

ФЛУКТУАЦИИ ПОТОКА МЮОНОВ В ШАД

Н. В. Кабанова, Н. Х. Георгиев ^{*)}, Й. Н. Стаменов ^{*)},
Д. Капарски ^{*)}, И. Киров ^{*)}, С. З. Удев ^{*)}, В. Д. Янничев ^{*)}

УДК 537.591.15

Исследуются флуктуации плотности потока мюонов с $E_\mu > 5$ ГэВ и $E_\mu > 0,5$ ГэВ в широких атмосферных ливнях с первичной энергией $\sim 10^{15}$ эВ. Анализируются современные экспериментальные данные о флуктуации потока мюонов с $E_\mu \in \{0,5 - 10\}$ ГэВ, полученные на уровне моря и горных высотах.

Экспериментальное и теоретическое исследование флуктуаций мюонного потока в ШАД проводится уже много лет, что связано с надеждой получить информацию о химическом составе первичного космического излучения.

Обычно исследуются флуктуации потока мюонов в ливнях с заданным числом частиц $N_e = \text{const} / 1, 2, 3/$. Физически в эксперименте измеряются либо числа мюонов n_μ , зарегистрированных детектором заданной чувствительной площади $/3/$, либо плотность потока в заданном интервале расстояний от оси $r_\mu = \text{const} / 2/$, либо определяется полное число мюонов в индивидуальном ливне по измеренной плотности ρ_μ с учетом средней функции пространственного распределения $\psi_\mu(r_\mu) / 1/$. Таким образом в результате экспериментальных исследований на уровне моря и горных высотах получаются распределения $w(n_\mu)$, $w(\rho_\mu)$, $r_\mu = \text{const}$ и $w(N_e)$ при $N_e = \text{const}$, параметры которых характеризуют флуктуации потоков мюонов в ливнях.

Нами исследовались флуктуации потоков мюонов с энергиями

^{*)} Институт ядерной физики и ядерной энергии Болгарской Академии Наук

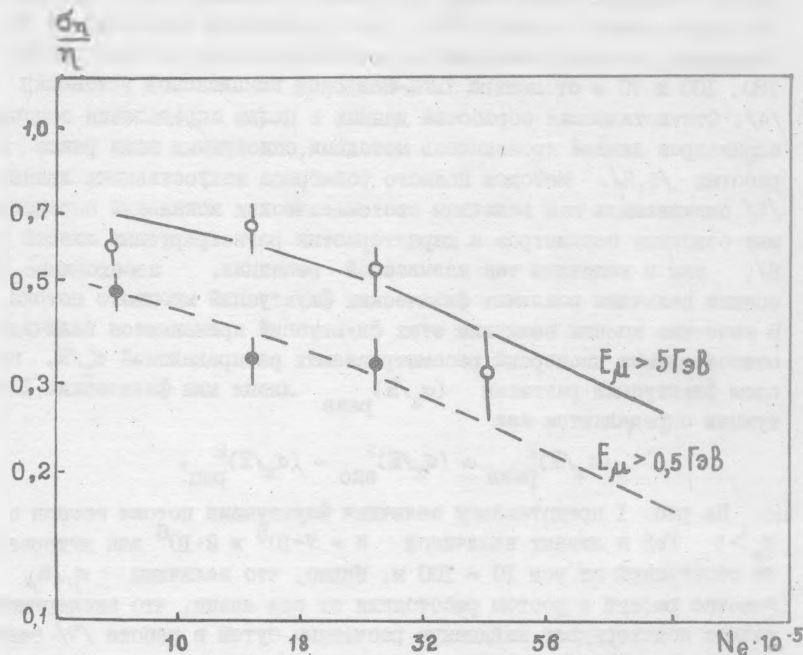
$E_{\mu} > 5$ и $E_{\mu} > 0,5$ ГэВ в ливнях с числом частиц $5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^6$ с осями под углом $\theta < 30^{\circ}$ и $\theta < 60^{\circ}$. Характеристики потоков мюонов с $E_{\mu} > 5$ и $E_{\mu} > 0,5$ ГэВ определялись соответственно с помощью подземного годоскопического устройства эффективной площадью 53 м^2 и с помощью периферийного мюонного детектора площадью 25 м^2 . При этом комплексная установка управлялась как центральной управляющей системой ЦЕМА, так и мобильной периферийной управляющей системой, находившейся последовательно на расстояниях 150, 100 и 70 м от центра Тянь-Шаньской комплексной установки /4/. Статистическая обработка данных с целью определения основных параметров ливней проводилась методами, описанными нами ранее в работах /5,6/. Методом полного розыгрыша искусственных ливней /5/ оценивались как величины систематических искажений определяемых основных параметров и характеристик регистрируемых ливней /5, 6/, так и величины так называемой рецессии, необходимые для оценки величины реальных физических флуктуаций мюонного потока. В качестве оценки величины этих флуктуаций применяются величины относительных дисперсий рассматриваемых распределений σ_x/\bar{x} , при этом флуктуации развития $(\sigma_x/\bar{x})_{\text{раз}}$ ливня или физические флуктуации определяются как

