

ФИЗИКА

Х. П. Бабаян, Н. Л. Григоров, Э. А. Мамиджян и В. Я. Шестоперов

Высотный ход нуклонов высокой энергии в атмосфере

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 25/IX 1963)

При исследовании характеристик взаимодействий нуклонов высокой энергии с веществом особое значение имеет определение пробега поглощения нуклонов в веществе — $L_{н.п.}$.

Настоящая работа посвящена определению $L_{н.п.}$ в атмосфере. В последнее время многими авторами и разной экспериментальной методикой (ионизационные камеры (1), стопки фотоэмульсий (2)) был определен пробег поглощения ядерно-активных частиц с энергией $\geq 10^{12}$ эв в атмосфере. По данным работ (1-2), $L_{н.я.а.} \sim 125$ г/см². Нами был определен $L_{н.я.а.}$ из высотного хода молодых атмосферных ливней (м.а.л.). Выполненные нами расчеты показали, что в глубине атмосферы пробег поглощения ядерно-активной компоненты определяется только поглощением нуклонной компоненты — $L_{н.я.а.} = L_{н.п.}$ —, несмотря на то, что доля π^\pm -мезонов в глубине атмосферы среди частиц с энергией $\geq 10^{12}$ эв может достигать 40% и более от потока нуклонов.

Работа была выполнена на высотах 200 и 3250 м над уровнем моря с установкой, параметры которой подробно описаны в ряде работ (напр., (3)).

Установка имела рабочую площадь 10 м² и состояла из шести рядов ионизационных камер (I—VI), длиной 330 см и диаметром 10 см каждая. Камеры V и VI рядов находились под свинцовыми фильтрами, толщина которых в разных сериях опытов варьировалась так, чтобы один из этих рядов находился под слоем свинца толщиной 3 см. (По камерам этого ряда велся отбор ливней). Ряды камер I—IV находились под комбинированным фильтром из графита и свинца. В индивидуальных камерах можно было измерять ионизацию, эквивалентную прохождению по диаметру от ~ 200 до ~ 70.000 релятивистских частиц.

Измерение ионизации в камерах производилось только при возникновении управляющего сигнала, запускавшего систему опроса всех камер и регистрации амплитуд ионизационных импульсов.

Для выработки управляющего сигнала требовалось, чтобы в камерах V и VI рядов одновременно возникла ионизация (суммарная

по ряду), превосходящая 85 ± 0 релятивистских частиц. Из всех случаев срабатывания установки были отобраны такие события, когда в верхнем ряду камер, находящемся под слоем свинца толщиной 3 см суммарная ионизация по ряду $I_0 \geq 1,2 \cdot 10^4$ частиц. При этом не менее 60% ионизации, зарегистрированной всем рядом, было сосредоточено в m камерах, где $m \leq 6$ для высоты 3250 м и ≤ 4 для высоты 200 м. (На причине неодинаковых критериев отбора на разных высотах мы остановимся далее).

Ось ливня мы определяли как место с максимальной величиной ионизации под слоями свинца толщиной в 2—4 см. Камеры V ряда позволяли найти координату оси ливня в одной плоскости, а камеры VI ряда — в другой, так как оси камер обоих рядов были взаимно перпендикулярны.

Чтобы уменьшить ошибку в определении энергии ливня и, следовательно, дискриминацию в их числе, связанную с падением оси ливня близко к краю установки, отбирались только те ливни, оси которых находились от краев установки на расстояниях больших чем $\frac{m}{2} 10$ см.

По нашим оценкам, толчок в I_0 релятивистских частиц в ряду камер под 3 см свинца вызывался электронно-фотонной компонентой с энергией $1,4 \cdot 10^6 I_0$ эв (т. е. при $I_0 = 1,2 \cdot 10^4$ частиц $E_{э.ф.} = 1,7 \cdot 10^{12}$ эв).

Всего было зарегистрировано 279 ливней на высоте 3250 м и 37 ливней на высоте 200 м над уровнем моря.

