

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/253115214>

Properties of the proton and alpha-particle components of the solar wind after interplanetary-shock-wave passage, as derived from observations aboard the Prognoz satellite on May 1...

Article in *Cosmic Research* · January 1976

CITATIONS

2

READS

22

3 authors, including:



[Oleg L. Vaisberg](#)

Space Research Institute

362 PUBLICATIONS 3,005 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Vladimir Petrovich Temnyi](#)

Russian Academy of Sciences

54 PUBLICATIONS 84 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



History of experimental space research at XX century. [View project](#)



Ion and neutral particles sputtered from lunar regolith measurements on Lunar landers and lunar satellites. [View project](#)

УДК 523.165

А. А. Зерцалов, О. Л. Вайсберг, В. В. Темный

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОННОЙ И α -КОМПОНЕНТ СОЛНЕЧНОГО
ВЕТРА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ
ВОЛН ПО НАБЛЮДЕНИЯМ НА СПУТНИКЕ «ПРОГНОЗ»
15 И 30.V.1972 г.**

На высокоапогейном спутнике «Прогноз» с помощью энергомасс-анализатора РИП-803 производилось раздельное измерение протонной и α -компонент солнечного ветра. В периоды высокой активности в межпланетной среде 15 и 30.V 1972 г. установлены существенные различия в поведении компонент: функции распределения по скоростям были близки к максвелловским для α -частиц и значительно отличались от них для протонов. После прохождения ударных волн температура протонов возрастала в большей степени, чем температура α -частиц, затем отношение температур возвращалось к величине, типичной для солнечного ветра. 15.V зафиксировано существенное увеличение скорости протонов по сравнению со скоростью α -частиц. 30.V наблюдалась двухпотоковая структура протонной компоненты.

Наблюдения протонной и α -компонент солнечного ветра, выполненные на ряде космических аппаратов, позволили получить данные о сравнительном поведении компонент в течение длительных периодов времени [1–6]. Было установлено, в частности, что средние отношения скоростей V_α/V_p и температур T_α/T_p близки соответственно к 1 и 4. В ряде случаев наблюдались отклонения от этих отношений — частые и значительные для температур и более редкие и меньшие по величине для скоростей [2, 5]. Следует отметить, что для корректного определения параметров компонент при измерениях с помощью электростатических анализаторов [1, 2, 5, 6] требуется хорошее разделение пиков этих компонент на энергетической шкале, что возможно далеко не всегда.

При повышении температуры, а также появлении надтепловых «хвостов» протонной компоненты такое разделение либо сильно затруднено, либо, вообще, невозможно. Поэтому корректное определение параметров компонент солнечного ветра в периоды повышенной активности и, особенно, после прохождения ударных волн, сопровождающихся сильным нагревом окружающей плазмы, возможно, как правило, только с помощью приборов, производящих раздельное измерение компонент. Такой прибор был установлен на спутнике «Эксплорер-34» [7]. По измерениям, выполненным с помощью этого прибора, не замечено отличий в скоростях компонент для различных условий наблюдения, включая наблюдения 12 разрывов и двух ударных волн [8]. Следует, однако, отметить ограниченный динамический диапазон измерений в этом эксперименте, обусловленный повышенным уровнем шума в телеметрической системе [3].

В эксперименте, выполненном на спутнике HEOS-1 [5] с помощью полусферического электростатического анализатора были отмечены случаи, когда при прохождении межпланетных ударных волн и разрывов протонная и α -компоненты претерпевали разрывы в различное время либо разрыв претерпевала лишь одна из компонент.

В настоящей работе рассматривается поведение протонной и α -компонент солнечного ветра после прохождения межпланетных ударных волн 15 и 30.V 1972 г. по измерениям на спутнике «Прогноз».

Аппаратура. Спутник «Прогноз» был запущен 14.IV 1972 г. на орбиту со следующими начальными параметрами: апогей — 200,9 тыс. км, перигей — 940 км, наклонение 65° , период 97 час [9].