$$(\sigma_x/\bar{x})_{\text{раз}}^2 = (\sigma_x/\bar{x})_{\text{экс}}^2 - (\sigma_x/\bar{x})_{\text{рец}}^2.$$

На рис. 1 представлены величины флуктуации потока мюонов с $E_{\mu} > 5$ ГэВ в ливнях величиной $N = 7 \cdot 10^5$ и $2 \cdot 10^6$ для интервала расстояний от оси 10 - 100 м. Видно, что величины $\sigma_{\mu}/\bar{\mu}_{\mu}$ заметно растут с ростом расстояния от оси ливня, что экспериментально подтверждает найденную расчетным путем в работе /7/ зависимость $\sigma_{\mu}/\bar{\mu}_{\mu} \sim F(r_{\mu})$ и находится в согласии с результатами аналогичных измерений, проведенных на уровне моря /8/.

В настоящей работе оценивались величины относительных дисперсий флуктуационных распределений потока мюонов с $E_{\mu} > 5$ ГэВ $w(\mu_{\mu})$, $w(p_{\mu}/\bar{p}_{\mu})$, $w(p_e/\bar{p}_e)$, $r_{\mu} = \text{const}$, где μ_{μ} - число мюонов, зарегистрированных детектором, p_{μ} , p_e - плотность потока мюонов и электронов на заданном расстоянии $r_{\mu} = \text{const}$, в ливнях с заданным числом частиц $N_e = \text{const}$. Как видно из рис. 2, полученные из таких распределений оценки величины флуктуаций развития мюонной компоненты ливня для расстояния $\bar{r}_{\mu} = 70$ м в границах одной стандартной ошибки не различаются и кроме этого показывают тенденцию

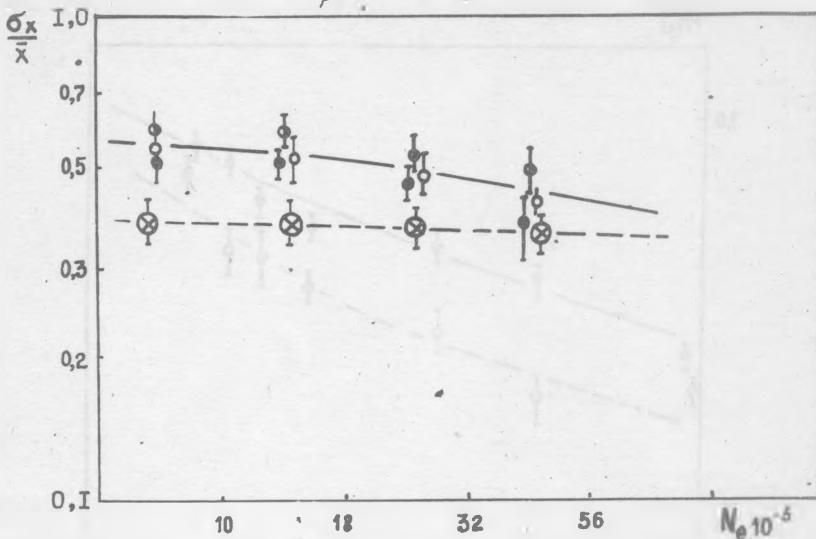
к уменьшению с ростом мощности ливня. Оценки флуктуаций, полученные методом, описанным в /9/, по нашему мнению оказываются несколько заниженными из-за недооценки особенности формы экспериментальных распределений, хотя в интервале двух статистических ошибок противоречия в этих оценках не наблюдается.



