

КАЛИБРОВКА ПРОТЯЖЕННОГО ЧЕТЫРЕХГРАННОГО СПЕКТРОМЕТРА NaI(Tl) КОСМИЧЕСКИМИ МЮОНАМИ

В. А. Басков, Б. Б. Говорков, В. В. Полянский

Представлены результаты калибровки космическими мюонами протяженного четырехгранного спектрометра NaI(Tl). В поперечном к оси спектрометра направлении амплитуда сигнала и энергетическое разрешение спектрометра имеют сложные зависимости от напряжения на фотоумножителе и точки входа частицы в спектрометр. При напряжении на делителе фотоумножителя $U = 1150 \pm 10$ В область однородных сигналов наблюдается на $\sim 90\%$ длины спектрометра, относительное энергетическое разрешение составляет $\delta \approx 7\%$.

Ключевые слова: калибровка, спектрометр NaI(Tl), энергетическое разрешение, космические мюоны.

Процесс фоторождения нейтральных пионов вблизи порога на нейтронах ($\gamma + n \rightarrow \pi^0 + n$) экспериментально до конца не изучен. Исследование этого процесса предполагается выполнить на специальной установке с использованием выведенного пучка электронов и системы мечения фотонов на ускорителе С-25Р “Пахра” в Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН [1, 2].

В рамках данной задачи предполагается изучить поведение полного сечения фоторождения нейтральных пионов на нейтроне на установке, состоящей из протяженных четырехгранных спектрометров NaI(Tl) (рис. 1) [3]. Предназначение спектрометров – регистрация γ -квантов от распада π^0 -мезонов, вылетевших из углеродной мишени, расположенной в центре сборки, и определять их энергию. При такой конфигурации установки электромагнитные ливни от γ -квантов должны развиваться в поперечном к оси спектрометров направлении. В этом случае возникает проблема, связанная с неоднородностью величин сигналов, приходящих от разных точек входа γ -квантов в каждый спектрометр относительно фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), расположенного на

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: baskov@x4u.lebedev.ru.

одном торце спектрометра. Для изучения зависимости амплитуды сигнала и амплитудного разрешения спектрометра от точки входа γ -квантов в спектрометр в поперечном направлении была проведена предварительная калибровка на космических мюонах. При существующей конструкции протяженных спектрометров NaI(Tl), используемых в данной установке, имеется только один параметр, который можно варьировать для получения наилучшей однородности сигнала в поперечном направлении спектрометра, – это величина напряжения на делителе напряжения ФЭУ.

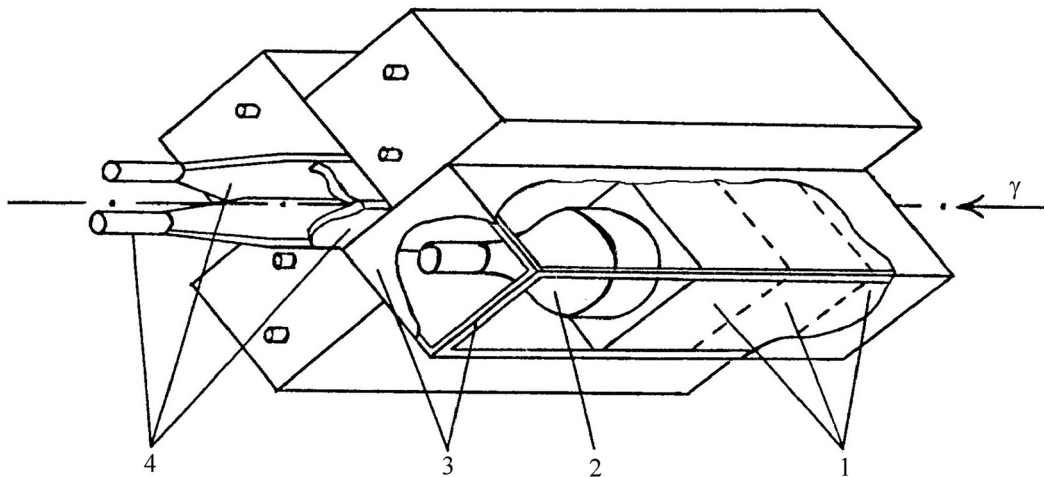


Рис. 1: Установка по изучению полных сечений фоторождения нейтральных пионов вблизи порога на нейтронах: 1 – протяженные четырехгранные спектрометры NaI(Tl); 2 – ФЭУ-52; 3 – корпус; 4 – сцинтилляционные счетчики анτισовпадений.