Зная число ливней $N(m; > I_0)$ с данным m , упавших за известное время наблюдения на площадь $S(m)$, можно определить абсолютную частоту ливней — $\nu(m; > I_0)$ —, создающих под 3 см Pb суммарную ионизацию $I_0 \geq 1,2 \cdot 10^4$ частиц. $\nu(m \leq 6, I_0 \geq 1,2 \cdot 10^4 \text{ частиц}) = (12,3 \pm 0,74) \times 10^{-10} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ для высоты 3250 м и $\nu(m \leq 4, I_0 \geq 1,2 \cdot 10^4 \text{ частиц}) = (0,74 \pm 0,12) \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ для высоты 200 м.

Как видно из вышеприведенных данных, при переходе от уровня моря к высоте 3200 м, интенсивность отобранных ливней возрастает в 14—16 раз, т. е. растет с высотой так же, как растет интенсивность ядерной компоненты космических лучей.

Проведенный анализ экспериментальных данных показал, что м.а.л. зарождаются в одном акте взаимодействия в ограниченном слое атмосферы над установкой. Причем толщина эффективного слоя, в котором они генерируются, определяется энергией регистрируемых м.а.л. и условием их регистрации (числом камер m , на которые падает заданная доля энергии м.а.л.). Поэтому, при фиксированных значениях $E_{э.ф.}$ и m , изменение с глубиной атмосферы частоты регистрируемых м.а.л. будет определяться только пробегом $L_{п.я.л.}$.

Для получения пробега поглощения потока ядерно-активных частиц, генерирующих м.а.л., нужно в экспериментальные данные

измеренной на двух высотах интенсивности ν внести следующие поправки.

1. Поправку на различное угловое распределение м.а.л. на уровне моря и высоте гор

$$N_{\text{м.а.л.}}(\geq E_{\text{э.ф.}}, x, \theta) d\omega = N_{\text{м.а.л.}}(\geq E_{\text{э.ф.}}, x, 0) \cos^n \theta d\omega, \quad (1)$$

где $n = \frac{x}{L_{\text{п.я.а.}}}$. С учетом геометрии установки полное число регистрируемых на данной глубине м.а.л. будет равно:

$$N_{\text{м.а.л.}}(\geq E_{\text{э.ф.}}, x, m) = \frac{2\pi}{n+2} N_{\text{м.а.л.}}^0(\geq E_{\text{э.ф.}}, x, m) = \frac{A(E_{\text{э.ф.}})}{n+2} e^{-\frac{x}{L_{\text{п.я.а.}}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{м.а.л.}}^0(\geq E_{\text{э.ф.}}, x, m)$ — число м.а.л. с энергией $\geq E_{\text{э.ф.}}$ на глубине x , падающих на установку в вертикальном направлении в единице телесного угла. Заменяя n на $\frac{x}{L_{\text{п.я.а.}}}$, получим:

$$\frac{N_{\text{м.а.л.}}(\geq E_{\text{э.ф.}}, x_1, m)}{N_{\text{м.а.л.}}(\geq E_{\text{э.ф.}}, x_2, m)} = \frac{\frac{x_2}{L_{\text{п.я.а.}}} + 2}{\frac{x_1}{L_{\text{п.я.а.}}} + 2} e^{\frac{(x_1-x_2)}{L_{\text{п.я.а.}}}} \quad (3)$$

2. Поправку на различную плотность атмосферы на уровнях моря и гор, что приводит к несколько различной доле энергии, регистрируемой в виде м.а.л. Поэтому мы отобрали ливни, в которых более 60% ионизации в камерах под 3 см Рb содержится в ≤ 4 камерах на высоте 200 м и в ≤ 6 камерах на высоте 3250 м над уровнем моря. Но и при выполнении этого условия еще не будет достигнута полная идентичность установок и системы отбора на разных высотах. При одинаковой функции пространственного распределения потока энергии для ливня с данной энергией $E_{\text{э.ф.}}$ и m , одинаковые энергии м.а.л. будут падать на площади установок S на уровне моря и $\left(\frac{1000 \text{ г/см}^2}{700 \text{ г/см}^2}\right)^2 S$ на высоте гор. Наши измерения проводились с установкой одной и той же площади $S = 10 \text{ м}^2$ на обеих высотах. Поэтому на высоте гор в некоторых м.а.л. (с не очень круто спадающей функцией пространственного распределения плотности потока энергии) часть энергии $E_{\text{э.ф.}}$ мы недомеряли и, следовательно, занижали число м.а.л. с данной энергией $E_{\text{э.ф.}}$. Как показал анализ экспериментальных данных, поправка на общее число м.а.л. с $m \leq 6$ составляет 7,4%. Экспериментально определенная частота м.а.л. с $m \leq 6$ на высоте 3250 м над уровнем моря равна $(12,3 \pm 0,74) \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$; с поправкой в 7,4% она будет равна $(13,2 \pm 0,8) \cdot 10^{-10} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$.

