

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ДИМЮОННЫХ СОБЫТИЙ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА ПОДЗЕМНОЙ УСТАНОВКЕ ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ СТАНЦИИ

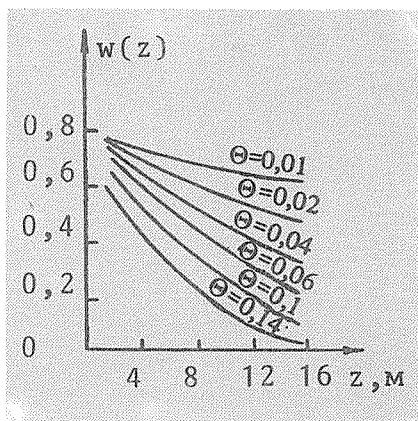
С.П. Бесшапов, Ю.Н. Вавилов, В.В. Любченко

УДК 539.126.33

Показано существование двух различных процессов генерации мюонных пар в широких атмосферных ливнях (ШАЛ). Указана возможность для интерпретации одного из них, ранее обсуждавшегося в работах [3, 5].

В работах [1 — 4] был обнаружен эффект избытка над фоном мюонных пар в области границы плотного вещества и воздуха, который объясняется генерацией пар адронами ШАЛ в ядерном каскаде в плотном веществе при их взаимодействиях с рождением очарованных частиц и с последующим распадом с участием мюона. В данной работе проведено дальнейшее исследование мюонных пар на основании анализа их геометрических характеристик. Эти характеристики важны при постановке подобных экспериментов.

Некоторые характеристики установки (описанной в работе [1]). Регистрация мюонных пар осуществлялась системой искровых камер, входящих в комплексную установку Тянь-Шаньской станции ФИАН.



Р и с. 1. Зависимость эффективности регистрации мюонной пары от высоты ее генерации для различных углов раствора пары.

В работе /4/ получена эффективность регистрации мюонной пары как функции угла раствора пары и высоты ее генерации (рис. 1). На рис. 2 даны распределения мюонных пар по углу между ними, полученные в эксперименте и рассчитанные для случайных пересечений траекторий мюонов ШАЛ в предположении, что вероятность прохождения мюона по всей площади установки одинакова, а угловое распределение между мюонами имеет вид $p(\Theta)d\Theta = \beta \exp(-\beta\Theta)d\Theta$ (/1/) для высот Z пересечения траекторий мюонов относительно искровых камер от 0 до 30 м.

Результаты эксперимента. Из рис. 2 видно, что с вероятностью $\sim 95\%$ существует избыток мюонных схождения выше искровых камер над схождениями ниже искровых камер при $\Theta \geq 100$ мрад, $a_0 \leq 4$ мрад, где a_0 критерий неконпланарности /1/. В табл. 1 представлено распределение вершин событий с $\Theta \geq 100$ мрад по высоте.

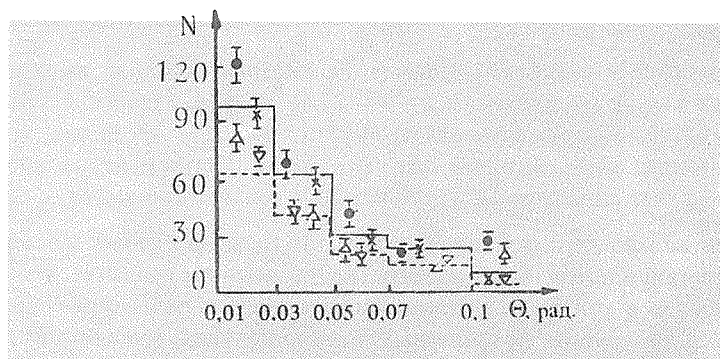


Рис. 2. Распределение мюонных пар по углу раствора Θ для расстояний от места пересечения траекторий двух мюонов до оптической плоскости искровых камер 0 - 30 м. Сплошная линия - расчет для $a_0 \leq 6$ мрад; пунктир - расчет для $a_0 \leq 4$ мрад; \bigcirc \bigcirc - количество схождения выше (ниже) оптической плоскости для $a_0 \leq 6$ мрад; \triangle \triangle - количество схождения выше (ниже) оптической плоскости для $a_0 \leq 4$ мрад.

