1967 г. Февраль Том 91, вып. 2

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

523.16

## ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

# НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕЖПЛАНЕТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ И АНИЗОТРОПИЯ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Межпланетное магнитное поле — это магнитное поле Солнца, вытягиваемое солнечным ветром во вращающуюся вместе с Солнцем архимедову спираль. Этот основной результат теории (Паркер [1-3]) и экспериментальных исследований на спутниках (Несс и Вилькокс [4, 5]) уже освещался на страницах нашего журнала ([6, 7]). Ниже описаны измерения ([8-10]) потока солнечных космических лучей на спутнике Пионер VI, запущенном к Солнцу 15.XII 1965 г., которые подтвердили и существенно дополнили эту картину. Счетчик измерил поток космических лучей от Солнца в интервалах 7,5—45 *Мэв*, 45—90 *Мэв* и 130—350 *Мэв*. На поверхности Земли столь мягкие космические лучи (а тем более направление их прихода) измерять нельзя — они отклоняются магнитным полем Земли и рассеиваются и поглощаются в атмосфере. Поэтому для солнечных космических лучей необходимы измерения на спутниках, притом измерения нужно производить не только вне геомагнитного поля, но еще и достаточно далеко от магнитосферы Земли, чтобы исключить потоки космических лучей, отраженные от магнитосферы. Для такого эксперимента подходил спутник Пионер VI с перигеем 0,81 астрономической единицы. Угол зрения, под которым с этого спутника видна в перигее магнитосфера Земли, $\alpha \sim 2°$.

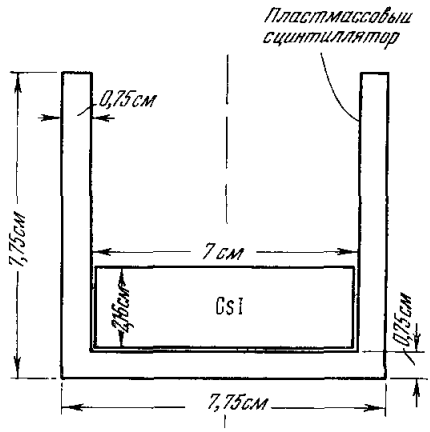


Рис. 1.

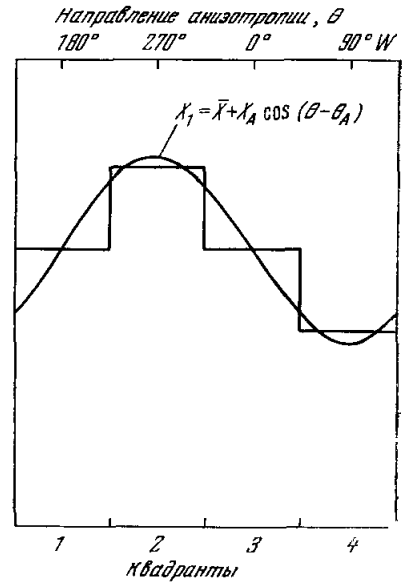


Рис. 2. По определению $X_A = 0{,}555\sqrt{(X_4-X_2)^2+(X_3-X_1)^2}$; $\theta_A = \mathrm{arctg}\,\{(X_3-X_1)/(X_4-X_2)\}$.

Принципиальная схема прибора показана на рис. 1 [8]. Прибор состоит из двух сцинтилляционных датчиков — кристалла CSJ и кольцеобразного пластмассового сцинтиллятора. Специальная логическая схема считала только те импульсы кристалла CSJ, которые не сопровождались импульсами второго пластмассового сцинтиллятора.

так что соответствующие частицы солнечных космических лучей проходили вдоль оси прибора. Оба счетчика были снабжены отдельными фотоумножителями. Пионер VI, как и остальные спутники этой серии, непрерывно вращался со скоростью 1 *оборот/сек*, таким образом, измерялись поочередно потоки космических лучей по всем направлениям. По мнению авторов, фиксируемый предел анизотропии космических лучей $\sim 0{,}01\%$.