Комплекс приборов спутника включал энергомасс-анализатор РИП-803, который позволял производить отдельные измерения протонов и α -частиц путем последовательного анализа сначала по E/q в поле электростатического анализатора, а затем по m/q в поле постоянного магнита с эквипотенциальной дрейфовой трубкой. Ось входного отверстия прибора совпадала с осью вращения спутника, которая была направлена примерно на Солнце. Угол поля зрения составлял 4° (полная ширина на полувысоте). Спектр ионов каждого вида измерялся в 16 последовательных энергетических интервалах в диапазоне энергий до 4 кэВ для протонов и до 8 кэВ на единицу заряда для α -частиц. Переключение энергетических интервалов осуществлялось через 41 сек, так что длительность измерения одного спектра любой компоненты составляла 11 мин. Спектры протонов измерялись один раз каждые 22 мин — до и после измерения спектров α -частиц. Спектры α -частиц измерялись один раз каждые 44 мин.

Прибор имел высокую чувствительность и позволял производить подробные измерения спектров — до 16 точек для каждой из компонент описываемых событий. Подробные характеристики энергомасс-анализатора РИП-803 приведены в [10, 11].

Результаты измерений. За время работы спутника зарегистрирован ряд межпланетных ударных волн и разрывов. Энергетические спектры компонент, регистрируемые после таких событий, в ряде случаев свидетельствуют о различном поведении протонной и α -компонент, т. е. о различных скоростях, характере изменений температуры и величине флуктуаций потока. Однако малое временное разрешение системы измерений для таких событий, как правило, не дает возможности однозначно судить о степени этих различий.

Измерения после прохождения ударных волн 15 и 30.V были выбраны для анализа на том основании, что в эти периоды спектры α -частиц сохраняют относительное постоянство на протяжении длительного времени.

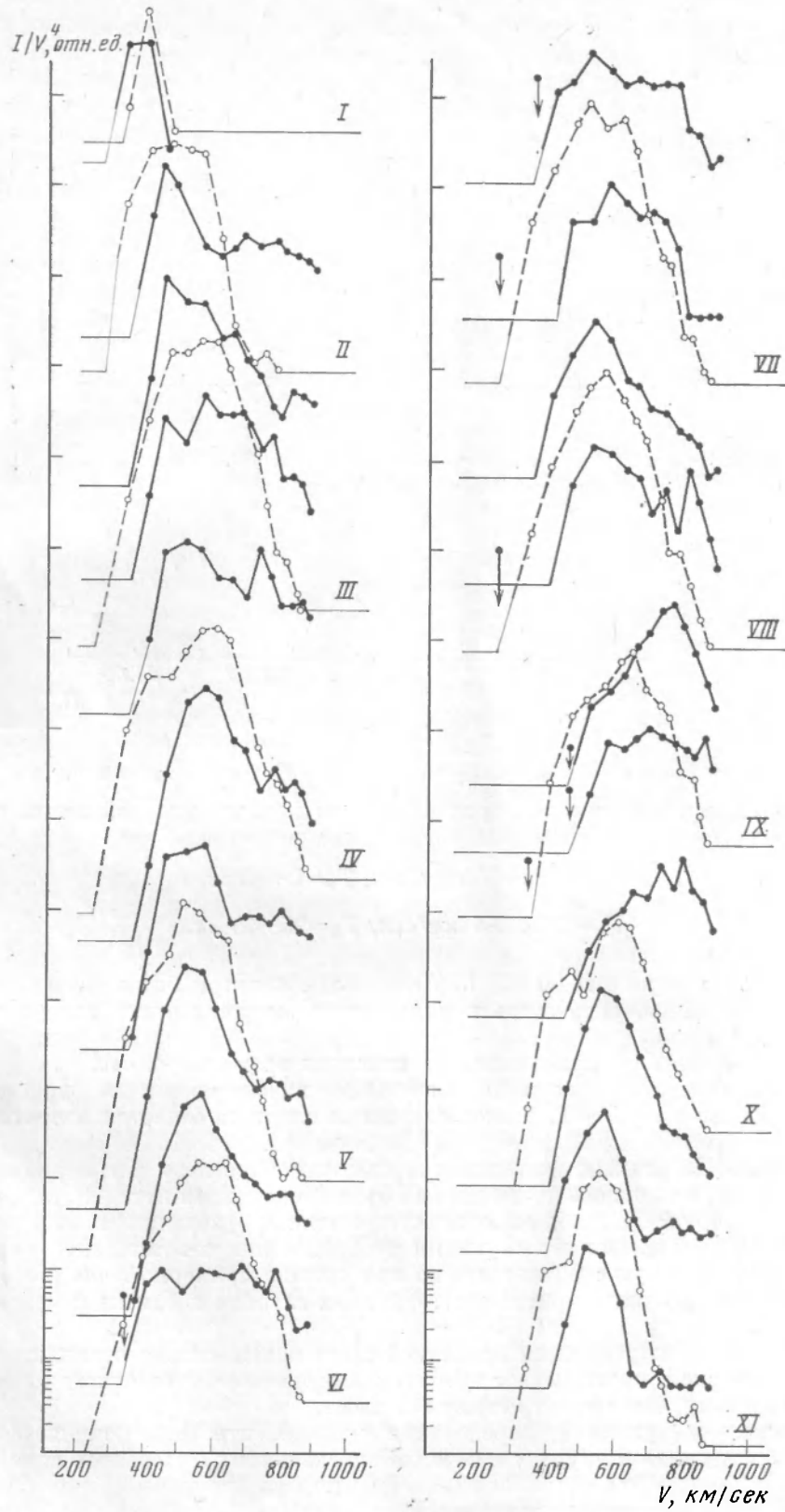
На рис. 1 и 3 для событий 15 и 30.V приведены функции распределения протонов и α -частиц в пространстве скоростей в направлении оси зрения прибора, полученные из зарегистрированных спектров. Функции распределения α -частиц показаны штриховой линией, функции распределения протонов — сплошной линией.

