

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова

# Программа

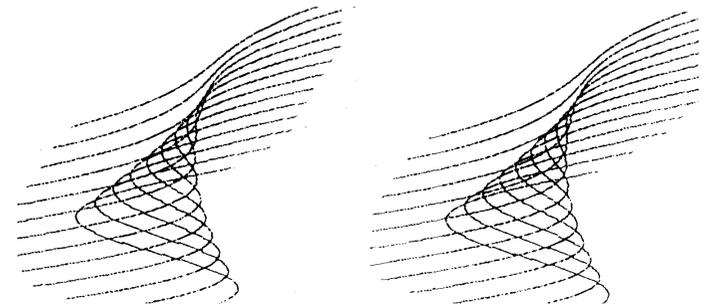
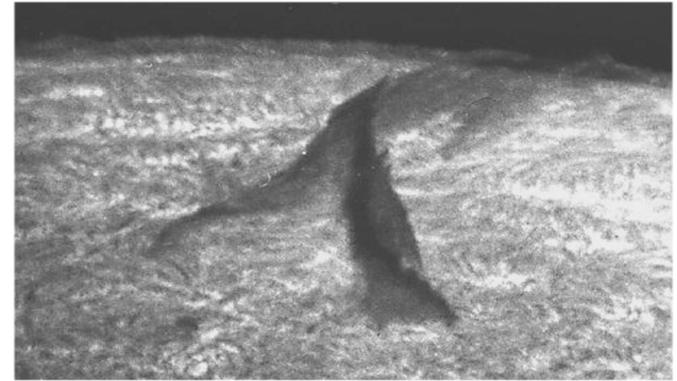
**семинара  
по солнечно-земной физике  
под руководством  
Д. Д. Соколова**



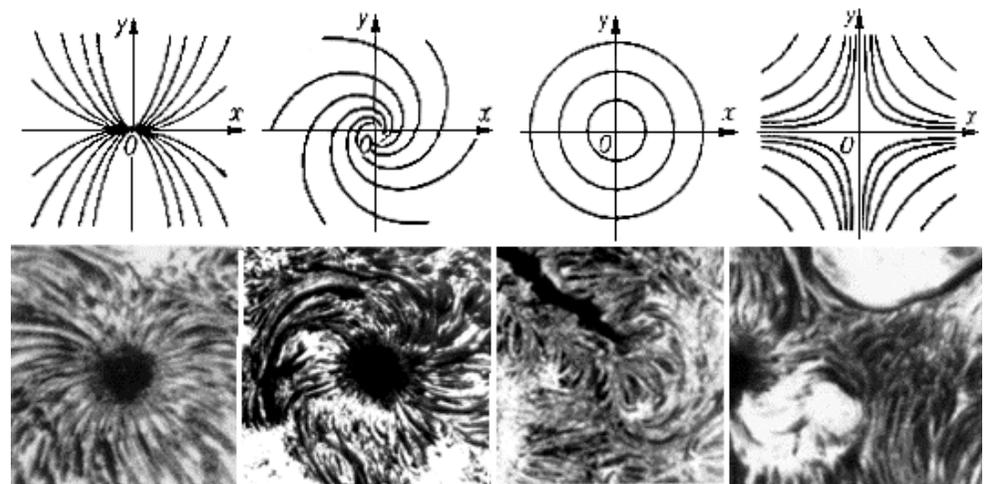
**ПАМЯТИ М. М. МОЛОДЕНСКОГО**

*Москва, Троицк*

*2 декабря 2013*



Волокно у лимба 5.06.1969 и его трехмерная модель



# **Российская Академия Наук**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н. В. Пушкова

## **Программа**

*семинара по солнечно-земной физике  
под руководством Д. Д. Соколова*

**«ПАМЯТИ МИХАИЛА МИХАЙЛОВИЧА МОЛОДЕНСКОГО»**

*Москва, Троицк*

*2 декабря 2013*

*Мир стареет в былых надеждах.  
Но сегодня, как и вчера —  
на плечах эту землю держат  
и несут на себе мастера!  
Р. Рождественский*

### **Программа семинара**

**12:00—12:10 ОТКРЫТИЕ**

**12:10—12:30 О М. М. Молоденском** (выступление учащихся  
МАОУ «Гимназия им. Н. В. Пушкина», рук. Бирюкова  
Т. Е.)

22 июня 2013 года исполнилось 75 лет со дня рождения Михаила Михаловича Молоденского, известного специалиста в области физики Солнца. Физическая интуиция и владение математическим аппаратом позволяли М.М. Молоденскому добиваться значимых результатов. Новизна и оригинальность решения научных идей привлекали к нему ученых из Франции, Бразилии, Бельгии, Болгарии, Индии.