Р и с. 1. Зависимость величины флуктуации потока мюонов с $E_\mu > 5 \text{ ГэВ}$ от расстояния до оси ливня: $\bar{r}_\mu - N_e = 7 \cdot 10^5$, $\bar{r}_\mu - N_e = 2 \cdot 10^6$

Флуктуации потоков мюонов с $E_\mu > 5 \text{ ГэВ}$ и $E_\mu > 0,5 \text{ ГэВ}$ исследованы на расстоянии $\bar{r}_\mu = 100 \text{ м}$ от оси в ливнях величиной $5,6 \times 10^5 - 5,6 \cdot 10^6$. Как видно из рис. 3, флуктуации потока мюонов с $E_\mu > 0,5 \text{ ГэВ}$ несколько меньше флуктуаций потока с $E_\mu > 5 \text{ ГэВ}$. Этот факт подтверждает найденную в модельном расчете /7/ аналогичную тенденцию к увеличению флуктуаций потока мюонов с ростом пороговой энергии регистрации в ливнях с заданным числом частиц.

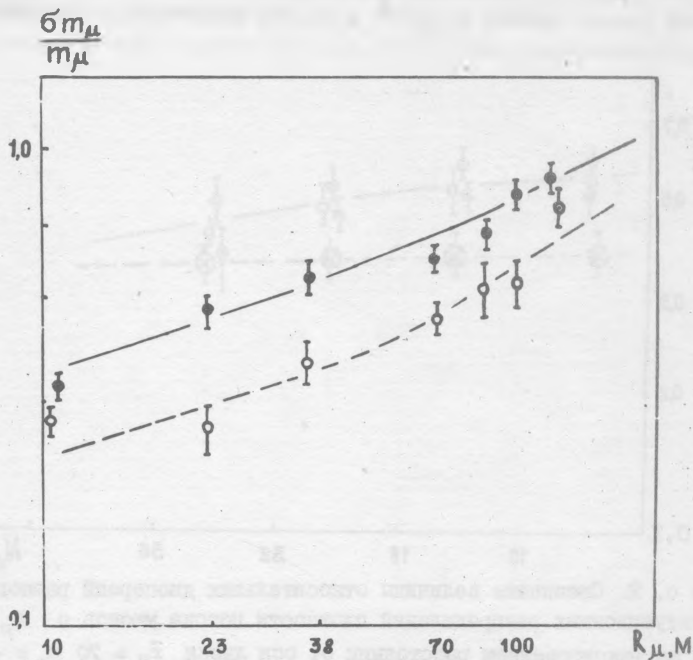
На рис. 4 проведено сравнение полученных нами данных о флуктуации $\sigma_{N_\mu}/\bar{N}_\mu$ полного числа мюонов с $E_\mu > 5$ ГэВ в ливне с данными для уровня моря для пороговых энергий $E_\mu > 5,6$ ГэВ /9/ и $E_\mu > 10$ ГэВ /1/. Исходя из заключения работы /8/ сравнение флуктуаций потоков мюонов с $E_\mu > 5$ и 10 ГэВ правомерно, поскольку



Р и с. 2. Сравнение величины относительных дисперсий разного типа флуктуационных распределений плотности потока мюонов с $E_\mu > 5$ ГэВ на фиксированном расстоянии от оси ливня $\bar{r}_\mu = 70$ м, \bullet - $w(\rho_\mu)$, \circ - $w(\rho_\mu/\bar{\rho}_\mu)$, \otimes - $w(\rho_\mu/\rho_e)$.

из-за практической независимости показателя α от E в выражении $N_\mu \sim N_e^\alpha$ они должны быть достаточно близки. Из рис. 4 видно, что действительно оценки $\sigma_{N_\mu}/\bar{N}_\mu$ для уровня и уровня гор в границах двух статистических ошибок не различаются между собой. Формально однако можно утверждать, что в ливнях величины $N_e = 10^6$ флуктуации мюонного потока с $E_\mu > 10$ ГэВ на уровне моря примерно в 1,25 раза больше, чем аналогичные флуктуации потока с

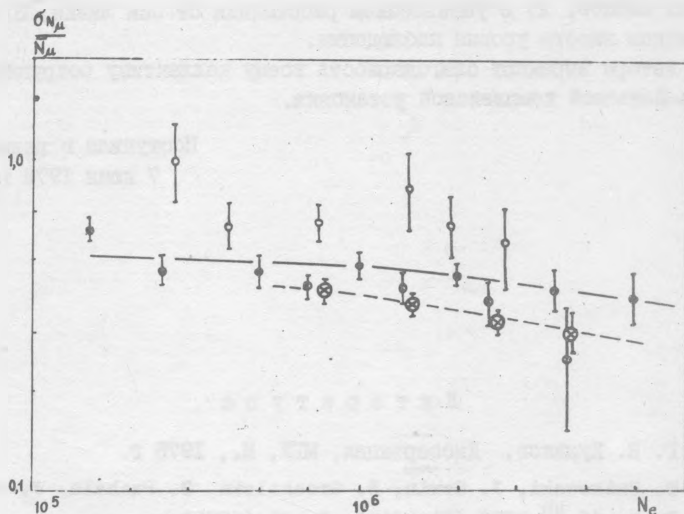
$E_{\mu} > 5$ ГэВ на уровне гор. Полученные для уровня моря оценки флуктуаций потока мюонов с $E_{\mu} > 5,6$ ГэВ, хотя и несколько завышены (возможно, из-за недооценки флуктуаций реченции), не противоречат результатам, полученным на установке МГУ /1/.



