

П И С Ь М А
В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

ОСНОВАН В 1965 ГОДУ
ВЫХОДИТ 24 РАЗА В ГОД

ТОМ 70, ВЫПУСК 10
25 НОЯБРЯ, 1999

Письма в ЖЭТФ, том 70, вып.10, стр.639 - 641

© 1999г. 25 ноября

РЕГИСТРАЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ОЧЕНЬ ВЫСОКОЙ
ЭНЕРГИИ ДЕКАМЕТРОВЫМ РАДИОТЕЛЕСКОПОМ УТР-2

А.Д.Филоненко¹⁾

Восточноукраинский государственный университет
348034 Луганск, Украина

Поступила в редакцию 27 сентября 1999 г.

Автор считает возможным возрождение метода радиодетектирования космических лучей в диапазоне энергий $10^{22} - 10^{23}$ эВ. Доказательством этого станет факт регистрации электромагнитных импульсов, вызванных прохождением частиц с такой энергией через поверхность Луны. Показано, что радиосигнал, свидетельствующий об этом событии, будет иметь амплитуду, на два порядка превосходящую галактические радишумы, если для этой цели использовать антенну декаметрового радиотелескопа УТР-2 (г.Харьков).

PACS: 95.55.-n, 95.85.Ry

Метод радиодетектирования космических лучей, который фактически еще никогда не был реализован, в своей основе имеет решающее преимущество при сравнении с традиционными методами детектирования в области энергий 10^{22} эВ и выше. Такой вывод следует из нижеизложенного и, в частности, из предыдущих работ автора. Основное содержание этого метода связано с возможностью относительно просто контролировать площади величиной более 10^6 км². Например, для области рассматриваемых здесь энергий $10^{22} - 10^{23}$ эВ рабочая площадь детектора с минимально необходимой частотой регистрации событий (~ 10 год⁻¹) должна иметь величину порядка 10^7 км². Очевидно, реализация такого проекта в земных условиях кажется практически неосуществимой в рамках традиционных способов детектирования.

В связи с этим идея использования поверхности Луны ($S_m \sim 10^7$ км²) как рабочей площади детектора оказала стимулирующее действие на развитие метода радиодетектирования космических лучей очень высокой энергии. Такая возможность была рассмотрена в [1], а более детальные оценки выполнены затем в [2]. Однако такой принцип регистрации имеет существенные недостатки. Во-первых, особенности механизма радиоэмиссии не менее чем на порядок ограничивают рабочую площадь поверхности Луны, то есть эффективно используется только узкая кольцевая зона

¹⁾ e-mail: uni@vugu.lugansk.ua

(см. [2]). Во-вторых (и это самое главное), частотный диапазон, для которого черенковское излучение сохраняет когерентность, на несколько порядков завышен вследствие пренебрежения рассеянием электронов ливня на нейтральных атомах среды (см., например, [3]) и неучета нарушения когерентности при продольном развитии ливня. Все эти недостатки (особенно взятые вместе) на несколько порядков снижают эффективность такого детектора.

В настоящей работе рассмотрен метод регистрации, свободный от перечисленных выше недостатков. В частности, это обусловлено тем, что для детектирования частиц выбрана компонента радиоэмиссии ливня, не связанная с черенковским излучением. Она, как это следует из [4–6], вызвана тормозным излучением δ -электронов электрон-фотонной лавины в газообразной или конденсированной средах. Согласно [4–6], диапазон когерентности в этом случае лежит в интервале длин волн $2L < \lambda < \infty$, где L – эффективный продольный размер лавины, а пространственное распределение эмиссии практически совпадает с диаграммой направленности полуволнового диполя. Последнее свойство является одним из решающих факторов при выборе принципа радиодетектирования космических частиц.

Поскольку эффективная длина электрон-фотонной лавины в грунте Луны имеет величину 5–10 м, максимум спектральной интенсивности радиоэмиссии, как это следует из сделанного выше замечания, лежит в диапазоне частот 30–50 МГц [7]. В этой связи автор считает принципиально возможным использование широкополосной антенны декаметрового радиотелескопа УТР-2 (г. Харьков) для регистрации космических лучей с энергией $W_0 \sim 10^{22} - 10^{23}$ эВ. Эффективная площадь ее на частоте 30–32 МГц составляет величину порядка 10^5 м², а направление главного лепестка пространственной диаграммы излучения плавно изменяется в пределах $\pm 70^\circ$ от вертикали. Эти характеристики как нельзя лучше удовлетворяют условиям реальной постановки эксперимента.

