

Член-корреспондент АН СССР С. Н. ВЕРНОВ,
член-корреспондент АН СССР А. Е. ЧУДАКОВ, П. В. ВАКУЛОВ, Ю. И. ЛОГАЧЕВ,
Г. П. ЛЮБИМОВ, А. Г. НИКОЛАЕВ, Н. В. ПЕРЕСЛЕГИНА

**ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПОЛЕТЕ СТАНЦИЙ ВЕНЕРА-2, ВЕНЕРА-3
И ЗОНД-3 ПРОТОНОВ СОЛНЕЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ
С ЭНЕРГИЕЙ $1 \div 5$ Мэв**

За время полета межпланетных автоматических станций Зонд-3, Венера-2 и Венера-3 было зарегистрировано 6 случаев значительных возращаний скоростей счета протонных детекторов, установленных на этих

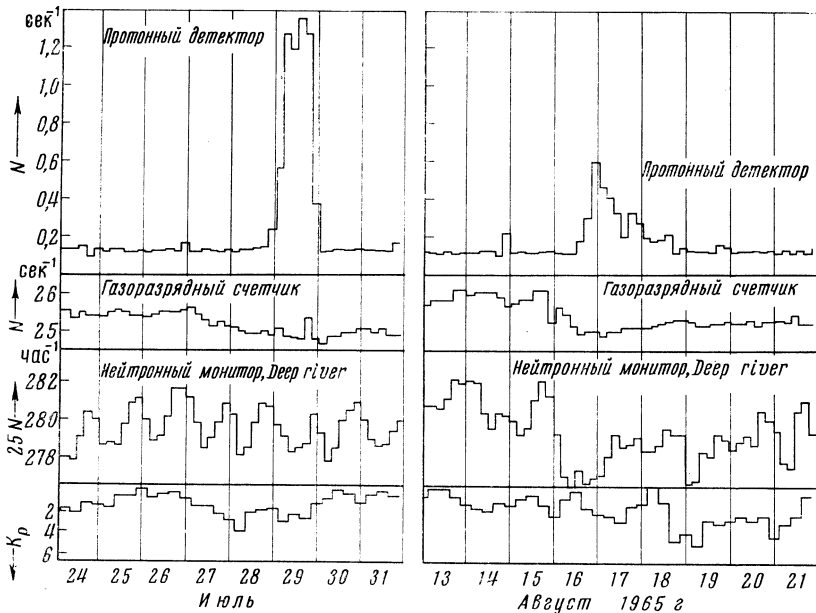


Рис. 1. Возрастание потока протонов малых энергий 29 VII и 16—17 VIII 1965 г.

станциях. Три из них были зарегистрированы станцией Зонд-3, два — станцией Венера-2 и один — всеми тремя станциями.

Полупроводниковые поверхностно-барьерные протонные детекторы имели площадь около $0,2 \text{ см}^2$ при толщине $n-p$ -перехода 35 м . Со стороны свободного пространства в телесном угле ~ 1 стер. детектор экранировался алюминиевой фольгой толщиной 2 мг/см^2 . С других сторон экранирование превышало 1 г/см^2 алюминия. Детекторы были настроены на регистрацию протонов с энергией от 1 до 5 Мэв. Направление оси входного окна составляло угол $90 \pm 10^\circ$ с направлением на Солнце. Информация снималась один раз в 4 часа и соответствовала проинтегрированному за это время числу отсчетов счетчика. Диапазон измеряемой интенсивности соответствовал среднему темпу счета от $1,1 \cdot 10^{-3}$ до $1,1$ имп/сек.

На рис. 1—3 приведены 4 случая значительного возрастания интенсивности протонов $1 \div 5$ Мэв. Кроме показаний протонного детектора и счетчика Гейгера межпланетных станций, на рисунках представлены 4-часовые данные по нейтронному монитору (Дип Ривер) и данные K_p -индекса магнитной возмущенности на Земле.

На рис. 1 приведены первые два случая, имевшие место 29 VII и 16—17 VIII 1965 г. В обоих случаях вспышка протонов $1 \div 5$ Мэв произошла

на фоне небольшого форбуш-эффекта, что видно по уменьшению скорости счета счетчика Гейгера станции Зонд-3 и нейтронного монитора на Земле. По-видимому, во время возрастания интенсивности протонов $1 \div 5$ Мэв Земля и станция Зонд-3 находились в корпускулярном потоке.