Последовательные функции распределения α -частиц обозначены римскими цифрами. Каждому измерению α -частиц соответствуют два измерения протонов, полученные до (в тексте обозначаются римской цифрой и буквой *a*) и после (обозначаются римской цифрой и буквой *b*) измерения α -частиц.

Точки со стрелками представляют верхнюю границу для левого края данной функции распределения. Счет на соответствующей ступени энергетического спектра не превышает нескольких импульсов в секунду и, фактически, находится на уровне фона; однако из-за большой относительной величины фактора I/V^4 этот малый счет может существенно менять левый край функции распределения. Обратимся к событиям 15—16.V

Рис. 1. Функции распределения протонной и α -компоненты солнечного ветра для событий 15—16.V

Функции распределения протонов и α -частиц, обозначенные цифрой I, получены в невозмущенном солнечном ветре по нескольким измерениям, остальные — после прохождения ударной волны. Времена начала измерений спектров α -частиц UT: II — 18.46; III — 19.30; IV — 20.14; V — 20.58; VI — 21.41; VII — 22.25; VIII — 23.09; IX — 23.52; X — 00.36; XI — 01.20



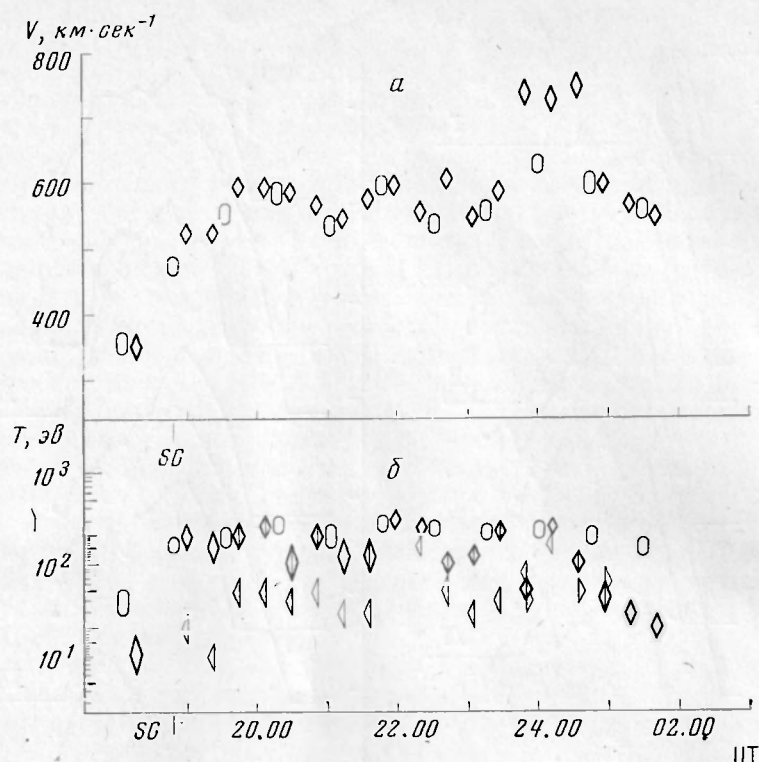


Рис. 2

1972 г. На протяжении примерно 10 час до прихода ударной волны скорость и температура солнечного ветра оставались в пределах:

$$V_p = 330 \div 360 \text{ км/сек}, T_p = 5 \div 10 \text{ эв},$$

$$V_\alpha = 330 \div 360 \text{ км/сек}, T_\alpha = 25 \div 40 \text{ эв}.$$

Начиная примерно с 16.00 UT 15.V отдельные спектры были весьма узкими и регистрировались лишь в двух — трех энергетических интервалах, поэтому функции распределения I_b для протонов и I для α -частиц получены по нескольким измерениям за интервал времени ~ 2 час.

По данным наземных станций внезапное начало магнитной бури зарегистрировано в 18.49 UT. Резкое изменение спектров α -частиц и протонов зарегистрировано прибором РИП-803 начиная с 18.46 UT (спектр II α -частиц). По данным магнитометра станции «Прогноз» магнитное поле в это время увеличилось примерно на 25γ за несколько минут.

После 18.46 UT наблюдаются существенные различия в поведении протонной и α -компонент. Функция распределения α -компоненты сохраняет относительную стабильность на протяжении примерно 7 час (этот отрезок времени охвачен рисунком), функция гладкая и близка к максвелловской.

Функция распределения протонной компоненты сильно отличается от максвелловской, претерпевает значительные изменения от одного измерения к другому, часто имеет нетепловой хвост.

Поскольку функция распределения α -компоненты мало изменяется от одного измерения к другому в течение определенных интервалов времени, мы считаем, что она сохраняла свою форму и во время измерения спектров протонов внутри этих интервалов.

Скорости и температуры протонов и α -частиц определялись аппроксимацией их функций распределения максвелловским распределением.

Величины скоростей и температур компонент для событий 15–16.V приведены на рис. 2, а и б. Ромбами обозначены параметры протонов, овалами — параметры α -частиц, при этом высота символа соответствует погрешности в величине параметра, а ширина — времени сканирования всего спектрального интервала. Определение температуры протонов в ряде случаев было затруднено, поскольку их функции распределения сильно отличаются от максвелловских. Поэтому на рис. 2, б приведены температуры, определенные как по всему распределению, так и по правому и левому краям функции распределения. Температуры, определенные по левому и правому краям распределений, обозначены треугольниками с вершинами влево и вправо для протонов. Ромб с диагональю обозначает, что температуры, определенные по всему распределению и по одному из краев распределения, примерно равны.

Рассмотрение рис. 2, б показывает, что после прохождения ударной волны температура протонов возросла в большей степени, чем температура α -частиц, так что обе температуры стали близки по величине (~ 200 эв). В конце периода соотношение температур T_α/T_p стало приближаться к обычному для солнечного ветра.

