

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(27 мая 1992 г.)**

27 мая 1992 г. в Институте физических проблем им. П.Л. Капицы РАН состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии РАН. На сессии были заслушаны доклады:

1. Р.А. Гуляев. Внешняя солнечная корона как оптическое проявление гелиосферного токового слоя.

2. Л.Д. Бахрах, А.А. Блискавицкий. Оптомикроволновые методы формирования излучения сверхширокополосных антенн.

Краткое содержание докладов публикуется ниже.

Р.А. Гуляев. Внешняя солнечная корона как оптическое проявление гелиосферного токового слоя.

1. По структурным свойствам солнечная корона четко разделяется на две части: внутреннюю, состоящую главным образом из петельных образований, и внешнюю. Основным элементом структуры внешней короны, определяющим глобальную крупномасштабную картину всей короны, являются шлемовидные лучи, простирающиеся далеко в межпланетное пространство. Переход от внутренней короны к внешней происходит в интервале гелиоцентрических расстояний r от 1,5 до 2 радиусов Солнца (R_{\odot}).

Гелиосферный токовый слой (ГТС) есть поверхность раздела полярностей межпланетного магнитного поля (ММП). Пересечение ГТС Землей или космическим аппаратом воспринимается как проявление секторной структуры ММП.

Конфигурация основания ГТС хорошо описывается нейтральной линией ММП на "поверхности источника" ($r \approx 2,5R_{\odot}$), рассчитываемой путем экстраполяции измерений магнитного поля на фотосфере [1].

Исследования последних лет показали, что шлемовидные корональные лучи распределены над Солнцем не хаотично, а образуют в совокупности замкнутый пояс вокруг Солнца и этот пояс соответствует основанию ГТС. Можно сказать более определенно: пояс шлемовидных корональных лучей есть видимое (оптическое) проявление ГТС вблизи Солнца, а сами лучи суть структурные элементы ГТС (подробное обсуждение см. в [2]).

Для изучения эволюции пространственной ориентации ГТС было введено понятие средней плоскости ГТС [2]. Положение средней плоскости, определяемое чисто геометрическим способом, например, по конфигурации нейтральной линии на поверхности источника, хорошо соответствует дипольной составляющей общего магнитного поля Солнца [3]. Перпендикуляр к средней плоскости, проходящий через центр Солнца, можно рассматривать как ось ГТС, а точки его пересечения с поверхностью Солнца — как полюса ГТС или магнитные полюса Солнца.

Выявлен ряд закономерностей изменения ориентации ГТС в 11-летнем цикле солнечной активности. В частности, наклон средней плоскости ГТС к плоскости солнечного экватора меняется почти от нуля в минимуме цикла до $\sim 70^\circ$ в моменты за ~ 1 год до и ~ 1 год после максимума цикла [2,4]. В течение примерно 2-летнего периода максимальной активности Солнца конфигурация ГТС настолько сложна и меняется так быстро, что определение средней плоскости становится невозможным и само понятие средней плоскости, видимо, утрачивает смысл.

2. Проведенный анализ неожиданно показал, что в течение большей части 11-летнего цикла реальная конфигурация основания ГТС мало отклоняется от средней плоскости [5]. Был рассмотрен 15-летний промежуток времени, включающий все фазы 11-летнего цикла, кроме эпохи максимума. Оказалось, что в течение 43% времени среднее квадратичное отклонение основания ГТС от плоскости не превышает 10° , а в течение 73% — 15° . Таким образом, основание ГТС и, следовательно, пояс шлемовидных лучей можно рассматривать как в значительной мере плоское образование. Вероятно, можно провести определенную аналогию между видом короны в 3-мерном пространстве и формой спиральных галактик.

Хорошо известна впечатляющая изменчивость вида солнечной короны. В минимуме 11-летнего цикла корона имеет две системы шлемовидных лучей, вытянутых вдоль экватора; в максимуме шлемовидные лучи распределены более или менее равномерно по всему нимбу Солнца. При переходе от минимума цикла к максимуму вид короны должен, по общепринятым представлениям, постепенно эволюционировать от одной крайней формы к другой. Неоднократно предпринимались попытки классифицировать структуру короны в зависимости

от фазы 11-летнего цикла, однако выявить вполне однозначную связь между этими двумя явлениями так и не удалось.

Наш вывод о малом отклонении внешней короны от плоскости позволяет сформулировать новый взгляд на эволюцию короны в 11-летнем цикле: в течение большей части цикла форма короны в 3-мерном пространстве меняется мало, наблюдаемое же многообразие корональных форм обусловлено прежде всего изменениями ориентации короны по отношению к наблюдателю [5].

