

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА**

**СТЕНОГРАММА
ЗАСЕДАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
Д 002.023.01**

3 марта 2020 года

*Защита диссертации Лободы Ивана Петровича
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 (астрофизика и звездная астрономия)
“Мелкомасштабные транзиентные явления в нижней короне Солнца”*

Присутствовали члены диссертационного совета:

1. Новиков И.Д., д.ф.-м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, физ.-мат. науки, заместитель председателя.
2. Ковалев Ю.Ю., д.ф.м.н., член-корр. РАН, 01.03.02, физ-мат.науки, заместитель председателя.
3. Ковалев Ю.А., д.ф.-м.н., 01.03.02, техн.науки, ученый секретарь
4. Богачев С.А., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
5. Бочкарев Н.Г., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
6. Дагкесаманский Р.Д., д.ф.м.н., 01.03.02, техн.науки
7. Дорошкевич А.Г., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
8. Иванов П.Б., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
9. Каленский С.В., д.ф.м.н., 01.03.02, техн.науки
10. Лукаш В.Н., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
11. Малофеев В.М., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
12. Попов М.В., д.ф.м.н., 01.03.02, техн.науки
13. Тюльбашев С.А., д.ф.м.н., 01.03.02, физ-мат.науки
14. Чашей И.В., д.ф.м.н., 01.03.02, техн.науки

Председательствующим на данном заседании является заместитель председателя диссертационного совета, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, И.Д. Новиков.

Секретарь заседания – ученый секретарь диссертационного совета, доктор физико-математических наук Ю.А. Ковалев.

Председатель: Дорогие коллеги, мы начинаем процедуру защиты кандидатской диссертации Лободы Ивана Петровича. Кворум у нас есть -- 14 членов совета, состав по физико-математическим и техническим наукам тоже соответствует требованиям ВАК. Начинаем наше заседание. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, называется "Мелкомасштабные транзиентные явления в нижней короне Солнца". Выполнена в Отделении оптики ФИАН. Ведущая организация -- Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН). Оппоненты -- Чуразов Евгений Михайлович и Шугай Юлия Сергеевна. Пожалуйста, прошу огласить содержание документов диссертанта.

Секретарь: *(Зачитывает основные выдержки из представленных соискателем документов и делает заключение о соответствии документов установленным требованиям Высшей аттестационной комиссии (ВАК) для защиты кандидатской диссертации.)*

Председатель: Иван Петрович, пожалуйста, Вам слово для доклада по диссертации.

ДОКЛАД СОИСКАТЕЛЯ

Соискатель: *(Выступает с докладом. В докладе демонстрирует и комментирует слайды 1–25, номера которых даны в начале соответствующих строк ниже. Слайды к докладу приведены в приложении к стенограмме, а также приложены к аттестационному делу в бумажном и электронном видах.)*

(Слайд 1.) Здравствуйте. Моя диссертация посвящена изучению мелкомасштабных транзиентных явлений в нижней короне Солнца. Работа выполнена под руководством Богачева Сергея Александровича в лаборатории рентгеновской астрономии Солнца отделения оптики ФИАН. Актуальность выбранной темы обусловлена важностью изучения Солнца для астрофизики и физики космической плазмы. Близость Солнца к Земле позволяет наблюдать многие процессы, характерные для космической электродинамики в целом, с высоким уровнем детализации. Кроме того, большой объем экспериментальных данных позволяет детально изучать активные явления, ответственные за формирование горячих корон у звезд солнечного типа.

(Слайд 2.) Внешние, наблюдаемые слои Солнца – его атмосферу – разделяют на фотосферу, хромосферу, переходный слой и корону Солнца. При этом спектроскопические данные показывают, что температура короны находится выше 1 млн К, в то время как нижележащие слои имеют температуру от нескольких тысяч до десятков тысяч градусов. При этом корона постоянно теряет энергию и вещество, как за счет излучения, так и за счет взаимодействия с хромосферой и потоком солнечного ветра. При этом механизмы, ответственные за поддержание наблюдаемого состояния короны, остаются малоизученными до сих пор.

(Слайд 3.) Основным источником энергии, который ответственен за такое состояние короны, в настоящее время предполагается магнитное поле Солнца, которая посредством активных явлений в хромосфере и нижней короне передается короне. При этом крупномасштабная активность меняется в ходе 11-летнего цикла активности, в то время, как наблюдаемое физическое состояние короны слабо зависит от фазы солнечного цикла. Поэтому в последнее время существенное внимание уделяется изучению именно мелкомасштабных активных явлений в хромосфере и нижней короне Солнца за пределами активных областей, то есть в областях спокойного Солнца и корональных дырах.

(Слайд 4.) Среди мелкомасштабных явлений можно выделить 2 принципиально разных класса, сильно отличающихся по своей динамике: это протуберанцы среднего и малого размера — относительно спокойные явления — и различного рода джеты, представляющие собой динамичные и короткоживущие струеобразные выбросы вещества. Наиболее изученной разновидностью джетов являются спикюлы, хромосферные джеты. На рисунке показан пример наблюдений спикул в линии H-альфа. Однако было показано, что спикюлы не могут обеспечить достаточный приток горячей плазмы в корону.

(Слайд 5.) В то же время в короне существуют более крупные джеты, называемые макроспикюлами, наблюдающиеся в линиях переходного слоя. Они обладают структурным сходством со спикюлами, но имеют значительно большие скорости движения и температуры, близкие к корональным, поэтому предполагается, что они могут играть значительную роль в балансе массы и энергии короны. При этом они до недавнего времени оставались малоизученными, в основном из-за недостаточного разрешения наблюдений в соответствующей области спектра.

(Слайд 6.) Напротив, протуберанцы представляют собой холодные и плотные образования, удерживаемые над поверхностью Солнца за счет сложной структуры магнитного поля. При этом неустойчивость магнитной структуры приводит к выбросу части вещества протуберанца с формированием геоэффективных событий — такие протуберанцы называются эруптивными. При этом лучше всего изучены именно крупные события как наиболее доступные для наблюдения, однако интерес представляет весь ансамбль протуберанцев в целом, особенно в области мелкомасштабных событий, слабо изученной до сих пор.