29 VII, через двое суток после попадания сначала Земли, а потом станции Зонд-3 в корпускулярный поток, произошло значительное увеличение потока протонов $1 \div 5$ Мэв, продолжавшееся примерно сутки.

16—17 VIII усиление протонов было, по-видимому, вызвано активной областью на Солнце с координатами 25 N, 90 W (на 16 VIII 1965 г.). Предполагая движение солнечных протонов вдоль силовых линий магнитного поля, т. е. по архимедовой спирали, получим для скорости корпускулярного потока 220 км/сек. Это значение мало, но в дальнейшем мы опять будем приходиться к таким же малым значениям скорости потоков.

На рис. 2 представлена картина третьего увеличения потока протонов малых энергий, сопровождавшегося увеличением потока проникающих протонов ($E_p > 40$ Мэв), регистрируемых счетчиком Гейгера.

Как видно из рис. 2, характер усиления протонов $1 \div 5$ Мэв имеет очень сложную форму. Это усиление началось еще в конце сентября и продолжалось до 8 X 1965 г. На Солнце активная область

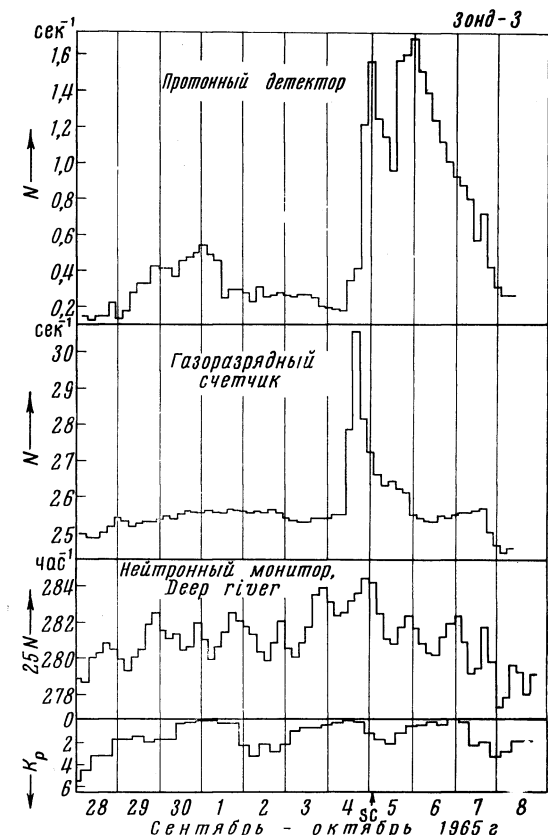


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для 4 X 1965 г.

появилась еще 26 IX (20 N, 90 E, 07 ч. 15 м. У.Т.) и существовала вплоть до 8 X 1965 г. (22 N, 76 W, 07 ч. 35 м. У.Т.). В такой активной области за указанный период наблюдалась одна вспышка класса 2+, 6 вспышек класса 2, 12 вспышек класса 1 и много более мелких. Кроме того, в другой активной области, которая 4 X 1965 г. имела координаты 22 S, 29 W, в 9 ч. 35 м. У.Т. наблюдалась вспышка класса 2. Однако расчеты показали, что эти активные области невозможно сопоставить с появлением протонов $1 \div 5$ Мэв,двигающихся по архимедовой спирали, соответствующей радиальной скорости плазмы $200 \div 400$ км/сек. Возможно, за появление протонов были ответственны другие области на Солнце.

На рис. 3 приведены данные по увеличению интенсивности протонов $1 \div 5$ Мэв 27 XI 1965 г., зарегистрированному на трех межпланетных станциях: Венера-2, Венера-3 и Зонд-3. Расстояние между станциями Венера-2 и Венера-3 составляло в это время 10^6 км. Наблюдаемое смещение максимума увеличения интенсивности протонов на станции Венера-3 по сравнению со станцией Венера-2 может быть объяснено тем, что период вращения станции Венера-3 значительно превышал интервал усреднения данных, что могло привести к некоторой модуляции скорости счета детектора станции Венера-3 и к смещению максимума. Период вращения станций Венера-2 и Зонд-3 был много меньше времени усреднения. По-

этому никакой дополнительной модуляции от вращения для станций Венера-2 и Зонд-3 ожидать не следует. Во время этого возрастания интенсивности (см. рис. 1 статьи (4)) станции Венера-2 и Зонд-3 были расположены так, что корпускулярный поток сначала захватывал станцию Венера-2, а затем станцию Зонд-3 при скорости потока меньше 350 км/сек.