На рис. 2, а около 24.00 UT видно значительное возрастание скорости протонов без соответствующего возрастания скорости α -компоненты.

С 01.42 UT до входа в магнитосферу спектры α -частиц измерялись еще три раза. Функции распределения этих трех спектров значительно хуже аппроксимируются максвелловским распределением.

После выхода в солнечный ветер на восходящей ветви следующего витка некоторое время регистрировались нерегулярные и изменчивые спектры α -частиц типа описанных в [12].

Теперь рассмотрим события, связанные с ударной волной 30.V. После выхода спутника в солнечный ветер на восходящей ветви 12-го витка примерно с 00.10 UT 29.V регистрировался поток солнечного ветра со скоростью до 600–620 км/сек и температурой до 20–30 эв для протонов. В дальнейшем скорость и температура солнечного ветра постепенно снижались и около 12.00 UT 30.V составляли соответственно 460–480 км/сек и 5–8 эв.

Функции распределения Ia для протонов и I для α -частиц типичны для измерений в солнечном ветре в этот период — рис. 3.

Внезапное начало магнитной бури было зарегистрировано наземными станциями в 14.21 UT.

Магнитное поле по данным магнитометра станции «Прогноз» увеличилось в этот момент на 5–7 γ. Скорость протонной компоненты по измерениям РИП-803 увеличилась на 30–40 км, а температура — примерно в 3 раза (функция распределения Ib). Функции распределения IIa, II и IIб, измеренные с 14.41 UT до 15.13 UT, обнаруживают существенные отличия по сравнению с предыдущими — значительно большую ширину для обеих компонент и наличие двух максимумов для протонов. Функции распределения IIIa и IIIб характеризуются резким увеличением температуры протонной компоненты. Для остального периода измерений, приведенных на рис. 3, функции распределения α -частиц весьма стабильны и близки к максвелловской, в то время как функции распределения протонов характеризуются двумя максимумами и более значительными вариациями параметров.

Скорости и температуры компонент приведены на рис. 4, а и б. Скорости быстрого и медленного потоков протонной компоненты обозначены треугольниками с вершинами соответственно вверх и вниз. Обозначения на рис. 4, б соответствуют обозначениям на рис. 3, б. Температуры компонент, начиная с 14.21 UT, увеличивались примерно в течение часа; между 15.20 UT и 16.00 UT температуры протонов и α -частиц были примерно рав-