Р и с. 3. Зависимость величины флуктуации плотности потока мюонов от энергии мюонов и мощности ливня

Анализируя результаты современных экспериментальных исследований флуктуации потока мюонов с $E_{\mu} > 0,5 - 10$ ГэВ, полученных как на уровне моря, так и на горных высотах, можно прийти к выводу, что относительные дисперсии флуктуационных распределений увеличиваются с ростом расстояния от оси ливня и наблюдается тенденция к их уменьшению в ливнях нарастающей мощности. Используемые в нашей работе флуктуационные распределения $w(m_{\mu})$,

$W(\rho_\mu/\bar{\rho}_\mu)$. $r_\mu = \text{const}$ и $W(\rho_\mu/\rho_e)$, $r_\mu = \text{const}$ в ливнях заданной мощности $N_e = \text{const}$ дают неразличающиеся между собой оценки величины физических флуктуаций мюонной компоненты с $E_\mu > 5$ ГэВ на уровне гор. С другой стороны величины относительных дисперсий



Р и с. 4. Сравнение величины флуктуации полного числа мюонов, измеренных на уровне моря и гор: о - работа /9/, • - работа /1/,
•, • - настоящая работа

(σ_x/\bar{x}) флуктуационных распределений слабо зависят от пороговой энергии регистрируемого мюонного потока E_μ , при этом с ростом E_μ растут и значения (σ_x/\bar{x}) .

Сравнение результатов современных работ по исследованию флуктуаций потоков мюонов, проведенных на уровне моря с помощью комплексной установки МГУ и установки Лодзь, с нашими данными полностью подтверждает сделанные нами выше выводы. При этом необходимо отметить, что величины относительных дисперсий флуктуационных распределений мюонного потока с $E_\mu > 5 - 10$ ГэВ на уровне моря всего на $(20 \pm 10)\%$ больше, чем на уровне гор в ливнях величины 10^6 .

Полученные на установке Чакалтая /10/ узкие флуктуационные распределения потоков мюонов с $E_{\mu} > 0,5$ ГэВ соответствуют отмеченному выше уменьшению величин относительных дисперсий флуктуационных распределений 1) с уменьшением пороговой энергии регистрации мюонов, 2) с уменьшением расстояния от оси ливня, 3) с увеличением высоты уровня наблюдения.

Авторы выражают благодарность всему коллективу сотрудников Тянь-Шаньской комплексной установки.

Поступила в редакцию
7 июня 1978 г.

Л и т е р а т у р а

1. Г. В. Куликов, Диссертация, МГУ, М., 1975 г.
2. T. Dzikowski, J. Gawin, B. Grochalska, S. Pachala, J. Wdowczyk, Proc. 15th ICRC (Plovdiv), 8, 46 (1977).
3. Л. Г. Деденко, Н. В. Кабанова, С. И. Никольский, Й. Н. Стаменов, В. Д. Янминчев, Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 14 (1975).
4. Н. Георгиев, Й. Стаменов, В. Янминчев, В. П. Бобова, Н. В. Кабанова, В. А. Ромакин, изв. АН СССР, сер. физ., 38, № 5, 1079 (1974).
5. Н. М. Никольская, Й. Н. Стаменов, Препринт № 124, ФИАН, 1975 г.
6. Н. М. Никольская, Й. Н. Стаменов, Препринт № 125, ФИАН, 1975 г.
7. J. F. De Beer, B. Holyoak, J. Wdowczyk, A. W. Wolfendale, Proc. Phys. Soc., 82, 567 (1966); J. F. De Beer et. al., J. Phys. A. ser. 2, 1, 72 (1968).
8. T. Dzikowski, J. Gawin, B. Grochalska, S. Pachala, J. Wdowczyk, J. Phys. G: Nucl. Phys., 3, 11 (1977).
9. J. Stamenov, V. D. Janminchev, et. al., Proc. 15th ICRC (Plovdiv), 8, 123 (1977).
10. K. Suga et. al., Acta Phys. Hung., 29, Suppl. 3, 423 (1970).