Известно, что на частотах ~ 30 МГц основным источником помех являются галактические радишумы. Атмосферные помехи существенны только во время местной грозы, поэтому, например, зимой в ночное время суток они полностью отсутствуют вследствие прозрачности ионосферы для этого диапазона электромагнитных волн. Сравним по порядку величины спектральные мощности полезного сигнала и галактических радишумов. Для этого сделаем оценку величины напряженности поля в области частот $2L \approx \lambda$, например, согласно выражению (6) из [8] или (10) из [4]:

$$E_\omega = \frac{LN_m q \nu \sin \varphi_1}{4\pi \epsilon_0 c^2 R_0 f(\beta)} \ln \frac{\gamma_1}{\gamma_m} \quad (\text{В/мГц}), \quad (1)$$

где $L = 5t$ – продольный размер ливня, $N_m = 10^{14}$ – число электронов в максимуме лавины для энергии первоначальной частицы $W_0 = 10^{23}$ эВ, $\nu = 3 \cdot 10^7$ Гц, $\varphi_1 = \pi/2$ – угол излучения, $(4\pi \epsilon_0)^{-1} = 0.9 \cdot 10^{10}$ м/Фм; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, $R_0 = 0.4 \cdot 10^9$ м – расстояние до Луны, $\gamma_1/\gamma_m \approx 50$ – отношение максимального значения лоренц-фактора к минимальному, $f(\beta) = 30$ (см. [8]) и $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$ coul. Вычисления приблизительно дают $E_\omega = 0.5 \cdot 10^{-12}$ В/мГц.

Тогда отношение мощности полезного сигнала, приходящейся на 1 м² в единичной полосе частот $J_s = s_0 c E_\omega^2 \pi / 2\tau$, к интенсивности галактических радишумов $J_n = 3 \cdot 10^{-40} T \nu^2 \Delta \Omega$ (Вт · м⁻² · Гц⁻¹) будет иметь вид

$$\frac{J_s}{J_n} = \frac{\epsilon_0 c E_\omega^2}{3 \cdot 10^{-40} T \nu^2 \tau \Delta \Omega} = 1.3 \cdot 10^5, \quad (2)$$

где $T = 2 \cdot 10^4$ — характерная температура небесной сферы на частоте 30 МГц, $\tau = 2 \cdot 10^{-8}$ с — период колебаний и $\Delta\Omega = 0.8 \cdot 10^{-4}$ ср — телесный угол главного лепестка диаграммы направленности антенны. Отношение (2) показывает, что максимальная амплитуда сигнала U_s (в случае благоприятного направления прихода частицы),

$$U_s = (s_0 c E_\omega^2 \Delta\nu A R_A / \tau)^{1/2} \quad (3)$$

(где $A = 10^5 \text{ м}^2$ — эффективная площадь антенны и $R_A = 75 \text{ Ом}$ — согласованное сопротивление нагрузки антенны), приблизительно на два порядка превышает среднеквадратичную амплитуду радишумов. Подстановка соответствующих величин из (1) в (3) дает $U_s \approx 0.7 \cdot 10^{-3} \text{ В}$.

Кроме радишумов значительными могут оказаться и местные помехи техногенного характера. Однако это не имеет принципиального значения и может быть устранено с помощью хорошо известных методов.

Таким образом, оценки показывают, что радиосигнал, вызванный прохождением космической частицы с энергией 10^{23} эВ через поверхность Луны, может быть уверенно зарегистрирован на поверхности Земли. Более того, оценки (2) и (3) дают небезосновательную надежду и на возможность регистрации частиц с энергией 10^{22} эВ. В этом случае частота событий вырастает на полтора-два порядка.

В заключение необходимо заметить, что успешное завершение такого опыта (или ему подобного [9]) не только открывает новые перспективы для метода радиодетектирования с помощью искусственных спутников Луны [10]. Постановка эксперимента не связана с большими затратами на оборудование, однако уже в этом опыте могут быть получены оценки интенсивности потока космических лучей в области более 10^{22} эВ. Кроме того, поскольку информация приходит только с одной стороны небесной сферы, то по изменению годовой интенсивности можно оценить и анизотропию космических лучей в этом диапазоне энергий. И, наконец, сам факт наблюдения частиц с энергиями $10^{22} - 10^{23}$ эВ ставит новую проблему, связанную с гипотезой реликтового обрезания энергетического спектра космических лучей.

-
1. Г.А.Аскаръян, ЖЭТФ 41, 616 (1961).
 2. Р.Д.Дагкесаманский, И.М.Железных, Письма в ЖЭТФ 50, 233 (1989).
 3. С.В.Беленький, *Лавинные процессы в космических лучах*, М.: Гостехиздат, 1948, с.243.
 4. П.И.Голубничий, А.Д.Филоненко, Письма в ЖТФ 20, №12, 57 (1994).
 5. П.И.Голубничий, А.Д.Филоненко, Письма в ЖТФ 20, №23, 59 (1994).
 6. П.И.Голубничий, А.Д.Филоненко, В.И.Яковлев, Известия РАН 58, 115 (1994).
 7. А.Д.Филоненко, Известия РАН, сер.физ. 61, №3 (1997).
 8. П.И.Голубничий, А.Д.Филоненко, Укр.физ.ж. 41, 696 (1996).
 9. А.Д.Филоненко, Письма в ЖТФ 24, №24, 65 (1998).
 10. А.Д.Филоненко, Письма в ЖТФ 23, №10, 57 (1997).