

Д О К Л А Д Ы
АКАДЕМИИ НАУК СССР

1970

т. 194, № 5

К. И. ГРИНГАУЗ, В. А. ТРОИЦКАЯ, Э. К. СОЛОМАТИНА, Р. В. ЩЕПЕТНОВ

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ПЕРИОДАМИ
УСТОЙЧИВЫХ МИКРОПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ ЗЕМЛИ

(Представлено академиком А. Л. Минцем 31 III 1970)

Результаты измерений потоков ионов солнечного ветра, проведенные при помощи ловушек заряженных частиц на межпланетных станциях Венера-2 (1) (в 1965 г.), Венера-4 (1967 г.) (1, 2), а также Венера-5 и Венера-6 (2) (1969 г.), были сопоставлены с одновременными измерениями периодов T устойчивых микропульсаций электромагнитного поля Земли. Для сопоставления были выбраны интервалы наблюдений длительностью ~ 1 мес. с момента запуска каждой из межпланетных станций, когда они находились достаточно близко к Земле. При этом временной сдвиг между моментом измерения параметров потока солнечного ветра на космическом аппарате и воздействием этого потока на границу магнитосферы Земли можно было практически не учитывать. На рис. 1 показаны усредненные по 3-часовым интервалам величины периодов T микропульсаций, определенные по данным регистрации земных токов на обсерваториях Борок ($\Phi = 52^\circ 53'$, $\Lambda = 123^\circ 20'$), Петропавловск ($\Phi = 44^\circ 24'$, $\Lambda = 218^\circ 14'$) и Сороа (Куба) ($\Phi = 33^\circ$, $\Lambda \sim 345^\circ$) в зависимости от потока ионов в солнечном ветре $nv \text{ см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ (n — концентрация ионов в солнечном ветре, v — скорость потока). Для всех четырех космических зондов зависимости T от nv различны для двух диапазонов значений T ; при $T \leq 40$ сек. имеет место убывание T при увеличении nv , при $T \geq 40$ сек., наоборот, T растет при увеличении nv . Такая же закономерность наблюдается в отдельно взятых данных каждой обсерватории.

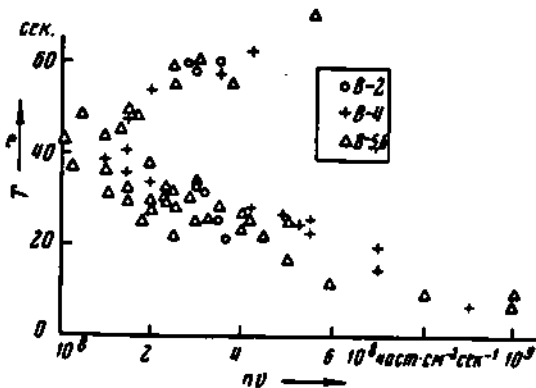


Рис. 1

Для проверки этого явления, обнаруженного при различных фазах солнечной активности, и для выяснения влияния на величину T концентрации частиц n в солнечном ветре и скорости v в отдельности, были привлечены результаты измерений параметров солнечного ветра на американском спутнике Земли ИМП-1 в декабре 1963 г.— марте 1964 г. (1) (рис. 2). Величина T взята по данным обсерваторий Борок и Петропавловск.

Рис. 2а полностью подтверждает существование различий зависимостей T от nv для периодов $T \leq 40$ сек. и $T \geq 40$ сек., показанных на рис. 1. Особый интерес представляет сравнение зависимостей $T(v)$ и $T(n)$ (рис. 2б и в), которое показывает, что T практически не зависит от скорости солнечного ветра, а определяется главным образом концентрацией частиц. На этих графиках в первом случае (2б) не фиксировано значение

n , а во втором случае (2с) — значение v . Авторы построили зависимости $T(v)$ при $n = 5 \div 10 \text{ см}^{-3}$ и $T(n)$ при $v = 300 \div 350 \text{ км} \cdot \text{сек}^{-1}$. Эти графики здесь не приводятся, но они носят характер, совершенно аналогичный рис. 2б и в.

Этот результат является до некоторой степени неожиданным, так как до сих пор в литературе часто рассматривались зависимости различных геофизических явлений от скорости солнечного ветра (начиная с (4)), в то время как влияние концентрации ионов солнечного ветра n на явления в околоземном пространстве уделялось мало внимания (хотя, например, в (7) описан случай сильной геомагнитной бури, вызванной именно воз-

