

10.01.2014

## Содержание гелия в солнечном ветре может меняться за несколько секунд

Количество ионов гелия в солнечном ветре может быстро меняться — эти быстрые вариации впервые наблюдались в ходе измерений с помощью прибора БМСВ (эксперимент «Плазма-Ф» на спутнике «Спектр-Р»). При этом быстро меняется как абсолютное, так и относительное содержания гелия — по отношению к числу протонов. Полученные данные могут помочь в понимании того, что происходит в солнечной короне — области, где зарождается солнечный ветер, и отражать её мелкомасштабную структуру.

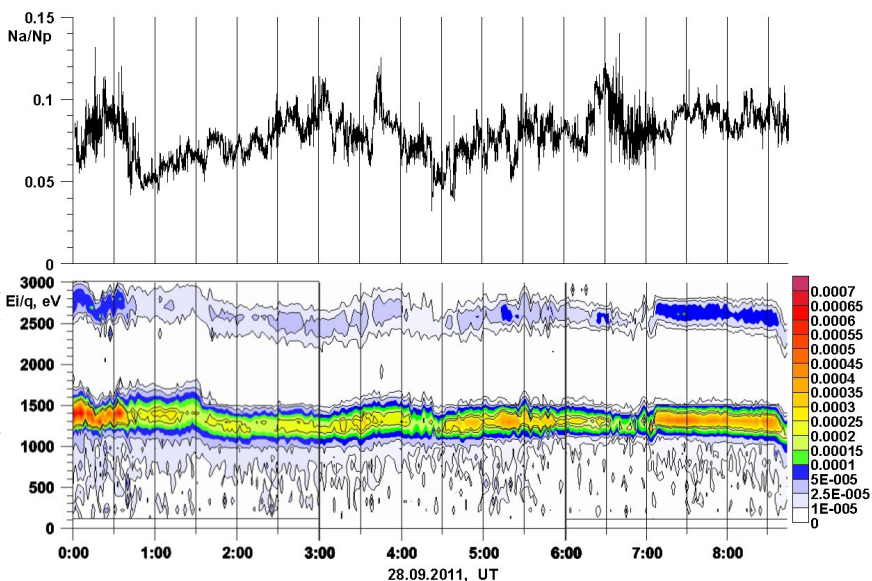
Результаты работы представлены в двух статьях, опубликованных в журналах *Astrophysical Journal* [1] и «Космические исследования» [2].

Плазменный спектрометр БМСВ в составе комплекса «Плазма-Ф» [3] на борту спутника «Спектр-Р» измеряет параметры солнечного ветра — потока заряженных частиц, непрерывно истекающих от Солнца. Большая часть этих частиц — ядра водорода (т.е. положительно заряженные протоны), но, кроме них, есть и другие ионы, например, гелий или, вернее, его ядра, каждое из которых состоит из двух протонов и двух нейтронов. В среднем гелия в солнечном ветре относительно немного — около 1–5 % (по общему числу ионов), но в ходе корональных выбросов массы эта доля может возрастать до 20%.

Относительное содержание элементов в солнечном ветре (СВ) может многое рассказать и о том, что происходит в солнечной короне, и о том, какие изменения претерпевает поток заряженных частиц по пути к Земле. Однако до сих пор экспериментальные данные о вариациях содержания гелия в СВ были ограничены довольно медленными измерениями: в научных статьях были представлены лишь среднечасовые или даже среднесуточные значения, а измерения на существующих космических аппаратах проводились с частотой порядка раз в минуту.

Прибор БМСВ сконструирован таким образом, что можно различать ионы солнечного ветра по величине их энергии на единицу заряда. При определенных условиях, в частности, можно отличить дважды ионизованные ионы гелия от протонов, так как энергия на заряд ионов гелия примерно в два раза превосходит энергию на заряд для протонов (см.рис.). При этом временное разрешение измерений энергетических спектров ионов прибором БМСВ — 3 секунды — на сегодня является рекордным.

Систематическое определение содержания ионов



Вверху — временной ход содержания ионов гелия по отношению к протонам, внизу — пример энергоспектрограммы потока ионов солнечного ветра для события 28 сентября 2011 г. По горизонтали отложено время, по вертикали (внизу) — величина энергии ионов на их заряд. Таким образом, нижняя полоса соответствует менее энергичным ионам — протонам, верхняя полоса — более энергичным (в два раза по величине энергии на заряд) ионам гелия. Шкала справа показывает различными цветами величину интенсивности поток ионов. Иллюстрация (с) ИКИ РАН.

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

10.01.2014

гелия и их скорости в солнечном ветре по отношению к протонам в течение достаточно длительного времени (порядка сотни часов) провели сотрудники Института космических исследований Российской Академии наук и их коллеги из Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и математико-физического факультета Карлова университета (Чешская республика). Им впервые удалось обнаружить большие: от единиц до десятка процентов — и быстрые: на интервалах в десятки секунд и даже в несколько секунд — вариации относительного содержания ионов гелия.