**12:30—12:50 «О равновесии и устойчивости корональных электрических токов»**  
**Б. П. Филиппов (ИЗМИРАН)**

Электрические токи, протекающие в солнечной короне, играют важную роль в физике короны. Нарушения равновесия и неустойчивости токов являются причиной спорадических явлений солнечной активности: вспышек, эрупций протуберанцев, корональных выбросов. Нами проанализирован ряд магнитных конфигураций, часто используемых в моделировании вспышек и эруптивных явлений. Показано, что некоторые из них являются неустойчивыми и не могут служить в качестве исходных, в моделях, претендующих на адекватное описание активных солнечных процессов. Обсуждаются хромосферные проявления условий равновесия корональных токов.

Я благодарен судьбе за общение с ним и его коллегами. Особая благодарность Лидии Ивановне Старковой за ее вклад в сохранение памяти об этом прекрасном человеке.

Работа поддержана грантом РФФИ [13-02-00461](#) и программой развития МГУ. Она является также частью исследований по Программам РАН П22, П26 и ОФН 15.

Koutchmy, S.; [Molodenskii, M. M.](#) Three-dimensional image of the solar corona from white-light observations of the 1991 eclipse. *Nature*, vol. 360, no. 6406, p. 717-719. DOI:[10.1038/360717a0](#)

**16:30—16:50 «О работе М. М. Молоденского в 70-80 годы»**  
**Г.Н. Куликова (ИЗМИРАН)**

**16:50—17:10 «Затмение 1994 г. в Бразилии»**  
**Л.И. Старкова (ИЗМИРАН)**

**17:10—18:30 Закрытие семинара. Чай за круглым столом**

фактам и наблюдениям в отличие от моды, принятой в этой области исследований по сей день, когда даже такие крупные исследователи, внесшие свой большой вклад, как С.Чепмен, И.С. Шкловский, Ю. Паркер далеко не всегда следовали таким принципам. Он сам наблюдал солнечные затмения, о которых знал очень много и скрупулезно. Мне особенно нравится простая, красивая и элегантная, как сами ее авторы, заметка [1], написанная «мимоходом», но заложившая основу для целого направления, столь успешно развивающегося ныне во всем мире. М.М. Молоденский своими руками и руками помощников создавал прекрасные материальные визуализации тех образов на Солнце, о которых он так много и глубоко думал. Не знаю, где сейчас эти «инсталляции», но по-моему, им лучшее место в Планетарии Москвы, чтобы каждый мог их увидеть и призадуматься о многообразии и красоте науки, которой посвятил свою жизнь этот ученый. Особенно полезно это было бы молодым и совсем юным людям, размышляющим о своем будущем.

Хотя мы много обсуждали, спорили с М.М. Молоденским и его коллегами, мне представляется, что сейчас сказали бы в один голос, что топология и геометрия, понимаемые в несколько более обобщенном многомерном виде, сегодня и есть то самое главное направление в исследовании солнечной короны и солнечного ветра. Именно здесь видятся будущие серьезные открытия. Хочу пожелать больших научных успехов продолжателям того дела, которому М.М. Молоденский так бескорыстно служил.

## 12:50—13:10 «Структурные элементы солнечной короны»

**В. Л. Мерзляков (ИЗМИРАН)**

Рассмотрены особенности проявления неоднородного распределения плотности плазмы короны Солнца. Показано, что все наблюдаемые особенности возможно объяснить в рамках единой концепции, предложенной Молоденским. Основой этой концепции являются идея о наличии слоя повышенной плотности на поверхностях смены знака радиальной компоненты магнитного поля (нейтральных поверхностях) и представление о наблюдаемых корональных структурах как проекциях складок этого слоя на картинную плоскость. Проведенный анализ условий появления тех или иных наблюдаемых элементов солнечной короны показал, что их появление связано с определенными масштабами деформаций нейтральных поверхностей. Определяющие элементы формы короны — шлемы возникают от крупномасштабного  $60^\circ$  изгиба по долготе нейтральной поверхности. Остальные элементы короны возникают вследствие мелкомасштабной  $3^\circ$  деформации.

