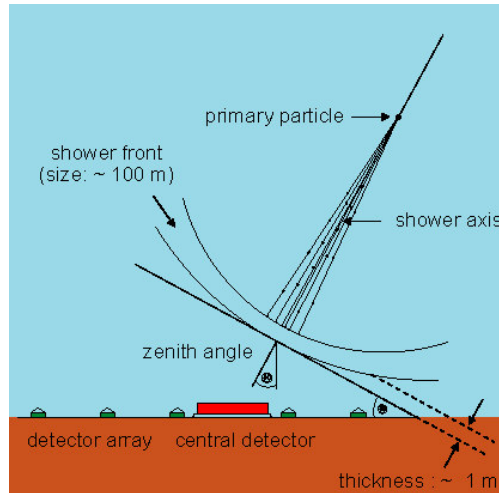


**К.ф.-м.н. Г.И. Рубцов**

Регистрация широких атмосферных ливней, вызванных  
космическими лучами сверхвысоких энергий.

(Тел.: 499-783-9291, E-mail: grisha@ms2.inr.ac.ru)



### Аннотация

Космические лучи — высокоэнергичные частицы (протоны, ядра атомов, фотоны, нейтрино и др.), приходящие из космической среды. Частицу, влетающую в атмосферу Земли будем называть первичной частицей. Первичная частица взаимодействует с атмосферой (в основном с ядрами атомов азота), рождая вторичные частицы. Если энергия первичной частицы велика  $\gtrsim 10^{15}$  эВ, то в первом и последующих взаимодействиях рождаются миллионы вторичных частиц, часть из которых достигает Земли. Это явление называется широким атмосферным ливнем (ШАЛ). При сверхвысоких энергиях первичной частицы,  $E \sim 10^{20}$  эВ  $\sim 20$  Дж, вторичные частицы распределяются по земной поверхности довольно широко — на площади в несколько десятков квадратных километров.

Регистрация ШАЛ представляет научный интерес, так как позволяет восстанавливать свойства первичной частицы (энергию, тип частицы, направления прихода), представляя окно для наблюдения Вселенной в высшем когда-либо наблюдаемом диапазоне энергий. Для регистрации ливней существуют несколько методов, одним из которых является построение наземной решетки небольших детекторов (площадь  $\sim 1\text{ м}^2$ ), размещенных на расстоянии 300-1500 м. друг от друга. Каждый детектор регистрирует все попавшие на него вторичные частицы ливня (что в сумме составляет малую долю от всех частиц, достигших Земли). По показаниям индивидуальных детекторов восста-

навливается функция распределения плотности частиц, которая позволяет судить об энергии первичной частицы.

Действующими примерами установок, содержащих наземную решетку детекторов служат Якутская комплексная установка ШАЛ в России (<http://ikfia.ysn.ru/>), обсерватория Pierre Auger в Аргентине (<http://www.auger.org/>) и эксперимент Telescope Array в США (<http://www.telescopearray.org/>).

1. **Оптимальная форма детектора.** Предположим для простоты, что вторичные частицы на уровне Земли распределены по направлениям изотропно в телесном угле  $2\pi$  (то есть приходят сверху вниз с зенитными углами от 0 до  $\pi/2$ ). Определить оптимальную форму одного детектора, считая его площадь регистрирующей поверхности  $S$  фиксированной.

*Указание 1:* Оптимальным считается детектор, который зарегистрирует большее количество вторичных частиц.

2. **Оптимальная решётка детекторов.** При заданной, спадающей с расстоянием  $R$  от центра ливня, функции распределения плотности числа частиц  $f(R)$ , найти оптимальную конфигурацию решётки фиксированного (большого) числа одинаковых детекторов. Детекторы считать плоскими горизонтальными прямоугольными параллелипипедами, высотой 1 см и площадью  $S$ . Считается, что ливень зарегистрирован, если сработало три или более детекторов. Детектор считается сработавшим, если на него попало три или более частицы, принадлежащие ливню. Оптимальной считается решетка, которая регистрирует большее количество событий с энергией выше заданной  $E$ .

*Указание 2:* Считать число частиц, попавших на детектор, случайной величиной, распределенной по Пуассону со средним значением, вычисленным с помощью известной функции пространственного распределения (ФПР)  $f(R)$ .

*Указание 3:* Спектр космических лучей известен — он падает с энергией степенным образом. Поток космических лучей считать изотропным.

3. **Уточнение оптимальной формы детектора.** На практике вторичные частицы распределены неизотропно. Распределение вторичных частиц по зенитным углам — известная функция, зависящая от энергии, направления прихода первичной частицы и расстояния до оси ливня. Определить оптимальную форму одного детектора.
4. **Потенциал одной школы.** Поместим на крышу школы 5 детекторов площади  $S$  много меньшей площади крыши. Используя знания, приобретённые при решении пункта 2, определить, к космическим лучам каких энергий будет чувствителен

такой эксперимент. Оценить количество событий, с энергией выше заданной, регистрируемых такой установкой за год.

5. **Потенциал школ г. Троицк** Найдите на карте расположение общеобразовательных школ г. Троицк Московской области. Считая, что на крыше каждой школы расположено по одному детектору, ответить на вопросы пункта 4.
6. **Потенциал школ г. Москва** То же, что и в пункте 5, но для школ г. Москва. Сравните с потенциалом действующих экспериментов, указанных в аннотации.