Каждый из четырех спектрометров установки имеет размер $12 \times 12 \times 45 \text{ см}^3$ и состоит из трех склеенных между собой блоков сцинтиллятора NaI(Tl) размером $12 \times 12 \times 15 \text{ см}^3$. Радиационная длина в поперечном и продольном направлениях составляет $4.8X_0$ и $18X_0$, соответственно ($X_0 = 2.5 \text{ см}$ – радиационная длина NaI(Tl) ($\rho = 3.67 \text{ г/см}^3$)). Спектрометр с торца просматривается одним фотоумножителем ФЭУ-52 со стандартным делителем напряжения.

Схема калибровки одного из спектрометров NaI(Tl) представлена на рис. 2. Спектрометр располагался между двумя триггерными счетчиками S_1 и S_2 размером $4 \times 4 \times 0.5 \text{ см}^3$, расположенными на расстоянии 15 см друг от друга. Перед калибровкой с помощью радиационного источника ^{60}Co были определены эффективные рабочие напряжения на S_1 и S_2 , выставлены временные задержки как между S_1 и S_2 , так и между S_1 и S_2 и спектрометром NaI(Tl).

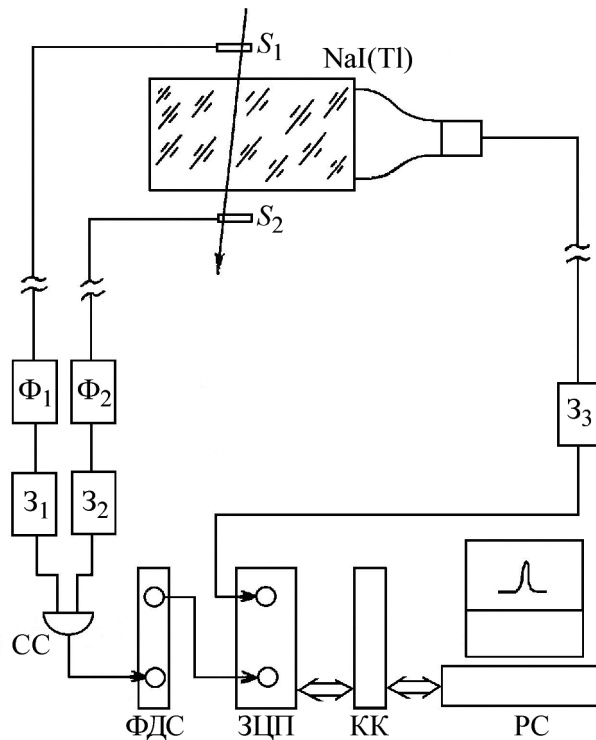


Рис. 2: Блок-схема калибровки протяжённого четырехгранного спектрометра $\text{NaI}(\text{Tl})$: S_1 и S_2 – триггерные сцинтилляционные счетчики; $\text{NaI}(\text{Tl})$ – протяжённый четырехгранный спектрометр; Φ_1 и Φ_2 – формирователи; Z_1 – Z_3 – блоки задержек; СС – схема совпадений; ФДС – формирователь длинных временных сигналов; ЗЦП – зарядо-цифровой преобразователь; КК – крейт-контролер КАМАК; РС – персональный компьютер.

Сигналы от прохождения космического мюона через S_1 и S_2 подавались на формирователи Φ_1 и Φ_2 (порог формирования обоих формирователей составлял $U_{\text{порог}} = 30$ мВ, длительность сигналов $T_{S_1} = T_{S_2} = 20$ нс), далее через блоки задержек Z_1 и Z_2 на схему совпадения СС. Сигнал со схемы совпадения СС длительностью $T_{\text{СС}} = 100$ нс подавался на блок формирования длительных сигналов ФДС, который формировал сигнал T длительностью 1000 нс. Сигнал T являлся триггерным сигналом ($T = S_1 \cdot S_2$) “Start” для запуска блока 4 входного зарядо-цифрового преобразователя (ЗЦП), с помощью которого через крейт-контролер системы КАМАК производилась “запись” сигнала со спектрометра $\text{NaI}(\text{Tl})$ в память компьютера.