В отличие от ранее упоминавшегося эффекта /1 - 4/ избытка мюонных пар в верхнем слое грунта, расположенном над искровыми камерами, и в наземном ионизационном калориметре, в данном случае вершины распределены на больших глубинах. Поэтому имеет смысл говорить о двух эффектах, зарегистрированных на установке: одного - связанного с рождением мюонных пар в калориметре и верхнем слое грунта толщиной 2 м, примыкающем к поверхности земли, и второго - связанного с парами, имеющими большие

углы раствора. Для удобства события регистрации мюонных пар с $\Theta \geq 100$ мрад в дальнейшем будем называть Λ -эффектом, а события с малыми Θ — Π -эффектом.

Таблица 1

Распределение числа вершин мюонных пар с $\Theta \geq 100$ мрад, $\alpha_0 \leq 4$ мрад по координате z выше ($N_B(z)$) и ниже ($N_H(z)$) искровых камер

$z, \text{ м}$	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-30
$N_B(z)$	8	9	3	3	2	1	0	0	0
$N_H(z)$	0	2	1	0	0	0	0	0	0

Обратимся к анализу Π -эффекта. Рассмотрим события, имеющие $\Theta \leq 70$ мрад и лежащие в области $z = 9 - 18$ м. В табл. 2 приведено распределение событий, обнаруживающих Π -эффект, по углам Θ . Видно, что углы свыше 50 мрад не характерны для Π -эффекта. Статистическая обеспеченность Π -эффекта для углов $10^{-2} \leq \Theta \leq 5 \cdot 10^{-2}$ соответствует 4,8 σ .

Итак, можно считать установленным, что Π -эффект связан в основном с взаимодействием ядерной компоненты ШАЛ в плотном веществе.

П р и р о д а Λ -п а р. Рассмотрим возможность появления событий типа Λ -пар в результате фотоядерных взаимодействий мюонов. Пусть акт взаимодействия происходит на высоте z над уровнем установки. Тогда вероятность наблюдать пару пион-мюон

* Рис. 2 не показателен для выявления Π -эффекта, ибо этот эффект сосредоточен, в согласии с /1-4/ и с табл. 2, в ограниченном интервале высот z вершин мюонных пар над искровыми камерами 9 — 18 м, тогда как на рис.2 дано угловое распределение для событий из значительно более широкого интервала высот (0 — 30 м). Однако полный избыток числа зарегистрированных мюонных пар в интервале углов $10^{-2} - 10^{-1}$ рад над фоном составляет для $\alpha_0 \leq 6$ мрад приблизительно 50 событий, что соответствует избытку в числе мюонных пар над фоном, обнаруженному в /4/ в интервале высот вершин 9 ÷ 18 м.

Таблица 2

Распределение мюонных пар, обнаруживающих П-эффект, по углу раствора Θ (область высот 9–18 м) для $a_0 \leq 6$ мрад.

Θ , рад	$(1-3) \cdot 10^{-2}$	$(3-5) \cdot 10^{-2}$	$(5-7) \cdot 10^{-2}$
N_B	51	32	14
N_H	19	13	14
ΔN	32	19	0
$\sigma(\Delta N)$	8,37	6,71	5,29
$\Delta N/\sigma(\Delta N)$	3,82	2,83	0

$$P_{\pi\mu} = \exp\left(-\frac{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma}{\lambda_{\pi}c\tau\gamma} z\right), \quad (1)$$