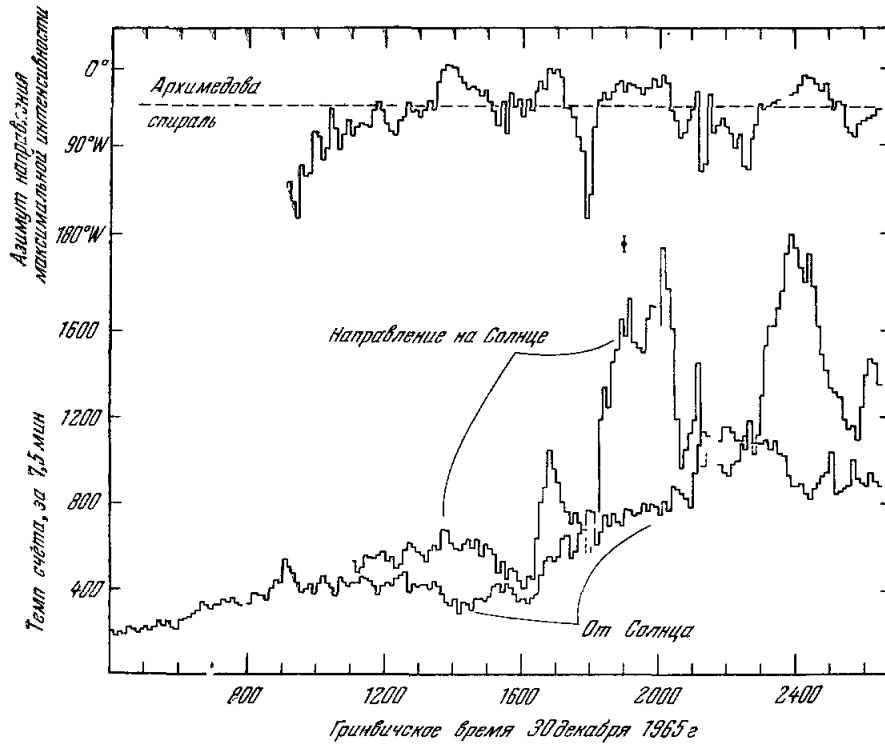


Рис. 3.

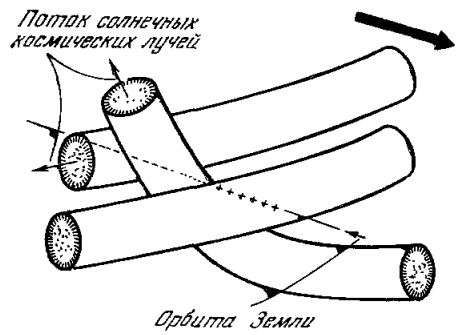


Рис. 4. Структура межпланетного поля.
Типичный диаметр трубки $= 3 \cdot 10^6$ *км* (= 21 ларморову радиусу при 13 *Мэв*, = 1,6 ларморова радиуса при 1 *Бэв*). Глубина проникновения космических лучей = 1 гирорадиусу; $\sim 6$ *мин* для плазмы со скоростью 400 *км/сек*.

Направление максимального потока определялось по схеме, показанной на рис. 2 — по экспериментальной кривой зависимости интенсивности от угла поворота (усредненной за период 7,5 *мин*). Солнце испускает космические лучи (с энергиями $10^1$—$10^2$ *Мэв*) во время хромосферных вспышек. В работе [9] анализируются в основном результаты измерений во время вспышки 30.XII 65 г. Эти результаты показаны на рис. 3. Авторы приходят к следующим выводам:

1. Анизотропия солнечных космических лучей проявляется длительное время после вспышки в течение 48 *час* или более.

2. Направление максимального потока ($\theta_A$) быстро менялось в окне, обращенном к Солнцу. В окне, смотрящем от Солнца, изменения $\theta_A$ меньше.

Наблюденные изменения потока могли быть, вообще говоря, как временными, связанными с изменением характеристик источника, так и пространственными, связанными с различием условий распространения космических лучей в различных точках межпланетной среды (напомним, что при вращении Солнца мимо спутника про-

ходили разные части структуры, образуемой межпланетным газом). Авторы выбрали из этих двух возможных объяснений одно — второе. Основания для такого выбора:

1. Наблюдалось изменение не только интенсивности потока, но и его направления.

2. Время нарастания потока (7,5 *мин*) слишком мало́, чтобы быть характерным временем процесса на Солнце.