На рис. 3 представлены зависимости средней амплитуды сигнала со спектрометра $\text{NaI}(\text{Tl})$ от продольной координаты и напряжения на ФЭУ. Видно, что средняя амплиту-

да сигнала, пришедшего к ФЭУ от дальнего торца спектрометра (вставка на рис. 3), при всех значениях напряжений примерно в два раза меньше средней амплитуды в случае прохождения частицы рядом с ФЭУ. Неоднородность в значениях амплитуд по длине спектрометра существует практически для всех исследованных значений напряжений на делителе ФЭУ. Однако при напряжении $U = 1100$ В на $\sim 90\%$ длине спектрометра значение амплитуды практически постоянно. Можно предположить, что на неоднородность сигналов на значительной глубине спектрометра влияет размер спектрометра. В протяженном и довольно “узком” объеме спектрометра светосбор значительно хуже, чем в спектрометре такой же длины, но большего размера по апертуре. В данном случае изменить размер нельзя, но его влияние можно снизить уменьшением чувствительности ФЭУ, то есть уменьшением напряжения на делителе ($U \leq 1180$ В) (зависимость 1 на рис. 3).

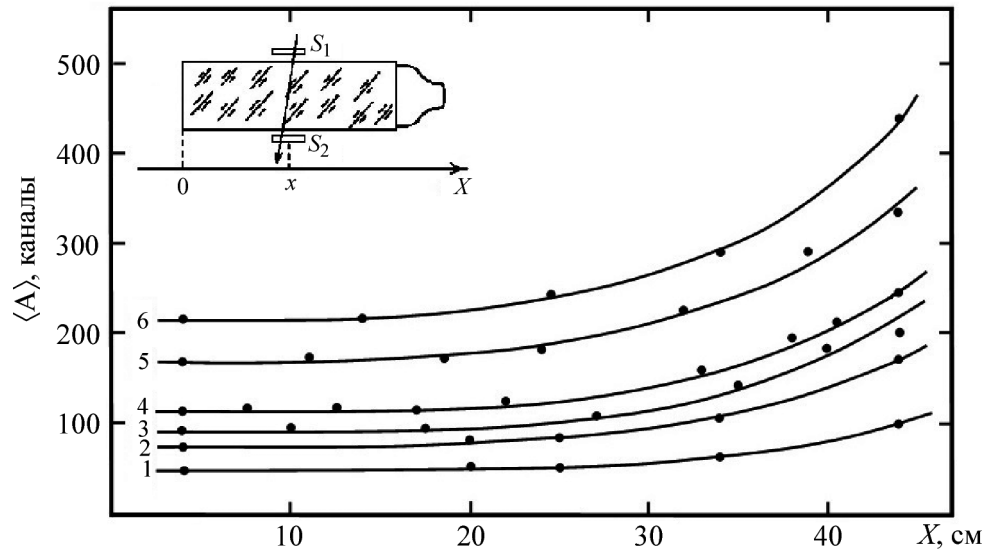


Рис. 3: Зависимости средней амплитуды сигнала с протяженного четырехгранного спектрометра $\text{NaI}(\text{Tl})$ от координаты X при различных напряжениях на делителе напряжения ФЭУ-52: 1 – $U = 1100$ В; 2 – $U = 1180$ В; 3 – $U = 1217$ В; 4 – $U = 1260$ В; 5 – $U = 1305$ В; 6 – $U = 1355$ В.

