

СЕЧЕНИЕ ФОТОЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ЭНЕРГИИ ФОТОНОВ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 0,9 ДО 10 ТэВ

В.Н.Бакатанов, Р.В.Новосельцева, Ю.Ф.Новосельцев,
А.М.Семенов, Ю.В.Стенькин, А.Е.Чудаков

В работе обсуждается эксперимент по изучению неупругого взаимодействия мюонов на сцинтилляционном телескопе Баксанской Нейтринной Обсерватории. Приведены результаты измерения сечения фотоядерного взаимодействия фотонов с ядром $\sigma_{\gamma A}$ в диапазоне энергий фотонов от 0,9 до 10 ТэВ.

На Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе ¹ проводится эксперимент по измерению сечения $d\sigma_{\mu A}(\nu, q^2)/d\nu$ неупругого рассеяния мюонов космических лучей на ядрах вещества телескопа со средним атомным весом $\bar{A} = 26$ ($\nu = E - E'$, E и E' энергии мюона до и после взаимодействия). Как известно, знание сечения $d\sigma_{\mu A}(\nu, q^2)/d\nu$ при малых значениях квадрата переданного четырехимпульса $q^2 = -Q^2$ позволяет получить информацию о сечении взаимодействия реальных фотонов с ядром $\sigma_{\gamma A}(\nu)$ и об энергетических потерях мюонов на неупругое взаимодействие.

В данном эксперименте четыре горизонтальные сцинтилляционные плоскости телескопа вместе с перекрытиями между ними использовались как калориметр, с помощью которого регистрировались электромагнитные и ядерные каскады генерированные мюонами космических лучей в грунте над установкой ($\bar{A} = 25$) или в самой установке ($\bar{A} = 27$) ^{2,3}. Среднее значение Q^2 в подобных экспериментах $Q^2 = 0,1 \text{ ГэВ}^4$ ($\hbar = c = 1$).

В эксперименте измеряется отношение $R(\epsilon)$ числа ядерных каскадов $N_h(\epsilon)$ к числу электромагнитных $N_e(\epsilon)$ в одинаковых интервалах ϵ энерговыделений в установке. События различной природы разделяются по числу зарегистрированных $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов. Фактом регистрации $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распада считается появление на экране осциллографа задержанного сигнала от электрона распада ³.

Принцип разделения ядерных и электромагнитных каскадов по числу $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов в нашем эксперименте заключается в следующем:

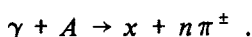
1) вычисляется вероятность $P(m; \epsilon)$ регистрации m -распадов и электромагнитных каскадов создающих в установке энерговыделение ϵ ;

2) определяется "критерий разделения" $m_0(\epsilon)$, такой, чтобы вероятность χ регистрации в электромагнитном каскаде числа распадов $m > m_0(\epsilon)$ была $\lesssim 10^{-2}$.

$$\sum_{m=0}^{m_0} P(m; \epsilon) = 1 - \chi(m_0, \epsilon) \gtrsim 0,99; \quad (1)$$

3) каскады с числом зарегистрированных в них $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов $m \leq m_0(\epsilon)$ считались электромагнитными.

Основным каналом рождения пионов в электромагнитном каскаде является реакция фотоядерного взаимодействия каскадных γ -квантов с ядрами вещества



При вычислении $P(m, \epsilon)$ использовались данные по сечению взаимодействия и множественности рождения π^\pm из работ ^{5,6}, для γ -квантов с энергией $E_\gamma < 5 \text{ ГэВ}$, а при $E_\gamma > 5 \text{ ГэВ}$ из работы ⁷. Предполагалось, что число зарегистрированных $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов пропорционально энерговыделению в установке при прохождении электромагнитного каскада. В расчетах использовались электромагнитные каскадные кривые полученные методом Монте-Карло с учетом реальной структуры установки. Спектр мюонов в месте

расположения установки брался в виде:

$$N_{\mu} (> E) \sim (E + 200)^{-2,8},$$

E — энергия мюонов в единицах ГэВ. Такой вид спектра получен в этом же эксперименте.

Полное число электромагнитных событий определялось согласно выражению (1)

$$N_e(\epsilon) = N(m \leq m_0, \epsilon) / [1 - \chi(m_0, \epsilon)]. \quad (2)$$

Остальные каскады из числа зарегистрированных считались ядерными. Возникает вопрос о возможности недомера числа ядерных каскадов в случае появления ядерных каскадов с числом $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов $m < m_0$. Расчеты показывают, что доля таких событий не превышает $3 \div 4\%$, это существенно меньше статистической ошибки в числе зарегистрированных ядерных каскадов.

