

О РЕГИСТРАЦИИ ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ
ПРЕДЕЛЬНО ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Р. У. Бейсембаев, Ю. Н. Вавилов

УДК 537.591

Показано, что предложенный недавно А. Е. Чу-
даковым метод регистрации широких атмосферных лив-
ней (ШАЛ) большой мощности по диффузно отраженному
излучению Вавилова-Черенкова от поверхности снега
позволяет регистрировать ШАЛ вплоть до энергий

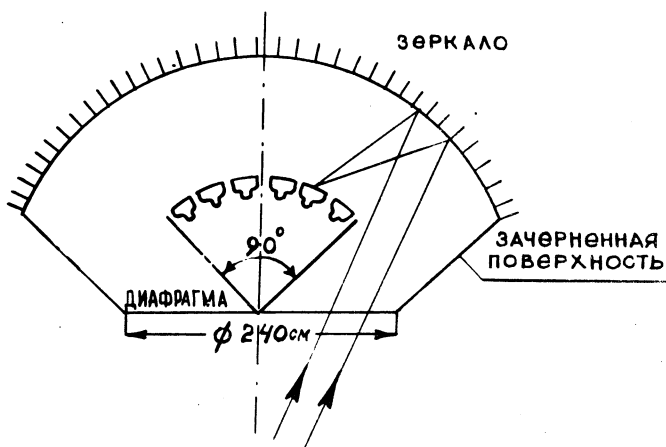
$\gg 10^{21}$ эв, при использовании широкоугольных детек-
торов света и их установке на искусственных спутниках
Земли.

Широкие атмосферные ливни сейчас единственный источник ин-
формации об энергетическом спектре, химическом составе и прост-
ранственной анизотропии первичного космического излучения сверх-
высоких энергий. Однако крайне низкая интенсивность частиц таких
энергий и сложная структура ШАЛ приводят к тому, что существую-
щие экспериментальные методы сталкиваются с серьезными труднос-
тями при энергиях $\gg 10^{17}$ эв.

Обычные методы, основанные на регистрации электронно-фотон-
ной и мюонной компонент ШАЛ, требуют создания дорогостоящих тех-
нических комплексов. Это вызвано необходимостью размещать детек-
торы на огромных площадях порядка десятков км² (Якутск, Хавера-
-Парк, Сидней). Кроме того, эти методы приводят к неоднозначной
интерпретации результатов о первичном энергетическом спектре,
так как нет надежных методов определения полной энергии по дан-
ным измерений.

Надежней было бы определять энергию ШАЛ путем регистрации
излучения Вавилова-Черенкова, созданного ливнем в атмосфере. Но
прямая регистрация этого света также требует большой сети назем-
ных пунктов наблюдения. Для регистрации мощных ШАЛ возможно ис-
пользование ионизационного свечения атмосферы при прохождении
ШАЛ /1,2/. Однако пока что этим методом не регистрировались лив-
ни с энергией выше $\approx 10^{19}$ эв.

Недавно А. Е. Чудаков предложил регистрировать диффузно отраженный от поверхности снега черенковский свет ШАЛ датчиками, размещенными, например, на самолете, летящем в ночное время над просторами Арктики /3/.



Р и с. I.

В данной заметке показано, что если на борт спутника (ИСЗ) или орбитальной станции установить специальную широкоугольную оптическую систему, то при полете ИСЗ над Арктикой и Антарктикой и прилегающими к ним снежным областям возможно регистрировать ШАЛ с энергией, по-видимому, вплоть до $\approx 10^{21}$ эв, если нет рефлексивного обрезания в первичном спектре космического излучения. В принципе возможно для регистрации мощных ШАЛ использовать также отражение излучения Вавилова-Черенкова от низко расположенных сплошных облаков, верхняя граница которых не превышает 1-2 км.

В качестве детектора света на борту ИСЗ можно, например, применить широкоугольную оптическую систему со сферическим вогнутым зеркалом и фотоумножителями, расположенными на поверхности сферического сегмента. Возможный вариант такой системы показан на рис. I.

Телесный угол этой системы для регистрации отраженной световой вспышки ≈ 1 стерадиан. Эффективная площадь регистрации, рав-

ная сумме площадей фотокатодов ФЭУ, $S \approx 1,5 \text{ м}^2$. Система включает в себя ≈ 30 ФЭУ с диаметром фотокатода 25 см, например ФЭУ-73.

Достоинство такой системы — значительное увеличение отношения сигнал/шум благодаря тому, что фотоны от "рабочего" сигнала будут попадать в один, или в 2–3 ФЭУ, тогда как фотоны от свечения ночного неба распределятся равномерно по большому числу всех ФЭУ установки. Подобная система позволит определить направление прихода света на установку от черенковской отраженной вспышки.

Целесообразно для надежного исключения шумов от свечения ночного неба иметь в установке одновременно две таких системы и включить ФЭУ этих систем на совпадения для формирования управляющего сигнала.