Вышесказанное надо рассматривать как первое приближение, характеризующее наиболее общие свойства глобальной структуры короны. Реальная картина, конечно, богаче. В частности, в течение $1/4$ рассмотренного периода времени среднеквадратичное отклонение основания ГТС от плоскости превышает 15° , доходя до 45° . Это бывает связано в основном с вкладом усиленной квадрупольной составляющей магнитного поля, и следствием такой ситуации может быть 4-секторная структура ММП в плоскости эклиптики. "Плоское" состояние короны, существующее в течение большей части 11-летнего цикла, мы можем условно назвать (по аналогии с атомными системами) основным состоянием короны, а все другие состояния — возбужденными.

3. Итак, внешний вид короны в значительной мере определяется ориентацией относительно наблюдателя. Особый интерес представляют два предельных случая ориентации. Первый: корона развернута параллельно лучу зрения, т.е. наблюдается "с ребра". Для эпохи минимума такая ситуация типична: ГТС и внешняя корона располагаются близко к плоскости солнечного экватора и поэтому всегда повернуты к Земле ребром. Этим обусловлена характерная форма "минимальной" короны. Но и при больших наклонах ГТС к плоскости экватора сходная картина должна регулярно повторяться всякий раз, когда корона, вращаясь вместе с Солнцем, поворачивается к наблюдателю ребром. Очевидно, что при благоприятных условиях это должно повторяться дважды в течение каждого оборота Солнца.

Если в такой момент происходит полное солнечное затмение, наблюдатель должен видеть интересную картину: корону "минимального" типа, наклоненную к экватору. Подобная ситуация имела место во время нескольких затмений. Но, по-видимому, самая эффектная картина наблюдалась во время затмения 11 июля 1991 г., когда наклон средней плоскости ГТС к экватору достигал 67° . На рис. 1 представлен структурный рисунок короны 1991 г., полученный по результатам наблюдений группы ИЗМИРАН в составе экспедиции АН СССР в Мексике [6]. Изображено также сечение поверхности Солнца средней плоскости ГТС, рассчитанное по стэнфордским данным о нейтральной линии на поверхности источника [7]. Угол между лучом зрения и средней плоскостью составлял всего 18° , т.е. корона наблюдалась практически с ребра.

Затмение 1991 г. происходило в эпоху, близкую к максимуму 11-летнего цикла, поэтому, исходя из общепринятых представлений, можно было ожидать, что корона будет иметь форму, близкую к "максимальной". Рис. 1 показывает,

что форма короны 1991 г. совершенно не соответствует "максимальному" типу, но близка к "минимальному" при очень крутом наклоне к экватору. Таким образом, рис. 1 демонстрирует несостоятельность существующих представлений об эволюции корональных форм применительно к короне 1991 г. В то же

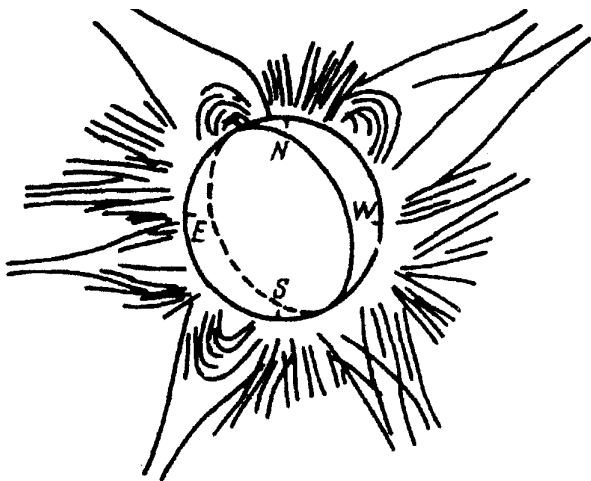


Рис. 1. Структура солнечной короны 11 июля 1991 г.

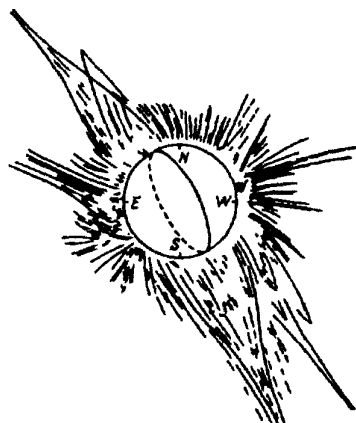


Рис. 2. Структура солнечной короны 19 июня 1936 г.

