

808300583



ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 82-89
ОНФ

А.А.Бельков, А.П.Бугорский, В.И.Кочетков,
В.И.Курбаков, А.И.Мухин, Ю.М.Свиридов

АБСОЛЮТНАЯ КАЛИБРОВКА МИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИРОВАНИЯ НЕЙТРИННОГО ПУЧКА В ИФВЭ

Серпухов 1982

**А.А.Бельков, А.П.Бугорский, В.И.Кочетков,
В.И.Курбаков, А.И.Мухин, Ю.М.Свиридов**

**АБСОЛЮТНАЯ КАЛИБРОВКА МЮОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ
СИСТЕМЫ МОНИТОРИРОВАНИЯ НЕЙТРИННОГО ПУЧКА В ИФВЭ**

Аннотация

Бельков А.А., Бугорский А.П., Кочетков В.И., Курбаков В.И., Мухин А.И., Свиридов Ю.М.

Абсолютная калибровка мюонных детекторов системы мониторинга нейтринного пучка в ИФВЭ. Серпухов, 1982.

7 стр. с рис. (ИФВЭ ОНФ 82-99).

Библмогр. 2.

Описаны методика и результаты абсолютной калибровки ионизационных камер с помощью ядерных фотоэмульсий. Чувствительность опорной камеры измерена с точностью 3% и составляет $(2,22 \pm 0,07) \cdot 10^6$ мюон/см²·В.

Abstract

Bel'kov A.A., Bugorsky A.P., Kochetkov V.I., Kurbakov V.I., Mukhin A.I., Sviridov Yu.M.

Absolute Calibration of Muon Detectors for IHEP Neutrino Beam Monitoring System. Serpukhov, 1982.

p. 7. (IHEP 82-99).

Refs. 2.

The method and results of ionization chambers absolute calibration using nuclear emulsions are presented. The sensitivity of the reference chamber was measured with 3% accuracy and is equal to $(2,2 \pm 0,07) \cdot 10^6$ muons/cm²·v.

Опыт проведения нейтринных экспериментов в ИФВЭ показал, что успех многих из них в значительной степени определяется качеством мониторингования, в частности, мюонного потока в фильтре. Измерение параметров мюонного потока дает возможность контролировать результат работы всех систем формирования нейтринного пучка на конечной стадии этого процесса. Это же свойство мюонных потоков позволяет использовать их в качестве опорных данных при восстановлении спектра нейтрино на детекторах^{/1/}.

Ввод в строй бустера и создаваемого в настоящее время большого нейтринного детектора позволит значительно улучшить статистическую обеспеченность нейтринных экспериментов в ИФВЭ и избежать ряда систематических неопределенностей при анализе их результатов. Следовательно, значительно возрастут и требования к качеству мониторингования и точности восстановления спектра нейтринного пучка, в частности, к точности абсолютной нормировки нейтринных потоков. Проверка этой нормировки может быть осуществлена только сравнением расчетных и экспериментальных потоков мюонов.

Мюонные потоки измеряются с помощью системы ионизационных камер, в общих чертах описанной ранее в работе^{/2/}.

Абсолютная нормировка измеренных потоков производится в расчете на один протон на мишени и требует как знания абсолютной калибровки ионизационных камер, так и знания интенсивности выведенного протонного пучка. В настоящей работе приводятся результаты исследований, связанных с методикой абсолютной калибровки камер.

Абсолютная калибровка заключается в определении коэффициента, связывающего сигнал камеры с числом (или плотностью потока) прошедших через нее частиц. Единственным прямым способом калибровки в условиях интенсивного быстровыведенного пучка является использование ядерных фотоэмульсий.

Тщательная абсолютная калибровка с использованием фотоэмульсий проводилась в течение 1979-81 гг. Процедура заключалась в следующем. Слой фотоэмульсии помещался перпендикулярно пучку непосредственно перед калибруемой ионизационной камерой, расположенной в рабочем положении в разрезе мюонного фильтра. Фотоэмульсионный слой и камера облучались в течение определенного числа циклов ускорителя с тем, чтобы плотность треков в фотоэмульсии составила оптимальную для анализа величину $\approx 5 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2}$.

Счет треков в фотоэмульсии производился методом двойного независимого просмотра. Один и тот же участок фотоэмульсионного слоя просматривался независимо дважды, причем, каждый раз зарисовывалось расположение треков в поле зрения микроскопа с помощью специальной окулярной сетки. Полученные таким образом независимые измерения сравниваются между собой, и число треков N_0 в каждом двойном просмотре вычисляется по известной формуле:

$$N_0 = \frac{N_1 \cdot N_2}{N_{12}},$$

где N_1 и N_2 - число треков, зарегистрированных в первом и втором просмотрах в отдельности, а N_{12} - число совпадающих треков, зарегистрированных в обоих просмотрах.