Для эпохи низкой солнечной активности были определены параметры источников коронального магнитного поля, которые формируют крупномасштабные изгибы нейтральной поверхности. Источники располагаются на средних широтах регулярным образом, их дипольные моменты направлены по радиусу и имеют разные ориентации с соседними. Появление таких источников может быть интерпретировано как действие гигантских ячеек конвекции в результате транспортировки к фотосфере генерируемого в основании конвективной зоны магнитного поля.

**13:10—13:30** «Наблюдения в белом свете и поляриметрический анализ солнечной короны во время затмения 1 августа 2008»

**Ю. С. Загайнова, В. И. Скоморовский, В. Д. Трифонов, Г. П. Машнич, В. Г. Файнштейн, Г. И. Куштэл, С. А. Чупраков (ИЗМИРАН, ИСЗФ РАН)**

Специально для изучения солнечной короны во время полных солнечных затмений был разработан новый телескоп. Особенности оптической схемы и конструкции телескопа позволяют проводить одновременные наблюдения солнечной короны с разными положениями поляризатора (пропускание которых составляет  $0^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $120^\circ$  в каждом выбранном направлении); одно изображение получается без поляризатора. Данный телескоп использовался при наблюдениях белой короны во время полного солнечного затмения 1 августа 2008. Получены распределения поляризационной яркости, яркости К-короны, степени поляризации К-короны и полная степень поляризации в зависимости от широты и радиуса в плоскости неба. Рассчитаны радиальные распределения электронной плотности в зависимости от широты. Выполнено сравнение этих распределений для различных корональных структур. Определена температура плазмы солнечной короны для различных структур в предположении гидростатического равновесия.

**13:30—14:30** ОБЕД

К большому сожалению, это время оказалось не очень продолжительным. Но это был очень яркий, мощный, множественный, топологически связанный, хотя и не шумный «транзиент», если выразаться словами, смысл которых понятен из сказанного выше.

Вопросы стереоскопии в более широком плане, не только применительно к структуре корональных неоднородностей оказались очень важными. Можно без преувеличения сказать, что именно они выходят и уже вышли на передний план в этой области исследований, да и не только в ней, поскольку практически все физические главные вопросы в одномерных, двумерных и простейших трехмерных конфигурациях, включая сюда и тороидальные, в принципиальном плане уже достаточно подробно исследованы. Осталось «всего лишь» соединить эти блоки в единое целое, чтобы в достаточной мере понять, что же там происходит на самом деле, а не только в теории, которая, к сожалению, довольно часто применяется за пределами своей применимости. Иногда в этом контексте говорят о томографии, но до реальной томографии, подобной по точности медицинской, нам еще очень далеко, если думать об этом применительно к Солнцу и гелиосфере. Очень эффективным оказался метод погружения трехмерных образов в четырехмерное пространство, имея в виду здесь время в качестве четвертой координаты. Попросту говоря - кино и стереофильмы. Будучи теоретиком, М.М. Молоденский прекрасно понимал и всегда отдавал первенство

М.М.Молоденский остался в моей памяти подтянутым, интеллигентным, деликатным, очень сдержанным и благородным человеком с высоким чувством собственного достоинства. Он был в начале своей научной карьеры аспирантом А.А. Корчака, в ту пору оригинального физика-теоретика, занимавшегося физикой Солнца и проблемой происхождения космических лучей, а впоследствии не менее оригинального мыслителя, стойкого правозащитника и социолога. Несколько позже М.М. Молоденский стал соавтором известного физика-теоретика С.И. Сыроватского, в какой-то мере продолжателем его идей относительно плазменных процессов на Солнце, однако выработал свой самостоятельный способ мышления о динамических явлениях на Солнце, причем очень заметно отличающийся и оригинальный, если сравнить работы наставников и их учеников, если можно так сказать в данном случае. Этот способ он последовательно отстаивал и развивал в дальнейшем, что было далеко не просто на фоне господствовавших тогда научных парадигм, не всегда правильных и адекватных. Около четверти века тому назад мне посчастливилось познакомиться лично с М.М. Молоденским, когда он готовился к защите своей докторской диссертации, что было также не простым делом, а затем и с его коллегами, когда они работали над вопросами геометрии и стереоскопии. Среди них были такие известные ученые как Л.С. Соловьев, А.А. Веденов, С. Кучми, и другие специалисты различного профиля, которых он увлек своим энтузиазмом и объединил на какое-то время.