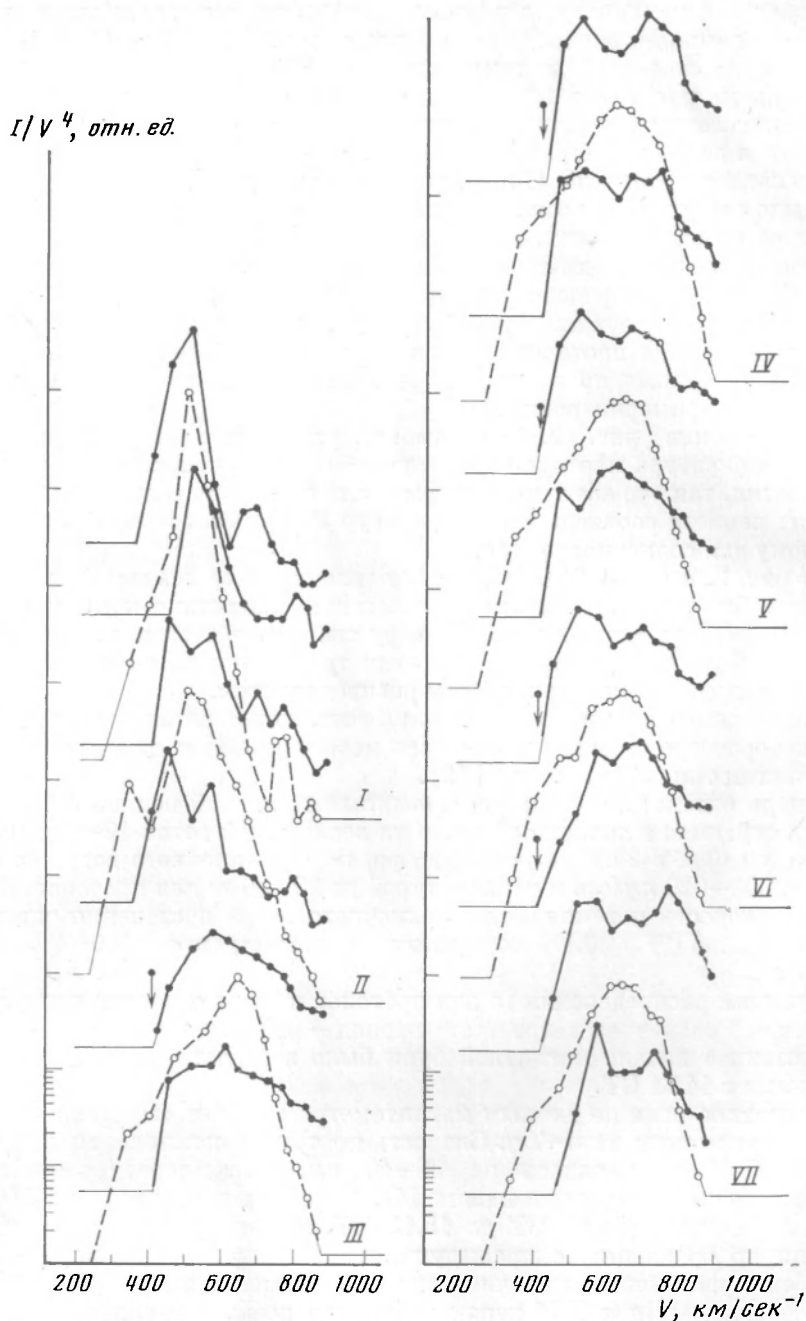


Рис. 3. Функции распределения протонной и α -компонент солнечного ветра для событий 30.V 1972 г.

Времена начала измерений спектров α -частиц UT:
 I — 14.08; II — 14.52; III — 15.35; IV — 16.18; V — 17.02; VI — 17.46;
 VII — 18.30

ны, а затем, через некоторое время, температура протонов стала снижаться значительно быстрее, чем температура α -частиц. Последнее измерение на рис. 3 относится к 18.50 UT 30.V. Затем до ~12.00 UT 31.V по условиям работы телеметрической системы имеются измерения только отдельных спектров, поэтому сравнение поведения компонент не представляется воз-

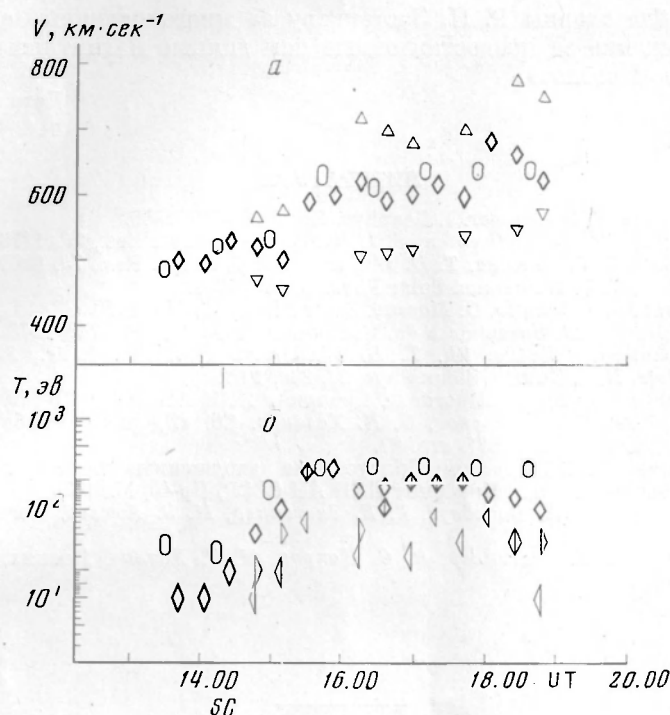


Рис. 4

можным. К этому времени скорости и температуры компонент понизились до значений, наблюдавшихся до 14.21 UT 30.V.