Метод двойного просмотра позволяет статистически учесть субъективные ошибки при просмотре перпендикулярно облученных слоев фотоэмульсии и одновременно контролировать эффективность поиска треков в течение всего просмотра. При выбранном увеличении 2025 X практически полностью были устранены ошибки, связанные с неоднозначностью регистрации положения треков в поле зрения микроскопа. Эта неоднозначность, в основном, была обусловлена смещением просматриваемого участка фотоэмульсии относительно окулярной сетки вследствие шумов столика микроскопа. Кроме того, при увеличении 2025 X была исключена возможность ложной идентификации треков, которая возникала при просмотре перпендикулярно облученных слоев при меньшем увеличении. Средняя (по более чем десяти слоям) эффективность просмотра описанной методикой составила $(94 \pm 1)\%$. Фоновая загрузка фотоэмульсионных слоев космическими мюонами определялась просмотром контрольных слоев, не облучавшихся в фильтре. Эта поправка не превышала 5% от общего числа треков в эмульсии. Площадь поля зрения микроскопа измерялась с помощью объект-микрометра и была известна с точностью $\pm 2\%$. Для учета изменения размеров слоев в результате проявления и фиксирования на эмульсию перед проявлением оптическим путем наносилась сетка с размером ячейки 1×1 мм². Измерения этой сетки после обработки эмульсии определили поправку на изменение площади слоя: $1,05 \pm 0,01$.

Для абсолютной нормировки мюонных потоков достаточно знать чувствительность одной (опорной) камеры. Чувствительность остальных камер по отношению к опорной может быть определена с помощью относительной калибровки^{12/}. Однако в упомянутых калибровочных экспозициях фотоэмульсионные слои облучались совместно не только с опорной, но и с несколькими другими камерами большей чувствительности. Это вызывалось двумя причинами. С одной стороны, таким путем удается оптимально удовлетворить противоречивые условия совместного облучения фотоэмульсий и ионизационных камер (полная плотность треков не более 10^6 см⁻², амплитуда сигнала с камеры $0,5 \div 1,5$ В, число циклов ускорителя не менее пяти). С другой стороны, существует ряд эффектов, которые могут приводить к зависимости калибровочного коэффициента камеры от места облучения (т.е.

глубины в фильтре и расстояния от оси канала). В частности, зависимость от глубины в фильтре может возникать из-за различного энергетического спектра мюонов на разной глубине. Калибровочный коэффициент, связывающий амплитуду сигнала с числом частиц, прошедших через камеру, пропорционален эффективной потере энергии частицей в камере:

$$\delta_{\text{эфф}}(Z) = \frac{\int_0^{E_{\text{max}}(Z)} \delta(E) f(E, Z) dE}{\int_0^{E_{\text{max}}(Z)} f(E, Z) dE},$$

где $\delta(E) = dE/dx$ в газе камеры, $f(E, Z)$ - спектр мюонов на глубине Z . Зависимость калибровочного коэффициента от радиального положения камеры в разрезе могла бы вызываться ненулевым средним углом падения мюонов на плоскость камеры. Поэтому облучение фотоэмульсий проводилось с разными камерами на глубинах в фильтре от 4,6 до 18,5 м железа в режимах с фокусировкой и без фокусировки мезонного пучка на оси фильтра и на расстоянии 40 см от оси.

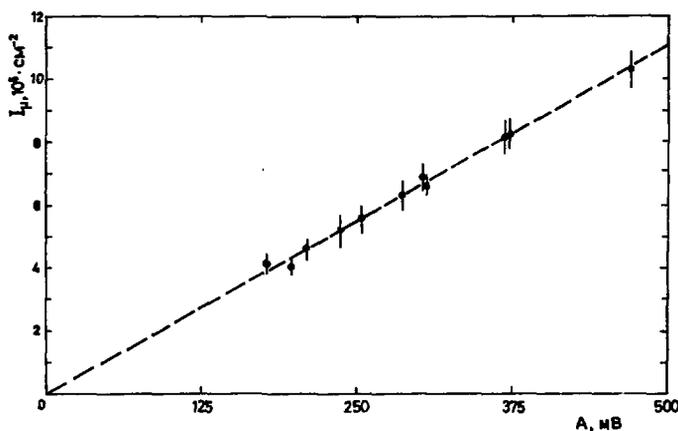


Рис. 1. Калибровочная прямая опорной камеры. I_{μ} - плотность потока мюонов через камеру, определенная путем счета треков в фотоэмульсии, A - сумма амплитуд сигналов опорной камеры (см. текст) за период облучения.

