

**СОТРУДНИЧЕСТВО ИЗМИРАН И ГАИШ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
СУБЛИМАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЫ****Cooperation of IZMIRAN and Sternberg Astronomical Institute
in the Study of the Sublimational Component of the Solar Coronal Radiation**

Abstract. A set of interferometric observations of the circumsolar region of the sky has been carried out by researchers of IZMIRAN and Sternberg Astronomical Institute during five total solar eclipses in 1997–2008. The objective of the observations consisted in a search for emissions of atoms and ions released by sublimation of solid material near the Sun. Resonance lines of Ca II and later Na I have been selected for search. Main results of the observations and possible ways of further investigations are discussed.

Объект исследования – межпланетная пыль в непосредственной близости от Солнца. С приближением к Солнцу пылевые частицы и более крупные фрагменты твёрдого вещества подвергаются интенсивному нагреву и постепенно сублимируют. Это приводит к формированию вокруг Солнца беспылевой зоны с радиусом $\sim 4R_{\odot}$. Особый интерес представляет переходная зона от ~ 4 до $\sim 10R_{\odot}$, где как раз и происходят процессы сублимации и поэтому присутствуют как твёрдые частицы, так и продукты сублимации: нейтральные атомы и низкозарядные ионы. Присутствие твёрдых частиц может быть обнаружено по тепловому излучению в инфракрасной области спектра (T -корона). Подобные исследования проводились разными наблюдателями во время нескольких солнечных затмений (Peterson A.W., ApJ, 1967, **148**, L37; MacQueen R.M., ApJ, 1968, **154**, 1059 и др.). Что касается продуктов сублимации, то надёжным индикатором их присутствия должно быть резонансное излучение атомов и ионов, освобождающихся в процессе сублимации. Впервые на это обратила внимание Л.И. Шестакова (ПАЖ, 1990, **16**, 550). Конкретную задачу поиска указанного излучения поставил П.В. Щеглов (ГАИШ).

В видимой области спектра, доступной для наблюдений с поверхности Земли, подходящих спектральных линий очень мало. Это, прежде всего, линии H и K Ca II. Из-за крайней слабости ожидаемых эмиссий их поиск возможен только во время полных солнечных затмений. Наиболее эффективный инструмент для проведения наблюдений – интерферометр Фабри–Перо, позволяющий одновременно исследовать как спектральные свойства эмиссий, так и пространственное распределение областей излучения. Большим достоинством этого метода является возможность использования компактных, малогабаритных установок. П.В. Щеглов разработал и изготовил подобную установку для поиска излучения в линии K Ca II. Установка включает эталон Фабри–Перо, интерференционный фильтр с шириной полосы пропускания 60 \AA и светосильный объектив с фокусным расстоянием 50 мм. Она позволяет фотографировать участок неба диаметром до 20° ($\sim 80R_{\odot}$) в области линии K (Gulyaev R.A. and Shcheglov P.V., ASP Conference Series, 1998, **155**, 413).

Первые успешные наблюдения с прибором Щеглова были выполнены автором во время затмения 26 февраля 1998 г. на о-ве Гваделупа (Гуляев Р.А. и Щеглов П.В., ДАН, 1999, **366**, № 2, 199). Анализ затменной интерферограммы показал следующее. Всё поле зрения покрыто интерференционными полосами, вызванными рассеянием в земной атмосфере солнечного света из области полутени. На этом фоне в интервале гелиоцентрических расстояний от 5 до $20R_{\odot}$ присутствуют тонкие эмиссионные детали в виде фрагментов интерференционных колец, соответствующих линии K с доплеровским смещением от 2.2 до 3.7 Å (см. рис. 1). Такие смещения соответствуют лучевой скорости от 170 до 280 км/с. Наличие больших доплеровских смещений является аргументом в пользу того, что выявленные спектральные образования представляют собой искомые эмиссии, связанные с сублимацией движущихся твёрдых частиц. Таким образом, можно констатировать обнаружение новой составляющей излучения солнечной короны (наряду с уже известными K -, E -, F - и T -составляющими). Мы предложили назвать её S -короной (от слова *sublimation*) (Gulyaev R.A. and Shcheglov P.V., Contrib. Astron. Observ. Skalnaté Pleso, 1999, 28, 237). В обработке материалов наблюдений затмения 1998 г. активное участие принял сотрудник Института астрономии Болгарской академии наук Н. Петров (Gulyaev R.A. and Petrov N., Astron. Astrophys. Transactions, 2003, **22**, 617). Впоследствии свечение ионов кальция мы наблюдали во время затмений 1999, 2006 и 2008 годов.

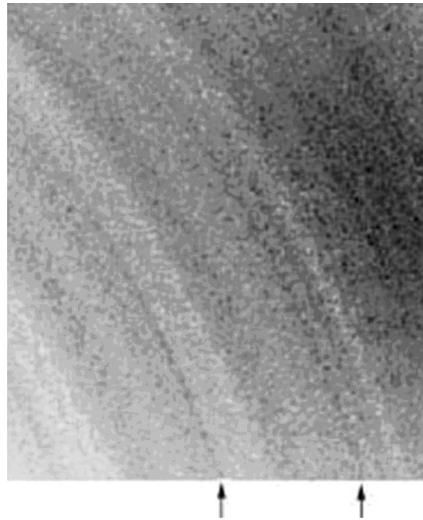


Рис. 1: Часть интерферограммы свечения неба во время затмения 26.02.1998 (негатив). Стрелками показаны два эмиссионных фрагмента, относящихся к свечению Ca II.

