

## ОТЗЫВ

официального оппонента, заведующего сектором теоретических исследований ИКИ РАН, д.ф.-м.н., профессора, Петросяна Аракела Саркисовича на диссертационную работу Илларионова Егора Александровича «Количественные показатели эволюции магнитных полей на Солнце», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.03 – физика Солнца

Диссертационная работа Илларионова Е.А. посвящена применению аппарата случайных матриц к задаче об усилении магнитного поля в турбулентной среде и изучению на основе развитого аппарата количественных показателей эволюции солнечных магнитных полей на основе реальных наблюдаемых данных. Сосуществование таких двух компетенций в диссертации Илларионова Е.А. делает рецензируемую работу весьма уникальным явлением в физике Солнца. Актуальность проведенного исследования определяется не только важными применениями теории векторного поля в случайной среде в астрофизической и космической плазме, но и конструктивными результатами, полученными автором на основе разработанных им алгоритмов обработки наблюдательных данных и используемых методов адаптации больших массивов данных. Специально отмечу актуальность и своевременность полученных в диссертации результатов в смежных областях физики, например, в космической погоде и во влиянии изменчивости Солнца на климат Земли и планет.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 95 наименований.

Во введении к диссертации Илларионова Е.А. (глава 1) сформулированы задачи и цели работы, обсуждается ее актуальность, новизна и практическая значимость.

Во второй главе диссертации излагается современное состояние проблемы изучения солнечных магнитных полей и связь этой проблемы с задачей эволюции векторных полей в случайной среде. Особое внимание уделено эффектам перемежаемости в турбулентности и способам их описания в такой модели. Приведено описание математической теории произведения случайных матриц на основе теоремы Ферстенберга и обсуждаются возможности обобщения теории для случая векторного поля в случайной среде.

В третьей главе диссертации развита теория роста векторных полей на основе математической теории произведения случайных матриц и ключевой идеи о важной роли показателей Ляпунова в качестве характеристики, определяющей эволюцию магнитного поля в случайной среде. В диссертации изложена ключевая теорема, связывающая показатели Ляпунова с инвариантной мерой уравнений со случайными коэффициентами, и осуществлено обобщение теории на случай дифференциальных уравнений со случайными коэффициентами. В главе убедительно показаны математические трудности,

которые необходимо преодолеть для вычисления показателей Ляпунова, вызванные сложным интегральным уравнением. В качестве отправной точки для преодоления трудности анализа интегральных уравнений рассматривается уравнения Якоби со случайным параметром кривизны. Полученные автором интересные результаты для поля Якоби хорошо согласуются с результатами численного моделирования уравнений Якоби методом Монте-Карло. Ключевым результатом третьей главы является вывод о возможности обобщения развитой теории для случая уравнения эволюции магнитного поля в случайной среде вследствие определенных симметрий, характеризующих такую модель.

В четвертой главе диссертации получены ключевые результаты об эволюции магнитного поля на Солнце. Илларионов Е.А. убедительно объясняет необходимость формализации понятия солнечного цикла для устранения неоднозначности в интерпретации наблюдательных данных. Такой строгий подход к решаемой проблеме позволил разработать алгоритм выделения циклов и волн активности на баттейрфляй-диаграммах. Предложенный в главе алгоритм сочетает два алгоритма кластерного анализа, а именно выделения области повышенной плотности на баттейрфляй-диаграмме и байесовский подход для уточнения результатов. В главе показано, что предложенный метод успешно разделяет циклы активности и выделяет по две волны в каждом цикле на протяжении всех имеющихся данных. В качестве приложения в главе получены количественные значения скорости миграции солнечных пятен в циклах для нынешнего периода наблюдений.

В пятой главе формулируется задача о количественной оценке альфа-эффекта и исследуется появление альфа-эффекта в наблюдательных данных на основе поведения тилт-угла (угла наклона биполярной области). В главе проведен детальный анализ влияния альфа-эффекта путем улучшения выборки биполярных областей включением областей меньших размеров. Показано, что в части крупных областей поведение среднего тилт-угла зависит от широты и согласуется с общепринятым. Однако включение в выборку биполярных областей меньших размеров выявило отличие в поведении тилт-угла. Показано, что тилт-угол для малых областей противоположен по знаку углу в больших областях и при этом сохраняет тенденцию к росту абсолютного значения с широтой. Особенно следует отметить интересное исследование связи тилт-угла с различными параметрами биполярных областей, а именно магнитным потоком, размером области, а также и полученная в главе оценка величины альфа-эффекта.

В заключении (глава 6) сформулированы основные выводы работы.

В целом диссертационная работа Илларионова Е.А. представляет законченное исследование в области физики Солнца, полученные результаты актуальны и удовлетворяют требованиям новизны, а также имеют возможности для важных применений. Выносимые на защиту результаты достоверны и обоснованы. Результаты диссертации опубликованы в российских журналах, входящих в перечень ВАК, а также в ведущих рецензируемых международных журналах, индексируемых в международных

базах данных, представлены на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Никаких существенных недостатков в диссертации Илларионова Е.А. я не заметил. Встречаются типичные грамматические ошибки и опечатки. Техническое замечание состоит в том, что обзор литературы в первой главе является слишком кратким и в целом выполнен довольно формально, хотя представленный список литературы демонстрирует хорошее владение Илларионовым Е.А. предметом исследования. Однако сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа Илларионова Е.А. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.03 – физика Солнца, а ее автор Илларионов Егор Александрович заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент

заведующий сектором

теоретических исследований ИКИ РАН,

д.ф.-м.н., профессор

Петросян А.С.

ИКИ РАН, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная 84/32, тел. +7 495 3335478, e-mail: [apetrosov@iki.rssi.ru](mailto:apetrosov@iki.rssi.ru)

Подпись Петросяна А.С. заверяю:

Ученый секретарь ИКИ РАН

д.ф.-м.н.



Захаров А.В.

30 декабря 2016 г.