(Слайд 7.) Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Первая глава посвящена обзору литературы по истории и современному состоянию исследований макроспикул и протуберанцев. Вторая глава посвящена исследованию ансамбля спокойных протуберанцев по данным телескопа обсерватории ТЕСИС на российском спутнике КОРОНАС-Фотон в линии He II 304 Å. Угловое и пространственное разрешение этих наблюдений достаточны для изучения даже мелкомасштабных протуберанцев. Был рассмотрен период наблюдений с августа по ноябрь 2009 года, соответствующий продолжительному минимуму солнечной активности. Это позволяет наблюдать мелкомасштабные явления на фоне сниженной крупномасштабной активности и способствует достижению целей исследования.

(Слайд 8.) Для изучения большого числа событий был разработан алгоритм для автоматического детектирования протуберанцев за лимбом Солнца. Разработанный алгоритм обладает высоким динамическим диапазоном детектирования и также показывает хорошие результаты по регистрации протуберанцев и, особенно, надежному определению их границ.

(Слайд 9.) За рассмотренный период было обнаружено около четырехсот событий, часть из них были отмечены алгоритмом как эруптивные. Были исследованы основные пространственные и динамические характеристики протуберанцев, такие как положение на лимбе, протяженность, высота, время жизни и средняя скорость движения. С использованием ряда оценочных моделей были получены оценки массы и гравитационной энергии зарегистрированных протуберанцев. При этом средние характерные размеры протуберанцев для примерно половины событий не превышают одной десятой радиуса Солнца, что свидетельствует о том, что были исследованы преимущественно мелкомасштабные события.

(Слайд 10.) Также интересно, что большая часть протуберанцев является короткоживущими, что крайне нетипично для крупных протуберанцев. При этом наблюдается взаимозависимость между временем жизни и масштабом протуберанца, что

говорит о том, что более мелкомасштабные протуберанцы являются более динамичными и короткоживущими. Это имеет и важное прикладное значение, поскольку для дальнейшего изучения еще более мелкомасштабных событий требуется увеличение не только пространственного разрешения наблюдений, но и временного. Исследование динамики протуберанцев ожидаемо характеризует их как относительно стационарные и малоподвижные структуры. При этом сравнение спокойных протуберанцев с эруптивными показывают, что они обладают не только большими скоростями движения, но также большими массами, энергиями, размерами и временами жизни. Это подтверждает точку зрения, согласно которой вероятно существование некоторых пороговых характеристик протуберанца, преодоление которых необходимо для нарушения устойчивости его магнитной структуры.

(Слайд 11.) Также были сделаны оценки для суммарной массы и гравитационной энергии одновременно существующих на Солнце протуберанцев. Полученные значения существенно меняются в зависимости от времени наблюдения, и находятся в указанных пределах. При этом суммарная масса всех протуберанцев может составлять до трети полной массы короны. Основным результатом данной главы является полученный спектр гравитационной энергии протуберанцев, который в достоверно исследованном диапазоне выше 4×10^{28} эрг является степенным с показателем степени, близким к минус единице. Это говорит о том, что распределение протуберанцев по энергии является близким к равномерному. То есть для более мелкомасштабных событий меньшая энергия компенсируется пропорционально большим числом таких событий. Таким образом они дают такой же вклад в общую энергетику короны, как и более крупные протуберанцы. Это опять же подчеркивает необходимость исследования мелкомасштабных событий.

(Слайд 12.) Третья глава посвящена исследованию динамики макроспикул по данным, опять же, наблюдений обсерватории ТЕСИС. Были использованы серии наблюдений с рекордным для данного спектрального диапазона временным разрешением от 3,5 до 6 секунд. При этом для достижения такого временного разрешения область наблюдений была ограничена полярными областями Солнца, где в основном наблюдаются макроспикулы.

(Слайд 13.) При помощи модели распространения излучения во внешнем слое макроспикул и одномерной гидродинамической модели были восстановлены поля скоростей для 18 макроспикул вдоль их оси. Также были изучены профили движения верхних точек макроспикул, и оказалось, что значительная часть из них является параболическими.

(Слайд 14.) При этом сравнение полей скоростей и профилей движения верхней точки показывает, что, во-первых, движение макроспикул на различных высотах происходит с одинаковой скоростью. При этом изменение скорости во времени в основной фазе движения макроспикулы является линейно убывающим, и эти профили скорости близко соответствуют профилю движения верхней точки.

(Слайд 15.) Соответственно, в модель был введен член потерь за счет того, что было сделано предположение о том, что все тело макроспикулы движется с той же скоростью, что и ее верхняя точка, и таким образом были получены оценки потерь вещества, которые происходят в макроспикуле за время движения ее в короне, -- по всей вероятности, за счет нагрева этого вещества до температуры окружающей короны. Полученные оценки составляет от 10 до 30 % видимой массы макроспикулы, и, если принять во внимание характерные параметры плазмы макроспикул, их число и частоту появления, то можно оценить, что суммарный поток теряемого таким образом вещества составляет порядка 10^{11} г/с, что соответствует примерно 5–10 % от полного потока солнечного ветра, наблюдаемого на орбите Земли. Это был основной результат третьей главы.

(Слайд 16.) Четвертая глава посвящена изучению ансамбля макроспикул по данным обсерватории солнечной динамики НАСА, которые обладают несколько лучшим пространственным, но худшим временным разрешением, однако основным преимуществом этих данных является их большое временное покрытие. Так, были использованы данные с 2010 по 2015 год, суммарное время этих данных составило 90 часов. За это время было обнаружено более 300 событий и также была исследована их динамика, получены их основные характеристики, такие как положение на лимбе, максимальная высота, время жизни, начальная скорость и ускорение. Полученные распределения этих характеристик важны для того, чтобы, во-первых, охарактеризовать ансамбль макроспикул в целом и установить более точные границы между, с одной стороны, ними и более холодными хромосферными джетами и, с другой стороны, более горячими корональными джетами.