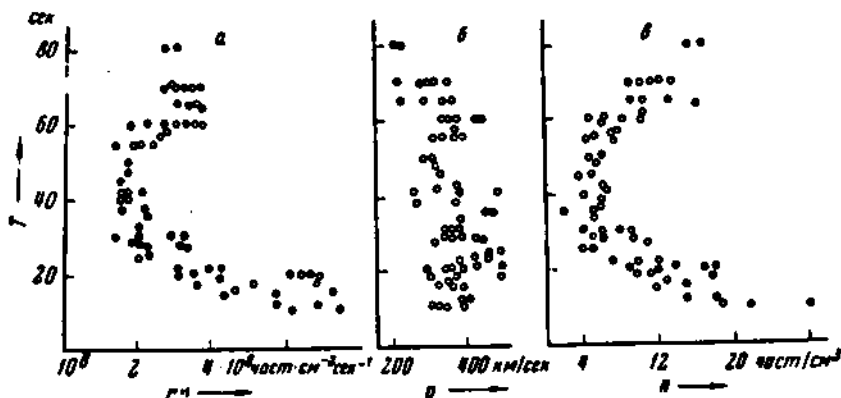


Рис. 2

растанием n , а не v). Считалось, что изменения давления солнечного ветра $p = nu^2/2$ определяются в основном изменениями v , ибо зависимость p от v квадратична, а от n линейна. При этом не учитывалось, что вблизи орбиты Земли v обычно меняется не более, чем в 3 раза (от ~ 250 до $\sim 750 \text{ км/сек}$), тогда как изменения n могут превышать 2 порядка (от долей частицы в 1 см^3 до $\sim 100 \text{ см}^{-3}$).

Приведенные на рис. 2 зависимости свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения влияния вариаций величины n на явления в магнитосфере. Они также заставляют думать, что микропульсации с $T < 40 \text{ сек.}$ и с $T > 40 \text{ сек.}$ генерируются в различных областях магнитосферы.

Убывание T с ростом nu при $T < 40 \text{ сек.}$ хорошо согласуется с представлениями о генерации микропульсаций этой группы (Pc-2—3) внутри холодной плазменной оболочки Земли (плазмосферы), ибо, как известно (8, 9), ее граница — плазмопауза приближается при возрастании геомагнитной активности со сжатием магнитосферы и удаляется от нее при уменьшении давления на магнитосферу. Уменьшение размера резонатора, наружной стенкой которого служит плазмопауза, а внутренней — нижняя граница ионосферы, естественно уменьшает период колебаний, возникающих в этом резонаторе. Аргументы в пользу того, что пульсации типа Pc-2, Pc-3 (с периодом $T < 40 \text{ сек.}$) образуются именно в плазмосфере, приводились также ранее в (10). Не исключена, однако, и возможность генерации этих колебаний во всем меняющемся под влиянием воздействия солнечного ветра объеме магнитосферы.

Труднее объяснить возрастание величины T с увеличением nu для периодов $T > 40 \text{ сек.}$, соответствующих колебаниям типов Pc-4. Согласно имеющимся представлениям, эти пульсации могут генерироваться в сравнительно узкой силовой трубке, опирающейся на зону полярных сияний (11), и представляют собой альвеновские волны, распространяющиеся вдоль

этой трубки. Если это так, то период пульсаций должен быть связан с концентрацией плазмы n в вершине силовой трубки следующим образом: $T \sim \sqrt{n} / \cos^2 \Phi_0$ ⁽¹²⁾, где Φ_0 — геомагнитная широта, на которую опирается трубка.

Из рис. 2а видно, что периоды пульсаций с $T > 40$ сек. растут с увеличением концентрации плазмы n в межпланетном пространстве. Если допустить, что увеличение концентрации плазмы, воздействующей на границу магнитосферы, может вызвать увеличение концентрации плазмы в дневной части внешней области магнитосферы (например, за счет крупномасштабных перемещений (конвекции) магнитосферной плазмы или посредством проникновения солнечного ветра в магнитосферу с помощью какого-либо механизма), то, исходя из ⁽¹²⁾, можно качественно объяснить верхнюю часть графиков рис. 1 и рис. 2а и в (для $T > 40$ сек.). Заметим, что по данным измерений, проведенных на американском геостационарном спутнике АТС-1, именно в этой области магнитосферы (на геоцентрическом расстоянии $R = 6,6 R_E$, вблизи местного полудня) во время сжатия магнитосферы 13 I 1967 г. концентрация ионов менялась от $n = 1,8 \text{ см}^{-3}$ до $n = 14,8 \text{ см}^{-3}$ ⁽¹³⁾.

Таким образом, представленные результаты свидетельствуют о том, что основным параметром солнечного ветра, влияющим на характер возбуждаемых на земной поверхности колебательных режимов электромагнитного поля, является концентрация протонной компоненты потока. При этом, с одной стороны, изменение плотности солнечного ветра определяет изменение объема резонатора в магнитосфере, в котором формируются колебания $Pc-2-3$. С другой стороны, характер зависимости периодов устойчивых колебаний типа $Pc-4$, формируемых во внешних областях магнитосферы, может являться свидетельством увеличения концентрации плазмы на дневной стороне магнитосферы.

Рис. 1 и рис. 2а и в позволяют предположить, что могут одновременно существовать (при воздействии на магнитосферу одного и того же потока солнечного ветра) устойчивые микропульсации с двумя различными периодами (соответствующими двум ветвям графиков); однако эти периоды должны находиться в соотношениях, определяемых указанными графиками.