#### **14:30—14:50 «Корональные магнитные проборы»**

**И. Ф. Никулин (ГАИШ)**

Путем сравнения рентгеновских изображений короны и магниитограмм Солнца выделен особый тип корональных магнитных структур – корональные проборы. Они представляют собой линейные структуры внутри униполярных крупномасштабных магнитных полей, образованные рядами магнитных петель, замкнутых на прилегающие поля противоположной полярности. Приведены основные характеристики проборов. Отмечено их сходство и различия с корональными дырами, а также их взаимная эволюция. Выделены характерные классы проборов.

#### **14:50—15:10 «Внезатменные космические наблюдения структуры магнитного поля внутренней короны Солнца»**

**С. А. Богачев (ФИАН)**

Космические эксперименты, которые ведутся, в том числе, и в нашей стране, предоставляют широкие возможности для исследования короны Солнца, которые по многим параметрам не уступают, а иногда и превосходят возможности наземных экспериментов, проводимых во время затмений. Основным преимуществом наблюдений из космоса является их длительность. Многие динамические процессы в короне Солнца, такие как корональные выбросы массы, длятся несколько десятков часов, что не позволяет исследовать их во всех деталях за короткую фазу полного солнечного затмения. Существенным огра-

(фактически, речь идет о коронографе LASCO на спутнике SOHO) является, однако, то, что их поле зрения начинается с высоты около 1 радиуса Солнца над поверхностью. В результате этот инструмент не позволяет наблюдать процессы, происходящие в диапазоне высот от 0 до 1 солнечных радиуса (этот диапазон для определенности назван нами внутренней короной Солнца). Чтобы восполнить определенный недостаток наблюдений в этой области, нами во время эксперимента ТЕСИС на спутнике КОРОНАС-Фотон были проведены специальные эксперименты по получению изображений внутренней короны Солнца в динамическом диапазоне около  $10^6$  (отношение самого сильного к самому слабому регистрируемому сигналу). Пространственное разрешение изображений составило около 1.7 угловых секунд, то есть 1250 км на пиксель. Временное разрешение наблюдений — несколько минут. Мы описываем методику этих незатменных экспериментов, а также представляем примеры полученных изображений и некоторые научные результаты.

различные волны и конвективные движения, включая сюда разрывы, ударные волны и т.п. Мы практически очень мало пока знаем об электрических полях и дрейфах, важную роль которых М.М. Молоденский понимал, пожалуй, как ни кто другой. Не уставал он говорить и о независимой роли электрических токов в различных геометрических конфигурациях. Он отлично сознавал крайне ограниченный смысл в решении многочисленных задач о равновесии и линейной неустойчивости, хотя сам этим много и конкретно занимался в начале своего научного пути. Его суммарный вклад в науку о сложных плазменных процессах на Солнце еще предстоит оценить по достоинству. Предстоит также еще многое узнать и открыть, прежде чем станет понятной сложная «мозаика явлений и строительных блоков». В теоретическом плане наиболее интересными представляются сейчас вопросы о нелокальных связях и нелинейных процессах с хорошо понятными и осознанными начальными и граничными условиями. Ясно, однако, что ни о каких универсальных моделях или «стандарных» сценариях в этой сложной ситуации говорить не приходится, хотя разумеется, что бывают похожие друг на друга явления. Одни из них встречаются чаще, а другие реже. Наверняка есть и такие, которые случаются совсем редко, и мы их пока не видели. Они всех нас могут еще очень удивить. Жаль, что М.М. Молоденский не дожил до того времени, когда наблюдательная астрофизика Солнца так быстро прогрессирует и впереди еще много увлекательных проектов. Он сам был увлекающимся исследователем и понимал красоту явлений, их удивительность, как редко кто на это способен.

**16:10—16:30** «Топология, геометрия и стереоскопия солнечной атмосферы в области источников солнечного ветра»

**И.С. Веселовский (НИЯФ МГУ, ИКИ РАН)**

Представлены основные понятия о неоднородностях плазмы в атмосфере Солнца и об источниках солнечного ветра, их динамической топологии и геометрии. Топологические и геометрические образы лежат в основе современной стереоскопии Солнца. Масштабирование включает в себя не только размеры и характерные времена, но и плотность, скорость, температуру, состав плазмы, напряженность магнитного поля, напряженность электрического поля, поверхностную связность и степень открытости рассматриваемых образов в качестве минимального и необходимого набора параметров для количественного описания и классификации. Совокупность этих независимых и ортогональных друг другу «физических координат» в обобщенном многомерном пространстве огромна. Мы знакомы лишь с небольшим числом структур и явлений в атмосфере Солнца, таких как корональные дыры, стримеры, псевдостримеры, лучи, петли, плазменные слои и трубки, выбросы массы, эруптивные протуберанцы, «полярные перья», разнообразные струи и «джеты», «жгуты», волокна, «фибриллы» вспышки и микровспышки, «плазмоиды», вихри, складки Уитни, узлы, фокусы, седла и другие проекционные сингулярности, реальные и ложные точки пересоединения магнитных полей, яркие точки,