«Интересно и очень важно, что эти быстрые вариации содержания гелия не связаны с изменениями основных параметров солнечного ветра — скорости, плотности и температуры протонной компоненты. Переносная скорость ионов гелия по данным наших измерений совпадает со скоростью протонов, в среднем, с точностью до 2–3%, — говорит д.ф.-м.н. Георгий Застенкер, руководитель эксперимента БМСВ с российской стороны. — В наших работах была также детально исследована связь быстрых вариаций содержания (или плотности) гелиевой компоненты потока СВ с изменениями плотности протонов. Однозначной функциональной связи относительного содержания ионов гелия с плотностью протонов для этих быстрых вариаций не существует, т.е. плотности протонов и ионов гелия меняются во времени независимо. Были рассмотрены уровни корреляции плотностей протонов и ионов гелия на сравнительно коротких временных интервалах — десятки и сотни секунд. Даже для таких близких моментов времени значения этих плотностей могут как коррелировать между собой, так и антикоррелировать».

Говоря иначе, между количеством протонов и ионов гелия нет простой и постоянной зависимости, и это само по себе может свидетельствовать о многом. Прибор БМСВ находится на высокоэллиптической орбите вокруг Земли (апогей около 360 тыс. км, перигей — от нескольких сотен км до нескольких десятков тысяч км), и колебания содержания гелия в межпланетной среде, т.е. за пределами магнитосферы Земли могут означать пересечение границ определенных областей солнечного ветра, заметно отличающихся содержанием ионов гелия. Их характерный размер, по данным БМСВ, на орбите Земли составляет порядка 10–30 тысяч км.

Теперь исследователям предстоит найти ответ на вопрос, в чем причина такой пространственной группировки ионов СВ. Здесь возможны два варианта. Первый из них состоит в том, что при формировании солнечного ветра в солнечной короне в нём «замораживается» содержание всех ионных компонент, и затем эти области СВ «сносятся» к Земле. Другой вариант заключается в том, что по пути к Земле в плазме солнечного ветра могут происходить турбулентные процессы, которые также могут менять относительное содержание разных ионов в СВ.

«Вопрос этот нельзя считать полностью решенным, — подчеркивает Георгий Застенкер, — однако мы, вслед за многими другими исследователями, склонны полагать маловероятным, что заметные изменения в составе солнечного ветра могут возникать из-за каких-либо воздействий «по дороге».

Конечно, по измерениям у Земли нельзя сказать, какие именно процессы в солнечной короне вызывают такие достаточно сильные вариации гелиевой компоненты, однако само наличие таких вариаций означает, что надо внимательней присмотреться к мелкомасштабной структуре короны — вполне вероятно, что за колебания уровня гелия отвечают процессы,

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

СООБЩЕНИЕ ПРЕСС-СЛУЖБЫ

10.01.2014

которые происходят на масштабах всего 300–1500 км, то есть весьма малых в масштабах Солнца.

\*\*\*

Научный комплекс «Плазма-Ф» установлен на борту космического аппарата «Спектр-Р» (запуск 2011 г.) в качестве дополнительной нагрузки. Задача эксперимента — мониторинг основных параметров космического пространства (межпланетной среды и магнитосферы Земли), т.е. потоков плазмы и потоков энергичных частиц, турбулентности межпланетной среды в области высоких частот и процессов ускорения заряженных частиц.

В состав аппаратуры эксперимента «Плазма-Ф» входят три прибора:

- энерго-угловой спектрометр плазмы БМСВ (определение энергетического распределения, величины и направления потока ионов, величин переносной скорости, ионной температуры и плотности плазмы солнечного ветра),

- детектор потоков энергичных частиц МЭП (определение интенсивности потоков и энергетического спектра протонов и электронов в диапазонах от нескольких десятков кэВ до десятков МэВ),

- система сбора научной информации ССНИ-2 для сбора, хранения, обработки и выдачи в радиоканал научной информации.

Эксперимент проводится Институтом космических исследований РАН (ИКИ РАН) при участии Карлова университета (Чехия) и Института физики атмосферы Чешской академии наук, Института экспериментальной физики Словацкой академии наук, Центра космической науки и прикладных исследований Китайской академии наук. Научный руководитель эксперимента «Плазма-Ф» академик РАН, директор ИКИ РАН Лев Матвеевич Зелёный.

**Дополнительная информация:**

1. Short-scale variations of the solar wind helium abundance, J. Safrankova, Z. Nemecek, P. Cagas, L. Prech, J. Pavlu, G.N. Zastenker, M.O. Riazantseva, I.V. Koloskova // *Astrophys. Journ.*, 778:25, 2013.

<http://iopscience.iop.org/0004-637X/778/1/25>

2. Быстрые вариации содержания ионов гелия и их скорости относительно протонов в солнечном ветре, Г.Н. Застенкер, И.В. Колоскова, М.О. Рязанцева, А.С. Юрасов, Я. Шафранкова, З.Немечек, Л. Прех // *Космические исследования*, т.52, №1, стр.27-38, 2014.

<http://www.maik.ru/cgi-perl/journal.pl?name=kosiss&lang=rus>

3. Сайт эксперимента «Плазма-Ф»

<http://www.plasma-f.cosmos.ru/>