(Слайд 17.) Также были изучены корреляции измеренных величин. Например, была обнаружена зависимость для макроспикул в корональных дырах между их положением на лимбе и углом наклона их относительно нормали к поверхности Солнца. Такое поведение согласуется со структурой глобального магнитного поля вблизи минимума активности, и таким образом подтверждает еще раз, что движение макроспикул происходит вдоль линий магнитного поля. Слева отмечены макроспикулы в полярных корональных дырах синими точками, справа приведены результаты для макроспикул из третьей главы диссертации.

(Слайд 18.) Также обнаруживаются ожидаемые для равноускоренного движения зависимости между длиной, временем жизни и начальной скоростью движения макроспикул, однако они не являются выраженными.

(Слайд 19.) Однако наиболее интересные результаты дает измерение ускорений макроспикул. Так, раньше предполагалось, что движение макроспикулы после некоторого начального выброса энергии, приводящего в движение ее вещество, происходит свободно в поле тяготения Солнца. Однако для значительной доли макроспикул, более трети, полученные значения превышают ускорение свободного падения, отмеченное на графике пунктирной линией. Также не обнаруживается зависимости между ускорением макроспикул и их наклоном относительно нормали, и для наименьших измеренных значений ускорения требуются слишком большие наклоны, порядка 70° , которые также не наблюдаются.

(Слайд 20.) Еще одним результатом, который не может быть объяснен в рамках баллистической модели, является зависимость между ускорением макроспикулы и начальной скоростью ее движения. Здесь стоит отметить, что подобная зависимость обнаруживается для ряда хромосферных джетов, таких как спикулы, динамические фибриллы и хромосферные узелки. Слева показаны данные из этой работы, справа приведены для сравнения данные по хромосферным джетам.

(Слайд 21.) В ряде работ для объяснения такого поведения была предложена модель ускорения вещества макроспикулы периодической ударной волной. В этой модели линейному спаду скорости, следующим за фронтом ударной волны, соответствует линейное изменение скорости вещества за фронтом, и таким образом, наблюдаются параболические профили движения. При этом если период ударных волн находится вблизи какого-то среднего значения, будет наблюдаться как раз зависимость между начальной скоростью и ускорением этих джетов. Слева показан профиль ударной волны, и видно, что если период постоянный, то изменению начальной скорости будет соответствовать изменение наклона профиля скорости. Справа приведены данные моделирования, проведенного в различных работах для различных периодов. Это все согласуется с полученными данными и свидетельствует о том, что динамика макроспикул во многом схожа с динамикой хромосферных джетов, однако если для хромосферных джетов

источником ударных волн являются фотосферные колебания, то для макроспикул вероятен иной источник за счет большой разницы в периоде ударных волн, которые можно получить из наблюдаемой зависимости.

(Слайд 22.) Таким образом, на защиту выносятся следующие положения. Спектр гравитационной энергии протуберанцев в диапазоне от 4×10^{28} до 6×10^{30} эрг является степенным с показателем, равным -1.1 ± 0.2 , что свидетельствует о равномерном распределении энергии по ансамблю протуберанцев. В протуберанцах в указанном диапазоне одновременно на всем Солнце содержится порядка 10^{15} – 10^{17} г вещества, общая гравитационная энергия протуберанцев составляет порядка 10^{29} – 10^{31} эрг. Потери вещества в макроспикулах являются существенными и составляют, в среднем, от 10 до 30 % от видимой массы макроспикулы, в отдельных случаях достигая 80 %, что соответствует суммарным потерям вещества порядка 10^{11} г/с, или около 5–10 % полного потока солнечного ветра, и указывает на заметную роль макроспикул в формировании быстрой компоненты солнечного ветра. Ускорение макроспикул в 35% случаев превышает ускорение свободного падения вблизи поверхности Солнца, а также не согласуется с наклоном макроспикул относительно нормали; таким образом, движение вещества макроспикул не является чисто баллистическим. При этом существует сильная корреляция между начальной скоростью и ускорением макроспикулы, аналогичная той, что обнаруживается для хромосферных солнечных джетов, и которая может быть описана в рамках модели ускорения вещества макроспикулы периодической ударной волной.

(Слайд 23.) Полученные в диссертации результаты были опубликованы в 12 работах, 3 из которых входят в перечень ВАК.

(Слайд 24.) Результаты были представлены на 12 российских и зарубежных конференциях.

(Слайд 25.) Это все, спасибо.

ВОПРОСЫ ПОСЛЕ ДОКЛАДА

Председатель: Спасибо. Так, какие вопросы будут?

Чашей И.В.: Скажите пожалуйста, как вы считали гравитационную энергию макроспикул и протуберанцев?

Соискатель: Для макроспикул она не оценивалась, для протуберанцев оценивалась плотность протуберанца по интенсивности излучения, причем в его внешней наблюдаемой поверхности, поскольку линия He II является оптически толстой. Далее предполагалось, что внутри протуберанца она более или менее равномерна. Также оценивался объем протуберанца по видимой его площади...

Чашей И.В.: Но это что, масса, умноженная на гравитационный потенциал?

Соискатель: Да, фактически, в каждой точке поверхности.

Чашей И.В.: Тогда другой вопрос. Какой знак имеет гравитационная энергия?

Соискатель: Отрицательный.

Чашей И.В.: Правильно. Тогда следующий вопрос, а какой физический смысл?

Соискатель: Это рассматривалось как общая энергетическая характеристика протуберанца, поскольку, во-первых, часть теорий образования протуберанцев рассматривает подъем вещества из хромосферы магнитным полем. Таким образом, эта

энергия соответствует затраченной энергии поля на подъем этого вещества. Также, гравитационная энергия, в целом, составляет определенную долю от общей энергии протуберанца, поэтому она рассматривалась просто как общая энергетическая характеристика.

Новиков И.Д.: Скажите, а почему вы для спикул не рассматривали этот параметр?

Соискатель: Нам была интересна их динамика, честно говоря. Но, в принципе, у них тоже довольно простая внутренняя структура, и можно было оценить, наверное.

