитного поля в турбулентно движущейся среде в различных конкретных приложениях.». Таким образом, подавляющая часть литературы относится к классу теоретических исследований, что само по себе является достоинством. Однако, остается в



тени большой спектр литературы, посвященный работе с наблюдательными данными. Особенно пострадала 5 глава диссертации, посвященная фазовому сдвигу циклов активности в солнечных полушариях. Автор сосредоточилась на теоретических объяснениях фазового расхождения, но не упомянула известных закономерностей, полученных по наблюдательным данным, например, работы Waldmeier 1957, 1971; Donner and Thiel 2007; Zolotova et al. 2009, 2010; Norton and Gallagher 2010; Murakozy and Ludmany, 2011; McIntosh et al. 2013; Murakozy 2016; Ravindra et al. 2021; Veronig et al. 2021; Javaraiah 2022, серия работ Ke-Jun Li, начиная с 2002 г., и др. Считаю, что диссертационная работа только приобрела бы, если бы был расширен обзор литературы с результатами статистического анализа тех данных, с которыми работала диссертантка. Сразу бы высветились те пробелы в результатах статистических исследований, когда необходимо переходить на язык мод магнитного поля и типа динамо-процессов.

- 3) При использовании вейвлет-анализа полезным является выполнение тестов с нулевой гипотезой, которые позволяют судить о статистической значимости полученных периодов (например, Torrence and Compo, 1998). На спектрах, в том числе и интегральных полезно указывать уровень значимости 95% относительно красного шума.

Сделанные замечания не умаляют значения и не снижают общей отличной оценки работы. В целом, материал работы позволяет охарактеризовать диссертантку как хорошо подготовленного и перспективного исследователя. В представленной защите диссертации получены новые интересные результаты. Особо выделю среди них трассировку процесса переполюсовки крупномасштабного магнитного поля, тензорное представление квадрупольной компоненты и анти-корреляцию фрактальной размерности магнитного поля с солнечным циклом.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Цели диссертации соответствуют полученным результатам, а эти результаты прошли апробацию на конференциях и разумно отражены в публикациях автора в научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов, утвержденных ВАК. Тема диссертации соответствует заявленной научной специальности.

Считаю, что представленная диссертация «Трассеры работы динамо в магнитных полях небесных тел» удовлетворяет требованиям, предъявляемым в Положении о порядке присуждения ученых степеней, и предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Антонина Сергеевна Шибалова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 — Физика Солнца.

Официальный оппонент:

Доцент Санкт-Петербургского государственного университета  
д.ф.-м.н. Надежда Валерьевна Золотова  
специальность 01.03.03 «Физика Солнца»

22.04.22

Физический факультет

Санкт-Петербургского государственного университета,  
198504, Санкт-Петербург, Петродворец, Ульяновская ул., д. 1.

тел.: +7-905-213-19-42; e-mail: [n.zolotova@spbu.ru](mailto:n.zolotova@spbu.ru)

Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.htm>