где γ – лоренц-фактор рожденного пиона; $\lambda_{\pi} = 120$ г/см² – пробег взаимодействия пиона в грунте; c – скорость света; τ – время жизни пиона. Вероятность же наблюдать пару из двух мюонов, один из которых появляется в результате распада рожденного пиона, будет:

$$P_{\mu\mu} = \frac{\lambda_{\pi}}{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma} \left[1 - \exp\left(-\frac{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma}{\lambda_{\pi}c\tau\gamma} z\right)\right]. \quad (2)$$

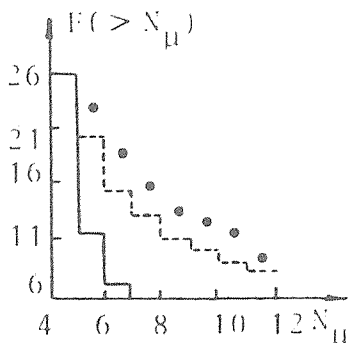
Тогда пары, рожденные в фотоядерном взаимодействии мюона, распределены по высоте по закону:

$$p(z) = \frac{\lambda_{\pi}}{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma} + \frac{c\tau\gamma}{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma} \exp\left(-\frac{\lambda_{\pi} + c\tau\gamma}{\lambda_{\pi}c\tau\gamma} z\right). \quad (3)$$

Для случая рождения пионов в фотоядерных взаимодействиях мюонов характерно сосредоточение вершин генерации вблизи установки. Формула (3)

справедлива и для случая рождения мюонов через распад очарованных частиц. При этом γ – лоренц-фактор очарованной частицы, а τ – ее время жизни. В этом случае $\sigma\gamma \ll \lambda_{\pi}$ и, следовательно, получаем равномерное распределение событий по высоте. Поэтому Λ -события могут быть связаны с рождением мюонами быстрораспадающихся частиц.

Указанием на связь этого процесса с взаимодействиями мюонов может быть гистограмма рис. 3. Если для всех зарегистрированных событий распределение по числу мюонов в кадре хорошо описывалось соотношением $F(> N_{\mu}) \propto 1/N_{\mu}^2$ то, как видно из рис. 3, в нашем случае распределение хорошо описывается соотношением $F(> N_{\mu}) \propto 1/N_{\mu}$, что указывает на пропорциональность количества Λ -событий количеству мюонов, прошедших через установку. Систематическое превышение может быть объяснено наличием ~ 3 фоновых событий среди истинных Λ -пар.



Р и с. 3. Распределение кадров с Λ -парами по количеству мюонов в кадре. Сплошная линия - $F(> N_{\mu}) \propto 1/N_{\mu}^2$; пунктир $F(> N_{\mu}) \propto 1/N_{\mu}$; \bullet экспериментальные данные.

С учетом рис. 1 находим, что количество Λ -пар, рождаемое в 600 г/см^2 грунта, составляет 20 ± 10 событий (число дано без учета эффективности отбора событий на установке), с биссектрисами, направленными на установку.

Мы считаем целесообразным пока воздержаться от конкретной интерпретации Λ -событий (как, например, фотоядерного рождения чарма в мюонных реакциях) в связи с недостаточной экспериментальной обоснованностью такого утверждения. Но необходимо отметить возможность рождения Λ -пар в мюонных взаимодействиях.

Поступила в редакцию 24 декабря 1984 г.
После переработки 26 февраля 1985 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базаров Е.В. и др. Труды ФИАН, 109, 109 (1979).
2. Базаров Е.В. и др. Изв.АН СССР, сер.физ., 44, 561 (1980).
3. Basarov E.V. et al. 17th Int. Cosm. Ray Conf., Paris, v. 7, p. 48 (1981).
4. Бешапов С.П. Поиск мюонных пар прямой генерации в широких ливнях. Диссертация. М., ФИАН, 1984.
5. Bescharov S.P., Vavilov Yu. N. 18th. Int. Cosm. Ray Conf., Bangalore v. 5., p. 106 (1983).