

Antonov R.A., Ivanenko I.P., Raftsov V.I. // Installation for Measuring of
Primary Energy Spectrum of Cosmic Rays in the Energy Range above 10^{15} - 10^{16} eV.
Proc. 14 ICRC, Munich, 1975, 9, 3360-3364.

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО СПЕКТРА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
СПЕКТРА КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИЙ СНИЖЕ
 10^{15} - 10^{16} эв.

Р.А.АНТОНОВ, И.П. ИВАНЕНКО, В.И. РАФТСОВ

Научно-исследовательский институт ядерной физики АГУ

Описывается модификация установки, предложенной ранее А.И. Чу-
даковым, позволяющая существенно более низкий энергетический порог.

Установка позволяет измерять энергетический спектр первичных
частиц космического излучения в области энергий ниже 10^{15} + 10^{16} эв
путем наблюдения с большой высоты световых пикет образованных че-
ренковским светом частиц МАЛ на возвышенной поверхности в ночное
время.

Исследование энергетического спектра в области энергий 10^{15} эв
представляет большой интерес как с точки зрения космологии (нали-
чие и форма второго перегиба в спектре при энергии частиц 10^{17} +
+ 10^{18} эв существование родитово. о обрезании спектра при энергии
 10^{20} эв), так и с точки зрения изучения характера взаимодействия
частиц при сверхвысоких энергиях путем изучения характеристик МАЛ.

В настоящее время энергетический спектр частиц космического
излучения в области энергий 10^{15} эв интенсивно изучается при на-
ли калориметрическими методами. При энергиях 10^{15} эв данные о по-
токе частиц полученные различными методами
различаются между собой не более чем в 2 + 3 раза.

В области же энергий ниже 10^{15} + 10^{16} эв все имеющиеся экспо-
риментальные данные получены с помощью больших широкозахватных уста-
новок. Данные различных авторов различаются между собой в 10 и бо-
лее раз. Это связано с трудностями в определении полного числа час-
тиц в ливне и необходимостью использования идеальных представлений
о характере развития ливня для перехода от числа частиц в ливне к
первичной энергии.

Как известно, полный черенковский свет частиц НАЛ во всей толщине атмосферы пропорционален суммарным ионизационным потерям всех ливневых частиц, которые, в свою очередь, составляют большую часть энергии первичной частицы.

В 1972г. А.Е. Чудиновым [2] была высказана идея о возможности измерения энергетического спектра в области энергий $\geq 10^{18}$ эв путём фотографирования с помощью ЭОИ и последующего фотометрирования светового пятна черенковского света частиц НАЛ на заснеженной поверхности в ночное время с большой высоты.

Рассматриваемый в работе [2] конкретный вариант установки при подъёме на самолёте на высоту ~ 10 км имел энергетический порог $\sim 10^{18}$ эв и при разумном времени экспозиции позволял бы измерить весь спектр до энергий $\sim 10^{20}$ эв, а, возможно, и выше. Величина энергетического порога в рассмотренном варианте определялась, главным образом, максимально возможной величиной диаметра объектива, проецирующего изображение на ЭОИ (принималось $D = 2$ см).

В настоящей работе рассматривается модификация установки, изготовление которой начинается в настоящее время, и которая позволит существенно понизить энергетический порог.

Основные отличия рассматриваемой установки от установки [2] заключаются в следующем:

- 1) ЭОИ заменен мозаикой из фотоумножителей, расположенных на фокальной поверхности сферического зеркала большого диаметра (см. рис.1)
- 2) высота подъёма установки снижается с 10 км до ~ 3 км;
- 3) при измерениях в области энергий выше порога время интегрирования сокращается с 10^{-5} сек. до 10^{-6} сек. (предполагается, что при этом будет анализироваться только ливень падающий на снег под углами достаточно близкими к вертикали, этот угол определяется по форме светового пятна).

Использование сферического зеркала (в отличие от параболического) позволяет охватить большой угол обзора ($\Omega \sim 1$ стер.), что при высоте установки ~ 3 км даёт величину площади для регистрации осей ливней ~ 10 квадратных километров.

Так как диаметр светового пятна на снегу имеет величину ~ 1 км; изображение пятна на фокальной поверхности попадает на $\sim 6 + 7$ фотоумножителей (см. рис. 2).

Как известно сферическое зеркало обладает сферической абберацией ухудшающей качество изображения. Однако, ввиду невысоких требований к качеству изображения, в рассматриваемом случае, оказалось достаточно использовать для коррекции простейшую систему - диафрагму

отсекающую крайнюю лучи. При указанных на рис. 1 размерах диафрагмы дополнительное размытие светового пятна не превышает радиуса фотоумножителя, а углы падения лучей на поверхность фотокатода относительно нормали к фотокатоду не превышают 50° .