**15:10—15:30** «Какова наиболее типичная геометрия трехмерного магнитного пересоединения?»

**Б. В. Сомов, Ю. В. Думин (ГАИШ МГУ, ИКИ РАН)**

Ключевую роль в иницировании процессов магнитного пересоединения играют, как известно, нулевые точки магнитного поля. В наиболее часто рассматриваемом случае квазидвумерного пересоединения они имеют универсальную топологию X-типа; в трехмерном же случае, вообще говоря, следует ожидать гораздо более разнообразной топологии нулевых точек.

В проводившихся в последние годы работах по трехмерному пересоединению, как правило, рассматривались лишь структуры «пропеллерного» типа, которые можно представить себе как «столкновение» двух противоположно направленных магнитных потоков с последующим «растеканием» в экваториальной плоскости. При этом структурам с иными типами топологии практически не уделялось внимания. Более того, вероятность образования структур различного типа никогда серьезно не анализировалась.

Основной целью нашего исследования являлся расчет вероятности возникновения конфигураций с различными типами топологии в приближении потенциального магнитного поля. Проведенный анализ привел к весьма неожиданным выводам: оказалось, что чаще всего рассматривавшаяся ранее «пропеллерная» конфигурация реализуется, на самом деле, с весьма малой вероятностью; а доминирующую роль должна играть специфическая структура типа «шестихвостки».

(Она была так названа нами ввиду наличия шести асимптотических направлений в окрестности нулевой точки.)

Полученные результаты, во-первых, объясняют, с чем была связана основная проблема в предпринимавшихся до сих пор попытках идентификации “пропеллерных” структур в наблюдательных данных по магнитному пересоединению, и какого типа трехмерные структуры следует искать в действительности. Во-вторых, интересным свойством “шестихвостки” является то, что на больших расстояниях она в некотором приближении вырождается в квазидвумерную структуру с топологией X-типа. Это объясняет, почему двумерные модели обычно бывают хорошо применимы для описания крупномасштабных процессов пересоединения.

15:30—15:50

**«Эффект Гневышева в солнечной активности и в космических лучах»**

**Г. А. Базилевская (ФИАН)**

Эффект Гневышева проявляется как временное ослабление солнечной активности в фазе максимума 11-летнего цикла. Он наблюдается в солнечных пятнах, фотосферном магнитном поле, корональном индексе, числе вспышек и других индексах. Однако этот эффект выглядит по-разному в северном и южном полушариях Солнца, кроме того, нередко ослабление активности можно наблюдать дважды в течение максимальной фазы одного цикла. Скорее всего, эффект Гневышева – проявление квазипериодической структуры солнечной активности с характерными временами ~ 0.5-2 года, в которой присутствуют

признаки стохастичности. Однако это нельзя считать полностью доказанным. Эффект Гневышева транслируется в гелиосферу открытым магнитным потоком Солнца и проявляется в геомагнитной активности и модуляции интенсивности космических лучей. В этом качестве эффект Гневышева является важным репером, позволяющим изучать солнечно-земные связи.

15:50—16:10

**«Наблюдаются ли вариации потока солнечных нейтрино в экспериментах SAGE и GALLEX-GNO?»**

**В. А. Кутвицкий (ИЗМИРАН)**

Дан обзор результатов по регистрации потока солнечных нейтрино в радиохимических экспериментах SAGE и GALLEX-GNO. Рассмотрены проблемы выявления скрытых периодичностей в этом потоке и возможность обнаружения корреляций с основными периодическими процессами в системе Земля-Солнце: сезонными изменениями, связанными с эллиптичностью земной орбиты, вращением Солнца вокруг своей оси и 11-летним периодом солнечной активности. Обсуждаются также физические механизмы, которые могли бы быть ответственными за подобные изменения потока.