3. Поправку на вклад μ -мезонов в толчки в V и VI рядах камер, имитирующие м.а.л.

Уже один тот факт, что частота м.а.л. растет в $14 \div 16$ раз от уровня моря до высот гор, показывает, что μ -мезоны в процессе образования м.а.л. играют небольшую роль. Как показал проделанный нами анализ экспериментальных данных, вклад мюонов в отобранные события на высоте 3250 м не превышает 1% всех м.а.л. На уровне же моря вклад μ -мезонов в генерацию событий, имитирующих молодые атмосферные ливни, составляет 15%. Следовательно, с поправкой на мюоны истинное число м.а.л. на уровне моря $N_{\text{м.а.л.}}(E_{\text{э.ф.}} \geq 1.7 \cdot 10^{12} \text{ эв}, m \leq 4) = (6,4 \pm 1,2) \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ ($\nu(m \leq 4, I_0 > 1,2 \times 10^4 \text{ частиц}) = (7,4 \pm 1,2) \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$).

С учетом указанных поправок, пользуясь выражением (3), получим $L_{\text{п.в.а.}} = L_{\text{п.н.}} = 109 \pm 8 \text{ г/см}^2$.

Т. е. пробег поглощения в нижних слоях атмосферы нуклонов с энергией $E \geq 2 \cdot 10^{12} \text{ эв}$ равен $109 \pm 8 \text{ г/см}^2$.

Если пробег для взаимодействия $L_{\text{вз}}$ нуклонов в атмосфере равен 80 г/см^2 , то $L_{\text{п.н.}} = 109 \text{ г/см}^2$ соответствует среднему коэффициенту неупругости нуклонов $\bar{K} = 0,5$. Если $L_{\text{вз}} = 90 \text{ г/см}^2$, то $\bar{K} = 0,6$.

Институт физики ГКАЭ (Ереван) НИИЯФ, МГУ,
Ереванский государственный университет

Խ. Պ. ԲԱԲԻՅԱՆ, Ն. Լ. ԳՐԻԳՈՐՈՎ, Է. Ա. ՄԱՍԻՋԱՆՅԱՆ ԵՎ Վ. Յ. ՇԵՍՏՈՊՅՈՐՈՎ

Քաղաքի էներգիայով օժտված հուկլոնների կլանման վազերի ուղղումը
մթնոլորտում

Նրիտաւարդ մթնոլորտային հեղեղների ուսումնասիրութիւնը ծովի մակերևութի
և նրանից 3200 մ. բարձրութեան վրա, հնարավորութիւն է տալիս որոշելու $E \geq 1,7 \cdot 10^{12}$
է. վ. էներգիայով օժտված նուկլոնների կլանման վազեր մթնոլորտի ստորին շերտերում
 $L_{\text{պ.ն.}} = 109 \pm 8 \text{ ր/սմ}^2$.

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ О. И. Довженко, Г. Т. Зацепин., Е. А. Мурзина, С. И. Никольский, В. И. Яковлев. Труды Международной конференции по космическим лучам, т. II, стр. 144, М., 1960. ² Дж. Дьюти, С. М. Фишер, П. К. Фаулер, А. Каддаура, Д. Х. Перкинс, К. Пинкау, Труды Международной конференции по космическим лучам, т. I, стр. 28, М., 1960. ³ Н. Л. Григоров, М. А. Кондратьева, А. И. Савельева, В. А. Собиняков, А. В. Подгурская, В. Я. Шестоперов, Труды Международной конференции по космическим лучам, т. I, стр. 122, М., 1960.