

Исследование поглощения вторичного космического излучения в веществе

Илларионов Владислав
группа Б04-855

ВВЕДЕНИЕ

В результате взаимодействия протонов первичного излучения с ядрами атомов воздуха в атмосфере Земли происходит расщепление ядер и рождение π^\pm -мезонов и π^0 -мезонов. Распад заряженных π^\pm -мезонов приводит к образованию жесткой компоненты вторичного космического излучения, а распад нейтральных пионов π^0 – к образованию мягкой (электронно-фотонной) компоненты.

В данной работе по измерениям зависимости интенсивности космического излучения в лаборатории от толщины поглотителя (пластины свинца) определяются эффективные длины поглощения мягкой и жесткой компонент космики, а также абсолютные значения их вертикальных интенсивностей.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Космические лучи – поток частиц высокой энергии, преимущественно протонов, приходящих на Землю из мирового пространства (первичное излучение), а также рожденное ими в атмосфере Земли из-за взаимодействия с атомными ядрами вторичное излучение. Результатом этого взаимодействия преимущественно происходит рождение пионов, распад которых приводит к образованию мюонов и гамма-квантов:

$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \\ \pi^0 &\rightarrow \gamma + \gamma\end{aligned}$$

Жесткая компонента в основном состоит из мюонов, которые не участвуют в ядерных (сильных) взаимодействиях и практически не теряют своей энергии за счет тормозного излучения. Их энергия тратится только на ионизацию вещества. Ионизационные потери релятивистских мюонов слабо зависят от состава вещества и фактически определяются лишь поверхностной плотностью поглотителя.

В отличие от мюонов, потеря энергии высокоэнергичными фотонами обусловлена процессом рождения пар в веществе, а электроны теряют свою энергию за счет тормозного излучения. Образовавшиеся фотоны с большой вероятностью снова рожают электрон-позитронные пары. Так, быстро образуется лавина. С увеличением толщины поглотителя, все больше выбывает электронов и позитронов, в следствие чего уменьшается количество регистрируемых частиц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Основой измерительной установки является телескоп, ориентированный вертикально и отбирающий для регистрации лишь те частицы, которые приходят в определенном направлении внутри телесного угла, определяемого геометрией детекторов.

TODO: разобраться, описание какой установки использовать

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

Количество частиц N , регистрируемых счетчиком, как дискретная случайная величина, может быть описана распределением Пуассона ($\lambda = N$). Тогда относительная погрешность определения N будет равна:

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Производится серия измерений зависимости количества регистрируемых импульсов от толщины поглотителя за определенное время. Замеры ведутся одновременно на двух установках, после чего производится анализ полученных данных. Для каждого значения толщины поглотителя берется среднее значение количества импульсов в секунду.

По полученным данным аппроксимируем убывание количества частиц жесткой компоненты прямой линией, после чего вычитаем из общего количества частиц значения аппроксимирующей прямой. Так, получим количество частиц для мягкой компоненты вторичного излучения.

Также проводим аппроксимацию общего количества частиц и полученных ранее значений мягкой компоненты экспоненциальной функцией вида:

$$f(x) = Ae^{-\frac{x}{B}} + C, \quad A, B, C = \text{const}$$

Тогда из формулы (??) можем найти длину свободного пробега как: $\lambda = \rho B$, где ρ – плотность поглотителя (свинца).

Для подсчета длины свободного пробега жесткой компоненты вычтем из общего числа частиц значение аппроксимации мягкой компоненты и снова аппроксимируем полученные значения все той же экспоненциальной функцией.

Телесный угол, охватываемый телескопом будем вычислять, как:

$$\Omega = \frac{4S}{l^2},$$

где $S = ab$, – площадь пластины поглотителя. Телесный угол используется для расчета интенсивностей мягкой и жесткой компонент.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ

В связи с ограниченностью времени, отведенного на эксперимент, установим время одного измерения на 720 секунд. Также заметим, что при регистрации более 100 частиц, статистическая погрешность будет менее 10%.

Проведем серию измерений на двух установках, экспериментальные данные занесем в таблицы I-II. На основе полученных данных построим график зависимости количества частиц в единицу времени от толщины поглотителя (рис. ??).

Далее построим графики для мягкой компоненты (рис. ??) и жесткой (рис. ??). Из аппроксимации рассчитаем длины свободного пробега:

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= 5.93 \cdot 11.34 \approx 67.2 \pm 17.6 \frac{\Gamma}{\text{см}^2} \\ \lambda_{soft} &= 3.01 \cdot 11.34 \approx 34.1 \pm 15.9 \frac{\Gamma}{\text{см}^2} \\ \lambda_{hard} &= 16.33 \cdot 11.34 \approx 185.2 \pm 48.6 \frac{\Gamma}{\text{см}^2}\end{aligned}$$

Также рассчитаем телесный угол, из которого регистрируются частицы вторичного излучения:

$$\Omega = \frac{4 \cdot 8.4 \cdot 30}{39^2} = 0.66 \pm 0.03 \text{ стер}$$

Интенсивности рассчитаем по формуле:

$$\begin{aligned}I_{soft} &= \frac{N_{soft}}{S\Omega t} = 2 \pm 1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{частиц}}{\text{см}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{с}} \\ I_{hard} &= \frac{N_{hard}}{S\Omega t} = 12.5 \pm 1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{частиц}}{\text{см}^2 \cdot \text{стер} \cdot \text{с}}\end{aligned}$$

ВЫВОД

ТАБЛИЦЫ

Таблица I. Данные с первой установки

t , с	N , шт	$N_{\text{пласт}}$, шт
720	153	1
720	152	2
720	146	3
720	139	4
720	129	5
720	118	6
720	127	7
720	146	8
720	125	9
720	128	7
720	125	8
720	179	0
720	125	6
720	177	1

Таблица II. Данные со второй установки

t , с	N , шт	$N_{\text{пласт}}$, шт
900	216	0
900	209	1
900	179	2
600	127	3
600	104	3
600	117	4
600	121	4
600	108	5
600	124	6
600	92	7
600	87	8
600	116	9
600	106	9
600	100	8
600	118	6