Число фотоэлектронов, которое образуется при регистрации таким детектором вспышек излучения Вавилова–Черенкова при полете ИСЗ над снежной поверхностью или облачной поверхностью, в предположении, что угловое распределение интенсивности света подчиняется закону Ламберта, а также число фотоэлектронов, обусловленных флуктуациями в свечении ночного неба, можно подсчитать по формулам, приводимым в /3/.

Для определения коэффициента пересчета от амплитуды регистрируемого сигнала к полному числу квантов излучения Вавилова–Черенкова, рожденных ливнем, необходимо помещать возле приемника излучения стандартные (калиброванные) источники импульсных световых сигналов. С помощью световых сигналов от этих источников, направленных на поверхность снега или облаков сразу после регистрации события, можно произвести указанную калибровку с учетом меняющихся условий отражения излучения Вавилова–Черенкова с изменением характера поверхности снега или облаков и изменения прозрачности атмосферы.

В таблице дано среднее число фотоэлектронов при регистрации ШАЛ с помощью установки типа рис. 1 для ШАЛ с $E_0 \geq 10^{20}$ эв, а также среднее число фотоэлектронов, обусловленных флуктуациями свечения ночного неба.

Среднее время T на регистрацию одного ливня с энергией выше заданной оценено, используя экстраполяцию первичного спектра космического излучения из данных /5/, с учетом условий регистра-

Таблица

Полная энергия ШАЛ E_0 , эв	Высота полета H , км	Число фотоэлектронов при регистрации ШАЛ, $N_{ФЭ}$	Флуктуация в числе фотоэлектронов фона ночного неба
10^{20}	200	1000	150
10^{20}	300	400	150
$2,5 \cdot 10^{20}$	300	500	150
10^{21}	300	2000	150
$5 \cdot 10^{21}$	700	2000	150

Светосила, $\text{км}^2 \text{ стер.}$	Время на регистрацию одного события (час) с учетом необходимых условий /6/		Время на регистрацию одного события СпНнейской установкой
	снег	облака	
$4 \cdot 10^4$	500	150	≈ 1 год
$7 \cdot 10^4$	300	100	
$3 \cdot 10^5$	300	100	≈ 100 лет
$3 \cdot 10^5$	4500	1500	
$1,5 \cdot 10^6$	≈ 3 года	≈ 1 года	

Примечание: Эффективная площадь подсчитывалась по формуле $S = \pi H^2$ (H - высота полета) для случаев регистрации сигнала вдали от порога, так как предельный угол сбора света, отраженного от снега, составляет в предлагаемой установке 45° к вертикали. Примем, что порог соответствует отношению сигнал/шум ≈ 3 . Вблизи порога эффективная светосила регистрации уменьшается приблизительно в 3-4 раза, что учтено в таблице. Для тех энергосделений в атмосфере E_0 , которые превышают в 4 раза пороговые значения E_0 , в таблице приводится минимальное число фотоэлектронов $N_{ФЭ}$, соответствующее регистрации отраженного черенковского света под углом 45° к вертикали. Коэффициент отражения для снега и облаков брался $= 0,7$. Квантовая эффективность фотокатодов ФЭУ принималась $= 0,1$. Потери света в атмосфере принимались равными 20% /4/; в оптике - тоже 20%.

нии: безлунное, свободное от облаков небо над полярными областями ночью, или наоборот наличие сплошных низко расположенных облаков вне полярных областей. При этом учитывались мировые данные об облачном покрове над различными участками арктических и антарктических областей и вне их /6/.

Как видно из таблицы, предлагаемым методом возможна регистрация ШАЛ, по-видимому, вплоть до $E_0 \approx 10^{21}$ эв, начиная приблизительно с $E_0 \approx 10^{20}$ эв, что позволяет произвести сопоставление интенсивности сверхмощных ШАЛ, регистрируемых в одном полете ИСЗ, с интенсивностью регистрации ШАЛ самыми мощными из наземных установок.

В заключение авторы благодарят всех товарищей, участвовавших в обсуждении и особенно Р. А. Антонова, Н. Ф. Вельтицева, Я. С. Еленского, С. И. Никольского, В. М. Федорова, Г. Б. Христиансена, А. Е. Чудакова и Е. И. Тукина.

Поступила в редакцию
14 июня 1974 г.

Л и т е р а т у р а

1. В. А. Белнев, А. Е. Чудаков. Изв.АН СССР, сер.физ., 30, 1700 (1966).
2. A. N. Bunger, K. Greisen, P. B. Landecker. Canadian Journal of Physics, 46, N 10, 266 (1968).
3. А. Е. Чудаков. Сборник "Экспериментальные методы исследования космических лучей сверхвысоких энергий". Материалы Всесоюзного симпозиума, 1972 г., г. Якутск. Издание Якутского филиала Сибирского отделения АН СССР и института космофизических исследований и аэронавтики. Якутск, 1974 г., стр. 69.
4. А. С. Кучко. Аэрофотография. Изд-во "Наука", М., 1974 г.
5. C. J. Bill, A. D. Bray et al. 13th. International Cosmic Ray Conference. Conference papers. Vol. II, 2519. 1973. University of Denver, Denver, Colorado, U.S.A.
6. Global atlas of relative cloud cover. Edited US Department of Commerce and United States Air Force. Washington. September 1971.