На рис. 4 показана структура межпланетного поля, определяемая авторами на основе данных рис. 3. Межпланетное магнитное поле состоит из отдельных силовых трубок. Диаметр $D$ трубки можно оценить по продолжительности отрезка времени с постоянным направлением $\theta_A$ (0,5—4 часа) — $D = (0{,}5 \div 4) \times \times 10^6$ *км*. Трубки перевиваются друг с другом, образуя сложную структуру.

Далее, значительная анизотропия указывает на малость эффекта рассеяния космических

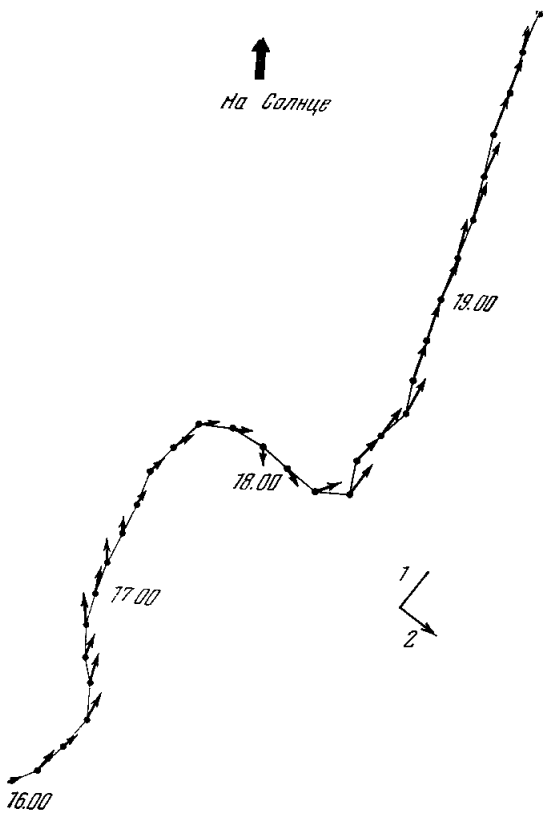


Рис. 5. Направление максимального потока космических лучей и направление вектора магнитного поля, спроектированные на плоскость эклиптики (вид с северного полюса Солнца).

Измерения спутника Пионер VI 30/XII 1965 г. Время гринвичское.

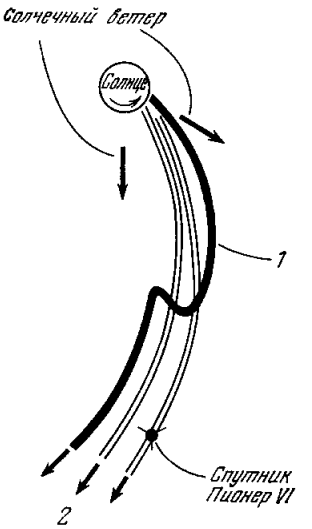


Рис. 6. Структура магнитного поля.

1 — магнитная силовая трубка, 2 — направление вектора магнитного поля и максимального потока солнечных космических лучей.

лучей на неоднородностях магнитного поля. Гирорадиус протона с энергией 13 *Мэв* порядка $10^5$ *км*. Таким образом, неоднородностей с размерами $10^5$ *км* в межпланетной среде очень мало. Об отсутствии неоднородностей магнитного поля свидетельствует также быстрота перемены направления оси анизотропии при переходе от одной силовой трубки к следующей. Если неоднородностей нет, то протоны весь свой путь от Солнца проходят внутри одной и той же силовой трубки.

Для космических лучей больших энергий описанные выше силовые трубки межпланетного поля представляют собой неоднородности с размерами порядка ларморова радиуса (например, при $E = 1$ *Бэв* $R_H = 1{,}8 \cdot 10^6$ *км*). Поэтому такие космические лучи рассеиваются на силовых трубках, а анизотропия уничтожается. Все эти выводы, полученные из анализа вспышки 30.XII 1966 г., подтверждаются предварительными результатами измерений при других вспышках. Описанная выше нитеобразная структура межпланетного поля подтверждается и другими независимыми измерениями на Пионере VI—прямыми измерениями магнитного поля [10]. На рис. 5 направления анизотропии солнечных космических лучей (стрелки) сопоставлены с силовой линией магнитного поля (сплошная кривая). Рис. 6 иллюстрирует обнару-

женную структуру магнитного поля. Второй результат, отмеченный в работе [10] — изгибы, не свойственные паркеровской спирали (рис. 5, интервал времени $17^{50}$—$18^{25}$). Причина их не ясна.