время описанная картина очень хорошо вписывается в концепцию "плоской короны" и может служить ее прямым экспериментальным подтверждением.

4. Еще более интересен и информативен другой предельный случай ориентации: плоская солнечная корона, лежащая в картинной плоскости. Очевидно, что в этом случае магнитный полюс должен находиться вблизи центра солнечного диска. Поскольку для осуществления такой ориентации нужен очень крутой наклон короны к плоскости экватора, подобная ситуация, в отличие от случая ориентации ребром, возможна только на предмаксимальной и постмаксимальной фазах 11-летнего цикла.

Наблюдения со стороны магнитных полюсов Солнца, когда корона лежит в плоскости неба, означают взгляд на гелиосферный слой "сверху", осуществляемый с Земли. Такие наблюдения могут дать очень существенную информацию о детальной структуре ГТС вблизи Солнца и ее связи с конкретными образованиями на Солнце. В частности, можно сразу же получить ответы на такие, например, вопросы: сколько шлемовидных лучей содержит в себе токовый слой и как эти лучи распределены вдоль нейтральной линии. Важно, что эффект наложения различных корональных деталей по лучу зрения, присутствующий при других ракурсах короны, в этом случае отсутствует или сводится к минимуму.

Анализ ориентации короны во время полных солнечных затмений XX века показал, что картина плоской картины, лежащей в плоскости неба, в чистом виде не осуществилась ни разу. Наибольший наклон к плоскости экватора имел место во время затмений 11 июля 1991 г. (67°) и 19 июня 1936 г. (68°). Случай 1991 г. описан выше. Структурный рисунок короны 1936 г. поданным А.Т. Несмяновича [8] приведен на рис. 2. Во время этого затмения угол между лучом зрения и средней плоскостью ГТС составлял 45° , т.е. корона располагалась посередине между возможными предельными положениями: ребром и в "анфас". Тем не менее, рисунок дает вполне наглядное представление о виде короны "в плане". В контексте изложенного становится очевидной важность наблюдений всех полных солнечных затмений.

5. Еще одно важное направление оптических исследований ГТС и внешней короны — поиск далеких корональных лучей на ночном небе. Осуществление этой задачи означало бы прямую оптическую регистрацию ГТС на больших расстояниях от Солнца в широком интервале гелиографических широт. Впервые вопрос о наблюдениях корональных лучей на ночном небе поставил Г.М. Никольский еще в 1956 г. [9]; тогда его попытки обнаружить лучи успеха не имели. Сейчас при наличии современной наблюдательной техники мы можем вернуться к этой важной задаче.

Рекордное угловое расстояние от Солнца, до которого удалось проследить корональные лучи, составляет $50R_\odot$ или $12,5^\circ$ (снимки астронавта Уордена на лунном корабле Apollo 15 [10]). Начало астрономической ночи соответствует погружению Солнца под горизонт на 18° ($\sim 70R_\odot$).

Оценки показывают принципиальную возможность обнаружения корональных лучей над горизонтом до расстояний $40\text{--}50^\circ$ от Солнца. Важным свойством далеких корональных лучей, которое должно облегчить задачу их обнаружения, является высокая степень поляризации в тангенциальном направлении.

В исследования, результаты которых изложены в настоящем докладе, определенный вклад внесли В.В. Мигулин, Н.Я. Ванярха, М.П. Фатьянов, Б.П. Филиппов. Я выражаю им искреннюю благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hoeksema J.T.// Adv. Space Res. 1989. V. 9, №. 4. P. 141.
2. Gulyaev R.A., Vanyarkha N. Ya.// Solar Phys. 1992.
3. Ванярха Н.Я. II Солн. данные. 1991. № 12.
4. Hoeksema J.T.//Adv. Space Res. 1991. V. 11, No 1. P. 15.
5. Gulyaev R.A.//Solar Phys. 1992.
6. Гуляев Р.А., Филиппов Б.П.//ДАН. 1992. Т. 322. С. 268.
7. Solar-Geophysical Data. 1991. No 566.
8. Солнечная корона и корпускулярное излучением межпланетном пространстве /Под ред. С.К. Всехсвятского. — Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1965.
9. Никольский Г.М.//Астрон. ж. 1956. Т. 33. С. 588.
10. Wilson D.C., MacQueen R.M.//J. Geophys. Res. 1974 V. 79. P. 4575.