Результаты всех экспозиций приведены на рис. 1. Здесь по оси абсцисс отложена сумма амплитуд сигналов опорной камеры за время облучения (как действительно измеренная по этой камере, так и полученная путем пересчета сигналов других камер, участвовавших в калибровках, с использо-

ванием данных относительной калибровки), а по оси ординат – соответствующая плотность потока мюонов, определенная по числу треков в фотоэмульсии. Коэффициент наклона прямой, проведенной по этим точкам, дает величину чувствительности опорной камеры:

$$S = (2,22 \pm 0,07) \cdot 10^6 \text{ мюон/см}^2 \cdot \text{В}^*$$

Погрешность в величине S определяется статистикой счета треков в эмульсии (всего 3150 треков, $+1,8\%$), точностью измерения просмотренной площади фотоэмульсии ($3,96 \cdot 10^{-4} \text{ см}^2$), равной $2,2\%$, и неопределенностью знания эффективности просмотра ($\pm 1\%$). Ошибка измерения сигналов камер меньше процента. Полная ошибка составила $\pm 3\%$.

Из приведенных данных следует ряд выводов. Во-первых, в пределах ошибок каждого отдельного измерения ($\pm 4\%$) не обнаружено зависимости калибровочного коэффициента от глубины и радиального положения камер в фильтре. Во-вторых, тот факт, что результаты нескольких калибровочных экспозиций в течение трех лет (1979–1981 гг.) описываются одной прямой $I = S \cdot A$, говорит о постоянстве калибровочного коэффициента S , по крайней мере, за указанный промежуток времени. В-третьих, что особенно важно, проведенные исследования непосредственно (независимо от мониторов интенсивности протонного пучка) показали прямую пропорциональность сигналов ионизационных камер плотности потока мюонов и отсутствие какой-либо постоянной составляющей, которая могла бы давать систематическую ошибку измерения мюонных потоков.

Абсолютная чувствительность камер, полученная по результатам абсолютной и относительной калибровок, для одного из режимов работы канала, приведена в таблице (режим работы канала определяет необходимый набор коэффициентов усиления).

Таблица

Номер разреза	Глубина в фильтре, м	Коэффициент усиления усилителя, отн. ед.	Абсолютная чувствительность камеры, мюон/см ² · В
1	3,1	1	$(4,39 \pm 0,14) \cdot 10^6$
2	3,8	1	–
3	4,7	1	$(2,95 \pm 0,10) \cdot 10^6$
4	5,7	1	$(2,22 \pm 0,07) \cdot 10^6$
5	6,9	1	$(1,30 \pm 0,04) \cdot 10^6$
6	8,4	1	$(1,63 \pm 0,05) \cdot 10^6$
7	10,3	1	$(8,25 \pm 0,26) \cdot 10^5$
8	12,6	1	$(1,70 \pm 0,05) \cdot 10^5$
9	15,4	1	$(8,15 \pm 0,30) \cdot 10^4$
10	18,6	4	$(4,12 \pm 0,15) \cdot 10^4$
11	22,5	4	$(4,00 \pm 0,17) \cdot 10^3$

* При максимальном значении коэффициента усиления усилителя ¹²¹.

В ходе проведенных исследований была проверена также долговременная стабильность используемых ионизационных камер^{1/2/}, находящихся в эксплуатации в течение семи лет. Получено, что их чувствительность за весь этот период времени была постоянной в пределах $\pm 2\%$, определяемых точностью относительных калибровочных измерений.

В заключение авторы выражают благодарность Л.Г.Барановой за подготовку и обработку фотоэмульсионных слоев, С.А.Бунятову за помощь в организации просмотра, Т.В.Невской, В.В.Крикуновой, В.Ф.Зулькарнеевой, Л.Э.Василенко, М.Я.Никаноровой за большой труд по просмотру фотоэмульсии.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А.П.Бугорский, А.С.Вовенко, А.А.Волков и др. Препринт ИФВЭ 78-116, Серпухов, 1978 г.
2. А.Р. Bugorsky, V.N. Goryachev, V.I. Kochetkov et al. Nucl. Instr. Meth. 146, p. 367 (1977).

Рукопись поступила в издательскую группу
26 апреля 1982 года.

Цена 8 коп.

Индекс 3624

А.А.Бельков и др.

Абсолютная калибровка мюонных детекторов системы мониторинга нейтринного пучка в ИФВЭ.

Редактор Н.П.Ярба. Технический редактор Л.П.Тимкина.
Корректор М.И.Овечкина.

Подписано к печати 03.06.82. Т-12068. Формат 70х100/16.
Офсетная печать. Индекс 3624. Цена 8 коп.
Заказ 1679. 0,51 уч.-издл. Тираж 230.

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов,
Московской обл.