Новиков И.Д.: Вот я и спрашиваю, почему вы это не сделали? Почему вы выделили протуберанцы? Спикулы тоже важны.

Соискатель: Во-первых, уже делались такие оценки по другим данным, здесь все-таки некоторым нововведением было изучение поля скоростей и оценка потерь — нас интересовал в первую очередь этот вопрос.

Председатель: Спасибо. Еще вопросы, пожалуйста.

Ковалев Ю.А.: Скажите, пожалуйста, делали ли вы оценку структуры и величины магнитного поля в ваших транзиентных явлениях.

Соискатель: Нет, мы работали исключительно с телескопическими изображениями, то есть магнитограммы здесь не использовались, и, в целом, для исследования магнитной структуры, как правило, рассматриваются отдельные события, где можно подробно рассмотреть поле. Причем, как правило, рассматриваются события на диске, а не за лимбом, потому что мы наблюдаем поле именно на диске. Здесь все-таки подход был сконцентрирован на том, чтобы изучить большое число явлений и получить статистику, и сделать какие-то общие оценки для всего класса событий.

Новиков И.Д.: То есть магнитным полем вы не интересовались совсем? И наблюдениями других авторов тоже?

Соискатель: Нет, но это, без сомнения важно для общего понимания.

Ковалев Ю.А.: А почему, оно не важно здесь?

Новиков И.Д.: Нет, оно, безусловно, важно...

Соискатель: Нет, оно, безусловно, интересно, но здесь просто не совсем понятно, как его изучать именно для большого числа событий.

Новиков И.Д.: Большой труд, и все.

Чашей И.В.: Да нет, я тут могу сказать только, что о корональных магнитных полях вообще мало что известно.

Новиков И.Д.: Тем более.

Соискатель: Да, когда мы говорим про магнитные поля на Солнце, имеется в виду поле на фотосфере, потом уже различными способами оно экстраполируется на более высокие слои.

Председатель: Пожалуйста, еще вопросы.

Малофеев В.М.: А какие самые короткие времена жизни у спикул и у макроспикул?

Соискатель: У макроспикул они порядка где-то 15–20 минут, у спикул порядка 5 минут.

Малофеев В.М.: А секундных нет?

Соискатель: Нет. Во-первых, такие явления очень сложно сейчас наблюдать.

Малофеев В.М.: Сложно просто наблюдать?

Соискатель: Да, возможно есть какие-то быстропротекающие процессы..

Новиков И.Д.: Селекция.

Соискатель: ... очень быстро протекающие явления, но сейчас они просто не известны.

Иванов П.Б.: Можно тоже вопрос?

Председатель: Пожалуйста.

Иванов П.Б.: Я не специалист в данной конкретной области, но в других областях сейчас основная тенденция, когда есть какие-то наблюдения и, скажем, магнитогидродинамические численные модели, то производится их сравнение. Таким образом, если есть какие-то наблюдения и есть какие-то магнитогидродинамические модели, то они как-то сравниваются друг с другом. У вас, по-моему, с численными моделями сравнения не приведено, а насколько они вообще используются?

Соискатель: Да, таких работ действительно много. Это направление, связанное с изучением какого-то отдельного события, и попыток потом его воспроизвести уже в расчетах. Здесь единственное сравнение было с моделированием движения спикул, как раз в этой модели дается наклон. Ну и так, за рамками этой работы, тоже я делал моделирование для уже макроспикул, там получаются схожие результаты, но поскольку они не являются новыми, то они не так интересны. Здесь все-таки был упор на изучение каких-то больших чисел. То есть очень сложно сделать такую работу для, скажем, трехсот событий, то есть это триста раз сделать разные модели — такого я пока еще не видел.

Новиков И.Д.: Что значит сложно?

Соискатель: Трудоемко. То есть нужно для трехсот событий воспроизвести те же самые параметры.

Председатель: Еще какие вопросы?

Чашей И.В.: Можно еще вопрос?

Председатель: Да, конечно.

Чашей И.В.: Скажите, пожалуйста, как по вашему мнению, откуда берутся ударные волны в нижней короне?

Соискатель: Есть несколько моделей, например, для спикул есть так называемые пятиминутные колебания фотосферы, и на границе раздела хромосферы и короны, где происходит резкое падение плотности, они переходят в ударные волны. Есть еще модель --- по-русски не знаю как лучше назвать --- "волн отскока": когда происходит некоторое энерговыделение в хромосфере, оно расширяет и поднимает немного корону, она потом падает обратно и таким образом рождается некоторая ударная волна, причем, возможно, период этой волны зависит как-раз от параметров хромосферы. Наверное, да, такие есть теории.

Председатель: Еще вопросы? Нет вопросов.

Секретарь: Перерыв не будем делать, Игорь Дмитриевич? Потом у нас подряд идет другая половина заседания. Может быть, кому-то лучше прерваться сейчас.

Председатель: Как считают участники, надо перерыв делать? Нет? Тогда давайте пойдём дальше. Не будем делать перерыв, раз нет возражений. Тогда слово научному руководителю. Сергей Александрович, пожалуйста.