Анализ рис. 3 выявляет следующие особенности: 1) запаздывание крутого фронта вспышки протонов $1 \div 5$ Мэв 27 XI 1965 г. на Зонде-3 по сравнению с Венерой-2 составляет ~ 20 ч., а запаздывание характерных деталей вариаций космических лучей, по данным счетчика Гейгера, 26 XI 1965 г. на Зонде-3 составляет ~ 30 ч. по сравнению с соответствующими деталями на Венере-2; 2) промежуток времени между двумя повышениями интенсивности по показаниям счетчика Гейгера на станции Венера-2 (23 XI и 25 XI 1965 г.) составляет ~ 35 ч., а для соответствующих повышений на станции Зонд-3 (23—24 XI и 26 XI 1965 г.) составляет ~ 50 ч.; 3) на

станции Зонд-3 вспышка протонов $1 \div 5$ Мэв 28 XI 1965 г. начинается постепенно, и ее начало совпадает с началом (правда, более резким) вспышки на Венере-2; 4) 24 XI 1965 г. небольшая вспышка на Венере-2 и практически одновременно более продолжительная и весьма интенсивная вспышка на Зонде-3*.

Из наблюдаемых особенностей можно составить следующую картину протекания процесса ускорения и распространения протонов $1 \div 5$ Мэв в межпланетном пространстве. Указанные протоны ускоряются на Солнце и беспрепятственно движутся вдоль силовых линий магнитного поля, изогнутых по архимедовой спирали. 24 XI 1965 г. на силовых линиях, проходящих через Венеру-2, был очень слабый поток протонов, а на силовой линии, проходящей через Зонд-3, поток весьма значительной интенсивности. 26 XI 1965 г. на силовой линии, проходящей через Венеру-2 и Венеру-3, возник интенсивный поток частиц. В тот же момент времени значительно более слабый поток возник на силовой линии, проходящей через Зонд-3. Эта вспышка продолжалась более суток и резкое возрастание на Зонде-3 27 XI 1965 г. можно трактовать как приход к Зонду-3 силовой линии, богато населенной протонами и вызвавший 26 XI 1965 г. резкое возрастание на Венере-2 и Венере-3. Это приводит к скорости корпускулярного потока 220 км/сек. Ширина потоков, населенных протонами $1 \div 5$ Мэв, $3 \cdot 10^{12}$ см.

Предположим, что минимум интенсивности космических лучей, зарегистрированный счетчиком на Венере-2 и Венере-3 24 XI 1965 г., вызван корпускулярным потоком. Тогда из времени запаздывания (~ 24 ч.) мини-

* В достоверности измерений во время вспышки 24 X 1965 г. на Зонде-3 имеются некоторые сомнения.

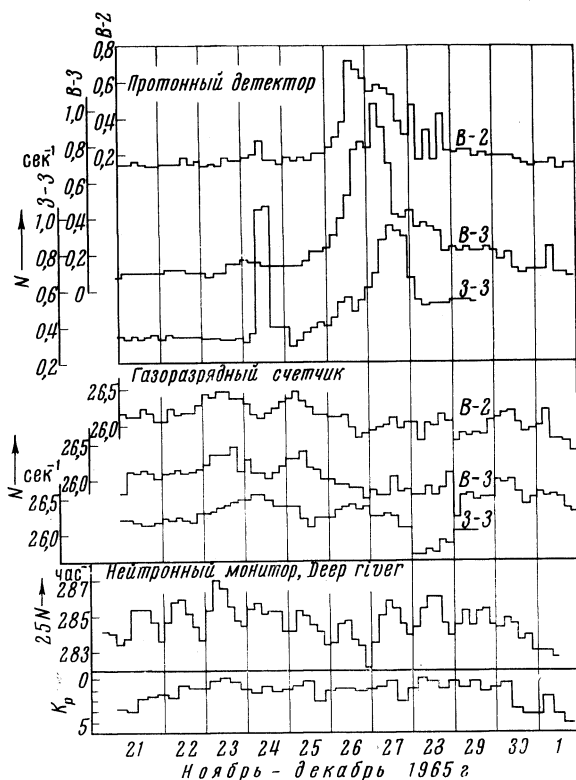


Рис. 3. То же, что на рис. 1, для 27 XI 1965 г.

