СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ – МЕХАНИЗМ УСКОРЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ

И.М. Подгорный1, А.И. Подгорный2

1Институт астрономии РАН, г. Москва, Россия, podgorny@inasan.ru
2Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Россия,
 podgorny@lebedev.ru

Космическими лучами в 1925 г Х. Макмиллан (H.R. MacMillan) назвал непрерывный поток частиц высокой энергии, в основном протонов, приходящих из морового пространства на Землю. Наиболее популярной является гипотеза об ускорении частиц ударными волнами. В 1942 С. Форбушем (S.E. Forbush) было обнаружено резкое увеличение потока ускоренных протонов после некоторых больших солнечных вспышек. Среди многообразия явлений, сопровождающих солнечную вспышку, генерация релятивистских протонов оставалась наиболее загадочной. Часть ускоренных во время вспышки протонов попадает на Солнце и вызывает ядерные реакции. Измерения на космических аппаратах GOES показали, что длительность генерации ускоренных протонов совпадает с длительностью вспышки и редко превосходит 20 – 30 мин, а длительность потока протонов на орбите Земли составляет трое суток. Трое суток это типичное время распространения солнечного ветра со скоростью ~5×107 см/с от Солнца к Земле. Фронт потока протонов от вспышек, возникших на Западе солнечного диска, приходит к Земле вдоль спиральных линий межпланетного магнитного поля с запаздыванием около 20 мин равном пролетному времени, т. е. частицы ускоряются в самой вспышке, и бесстолкновительный поток частиц регистрируется на орбите Земли. Форма магнитных линий спирали Архимеда определяется солнечным ветром и вращением Солнца. Спектр протонов на фронте потока, полученный анализом изменений на мировой сети нейтронных мониторов в ИПГ КНЦ РАН, имеет экспоненциальный характер. Спектр простирается до 20 ГэВ. В измерениях, мировая сеть мониторов использовалась, как многоканальный анализатор энергии частиц, отклоняющихся магнитным полем Земли.

Фронт потока от восточных вспышек запаздывает на часы и имеет пологий вид. Протоны, ускоренные в восточных вспышках, не могут прийти к Земле вдоль спиральных линии магнитного поля. Они достигают Земли, перемещаясь поперек межпланетного магнитного поля. Эти частицы переносятся солнечным ветром поперек магнитного поля, благодаря вмороженности и диффундируют, рассеваясь на магнитных флуктуациях. Численное МГД моделирование показало, что ускорение протонов происходит полем Лоренца вдоль особой линии токового слоя, ответственного за вспышку. Измеренный спектр совпадает с вычисленным для ускорения в токовом слое вспышки при скорости магнитного пересоединения ~2 × 107 см/с. Нет оснований рассматривать ударную волну в качестве источника солнечных космических лучей. По-видимому, аналогичным образом ускоряются частицы и на звездах.