Общий вывод авторов измерений космических лучей и магнитного поля — существование высоко упорядоченной структуры межпланетного магнитного поля.

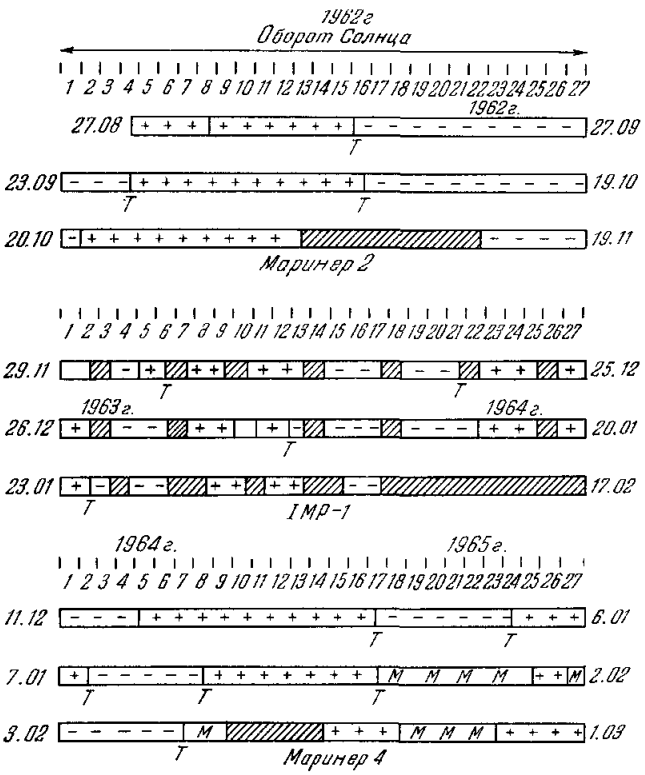


Рис. 7.

Измерения на IMP-I и Пионере VI подтвердили, что межпланетное поле — это поле Солнца. Встает естественный вопрос — как долго «живут» магнитные поля на поверхности Солнца, создающие секторы межпланетного поля. Является ли секториальная структура, подробно описанная в [5] или в реферате [7], постоянной характеристикой Солнца, или это «моментальный снимок» медленных процессов перестройки магнитных полей, постоянно идущих на Солнце? Для ответа на этот вопрос следует сопоставить данные IMP-I с недавно опубликованными результатами магнитных измерений на Маринере 2 и на Маринере 4 [11]. На рис. 7 показано направление межпланетного поля (+ — от Солнца, — — к Солнцу, *М* — смешанная полярность, *Т* — перемена полярности, ▨ — измерений не было). 29.08—15.11 1962 г. (Маринер 2), 2.11 1963 г.— 17. 02 1964 г. (IMP-I), 11. 12 1964 г.—1.03 1965 г. (Маринер 4). Из этой гистограммы следуют два вывода:

1. За несколько месяцев, протекших между полетами различных спутников, угловые размеры секторов межпланетного поля значительно изменились.

2. Угловые размеры сектора существенно менялись даже за один период солнечного вращения.

Таким образом, имеющиеся экспериментальные данные говорят в пользу второй возможности — непрерывного изменения структуры солнечного магнитного поля во времени и в пространстве.

*М. Г.*

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Паркер, Динамические процессы в межпланетной среде, М.—Л., Мир, 1965.
2. E. Parker, Astrophys. J. **128**, 667 (1958).
3. E. Parker, Space Sci. Rev. 4, 666 (1965).
4. N. Ness, J. Wilcox, Phys. Rev. Letts. **13**, 461 (1964).
5. J. Wilcox. N. Ness, J. Geophys. Res. **70**, 5793 (1965).
6. Л. Кахилл, УФН **87**, 551 (1965).
7. М. Г., УФН **89**, 165 (1966).
8. W. Bartley, K. McCracken, U. Rao, препринт DASS-66-2, 1966.
9. W. Bartley, R. Bukata, K. McCracken, U. Rao, J. Geophys. Res. **71**, 3297 (1966).
10. K. McGracken, N. Ness, J. Geophys. Res. **71** 3315 (1966).
11. P. Coleman, Jr., и др., J. Geophys. Res. **71**, 2831 (1966).