му интенсивности на Зонде-3 относительно Венеры-2 и Венеры-3 следует, что средняя скорость этого потока равна 200 км/сек. В то же время из того факта, что ширина этого минимума на Зонде-3 больше, чем на Венере-2 и Венере-3, следует, что скорость потока во времени убывает от 290 до 190 км/сек при ширине потока $\sim 10^{13}$ см. Такие малые скорости движения плазмы до сих пор прямыми методами не наблюдались. Однако следует отметить, что получаемые здесь и выше скорости потоков определяются из шага предполагаемой архимедовой спирали. Но структура магнитного поля не обязательно должна точно соответствовать такой картине. Возможно искажение формы спирали за счет неравномерной инжекции плазмы данной активной областью на Солнце, а также взаимодействия магнитных волокон от соседних областей. Нельзя также исключить возможность того, что по мере движения плазмы от Солнца ее скорость отклоняется от радиального направления, имея тенденцию к ориентации вдоль магнитного поля. В этом случае шаг спирали будет непрерывно уменьшаться по мере удаления от Солнца, а также во времени после начала вспышки. Такая картина неплохо объясняет экспериментальные данные по запаздыванию, не приводя к аномальным скоростям плазмы ~ 200 км/сек, а допуская скорости 300 км/сек и даже более, что неоднократно обнаруживалось прямыми измерениями.

Эти данные показывают, что Солнце не только генерирует протоны высоких энергий, обнаруживаемые при полетах шаров-зондов (1), но чаще протоны меньших энергий 1 ÷ 5 Мэв. Распространение протонов высоких энергий в межпланетном пространстве (вблизи максимума солнечной активности) происходит диффузионным путем (1). Временная зависимость интенсивности протонов 1 ÷ 5 Мэв, как следует из рис. 1—3, имеет совершенно различный характер, иногда совершенно не похожий на диффузионный. Поэтому вряд ли можно сомневаться, что, по крайней мере вблизи минимума солнечной активности, распространение протонов 1 ÷ 5 Мэв в межпланетном пространстве происходит вдоль силовых линий, т. е. резко отлично от диффузии (2).

Если корпускулярный поток имеет магнитное поле, силовые линии которого упираются в активную область на Солнце, то протоны малых энергий, генерированные в этой активной области, свободно движутся по спирали вдоль силовых линий магнитного поля. Таким образом, корпускулярный поток создает некоторый туннель, по которому протоны сравнительно малых энергий могут покинуть Солнце и достичь областей, удаленных на значительные расстояния от Солнца.

Это предположение подтверждается экспериментальными данными, полученными Симпсоном в 1964 г. на спутнике Эксплорер-18 (3). На этом спутнике возрастание интенсивности протонов малых энергий регистрировалось регулярно через 27 дней в течение нескольких последовательных оборотов Солнца, что говорит о непрерывном истечении этих протонов из одной активной области Солнца внутри корпускулярного потока.

Все же, по-видимому, чаще истечение протонов продолжается менее одного оборота Солнца. Таким образом, активные области не все время генерируют протоны или не все время осуществляются условия для выхода протонов из Солнца, а периодически, и иногда на длительное время активная область становится источником протонов малых энергий.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
11 VII 1966

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. И. Чарахчьян, Т. И. Чарахчьян, Сборн. Исследование космического пространства, «Наука», 1965, стр. 547. ² V. C. Bartley, R. P. Bukata, K. G. McCracken, U. R. Rao, Anisotropic Cosmic Radiation Fluxes of Solar Origin; K. G. McCracken, N. F. Ness, The Collimation of Cosmic Rays by the Interplanetary Magnetic Field, Southwest Center for Advanced Studies, Preprint. ³ C. J. Fan, G. Gloeckler, J. A. Simpson, Докл. на Международн. конф. по космическим лучам, Лондон, 6—17 IX 1965 г. ⁴ С. Н. Вернов, А. Е. Чудаков и др., ДАН, 171, № 3 (1966).