Число фотоэлектронов с фотокатода каждого из ФЭУ, на которые проецируется изображение пятна

$$n \approx \frac{E}{2 \cdot 10^4} \cdot \frac{S}{\pi H^2} \cdot 0,1 \cdot \frac{1}{7}, \text{ где}$$

$2 \cdot 10^4$ эв - энергии на 1 черенковский фотон ($300 \text{ нм} \lesssim \lambda \lesssim 600 \text{ нм}$),

0,1 - эффективность фотокатода,

S - площадь входного зрелка зеркальной системы,

H - высота зеркала над вакуумной поверхностью.

Число фотоэлектронов с фотокатода каждого из 61 ФЭУ вызванных фоновой засветкой от звездного неба

$$\int n \approx \sqrt{S \cdot T \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}},$$

где T - время интегрирования (при регистрацииливней падающих на снег под любыми углами следует брать $T \approx 10^{-5}$ сек. [2], при регистрацииливней падающих на снег под зенитными углами $\lesssim 30^\circ$ можно взять $T \approx 10^{-6}$ сек).

10^{-2} - телесный угол, с которого собирается свет на каждый из ФЭУ, $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1} \text{ ст}^{-1}$ - поток световых квантов ($300 \text{ нм} \lesssim \lambda \lesssim 600 \text{ нм}$) от звездного неба.

При размерах установки приведенных на рис. 1, $S = 7,6 \cdot 10^3 \text{ см}^2$ (с учетом перекрытия части входного отверстия регистрирующей системы ФЭУ).

Для высоты уровня наблюдения $H = 3 \text{ км}$ и $E = 10^{16}$ эв получаем

$$n \approx \frac{10^{16}}{2 \cdot 10^4} \cdot \frac{7,6 \cdot 10^3}{\pi \cdot 9 \cdot 10^{10}} \cdot 0,1 \cdot \frac{1}{7} = 190,$$

$$\int n \approx \sqrt{7,6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 0,1 \cdot 10^{-2}} = 39$$

Найденное отношение $\frac{\text{сигнал}}{\text{шум}} \approx 5$ будет иметь место для каждого из 6 + 7 ФЭУ, на которые проецируется изображение светового пятна. Это обстоятельство можно использовать для запуска установки, потребовав совпадения импульсов больше порогового в 3 + 4 каналах, по соседних

фотоумножителях.

Как видно на рис. 2 при использовании мозаики на ФЭУ часть света будет попадать в промежутки между фотокатодами и теряться. Для квадратной сетки фотокатодов, без учета нечувствительности краевых областей катода, доля теряемого света оставила бы 22%. Для сетки используемой нами (рис. 2) эта доля составляет 13%. С учетом нечувствительности краевых областей фотокатода и наличия небольших зазоров между ФЭУ эта доля возрастает до 40%. С учетом потерь на отражение от стекла ФЭУ доля теряемого света составляет 46%. Эту величину можно существенно уменьшить, поместив перед фотокатодом каждого ФЭУ зеркальный отражатель концентрирующий свет на фотокатод.

Можно понизить энергетический порог до неск. ед. к 10^{15} эв понижая уровень наблюдения и запараллеливая ФЭУ. Это имеет смысл делать в том случае, если детальное изучение формы световых пятен позволяет, что можно достаточно надежно учесть краевые эффекты (с понижением уровня наблюдения будет возрастать доля событий, в которых часть излучения не будет попадать на площадь перекрывающую ФЭУ).

С целью получения данных об энергетическом спектре в области предельно высоких энергий можно эту же установку запустить с помощью высотного зензита на высоту ~ 35 км, например, используя захваченные циркуляционные воздушные потоки существующие в приземных областях или использовать высотный самолет.

В таблице I приведена ожидаемая интенсивность регистрируемых событий в предположении, что для $10^{16} \leq E \leq 10^{18}$ эв показатель интегрального спектра $\gamma \sim 2,0$, а при $E \geq 10^{18}$ эв $\gamma \sim 1,5$.

$E,$ эв	$I(>E)$ $m^{-2} sec^{-1} ster^{-1}$	H m	S' m^2	$F(>E), sec^{-1}$	
				$T = 10^{-6} sec$ $\Omega \sim 1 ster$	$T = 10^{-5} sec$ $\Omega \sim 5 ster$
10^{16}	$4 \cdot 10^{-5}$	3000	10^7	$4 \cdot 10^2$	-
10^{17}	$4 \cdot 10^{-7}$	"	"	-	20
10^{18}	$4 \cdot 10^{-9}$	"	"	-	0,2
"	"	35000	10^9	4	20
10^{19}	10^{-10}	"	"	-	0,5
10^{20}	$3 \cdot 10^{-12}$	"	"	+	$1,5 \cdot 10^{-2}$
$4 \cdot 10^{-3}$					

Авторы благодарны А.И. Чудакову и Н.Б. Меглову за ценные обсуждения