Поступило
17 III 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. И. Грингауза, Э. К. Соломатина, *Космич. исслед.*, 6, № 4, 586 (1968).
² К. И. Грингауза, В. В. Безруких и др., Там же, 6, № 3, 411 (1968). ³ К. И. Грингауза, В. И. Троицкая и др., *Геомагнетизм и аэронавтика*, 10, № 4, 569 (1970). ⁴ В. А. Троицкая, А. В. Гульельми, *УФН*, 97, в. 3 (1969). ⁵ S. Olbert, Preprint Summary of Experimental Results from MIT Detector on IMP-1, 1968; N. F. Ness, *Annual Rev. of Astron. and Astrophys.*, 6, 79 (1968). ⁶ C. W. Snyder, M. Neugebauer, *Space Res.*, 4, 89 (1963). ⁷ К. И. Грингауза, В. В. Безруких, Л. С. Мусатов, *Космич. исслед.*, 5, 251 (1967). ⁸ D. L. Carpenter, *J. Geophys. Res.*, 71, 693 (1966). ⁹ К. И. Грингауза, *Изв. высш. учебн. завед. Радиофизика*, 12, 1275 (1969). ¹⁰ Ю. А. Копытенко, О. М. Распопов, Фам Ван Чи, *Космич. исслед.*, 7, № 2, 266 (1969). ¹¹ Ю. А. Копытенко, О. М. Распопов, Там же, 6, № 4, 617 (1968). ¹² А. И. Силь, Диссертация, Н.-ш. инст. Арктики и Антарктики, Л., 1964. ¹³ C. S. Warren, *Structure of the Dayside Equatorial Magnetospheric Boundary as Deduced from Plasma Flow*, A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, Houston, Texas, 1969.

В. И. ПОНОМАРЕВ, Д. М. ХЕЙКЕР, академик Н. В. БЕЛОВ

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЧЕТЫРЕХКАЛЬЦИЕВОГО
ТРИГИДРОТРИАЛЮМИНАТА $C_4A_3H_3$

Четырехкальциевый тригидротриалюминат $C_4A_3H_3 = 4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 3H_2O$, образующийся в результате гидротермального синтеза в системе $CaO - Al_2O_3 - H_2O$, а также при твердении глиноземистых цементов при повышенных температурах, признается наиболее высокотемпературным устойчивым гидроалюминатом кальция. С момента открытия в 1943 г. (1) он изучался различными авторами, главным образом на порошках, ибо получение достаточно крупных и совершенных монокристаллов представляет нелегкую задачу.

Нашими объектами были прозрачные монокристаллы «ромбовидной» формы, результат гидротермального синтеза при 450° и $P = 1000-1500$ атм (2). Предварительный этап рентгеноструктурного анализа ограниченных кристаллов выполнен на дифрактометре ДРОН-1 в соответствии с методикой (3). У ромбических кристаллов $4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ячейка бокоцентрированная, $a = 12,426 \pm 0,002$ А, $b = 12,809 \pm 0,002$ А, $c = 8,864 \pm 0,0001$ А. Систематические погасания соответствуют двум федоровским группам: $C_{2h}^{11} = Ab2a$, $D_{2h}^{14} = Abta$, $Z = 4$. Эти данные согласуются с приводившимися ранее (4).

Таблица 1

$Ca_2(AlO_3)_3(OH) \cdot H_2O$. Координаты базисных атомов
и параметры изотропных тепловых колебаний

Атомы	x/c	y/b	z/c	B (А²)
Ca ₁	0	0,1422	0	0,18
Ca ₂	0,3492	0	0,2107	0,12
Al ₁	0,1296	0,1229	0,3630	0,12
Al ₂	0,250	0,250	0,1108	0,14
O ₁	0,3683	0,2186	0,0028	0,54
O ₂	0,2222	0,1393	0,2195	0,64
O ₃ (OH)	-0,0025	0,1310	0,2769	0,85
O ₄	0,1467	0	0,4463	0,66
O ₅ (H ₂ O)	0,3913	0	0,4940	0,80

Точность локализации атомов:

Ca — 0,002А, Al — 0,003А, O — 0,004А.

Точность в параметрах изотропных тепловых колебаний:

Ca и Al — 0,07А², O — 0,12—0,17А².

Трехмерный набор модулей структурных амплитуд получен в эквивалентном автоматическом дифрактометре, управляемом вычислительной машиной (5). Условия эксперимента: сферический образец $d = 0,302 \pm \pm 0,005$ мм, несферичность 3,2%, мозаичность $0,4^\circ$, излучение CuK_α с β -фильтром (Ni), трубка БСВ-11, напряжение 34 кв, ток 15 ма. Использовался спектральный интервал $\Delta\lambda / \lambda = 0,0078$, счетчик сцинтиляционный, интенсивности исправлены в дифрактометре на факторы LP и поглощение для $\mu R = 2,64$. Отражения измерялись только за один проход кристаллом расчетного интервала $\Delta\omega$ при скорости $6^\circ/\text{мин}$, использовался комбинированный $\omega - \omega / 2\omega$ метод (6). Средняя скорость съемки при этих условиях 54 отражения в час. После усреднения эквивалентных отражений мы