Для событий 15 и 30.V были произведены оценки относительного содержания α -частиц. В первом случае увеличение отношения n_α/n_p до 12–15% наблюдалось в 20.58 UT (спектр V); для последующих измерений это отношение уменьшилось. Полученный результат не противоречит измерениям, выполненным с помощью модуляционной ловушки на том же спутнике [13].

Для событий 30.V оценки относительной концентрации α -частиц не позволили выявить существенного увеличения отношения n_α/n_p .

Следует отметить, что точность измерений концентрации в солнечном ветре с помощью узконаправленного прибора, каким является РИП-803, удовлетворительна только при условии достаточно высоких температур.

ВЫВОДЫ

1. Поведение обеих компонент в данных событиях существенно различается между собой. Функции распределения α -частиц близки к максвелловскому распределению, мало изменяются от измерения к измерению. Функции распределения протонов существенно отличаются от максвелловского распределения, часто имеют нетепловой хвост, сильно изменяются от измерения к измерению.

2. После прохождения возмущений протоны нагреваются в большей степени, чем α -частицы, в результате чего отношение T_α/T_p уменьшается по сравнению с типичным для солнечного ветра, а затем имеется тенденция к восстановлению этого отношения.

3. В событиях 15.V около 24.00 UT зарегистрировано значительное увеличение скорости протонной компоненты без соответствующего увеличения скорости α -компоненты.

4. В событиях 30.V зарегистрирована двухпотоковая структура протонной компоненты, в то время как α -компонента имела один максимум.

Авторы благодарны Г. Н. Застенкеру за многочисленные обсуждения и Е. Г. Ерошенко за предоставленные нам данные магнитных измерений на спутнике «Прогноз».

Дата поступления
6 февраля 1975 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. Neugebauer, C. W. Snyder. J. Geophys. Res., 71, 4469, 1966.
2. D. E. Robbins, A. J. Hundhausen, S. J. Bame. J. Geophys. Res., 75, 1178, 1970.
3. K. W. Ogilvie, L. F. Burlaga, T. D. Wilkerson. J. Geophys. Res., 73, 6809, 1968.
4. K. W. Ogilvie, T. D. Wilkerson. Solar Phys., 8, 435, 1969.
5. V. Formisano, F. Palmiotto, G. Moreno. Solar Phys., 15, 479, 1970.
6. О. Л. Вайсберг, А. В. Богданов и др. Космич. исслед., 11, № 5, 743, 1973.
7. K. W. Ogilvie, N. McIlwraith, T. D. Wilkerson. Rev. Sci. Instr., 39, 441, 1968.
8. K. W. Ogilvie, H. J. Zwally. Solar Phys., 24, 236, 1972.
9. Автоматические станции «Прогноз». Препринт ИКИ АН СССР Пр-140. М., 1973.
10. О. Л. Вайсберг, Б. В. Поленов, Б. И. Хазанов. Сб. «Ядерное приборостроение», вып. 14. М., Атомиздат, 1971, стр. 97.
11. С. А. Романов, Ю. Е. Березин. Пропускание заряженных частиц анализатором комбинированного типа. Препринт ИКИ АН СССР, Пр-40, М., 1970.
12. А. А. Зерцалов, О. Л. Вайсберг, Г. Н. Застенкер, М. З. Хохлов. Космич. исслед., 12, № 5, 716, 1974.
13. Л. С. Гурин, Г. Н. Застенкер, В. С. Мокров, М. З. Хохлов. Космич. исслед., 13, N 4, 555, 1975.