ϵ ГэВ	\bar{E}_e ГэВ	\bar{E}_h ГэВ	m_0	$N_e(\epsilon)$	m					$\chi\%$	\bar{m}_e	\bar{m}_h	
					0	1	2	3	3				
111– –133	906	1150	2	630	470	134	19	7	60	э	1,1	0,308	8,4
					477	126	20	4	3				
160– –230	1400	1780	3	425	273	113	28	7	44	э	0,88	0,478	11,5
					277	113	25,4	5,5	3,8				

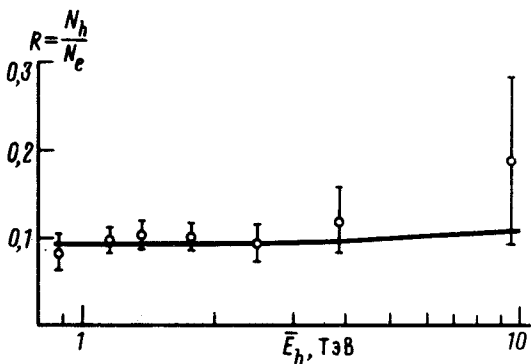


Рис. 1

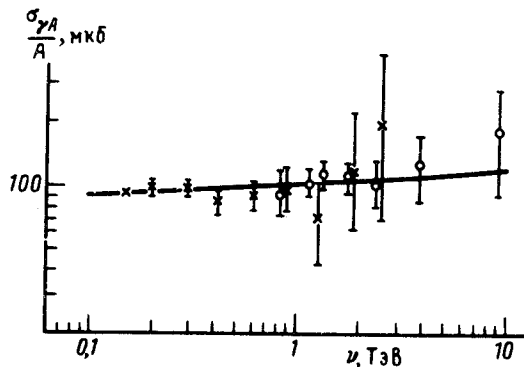


Рис. 2

Рис. 1. Отношение R числа ядерных каскадов N_h к числу электромагнитных N_e в одинаковых интервалах энергосыделений. \bar{E}_h — средняя энергия ядерных каскадов ответственных за данный интервал энергосыделений. Кривая — расчет¹⁰

Рис. 2. Зависимость сечения фотоядерного взаимодействия фотона с ядром $A = 26$ от энергии фотона: \times —¹¹; \bullet — наш результат. Кривая — расчет¹⁰

В таблице приводятся экспериментальные (э) распределения по m всех событий в сравнении с расчетными (р) для электромагнитных событий в двух интервалах энергосыделений ϵ . Расчетные распределения нормировались на полное число электромагнитных событий $N_e(\epsilon)$ определенное по формуле (2). \bar{E}_e , \bar{E}_h — средние энергии электромагнитных и ядерных каскадов ответственных за данный интервал энергосыделений. \bar{m}_e , \bar{m}_h — средние расчетные множественности регистрируемых $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ -распадов для электромагнитных и ядерных каскадов. При расчете \bar{E}_h и m_h использовались данные работы⁷ и ядерные каскадные кривые полученные методом Монте-Карло.

Из таблицы видно хорошее согласие экспериментальных и расчетных распределений при $m \leq m_0$, хорошее согласие наблюдается и для других интервалов ϵ . На рис. 1 показаны ре-

зультаты измерения величины $R(\epsilon)$ — отношения числа ядерных каскадов к числу электромагнитных зарегистрированных в одинаковых интервалах энерговыделений ϵ . По оси абсцисс отложено среднее значение энергии \overline{E}_h ядерных каскадов ответственных за интервал энерговыделений ϵ . Кривая — расчет, в котором использовались сечения различных процессов, приводящих к рождению каскадов из работ ^{8, 9, 10}. Используя результаты показанные на рис. 1 и предполагая, что сечения рождения электромагнитных каскадов хорошо известны, можно определить сечение фотоядерного взаимодействия реальных фотонов $\sigma_{\gamma A}/A$. На рис. 2 показаны наши результаты определения $\sigma_{\gamma A}/A$ для $A = 26$ в сравнении с результатами полученными в работе ¹¹, в близкой области переданных энергий $\nu = \overline{E}_h$. Полученные результаты согласуются с расчетом основанным на данных работы ¹⁰. Некоторый рост сечения при $\nu > 3$ ТэВ не обеспечен статистически.

Литература

1. Alexeyev E.N. et al. Proc. 16th ICRC, Kyoto, 1979, 10, 276.
2. Андреев Ю.М., Бакаганов В.Н. и др. Изв. АН СССР, сер. физич. 1982, 46, 1844.
3. Ачкасов В.М., Бакаганов В.Н. и др. Изв. АН СССР, сер. физич. 1986, 50, 2224.
4. Борог В.В., Кириллов-Угрюмов В.Г. и др. ЯФ, 1977, 25, 85.
5. Meyer H. et al. Phys. Lett. B, 1970, 33, 189.
6. Bingham M.M. et al. Phys. Rev. D, 1973, 8, 1277.
7. Jones W.V. et al. Phys. Rev. D, 1973, 7, 2013.
8. Бугаев Э.В. и др. Космические мюоны и нейтрино. М.: Атомиздат, М. 1970.
9. Bezrukov L.B., Bugaev E.V. Proc. 17th ICRC, Paris, 1981, 7, 102.
10. Безруков Л.Б., Бугаев Е.В. ЯФ, 1981, 33, 1195.
11. Korolkova E.V. et al. Proc. 20th ICRC, Moscow, 1987, 6, 1982.