Богачев С.А.: *(Научный руководитель, выступает с отзывом, отзыв прилагается.)*

Дополнительно к официально переданному заключению хочу добавить, что, безусловно, корона Солнца — это наиболее интересная область: это область, где формируется активность Солнца, область, сильно отличающаяся по своим характеристикам, и конечно, вопрос ее формирования — это вопрос в каком-то смысле того, что находится на фронте современной физики Солнца. Как правило, когда изучают вопросы формирования короны, рассматривают какие-то энергетические потоки из нижних слоев в верхние, тепловые потоки, какие-то макро-вспышки, какую-то передачу и рассеивание колебаний, и фактически выпадает из внимания возможность передачи из нижних слоев вверх массы. При этом может, во-первых, через массу накачиваться энергия, а кроме того, вообще-то корона теряет вещество за счет солнечного ветра, чем оно восполняется — не очень понятно. Работа Ивана Петровича концентрируется на этих вопросах: на том, каким образом, через какие объекты передается масса из нижних слоев в корону. Объекты это, безусловно, мелкомасштабные, очень многочисленные, и здесь, по сути, он много раз говорил о большом количестве объектов, которые он изучал. Сама задача, сама постановка вопроса о каком-то статистическом исследовании этих вопросов требует таких обработок, требует больших умений по работе с изображениями, по созданию автоматических методов. Им получены очень важные новые результаты, в частности, впервые показано, что макроспикулы, которые вообще раньше не считались явлениями активности, поскольку считалось, что вещество просто поднимается и падает обратно, все что вложено — все вернулось обратно, что эти макроспикулы, во-первых, движутся не баллистически, то есть там явно производится какая-то работа, а второе — они прямо теряют вещество, которое может рассеиваться, может греть корону, может пополнять солнечный ветер. Конечно, это новый результат, очень важный, открывающий новые возможности по объяснению этих явлений. Кроме того, был выделен отдельный класс — мелкомасштабные протуберанцы, впервые исследован вопрос, какая энергия в них содержится, какая суммарная масса. В этом плане это некоторое направление, в котором в некотором смысле Иван является пионером данного вопроса, по обмену массы. Иван, на мой взгляд, работу провел замечательную, и я прошу совет поддержать его в этой активности и в присвоении ему ученой степени, которую он, безусловно, заслужил. Спасибо.

Председатель: Спасибо. Скажите пожалуйста, вот вам вопрос я хочу задать, а не защищающемуся. Тот факт, что были рассмотрены только массовые проблемы с протуберанцами, а не со спиклами, является некоторым недостатком? Потому что вы только что подчеркнули роль спикул в передаче массы от нижних слоев к верхним.

Богачев С.А.: Дело в том, что, когда мы к этой задаче подходили, мы считали, что протуберанец — это некое явление более долгоживущее, в котором действительно какой-то работой вещество заброшено наверх, долго там существует, и какие-то оценки энергии могут быть произведены. Спикулы все-таки это движение динамическое: они поднимаются и опускаются..

Председатель: Но вы только что подчеркнули, что движение не только баллистическое, направленное явно вверх.

Богачев С.А.: Есть направление развития работы, куда я, как руководитель, Ивана Петровича двигаю. Конечно, если есть небаллистическое движение, совершается работа, в конечном счете она уходит в тепло, и какие-то оценки, безусловно, могут быть произведены. Кроме того, еще направление важное: дело в том, что диссертант изучал

полярные спикулы, которые, как им показано, движутся по магнитным линиям, как по трубам. В этом плане значение магнитного поля ему не важно, поскольку в каком-то смысле оно просто направляет движение и никак не взаимодействует. Однако известно, что на экваторе Солнца, где магнитные поля по сути поперечны движению вещества, спикулы имеют намного меньшую высоту и почти не видны. Как раз мы полагаем, что это за счет того, что они вынуждены взаимодействовать с линиями поля и по сути тратить свою энергию на это взаимодействие. В этом плане это довольно интересный способ, именно еще один, передачи энергии от спикулы, когда, возможно, те вопросы, которые были, о том, какие поля там реально имеют значение, действительно пред нами встанет и должен быть решен. Пока для полярных спикул просто это реально не было необходимо, поэтому мы эти вопросы временно опускали.

Председатель: Спасибо. Юрий Андреевич, пожалуйста, зачитайте отзывы и заключение.

Секретарь: *(Зачитывает заключение организации, где выполнена работа (ФИАН), и отзыв ведущей организации (ИЗМИРАН). Заключение и отзыв положительные, прилагаются.)*

Председатель: Есть еще отзывы?

Секретарь: Других отзывов нет.

Председатель: Других нет. Тогда, Иван Петрович, пожалуйста, вам слово, если хотите ответить на замечания в отзыве ведущей организации..

ОТВЕТ НА ЗАМЕЧАНИЯ В ОТЗЫВЕ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Соискатель: Да, я лучше отвечу по очереди. Во-первых, с большинством замечаний остается только согласиться и поблагодарить ведущую организацию за внимательное прочтение диссертации. На некоторых замечаниях я хочу все-таки остановиться подробнее.

Первое — про название протуберанцев, активные и эруптивные. Существует несколько различных схем классификации, самая общая — это разделение по месту образования: либо в активных областях, либо на спокойном Солнце, и как в русскоязычной, так и англоязычной литературе они называются либо, как предложено, «протуберанцы активных областей», либо просто «активными». Причем, естественно, для протуберанцев в активных областях свойственны гораздо более быстрые движения вещества, соответственно поэтому они также активны и в смысле более быстрой динамики. Однако довольно странно было бы применять этот термин к протуберанцам на спокойном Солнце, поскольку, во-первых, структура поля в них значительно отличается и также, как было показано в диссертации, мелкомасштабные спокойные протуберанцы являются довольно динамичными структурами, но при этом они принципиально не отличаются от более крупных спокойных протуберанцев. При этом как для протуберанцев в активных областях, так и на спокойном Солнце, может происходить нарушение устойчивости магнитной структуры с последующим выбросом, и такие протуберанцы повсеместно называются эруптивными. В диссертации, в принципе, этот термин тоже разъясняется.

Другой вопрос. Во-первых, «как нужно понимать выражение» — естественно, там должно стоять макроспикулы, а не протуберанцы, поскольку эта глава посвящена изучению макроспикул. Полярные всплески — это, возможно, не очень удачный перевод с английского, лучше сказать, наверное, выбросы, полярные выбросы, причем полярные,

чтобы отличать от выбросов в активных областях. И опять же, следует их не путать с корональными выбросами массы, которые гораздо более крупные события.

Насчет оценки объема протуберанцев и их формы. Разумеется, в диссертации учитывалось, что протуберанцы имеют вытянутую форму, однако по использованным данным вообще довольно проблематично избавиться, во-первых, от проекционного эффекта, который несколько искажает результат, и точно восстановить их объем. Но в целом, учитывая предыдущие наблюдения протуберанцев, можно предположить, что два поперечных размера примерно соответствуют друг другу, а третий, продольный, естественно гораздо больше. Ну и опять же, поперечное сечение поперек длинной оси, тоже, для каких-то грубых оценок, можно считать более или менее круглым, то есть не учитывать какие-то особенности рельефа внешней поверхности протуберанца, поэтому мне кажется, что именно для грубых оценок, причем производимых для большого числа событий автоматическими методами, такое допущение возможно.