Зависимость относительного энергетического разрешения спектрометра $\text{NaI}(\text{Tl})$ δ от его длины и напряжения на делителе ФЭУ представлена на рис. 4 ($\delta = \sigma/E = ((\Delta A/\langle A \rangle)/2.35) \cdot 100\%$, где σ – стандартное отклонение среднего энерговыделения мюонов в протяженном четырехгранном спектрометре $\text{NaI}(\text{Tl})$, ΔA – полная ширина амплитудного спектра на половине его высоты; $\langle A \rangle$ – средняя амплитуда по спек-

тру, 2.35 – коэффициент пропорциональности, определяющий связь соотношения ΔE и $\sigma(\Delta E = 2 \cdot \sigma \cdot \sqrt{2} \cdot \ln 2 \approx 2.35 \cdot \sigma$ [4]).

Видно, что σ в зависимости от напряжения на делителе и точки прохождения мюона через спектрометр изменяется в диапазоне от 4% до 10%. Ухудшение разрешения происходит по мере удаления точки прохождения мюона через спектрометр от ФЭУ и увеличения напряжения на делителе. Можно предположить, что в областях объёма спектрометра, дальних от ФЭУ, существуют значительные флуктуации, связанные со светосбором в плотном веществе спектрометра. Однако рис. 4 показывает, что существует небольшой диапазон напряжений $U = 1150 \pm 10$ В, при котором энергетическое разрешение спектрометра NaI(Tl) практически постоянно на всей длине спектрометра и составляет $\delta \approx 7\%$.

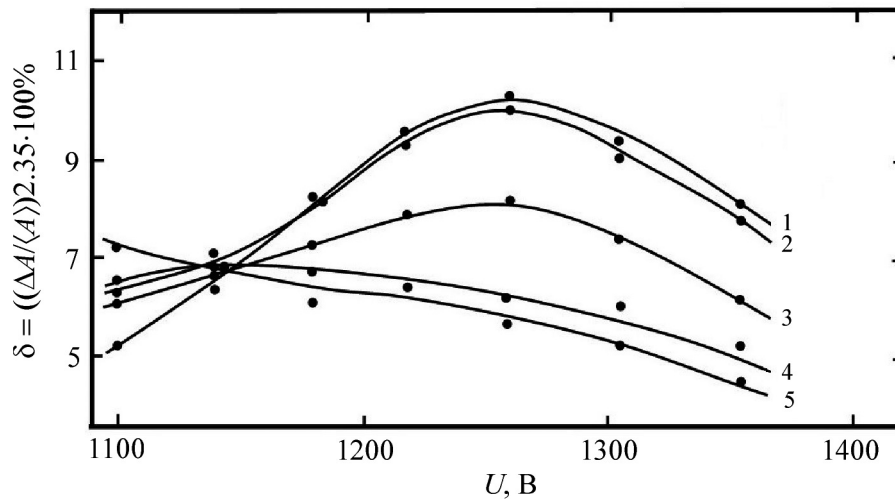


Рис. 4: Зависимость относительного энергетического разрешения протяженного четырехгранного спектрометра NaI(Tl) от напряжения на делителе напряжения ФЭУ-52 и точки входа космического мюона в спектрометр (вставка рис. 3): $x = 4$ см; $x = 22$ см; $x = 38$ см; $x = 40$ см; $x = 44$ см.

Для данных размеров спектрометра и типа применяемого ФЭУ напряжение $U = 1150 \pm 10$ В является оптимальным.

При калибровке на космических мюонах трех оставшихся спектрометров NaI(Tl) получены зависимости, аналогичные представленным на рис. 3 и 4. Численные значения полученных зависимостей отличаются от представленных не более чем на $\sim 20\%$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] В. А. Басков, Б. Б. Говорков, В. В. Полянский, ПТЭ, № 3, 5-8 (2019); DOI: 10.1134/S0020441219030035.
- [2] В. А. Басков, Б. Б. Говорков, В. В. Полянский, Краткие сообщения по физике ФИАН **41**(5), 37 (2014); DOI: 10.3103/S1068335614050054.
- [3] В. А. Басков, А. В. Верди, Б. Б. Говорков и др., Препринт ФИАН № 59 (ФИАН, Москва, 1997).
- [4] К. Групен, *Детекторы элементарных частиц* (Сибирский хронограф, Новосибирск, 1999).

Поступила в редакцию 23 марта 2020 г.

После доработки 15 июня 2020 г.

Принята к публикации 16 июня 2020 г.