Следующим шагом должно было стать распространение исследования на резонансные линии других элементов. Прежде всего, это D -линии натрия. Для выполнения этой задачи П.В. Щеглов изготовил еще одну установку и привлёк к наблюдениям группу А.Б. Делоне (ГАИШ). Наблюдения были проведены во время затмений 2006 и 2008 гг. Резонансное свечение нейтрального натрия не обнаружено (Делоне А.Б. и др., АЖ, 2008, **85**, 617). Теоретические расчёты показали, что атомы натрия, оторвавшись от родительского тела при сублимации, немедленно ионизируются УФ-излучением Солнца. Практически весь натрий в областях сублимации оказывается в состоянии однократной

ионизации. В таких условиях интенсивность излучения нейтрального натрия пренебрежимо мала. Что касается резонансного излучения ионов натрия, то соответствующие спектральные линии находятся в далекой УФ-области и для наблюдений с Земли недоступны.

Вышесказанное относится и к другим металлам, кроме кальция (магний, железо и т.д.): концентрация нейтральных атомов ничтожно мала, линии же ионов недоступны для наблюдений с Земли. Таким образом, при наземных наблюдениях резонансное излучение Ca II остаётся по-прежнему единственным доступным источником информации о процессах сублимации в ближнем околосолнечном пространстве. Возможно, в будущем удастся зарегистрировать квазирезонансную линию гелия $\lambda 10830 \text{ \AA}$. Дело в том, что фрагменты твёрдого вещества в межпланетном пространстве должны быть насыщены гелием благодаря захвату α -частиц из солнечного ветра и солнечных космических лучей.

Обработка материалов, полученных во время четырёх затмений, позволила сделать следующие выводы.

1. Доказана принципиальная возможность наземной регистрации резонансного излучения продуктов сублимации твёрдого вещества вблизи Солнца.

2. Резонансное свечение ионов кальция, освобождающихся при сублимации твёрдого вещества, не распределено изотропно вокруг Солнца, как можно было ожидать при экстраполяции свечения зодиакального света, а локализовано в отдельных, более или менее компактных областях. Это свидетельствует о значительной неоднородности межпланетного пылевого облака на близких расстояниях от Солнца. По-видимому, на гелиоцентрических расстояниях меньше $\sim 20R_{\odot}$ однородно распределённая пыль (внутренняя часть зодиакального пылевого облака) практически отсутствует. Вместо этого наблюдаются дискретные спорадические образования (газо-пылевые потоки).

Наблюдения теплового излучения пыли в инфракрасной области спектра, проводившиеся ранее другими исследователями, также выявили нерегулярный, дискретный характер излучения. Высказывалось предположение об изменчивости состояния околосолнечной пылевой оболочки в зависимости от уровня солнечной активности (Prasad S.D., Solar Phys., 1995, **159**, 181). Результаты наших наблюдений свидетельствуют о том, что изменчивость состояния твердотельной составляющей вещества около Солнца определяется не вариациями солнечной активности, а спорадическим характером появления потоков твёрдых частиц вблизи Солнца. Такие потоки могут быть связаны, например, с малыми кометами типа sungrazing, какие регулярно регистрируются приборами LASCO на космической обсерватории SOHO. За 1 год регистрируется в среднем 50 подобных комет, т.е. одна комета в неделю. Сценарий эволюции газо-пылевых потоков вблизи Солнца рассчитан Л.И. Шестаковой (Астрон. вестник, 2004, **38**, № 1, 76).

Перспективы дальнейших исследований. Коль скоро межпланетная пыль вблизи Солнца сосредоточена в дискретных областях, имеющих спорадический характер, было бы интересно сопоставить пространственное распределение резонансного излучения продуктов сублимации (Ca II) с распределением теплового излучения пыли в диапазоне 3–5 мкм (T -корона). Для этого нужны одновременные наблюдения с установкой, подобной нашей интерференционной камере, и с прибором типа тепловизионной камеры во время полного солнечного затмения.

Очень заманчива задача наблюдений резонансных линий магния, содержание которого, например, в метеоритах на порядок превышает содержание кальция. Это линия Mg I $\lambda 2852 \text{ \AA}$ и, особенно, дублет Mg II $\lambda\lambda 2795$ и 2802 \AA . К сожалению, область спектра $\lambda\lambda 2800 \text{ \AA}$ недоступна для наблюдений с поверхности Земли. Надо выносить аппаратуру за пределы земной атмосферы.

Ин-т земного магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова
Российской академии наук
Россия 142190 Москва, Троицк, ИЗМИРАН
rgulyaev@izmiran.ru

Р.А. Гуляев
R.A. Gulyaev

Поступила в редакцию 9 января 2013 г.