Про соответствие энергии протуберанцев. В принципе, это уже говорилось. Автор отзыва ссылается на работу, где даются оценки характерных значений магнитного поля и других видов энергии протуберанца, и естественно энергия поля на несколько порядков больше, чем все остальные, однако здесь имелось ввиду все-таки то, что пропорция для различных протуберанцев остается примерно одинаковой, и как раз по гравитационной энергии можно судить об общей энергетике протуберанца. Я думаю, это все.

Председатель: Все, да? Спасибо. Тогда слово предоставляется первому официальному оппоненту Евгению Михайловичу Чуразову. Пожалуйста.

Секретарь: Чуразова здесь нет. Он в командировке в Германии. Необходимо зачитать его отзыв. *(Зачитывает отзыв официального оппонента Чуразова Е.М. Отзыв положительный, прилагается.)*

Председатель: Спасибо. Иван Петрович, будете отвечать на замечания?

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ В ОТЗЫВЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА ЧУРАЗОВА Е.М.

Соискатель: Да, тоже буду отвечать сразу. Первое замечание, касающееся сравнения с моделями. В случае протуберанцев, где большинство моделей все-таки строится вокруг конфигурации магнитного поля, для сопоставления с моделями обычно нужны более детальные наблюдения, включающие в себя как раз наблюдения магнитного поля, которое для всех подряд протуберанцев сделать практически невозможно. В этой работе, наоборот, делался упор на исследование основных характеристик для большого числа событий для характеристики в целом всего ансамбля. Хотя, например, в последней главе диссертации именно такой подход позволил сделать некоторые выводы касательно механизма движения макроспикул, и там же производится некоторое обсуждение этого механизма, но, возможно, недостаточно подробно, как хотелось бы оппоненту.

Второй вопрос о больших и меньших энергиях в спектре протуберанцев. Это, без сомнения, очень интересный вопрос. Для того, чтобы попасть в область больших энергий нужна, во-первых, большая выборка событий, что, в принципе, осуществимо уже разработанным методом при применении его к данным других телескопов, которые позволят как раз наблюдать более крупные и более редкие события, и опять же интересен был бы выход для этого из зоны солнечного минимума, чтобы наблюдать как раз более крупные энергетические события. Для более малых протуберанцев сейчас возможности ограничены в первую очередь разрешением наблюдений, причем опять же не только

пространственным, но и временным, как это было показано в работе. Хотя, на мой взгляд, как раз именно эта область представляет наибольший интерес, во-первых, потому что ясно, что при такой форме спектра он должен быть ограничен, и если со стороны больших энергий он ограничен размерами Солнца, а также какой-то предельной массой и энергией, которая может быть накоплена, пока он остается устойчивым, то в области малой энергии пока что единственное ограничение это то, что размер протуберанца должен быть больше высоты хромосферы, поскольку он должен подняться над ней. И здесь, как раз, в проведенной работе не хватило разрешения данных, чтобы понять, является ли завал спектра при меньших энергиях именно инструментальным эффектом и следствием недостаточности разрешения, либо это действительно физический, реальный эффект.

Третье замечание — приводится ссылка на работу. Это, без сомнения, очень интересная работа, причем она была сделана по данным крупного наземного телескопа. Сейчас такие телескопы позволяют добиться высокого разрешения в видимой области спектра, постоянно вводятся более новые инструменты, например, прямо сейчас обрабатывается 4-метровый телескоп на Гавайях, и это подчеркивает большой интерес к изучению именно мелкомасштабных структур на Солнце. Авторы работы, процитированной оппонентом, изучают тоже спикеры и показывают, что вблизи основания некоторых спикер происходит сокращение магнитного потока, что они рассматривают как признак магнитного пересоединения и это, конечно, очень интересно, поскольку довольно редко по данным можно получить хотя бы такие косвенные признаки каких-то энергетических процессов. Хотя, опять же, есть некоторые вопросы, поскольку такое поведение наблюдается даже не для всех спикер, которые рассматриваются в этой работе, и все-таки, при сокращении магнитных потоков пересоединение — это лишь одна из возможных интерпретаций. В любом случае, магнитное пересоединение всегда очень активно рассматривалось как какой-то начальный источник энергии для спикер, и также макроспикер. Сейчас показано, что для большинства спикер он неприменим, хотя недавно были обнаружены более быстродвижущиеся и более энергетические спикеры так называемого второго типа, для которых этот механизм является основным наряду, например, с силой натяжения магнитного поля. Причем в диссертации это также затрагивается. Существует возможность взаимосвязи между более энергетичными спикерами второго типа и макроспикерами, то есть то, что макроспикеры являются внешней горячей оболочкой джетов, которые довольно быстро исчезают при наблюдении в хромосферных линиях. Соответственно, это также можно рассматривать как некоторое косвенное подтверждение механизма для макроспикер. На этот отзыв у меня все.

Председатель: Спасибо. Слово второму оппоненту. Юлия Сергеевна, пожалуйста.

Шугай Ю.С.: *(Официальный оппонент, выступает с отзывом. Отзыв положительный, прилагается.)* Большое спасибо. Дополнительно, чисто неформально могу сказать, что действительно результаты по протуберанцам достаточно интересные, потому что для прогнозирования космической погоды медленный ветер представляет сложность для прогнозов, потому что его наполняют различные корональные источники, и большой интерес представляет работа, сделанная диссертантом. Даже несмотря на то, что он смотрел их на лимбе и, казалось бы, эруптивные протуберанцы направлены от Земли, на самом деле в этот момент существовал проект STEREO, на котором есть тоже инструменты, которые позволяют измерить параметры солнечного ветра, поэтому база данных, собранная диссертантом, очень интересна с практической точки зрения тоже.

Председатель: Спасибо, Юлия Сергеевна. Слово соискателю для ответа на замечания оппонента.

ОТВЕТЫ СОИСКАТЕЛЯ НА ЗАМЕЧАНИЯ В ОТЗЫВЕ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА ШУГАЙ Ю.С.

Соискатель: Насчет вопроса о влиянии ошибок при определении массы протуберанцев. Естественно, в работе были использованы довольно грубые методы для того, чтобы можно было их применить автоматически, и здесь есть несколько различных допущений и эффектов, которые конечно влияют на точность данных. Во-первых, делались предложения касательно внутренней структуры, за счет чего восстанавливались их форма и объем, и брались какие-то средние характерные для протуберанцев значения плотности массы. И конечно же, при наблюдении с одной точкой зрения присутствует проекционный эффект, который не позволяет определить, как протуберанец повернут относительно наблюдателя. Соответственно, определение его объема может существенно отличаться при той же самой видимой площади. Однако, исходя из измеренных параметров протуберанцев, может быть занижена за счет этого масса протуберанца в два или три раза. Но если нас интересует оценка именно по порядку величины, то такой эффект конечно есть, но он сложно устраним и приходится с ними просто смириться. Опять же, за счет большого числа событий можно предполагать, что за счет некоторого усреднения он будет также нивелирован.

Насчет того, что рассматриваются разные классы явлений. Да, это особенность работы, но стоит отметить, что на самом деле между джеттами и протуберанцами, несмотря на то, что они, казалось бы, очень различные по своей динамике структуры, есть некоторая связь. Последние данные показывают, что одна из разновидностей корональных джеттов как раз таки происходит вследствие эрупции мелкомасштабных протуберанцев, соответственно этот вопрос нельзя рассматривать как-то отдельно. И тоже за рамками этой работы, сейчас продолжением тематики как-раз является сравнение свойств макроспикул и этих джеттов, связанных с эрупциями протуберанцев, но из-за ограничения по времени и по объему, эти данные уже не вошли диссертацию.

Насчет корональных дыр тоже вопрос очень интересный, и действительно, для того чтобы определять, макроспикулы находятся на спокойном Солнце или в корональных дырах, был использован очень простой способ, связанный с наблюдением их окружения. То есть в корональных дырах обычные спикулы, которые также видны в вакуумном ультрафиолете, имеют большую длину. И также для корональных дыр характерна более низкая плотность плазмы и, соответственно, меньшая интенсивность излучения в короне. Хотя, как правильно замечает оппонент, такой метод может быть хорошо применим для полярных корональных дыр вблизи минимума активности. Вблизи максимума все-таки структура корональных дыр может быть другой, и главное, они наблюдаются на низких широтах, в результате чего они могут быть просто не видны. Соответственно, часть макроспикул, которые были определены как находящиеся на спокойном Солнце, на самом деле являются макроспикулами из корональных дыр. Можно было бы, для того чтобы это надежно определять, использовать данные того же STEREO, для того, чтобы видеть те же самые корональные дыры, которые с Земли видны на лимбе, уже на диске Солнца, либо смотреть корональные дыры, которые перемещаются по диску Солнца вследствие его вращения, за плюс-минус одну четверть оборота. Но все-таки для каких-то полуавтоматических методов, опять же, это довольно сложная задача и все-таки для диссертации разница между макроспикулами в корональных дырах и на спокойном Солнце не являлась существенной.

Также, в диссертации проводится сравнение с работами. В этих работах данные за 2010–2015 год, то есть в принципе захватывают уже фазу роста солнечного цикла, но опять же, там не уделяется большого внимания именно методике определения положения макроспикул в корональных дырах или на спокойном Солнце. И можно еще заметить, что

все-таки данная часть работы была сделана по данным обсерватории солнечной динамики НАСА, и для канала, который был использован, характерна очень быстрая деградации оптики. Как раз поэтому большее число макроспикулов наблюдалось именно в 2010-2011 годах, то есть когда еще солнечный цикл был на подъеме и большинство корональных дыр были сосредоточены вблизи полюсов. Поэтому, в принципе, например, вывод о том, что для макроспикулов в корональных дырах наклон совпадает с направлением магнитного поля, в целом выглядит правдоподобным. Все, спасибо.

ДИСКУССИЯ

Председатель: Спасибо. Теперь диссертация открыта для всеобщего обсуждения. Кто хочет выступить? Есть желающие?

Иванов П.Б.: У меня не то, чтобы замечание, а, скорее, вопрос. Почему вы решили в нашем совете защищаться? Здесь как-то особо много специалистов по Солнцу не наблюдается, в то время как коллектив солнечников, насколько мне представляется, достаточно обширен в стране. Казалось бы, при желании можно было бы найти диссертационный совет с большим количеством специалистов по Солнцу. У нас же здесь, в общем-то, либо радиоастрономы, либо люди, занимающиеся черными дырами, или там, кротовыми норами..

Секретарь: А можно я отвечу на этот вопрос?

Председатель: Нет, вопрос, наверное, все-таки к соискателю.

Иванов П.Б.: Нет, я все же хотел бы услышать ответ соискателя либо его научного руководителя.

Председатель: Так, слушаем ответ научного руководителя.

Богачев С.А.: Я бы все-таки перехватил этот вопрос, поскольку, безусловно, соискатель при выборе диссертационного совета опирается на советы научного руководителя.

Председатель: А, руководитель решает все, да?

Богачев С.А.: Ну, как правило, не только, но и он тоже...

Секретарь: Окончательно решать-то должен соискатель, а руководитель -- советовать.

Богачев С.А.: В целом давно наблюдается большой интерес к применению получаемых результатов по физике Солнца в астрофизике и звездной астрономии, поскольку Солнце — это звезда обычного типа, причем одного из самых распространенных. Поэтому когда мы работали по проблеме нагрева солнечной короны и смежных вопросов, то понимали, что это проблема не только Солнца, но и звездных корон. И, конечно, нам хотелось бы, чтобы эти результаты рассматривались именно в таком контексте — что это не просто конкретный вопрос физики Солнца, а это вопрос более широкий, который на примере физики Солнца важен и для других звезд. А если говорить о «звездных коронах», то все-таки это входит в специальность совета, как я понимаю.

Иванов П.Б.: Да, но у нас и по звездным коронам как-то не особенно..

Богачев С.А.: Мы проконсультировались с ученым секретарем и руководством совета. Они подтвердили, что диссертационный совет ФИАН обязан принимать к рассмотрению любые диссертации по специальности 01.03.02 "астрофизика и звездная астрономия", независимо от конкретного направления внутри специальности совета. Диссертант был в очной аспирантуре ФИАН и сдал по этой специальности соответствующие кандидатские экзамены.

Дорошкевич А.Г.: Вопросы особого нет.

Председатель: Вопросы нет, по-моему, да? Нет.

Секретарь: Но все-таки давайте и я пару слов скажу на всякий случай.

Председатель: О, пожалуйста.

Ковалев Ю.Ю.: Ну нет вопроса, все понятно.

Председатель: Все, кто хочет, может выступить.

Секретарь: Имеем ли мы право принимать к защите эту диссертацию? Действительно, научный руководитель с диссертантом заранее консультировались по этому вопросу, поскольку диссертация, с одной стороны, по Солнцу, а с другой -- в ней рассмотрены вопросы, имеющие отношение как к астрофизике, так и к звездной астрономии, т.е. к специальности нашего диссертационного совета. В целом вопрос о соответствии специальностей диссертации и совета рассматривается комиссией по предварительному рассмотрению диссертации и окончательно решается диссоветом при голосовании по приему диссертации к защите. Но мы заранее обсудили это с Николаем Семеновичем Кардашевым как с председателем совета и учли, что вопрос для нас не нов. Мы не раз его решали ранее, и без замечаний от ВАК рассматривали аналогичные диссертации, выполнявшиеся как в этой рентгеновской лаборатории из Отделения оптики ФИАН, так и в ПРАО ФИАН и в ИЗМИРАН (всего -- диссертаций около 5 по солнечной тематике на моей памяти, включая две докторские). При этом, конечно, всегда было важно, чтобы в представленных диссертациях Солнце рассматривалось не только как особый объект, но и как один из типовых объектов звездного населения, а также чтобы и используемые методы, и вопросы были "обще-астрофизическими", поскольку наша специальность называется «астрофизика и звездная астрономия» -- тогда не будет противоречий и с паспортом специальности. Что касается прозвучавшего в дискуссии мнения, что у нас в совете отсутствуют специалисты с работами по Солнцу, то, во-первых, это не так (у нас их трое как минимум). Во-вторых, ни один диссертационный совет не в состоянии представлять членами своего совета абсолютно все направления конкретной специальности -- формально такого требования нет, и в этом нет ничего необычного (противоположное мнение -- ошибочно) -- достаточно, если будут грамотно назначаться оппоненты. Или нужно защищать работы на стыке специальностей и соответственно вводить в состав совета новых дополнительных членов на разовую защиту (и ранее мы так тоже делали). А учитывая, что в ФИАНе целая лаборатория с аспирантами по нашей специальности занимается рентгеновскими наблюдениями Солнца и в ПРАО ФИАН есть солнечная тематика по радиоастрономии, то мое личное мнение, что было бы смешно, непрофессионально и странно, если бы при этом наши коллеги-солнечники из ФИАН не могли бы защищаться по специальности 01.03.02 «астрофизика и звездная астрономия», которая представлена в Институте и аспирантурой, и диссертационным советом.

Председатель: Ничего смешного тут нет. Юрий Андреевич, формально, наш совет в этом составе имеет право эту диссертацию рассматривать, правильно я понимаю?

Секретарь: Я понимаю это так. А диссертационный совет подтвердил, что это так, результатами предварительного рассмотрения диссертации и положительным голосованием при принятии диссертации к защите.

Председатель: Значит, обсуждение этого вопроса тогда завершили. Еще какие будут замечания, желания выступить? Нет больше. Тогда дискуссия закрывается и приступаем к голосованию. Теперь нам нужно избрать счетную комиссию для подсчета голосов тайным голосованием. (Обсуждаются кандидатуры и избираются члены счетной комиссии открытым голосованием по большинству голосов: "за"--13, "воздержался" -- 1).

Председатель: Комиссия избрана, членам комиссии просьба приступить к исполнению обязанностей. *(Проводится тайное голосование и подсчет голосов.)* Так, пожалуйста, слово председателю счетной комиссии.

Малофеев В.М.: *(Председатель счетной комиссии, зачитывает протокол счетной комиссии по вопросу о присуждении ученой степени кандидата физико-математических Лободы Ивану Петровичу.)*

Состав счетной комиссии: Малофеев В.М., Иванов П.Б., Ковалев Ю.Ю.

Состав совета — 21

Присутствовало на заседании по защите — 14 членов совета,

В том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации — 14,

Роздано бюллетеней — 14

Осталось не розданных бюллетеней — 7

Оказалось в урне бюллетеней — 14

По результатам голосования проголосовали:

За — 14,

Против — 0,

Недействительных бюллетеней — 0.

Председатель: Пожалуйста, кто за то, чтобы утвердить результаты голосования? Кто против? Нет. Кто воздержался? Нет. Единогласно. Вот теперь давайте поздравим соискателя. *(Аплодисменты.)* Теперь нам нужно обсудить заключение диссертационного совета. Какие замечания? Есть замечания по тексту? *(Текст обсуждается и редактируется.)* Еще какие замечания? Нет. Тогда, кто за то, чтобы с изменениями текст принять как наше заключение? Кто за? Кто против? Против и воздержавшихся нет. Тогда Заключение диссертационного совета принимается единогласно. На этом наше заседание объявляется закрытым. Всем спасибо.

Заместитель председателя диссертационного совета,
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН

Ю.Ю. Ковалев

Ученый секретарь диссертационного совета,
д.ф.-м.н.

Ю.А. Ковалев

3 марта 2020 г.